

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Кривякін Геннадій Володимирович

УДК 629.429.3: 621.314

**КОЛІСНО-МОТОРНИЙ БЛОК З ОПОРНО-ОСЬОВОЮ ПІДВІСКОЮ  
АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГУНА ДЛЯ ЕЛЕКТРОВОЗУ  
З КОНСТРУКЦІЙНОЮ ШВИДКІСТЮ 160 КМ/ГОД**

Спеціальність 05.22.09 – Електротранспорт

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2007

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному технічному університеті  
“Харківський політехнічний інститут” Міністерства науки і освіти України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
Омельяненко Віктор Іванович,  
Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”,  
завідувач кафедри електричного транспорту  
та тепловозобудування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Гетьман Геннадій Кузьмич,  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
завідувач кафедри електрорухомого складу;

кандидат технічних наук, доцент  
Семененко Олександр Іванович,  
Українська державна академія залізничного транспорту,  
доцент кафедри систем електричної тяги, м. Харків.

Провідна установа: Східноукраїнський національний університет  
імені В. Даля, м. Луганськ.

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2007 р. о \_\_\_\_\_ годині на засіданні  
спеціалізованої вченої ради Д 64.050.15  
у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”  
за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці  
Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”  
за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2007 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Любарський Б.Г.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Вектор розвитку рухомого складу високошвидкісного і швидкісного пасажирського залізничного транспорту спрямований на концепцію розподіленої тяги з електроприводом на базі безконтактних електродвигунів (асинхронних, синхронних), незмінність складу потягу та максимальне пристосовування його до конкретних умов певної дороги.

На сьогоднішній день в Україні найважливішим завданням є створення перспективного рухомого складу, який би був придатний для експлуатації в умовах існуючої колії та системи електропостачання. На існуючій колії радіуси кривих і частота їх проходження є такими, що не дають можливості експлуатувати пасажирські потяги із швидкістю, більше 160 км/год в наслідок прийнятих припустимих прискорень. Для цих швидкостей може виявитися раціональним привод з опорно-осьовою підвіскою на базі асинхронного тягового двигуна (АТД), який по відношенню до інших типів приводів має цілу низку переваг: простота виготовлення, висока ремонтпридатність, невибагливість в експлуатації і прийнятна вартість. Проте цьому приводу властиві такі недоліки як підвищена динамічна дія на колію та додатковий динамічний момент, що виникає на валу тягового двигуна унаслідок вертикальних коливань колісної пари. Дослідження впливу цих факторів на робочі властивості локомотивів і зокрема колісно-моторного блоку (КМБ) з асинхронним тяговим двигуном для пасажирського локомотива, що рухається з швидкостями більше 130...140 км/год, ще не виконано в повному обсязі. Тому робота, що направлена на дослідження поведінки колісно-моторного блоку з опорно-осьовою підвіскою асинхронного тягового двигуна для електровоза з конструкційною швидкістю 160 км/год представляється актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Робота виконана на кафедрі електричного транспорту та тепловозобудування НТУ “ХПІ” у рамках науково-дослідницьких тем МОН України: “Розробка наукових основ проектування тягових передач високошвидкісного колісного залізничного транспорту для швидкостей руху 200...300 км/год” (№ ДР 0103U001506) та “Наукові основи вибору раціонального електроприводу з безконтактними електромеханічними перетворювачами для перспективного транспорту” (№ ДР 0106U001483), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розвиток наукових основ проектування колісно-моторних блоків при опорно-осьовому підвішуванні асинхронного тягового двигуна з позицій їх динаміки та електромеханічних властивостей електродвигунів у напрямку підвищення швидкості рухомого складу до 160 км/год.

Для досягнення поставленої мети поставлені задачі:

- виявлення факторів, що визначають якість руху колісно-моторного блоку з опорно-осьовою підвіскою асинхронного тягового двигуна при швидкості 160 км/год;
- побудова математичної моделі електромеханічного перетворення енергії, що ураховує вплив на ці фактори параметрів колісно-моторного блоку і колії;

– встановлення шляхом чисельного моделювання закономірності впливу конструктивних параметрів колісно-моторного блоку і збурюючих факторів на динаміку колісно-моторного блоку, а також електромеханічні властивості асинхронного тягового електроприводу.

– розробка на базі встановлених закономірностей технічних пропозицій по створенню електровоза з конструкційною швидкістю 160 км/год і оцінити можливість його руху у складі потягу підвищеної швидкості на одній з ділянок залізниць України.

**Об'єкт дослідження** – процес механічного і електромеханічного перетворювання енергії в тяговому приводі з опорно-осьовою підвіскою тягового асинхронного двигуна електрорухомого складу залізниць.

**Предмет дослідження** – механічні і електричні властивості основних вузлів колісно-моторного блоку електровоза з опорно-осьовою підвіскою тягового асинхронного двигуна.

**Методи дослідження.** Чисельне моделювання систем диференціальних рівнянь, що описують механічні коливання елементів колісно-моторного блоку, диференціальних рівнянь електромеханічного перетворювання енергії в асинхронному тяговому двигуні, що базується на коло-польовому підході з використанням методу кінцевих елементів, а також віртуальне моделювання руху рухомого складу на реальних ділянках залізниць.

**Наукова новизна одержаних результатів** міститься:

– у визначенні переваги з позицій горизонтальних коливань колісно-моторного блоку з опорно-осьовою підвіскою асинхронного тягового двигуна над колісно-моторним блоком на базі двигуна постійного струму, а також незначності впливу цих процесів на рівень динамічної складової сумарного моменту навантаження, який визначає процес електромеханічного перетворювання енергії в асинхронному тяговому двигуні;

– у встановленні визначального впливу вертикальних коливань колісно-моторного блоку, що обумовлені хвилеподібними і одиничними нерівностями колії, на динамічні процеси, як в механічній частині приводу, так і в системі електромеханічного перетворювання енергії;

– в знаходженні факту наявності суттєвих коливань струмів фаз, які обумовлені періодичною зміною сумарного моменту навантаження від взаємодії колісно-моторного блоку з вертикальними хвилеподібними нерівностями колії і менш суттєвих, що обумовлені взаємодією з одиничними нерівностями;

– в створенні програмно-алгоритмічного комплексу, що дозволяє на стадії проектування колісно-моторного блоку з асинхронним тяговим двигуном досліджувати динаміку його механічної частини, а також процеси електромеханічного перетворювання енергії і оцінювати вплив на них динамічних складових сумарного моменту навантаження, що викликається взаємодією з верхньою будовою колії в горизонтальній і вертикальній площині, параметрів нерівностей колії залежно від швидкості руху потягів;

**Практичне значення одержаних результатів** полягає:

- у науковому обґрунтуванні можливості роботи колісно-моторного блоку з опорно-осьовою підвіскою асинхронного тягового двигуна у складі пасажирських електровозів при швидкості руху до 160 км/год;
- в рекомендаціях про необхідність урахування коливань струмів фаз при виборі номіналів елементної бази ключів автономного інвертора напруги і параметрів елементів ланки постійного струму перетворювача;
- в доведеній шляхом імітаційного моделювання можливості на стадії проектування віртуально оцінювати тягові і енергетичні властивості електровозів на реальних ділянках залізниць;
- в універсальності програмно-алгоритмічного комплексу, що дозволяє використовувати його також для дослідження на стадії проектування динамічних режимів роботи асинхронних двигунів загальнопромислового застосування.

Практична цінність підтверджена актом про впровадження дисертаційної роботи від 09.02.2007г. на ДП НПК «Електровозобудування» (м. Дніпропетровськ).

**Особистий внесок здобувача** полягає:

- в розробленні математичної моделі взаємодії колісно-моторного блоку з верхньою будовою колії у горизонтальній і вертикальній площинах, що поєднана з коло-польовою моделлю процесу електромеханічного перетворення енергії в асинхронному двигуні;
- у встановленні шляхом чисельного моделювання закономірності впливу на процес електромеханічного перетворення енергії факторів, що характеризують взаємодію колісно-моторного блоку з верхньою будовою колії;
- у розробці технічної пропозиції по створенню електровоза для пасажирського потягу з конструкційною швидкістю 160 км/год;
- в створенні програмно-алгоритмічного комплексу для дослідження шляхом чисельного моделювання динамічних процесів в системі електромеханічного перетворення енергії колісно-моторного блоку з опорно-осьовою підвіскою асинхронного тягового двигуна.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, технологія, освіта, здоров’я” (2002, 2005, 2006 рр., м. Харків); міжнародних науково-практичних конференціях “Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту” (2005, 2006 рр., м. Дніпропетровськ); семінарах Секції №8 “Фізико-технічні проблеми енергетики електричного і дизель-електричного транспорту” Наукової Ради НАН України по комплексній проблемі “Наукові основи електроенергетики” (2003, 2004 рр., м. Харків)

**Публікації.** Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 8 наукових статтях, з яких 6 у фахових виданнях ВАК України.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків і додатку. Повний об’єм дисертації складає 173 сторінки, з них 11 ілюстрацій по тексту, 52 ілюстрація на 22 сторінках, 11 таблиць по тексту, 1 додаток на 1 сторінці, 106 найменувань літературних джерел на 9 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульовані мета та задачі досліджень. Викладено основні наукові та практичні результати, які отримані в роботі, а також основні положення, що виносяться на захист.

У першому розділі проведено огляд сучасних типів високошвидкісного і швидкісного електричного транспорту, а також приводів, що характеризують його тягові і енергетичні властивості.

В цей час такий транспорт затвердився на ринку транспортних послуг багатьох країн і дозволяє долати відстані в 300...1000 км, за 1,5...3,5 години. Такі показники стають можливими завдяки використуванню тягових приводів на базі безконтактних (асинхронних або синхронних) тягових двигунів що встановлені на підресорених частинах візків або вагонів.

Створення високошвидкісного електричного транспорту вельми витратна технологія. Вартість 1 км шляху лежить в межах 18...50 млн.€, а одиниці рухомого складу – 20...25 млн.€. Зараз об'єктивно виникла потреба в необхідності підвищення швидкості пасажирського сполучення на залізницях України, яка вже почала реалізуватися у вигляді потягів підвищеної швидкості Київ-Харків, Київ-Дніпропетровськ, Київ-Львів, Харків-Сімферополь. Попередні розрахунки показали, що для таких 8-вагонних потягів незмінного складу достатньо двох локомотивів потужністю по 2...2,5 МВт з асинхронним тяговим приводом, що регулюється сучасними системами керування по напрузі та частоті, щоб забезпечити рух таких потягів з максимальною швидкістю 160 км/ч.

Прийнятні капітальні і експлуатаційні витрати таких локомотивів можуть бути забезпечені їх однокабинною конструкцією, яка створена на базі сучасних електровозів, що випускає вітчизняна промисловість, а також використанням в його приводі опорно-осьової підвіски асинхронних тягових двигунів. До незаперечних переваг такого приводу відноситься: простота виготовлення, монтажу і обслуговування; низька вартість і витрати на життєвий цикл; висока ремонтпридатність; невибагливість в експлуатації.

Привод з опорно-осьовою підвіскою на швидкісному і високошвидкісному транспорті не застосовувався. Історично склалося так, що на високошвидкісних потягах перших поколінь (швидкість 200 км/год), де використовувалися колекторні машини постійного або пульсуючого струму, це було неможливо не тільки через неприпустимо високий вплив на колію, але і через негативні наслідки механічного впливу вібрацій на щітково-колекторний вузол, а також на виводи обмоток статора цих машин. Зростання потужності в одиниці виконання, які були обумовлені переходом до асинхронного і синхронного тягового електроприводу, надалі «витрачалися» при тих же типах опорно-рамних і опорно-кузовних приводів на поліпшення динамічних властивостей системи колесо-рейка і приріст тягового зусилля для підвищення швидкості руху до 270...300 км/год. У результаті, питання можливості використання тягового приводу з опорно-осьовою підвіскою асинхронного двигуна при швидкостях руху 160 км/год випав з поля зору дослідників і творців швидкісного рухомого складу електричного транспорту. При цьому, залишилися без відповіді питання, зв'язані:

– з дією необресореної маси колісно-моторного блоку на колію;

– з впливом динамічного моменту, що виникає на валу тягового двигуна, на електромеханічні характеристики елементів електроприводу. Ці питання і склали предмет дослідження дисертаційної роботи, що реферується.

**Другий розділ** присвячено побудові математичної моделі електромеханічного перетворення енергії в колісно-моторному блоці з опорно-осьовою підвіскою асинхронного тягового двигуна і створенню алгоритму для розробки програмно-алгоритмічного комплексу (ПАК), як основного інструменту досліджень.

Система електромеханічного перетворення енергії в колісно-моторному блоці з опорно-осьовим підвішуванням асинхронного тягового двигуна є сукупністю двох підсистем, що взаємодіють між собою: механічної та електромеханічної. Механічна частина колісно-моторного блоку включає колісну пару і тягову передачу, електромеханічна – асинхронний тяговий двигун.

Математична модель електромеханічного перетворення енергії в загальному плані виглядає таким чином:

$$M_c = M_w + \frac{v}{R_k} J_r \frac{di_{rk}}{dt} + F_{tr} \sqrt{h^2 + x^2}; \quad (1)$$

$$M - M_c = J_r \frac{d\omega_r}{dt}; \quad (2)$$

$$M = \sum_{j=1}^m \left( \vec{r}_j \times L \int_{S_j} (\vec{\delta} \times \vec{B}) dS_j \right). \quad (3)$$

Рівняння (1) описує процеси у механічній частині, що визначаються величиною сумарного моменту навантаження, що приведений до валу тягового двигуна, і характеризується наявністю постійної і динамічної складових

$$M_c = M_w + M_d,$$

де:  $M_w$  – постійна складова, що обумовлена опором руху потягу;  $M_d = M_{di} + M_{tr}$  – динамічна складова, що обумовлена взаємодією колісної пари з верхньою будовою колії;  $M_{di}$  і  $M_{tr}$  – складові динамічного моменту, що характеризують взаємодію колісно-моторного блоку і верхньої будови колії у вертикальній і горизонтальній площинах відповідно.

Перша складова динамічного моменту  $M_{di}$  є функцією зміни передавального відношення –  $i_{rk}$ . При  $v = const$  і  $R_k = const$

$$M_{di} = \frac{v}{R_k} J_r \frac{di_{rk}}{dt},$$

де:  $v$  – швидкість руху локомотива;  $R_k$  – радіус колеса.

На зміну передавального відношення у приводі з опорно-осьовою підвіскою тягового двигуна, який через наявність двох степенів свободи є диференціальним, впливає поворот остову тягового двигуна відносно його точки опори на раму візка. Цей поворот остову обумовлений вертикальними переміщеннями візка і колісної пари при взаємодії з нерівностями верхньої будови колії.

Другою складовою є момент тертя –  $M_{tr}$ , що обумовлений виникненням контакту гребеня колеса з боковою поверхнею рейки

$$M_{tr} = F_{tr} \sqrt{h^2 + x^2},$$

де:  $F_{tr}$  – сила тертя в контактї гребеня колеса з боковою поверхнею рейки;  $h$  – відстань від площини шляху до точки контакту гребеня з боковою поверхнею рейки,  $x$  – “забіг” гребеня.

Взаємодія між механічною і електромеханічною підсистемами описується рівнянням руху електроприводу (2), де:  $M$  – електромагнітний момент тягового двигуна;  $M_c$  – сумарний момент навантаження на валу тягового двигуна;  $J_r \frac{d\omega_r}{dt}$  – інерційний момент, що виникає в наслідок зміни швидкості обертання;  $J_r$  – момент інерції ротора тягового двигуна;  $\omega_r$  – частота обертання ротора.

Процеси в електромеханічній частині приводу характеризуються величиною електромагнітного моменту (3), де:  $\vec{r}_j$  – радіус-вектор прикладання сили,  $\vec{\delta}$  – вектор щільності струму,  $\vec{B}$  – вектор магнітної індукції областей зі струмами в обмотці ротора;  $L$  – довжина ротора.

Динамічні процеси в колісно-моторному блоці, що розглядаються нами, обумовлені взаємодією колісної пари з нерівностями верхньої будови колії при русі зі сталою швидкістю, носять періодичний характер і не розвиваються в часі подібно процесу боксування. Тому можна припустити, що зміна електромагнітного моменту тягового двигуна, яка викликана динамічними процесами в механічній частині колісно-моторного блоку, не призведе до різкої зміни швидкості руху і розвитку нестационарних процесів через велику інерційність елементів механічної частини колісно-моторного блоку, а також наявності значної сили зчеплення в контактї “колесо-рейка”.

Це допущення дозволяє розділити модель на два окремі блоки:

– блок моделювання динамічних процесів в механічній частині, що включає моделі взаємодії колісно-моторного блоку і колії у вертикальній і горизонтальній площині;

– блок моделювання процесів в системі електромеханічного перетворення енергії.

Сумарний момент навантаження, який отримано в результаті моделювання процесів в механічній частині, є вхідним параметром для системи електромеханічного перетворювання енергії. Моделювання системи електромеханічного перетворювання енергії проводиться спільно з рівнянням руху, оскільки потокозчеплення контурів і електромагнітний момент асинхронного тягового двигуна однозначно визначається функціональною залежністю, аргументом якої є, у тому числі, і кутова координата ротора.

Такий підхід дозволяє, застосувавши принцип модульної побудови програмно-алгоритмічного комплексу, використовувати більш прості чисельні методи для вирішення математичної моделі і таким чином істотно скоротити витрати машинного часу. Блок-схема програмно-алгоритмічного комплексу для дослідження робочих властивостей колісно-моторного блоку з асинхронним тяговим двигуном шляхом чисельного моделювання показана на рис. 1.





Рис. 1. Блок-схема програмно-алгоритмічного комплексу

Тому чисельне моделювання з метою дослідження робочих властивостей колісно-моторного блоку з опорно-осьовим підвищенням асинхронного тягового двигуна прийнято проводити в два етапи. На першому етапі моделюються динамічні процеси в механічній частині колісно-моторного блоку і визначаються значення як кожного з складових динамічного моменту, так і сумарного моменту навантаження, що приведений до валу тягового двигуна. На другому етапі здійснюється моделювання процесу електромеханічного перетворення енергії в тяговому асинхронному двигуні, як наслідку дії сумарного моменту навантаження.

У третьому розділі розглядаються горизонтальні коливання колісно-моторного блоку. Приведені вихідні положення до складання математичної моделі. Представлено математичну модель, що зв'язує параметри колісно-моторного блоку і колії з факторами, які характеризують горизонтальні коливання колісно-моторного блоку. Представлені результати чисельного моделювання взаємодії колісно-моторного блоку і колії в горизонтальній площині та їх аналіз.

При поперечних переміщеннях колісно-моторного блоку в горизонтальній площині має місце віджимання рейки і поява так званої направляючої сили, що діє на колісну пару та визначає траєкторію руху екіпажу. Дія направляючої сили на колісну пару призводить до виникнення моменту тертя, як наслідку взаємодії гребеня з боковою поверхнею рейки. Цей момент і є динамічною складовою сумарного моменту навантаження від взаємодії колісно-моторного блоку і колії в горизонтальній площині.

Тому у якості факторів, що характеризують взаємодію колісно-моторного блоку з верхньою будовою колії в горизонтальній площині, прийняте значення віджимання рейок і значення моменту тертя, що приведений до валу тягового двигуна. Значення прийнятих факторів визначаються такими параметрами колісно-моторного блоку, як: тип тягового двигуна, тип тягової передачі, передавальне відношення редуктора, масо-інерційні характеристики елементів колісно-моторного блоку, пружно-демпфуючі характеристики зв'язків, масові і пружно-демпфуючі характеристики верхньої будови колії в поперечному напрямі.

Математична модель, що описує взаємодію колісно-моторного блоку з верхньою будовою колії в горизонтальній площині виглядає таким чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_k \ddot{\eta}_k + B_y (\dot{\eta}_k + \dot{\varphi}_k l_w) + K_y (\eta_k + \varphi_k l_w) = 0; \\ I_{zk} \ddot{\varphi}_k + B_y l_w (\dot{\eta}_k + \dot{\varphi}_k l_w) + B_x l_a^2 \dot{\varphi}_k + K_y l_w (\eta_k + \varphi_k l_w) + K_x l_a^2 \varphi_k = 0; \\ (M_k + M_t) \ddot{\eta}_{ti} + (B_y + B_t) (\dot{\eta}_{ti} + \dot{\varphi}_k l_w) + (K_y + K_t) (\eta_{ti} + \varphi_k l_w) = 0; \\ I_{zk} \ddot{\varphi}_k + l_w (B_y + B_r) (\dot{\eta}_{ti} + \dot{\varphi}_k l_w) + B_x l_a^2 \dot{\varphi}_k + l_w (K_y + K_r) (\eta_{ti} + \varphi_k l_w) + K_x l_a^2 \varphi_k = 0; \\ \left( I_{yv} + \frac{I_{yr}}{i^2} \right) \ddot{\psi}_v + B_\psi (\dot{\psi}_v - \dot{\psi}_w) + K_\psi (\psi_v - \psi_w) = 0; \\ I_{yw} \ddot{\psi}_w + B_\psi (\dot{\psi}_w - \dot{\psi}_v) + K_\psi (\psi_w - \psi_v) = 0; \end{array} \right.$$

де:  $\eta_k$  – поперечне переміщення колісно-моторного блоку;  $\varphi_k$  – поворот колісно-моторного блоку навкруги вертикальної вісі, що проходить через його центр ваги;  $\psi_r$  – кутові переміщення ротора тягового двигуна;  $\psi_w$  – кутові переміщення колісної пари;  $\eta_{t1}, \eta_{t2}$  – віджимання рейок.

В результаті чисельного моделювання були отримані значення прийнятих факторів для швидкості 160 км/год і їх залежність від параметрів колісно-моторного блоку. Найбільш характерні результати наведені на рис. 2...7.

Встановлено, що колісно-моторний блок з опорно-осьовою підвіскою асинхронного тягового двигуна має переваги в порівнянні з колісно-моторним блоком на базі двигуна постійного струму з точки зору його дії на колію. Результати чисельного моделювання при варіюванні параметрів колісно-моторного блоку показали також, що на значення віджимання рейки найістотніший вплив надає маса колісно-моторного блоку і жорсткість його поперечних зв'язків з рамою візка. На значення моменту тертя, що приведений до валу тягового двигуна, найістотніший вплив надає передавальне відношення редуктора.

Значення моменту тертя, що приведено до валу тягового двигуна, для колісно-моторного блоку з асинхронним тяговим двигуном, що розглядається в даній роботі, складає 60 Нм, а номінальне значення електромагнітного моменту двигуна – 5000 Нм. Вплив цієї складової динамічного моменту на електромагнітні процеси, що відбуваються в асинхронному тяговому двигуні, неістотний.

**У четвертому розділі** розглядається взаємодія колісно-моторного блоку і колії у вертикальній площині. Приведені вихідні положення до складання математичної моделі. Представлено математичну модель, що зв'язує параметри колісно-моторного блоку і колії з факторами, що характеризують динаміку колісно-моторного блоку у вертикальній площині. Представлено результати чисельного моделювання і їх аналіз. Дослідження проведені як для двох колісно-моторних блоків у складі одного візка, так і для одиночного колісно-моторного блоку. Приведений розрахунок впливу локомотива на верхню будову колії.

Коливання елементів колісно-моторного блоку і надресорної будови, що викликаються взаємодією колісної пари з нерівностями верхньої будови колії, призводять до виникнення в тяговій передачі динамічного моменту, який характеризує взаємодію колісної пари і верхньої будови колії з точки зору його впливу на процес електромеханічного перетворення енергії. В елементах

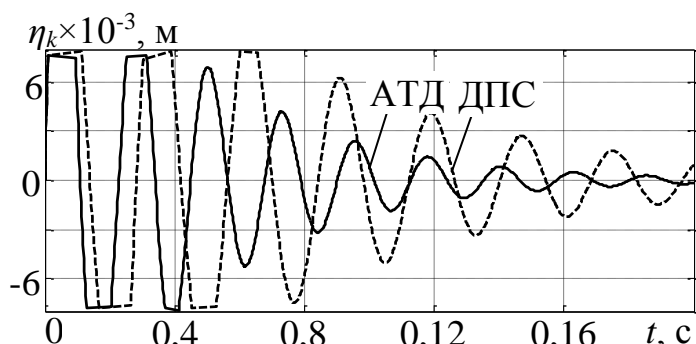


Рис. 2. Амплітуда поперечних коливань колісно-моторного блоку з АТД і двигуном постійного струму

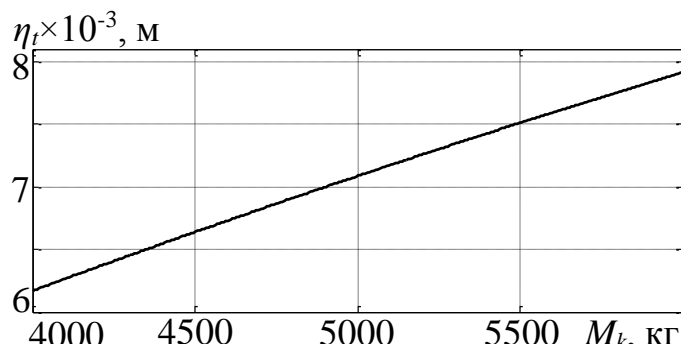


Рис. 3. Залежність віджимання рейки від маси колісно-моторного блоку

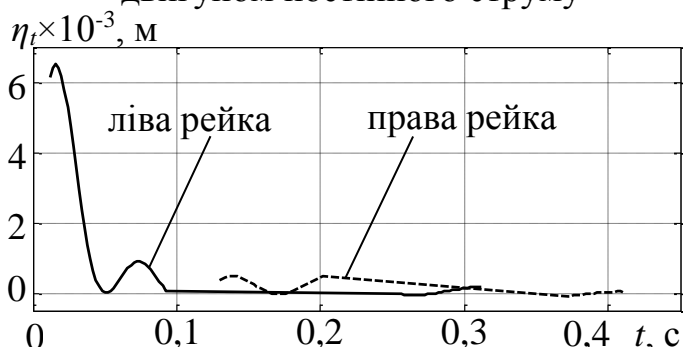


Рис. 4. Віджимання рейок для колісно-моторного блоку з асинхронним тяговим двигуном

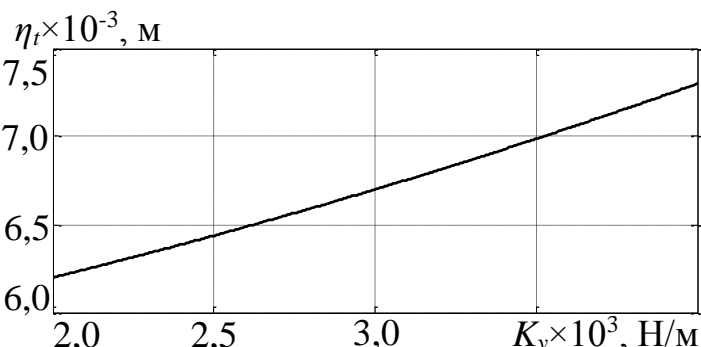


Рис. 5. Залежність віджимання рейки від жорсткості поперечних зв'язків букси з рамою візка

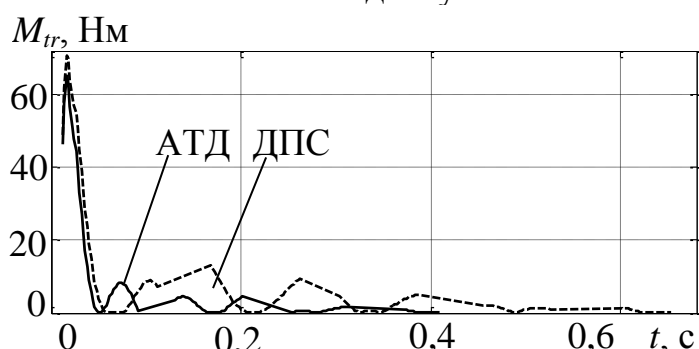


Рис. 6. Залежність динамічного моменту від тертя гребеня з рейкою, що приведена до валу тягового двигуна

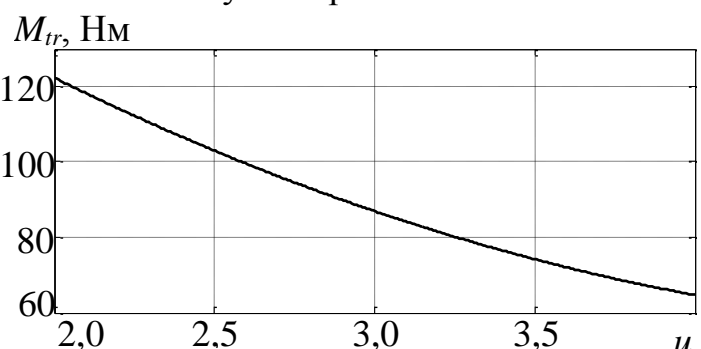


Рис. 7. Залежність динамічного моменту від передавального відношення редуктора

верхньої будови колії виникають напруження, величина яких залежить від швидкості руху.

Виходячи з цього, у якості факторів, що характеризують взаємодію колісно-моторного блоку з верхньою будовою колії у вертикальній площині доцільно прийняти величину динамічного моменту в приводі, що приведений до валу тягового двигуна, і величини напружень у елементах верхньої будови колії під локомотивом, що рухається.

Значення прийнятих факторів визначається наступними параметрами локомотива і верхньої будови колії: масо-інерційні характеристики елементів колісно-моторного блоку, візка і кузова; пружно-демпфуючі характеристики елементів буксової і кузовної ступені підвішування, геометричні параметри нерівностей верхньої будови колії і т.д.

Чисельне моделювання динамічних процесів у механічній частині колісно-моторного блоку, що характеризують вплив взаємодії колісної пари з нерівностями верхньої будови колії на значення динамічної складової сумарного моменту навантаження з урахуванням коливань надресорної будови, проводилося для швидкостей руху 60, 160 та 200 км/ч.

Нерівності верхньої будови шляху при дослідженнях були представлені різними варіантами сполучення хвилеподібних і одиничних нерівностей. Було розглянуто 4 варіанти сполучення хвилеподібних і одиничних нерівностей: початок одиничної нерівності співпадає з максимумом хвилеподібної нерівності, з мінімумом хвилеподібної нерівності, з нульовою точкою хвилеподібної нерівності на висхідній і низхідній ділянках. Найбільший вплив на динамічні процеси в механічній частині колісно-моторного блоці призводять коливання візка при взаємодії з хвилеподібними нерівностями, оскільки вони безпосередньо впливають на кут повороту остову тягового двигуна. Коливання надресорної будови через значну інерційність його елементів і короткочасності силової дії, що є близькою до ударної, при взаємодії з одиничними нерівностями, неістотні.

Як показали результати чисельного моделювання динамічних процесів механічної частини колісно-моторного блоку, рішення задач, пов'язаних з дослідженням швидкоплинних динамічних процесів, не вимагає використання моделей, що дозволяють розглядати сумісні коливання елементів передачі, ходової частини і надресорної будови. Виходячи з цих міркувань, і, беручи до уваги напрям досліджень, була створена математична модель одиночного колісно-моторного блоку, яка дозволяє аналізувати вплив вертикальних прискорень колісної пари при взаємодії з одиничними нерівностями колії на значення динамічної складової сумарного моменту навантаження на валу тягового двигуна. При цьому колісно-моторний блок розглядається як плоска система з двома ступенями свободи.

Математична модель, що встановлює зв'язок між вертикальними переміщеннями колісної пари і динамічним моментом на валу тягового двигуна записується у вигляді:

$$\begin{cases} C_1 \ddot{z}_k + B_z \dot{z}_k - B_\psi (\dot{\psi}_w - C_2 \dot{z}_k) C_2 + K_z z_k - K_\psi (\psi_w - C_2 z_k) C_2 = 0; \\ I_w \ddot{\psi}_w + B_\psi (\dot{\psi}_w - C_2 \dot{z}_k) + K_\psi (\psi_w - C_2 z_k) = 0; \end{cases}$$

де:  $z_k$  – вертикальне переміщення колісної пари;  $\psi_w$  – кутова координата пружного зубчатого вінця;  $C_1 = \frac{J_{pr}(1+u)}{L_d}$  и  $C_2 = \frac{(1+u)}{L_d u}$  – коефіцієнти що враховують інерційні

і геометричні параметри колісно-моторного блоку;  $J_{pr} = J_r + J_{yv}/u^2$  – приведений момент інерції ротору;  $J_r$  – момент інерції ротору;  $J_{yv}$  – момент інерції пружного вінця зубчатого колеса;  $u$  – передавальне відношення зубчатої пари;  $L_d$  – база підвішування тягового двигуна.

Чисельне моделювання динамічних процесів у механічній частині колісно-моторного блоку, що викликані взаємодією з одиничними нерівностями шляху, проводилося нами для значень вертикальних прискорень колісної пари 120, 220 і 280 м/с<sup>2</sup>.

При цьому досліджувався вплив на значення динамічного моменту непідресореної маси колісно-моторного блоку, яка визначається в основному типом двигуна (постійного струму або асинхронний), що використовується, і жорсткістю пружних елементів вінця зубчастого колеса. Характерні результати моделювання наведені на рис. 8...10. На рис. 8 і 9 наведені графіки зміни амплітуди динамічного моменту на валу тягового двигуна для колісно-моторного блоку з двигунами постійного струму та асинхронним. На рис. 10 наведена залежність значення динамічного моменту в приводі з опорно-осьовою підвіскою асинхронного двигуна від жорсткості пружних елементів зубчастого вінця при вертикальному прискоренні колісної пари  $220 \text{ м/с}^2$ . Коефіцієнт демпфування не робить істотного впливу на значення динамічного моменту, оскільки демпфування визначається характеристиками матеріалу пружних елементів. Очевидно, що значення динамічного моменту на валу асинхронного двигуна в 1,25 раз перевищує значення динамічного моменту на валу двигуна постійного струму, що обумовлено його нижчими інерційними показниками. Визначальний вплив на значення динамічного моменту надає

вертикальне прискорення колісної пари і жорсткість пружних елементів зубчастого вінця. Так в колісно-моторному блоці з асинхронним тяговим двигуном при збільшенні вертикального прискорення колісної пари з  $120$  до  $280 \text{ м/с}^2$ , динамічний момент зростає з  $5930$  до  $13800 \text{ Нм}$ , тобто в  $2,3$  раза. Збільшення жорсткості пружних елементів зубчастого вінця з  $1 \cdot 10^6$  до  $2 \cdot 10^6 \text{ Н·м/рад}$  приводить до зростання значення динамічного моменту до  $22600 \text{ Нм}$ , що зіставно зі значеннями, що отримані для жорсткої передачі.

З точки зору дії колісно-моторного блоку на колію визначальною величиною є напруження у кромці рейки. Виходячи з цього, зниження непідресореної маси тягового приводу до  $4800 \text{ кг}$  на вісь дозволяє підвищити швидкість руху до  $160 \text{ км/год}$ , що можливе при використуванні асинхронного тягового двигуна. З погляду напруження в шпалах і гравійному баласті для швидкості  $100 \dots 160 \text{ км/год}$  і непідресореної маси  $4000 \dots 6000 \text{ кг}$  обмежень немає.

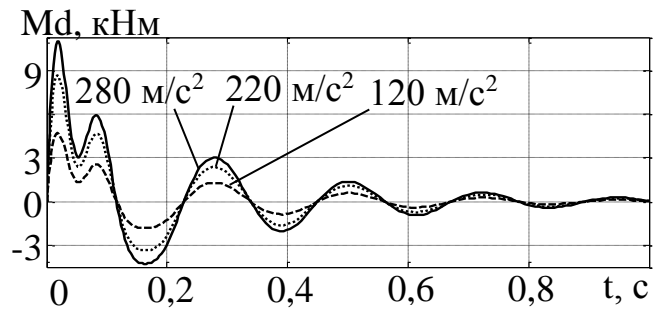


Рис. 8. Динамічний момент на валу двигуна постійного струму

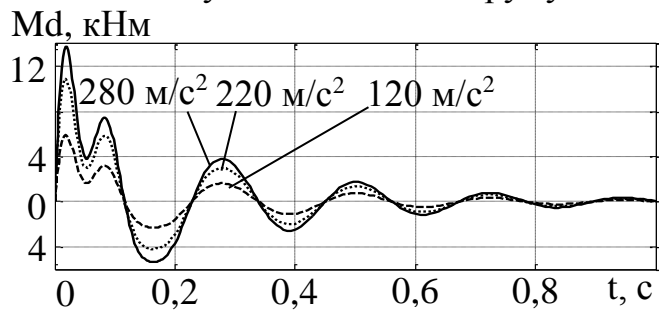


Рис. 9. Динамічний момент на валу асинхронного двигуна

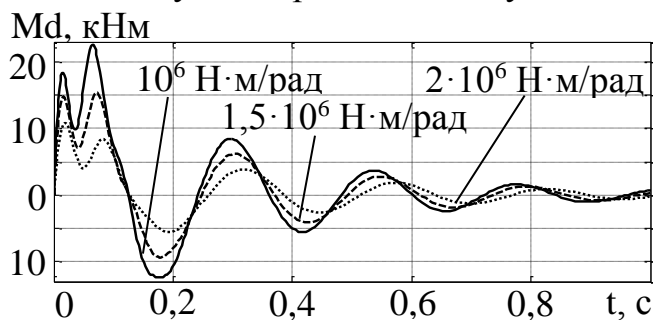


Рис. 10. Динамічний момент на валу асинхронного двигуна при різних значеннях жорсткості пружного вінця зубчастого колеса

У п'ятому розділі розглядається процес електромеханічного перетворення енергії в асинхронному тяговому двигуні. Викладені вихідні положення для складання математичної моделі. Представлено модель електромеханічного перетворення енергії. Наведено результати чисельного моделювання процесу електромеханічного перетворення енергії при дії на валу асинхронного тягового двигуна динамічної складової моменту навантаження для різних швидкостей руху.

Динамічні процеси в механічній частині колісно-моторного блоку, що обумовлені взаємодією колісно-моторного блоку з верхньою будовою колії, призводять до розвитку перехідних електромагнітних процесів в тяговому двигуні, які впливають, в кінцевому рахунку, на якість процесу електромеханічного перетворення енергії.

Якість процесу електромеханічного перетворення енергії в тягових приводах електрорухомого складу визначається з одного боку постійністю величини електромагнітного моменту, а з другого боку впливом перехідних процесів в тяговому двигуні на систему його живлення і управління.

Виходячи з цього, у якості факторів, що характеризують процес електромеханічного перетворення енергії, доцільно вибрати значення електромагнітного моменту і струмів фаз тягового двигуна, що впливають на робочі властивості перетворювача.

В якості параметра, що дозволяє оцінити вплив швидкості руху і показників нерівностей колії на значення вибраних факторів, прийнято сумарний момент навантаження на валу тягового двигуна, що характеризує процеси динамічної взаємодії колісно-моторного блоку з верхньою будовою колії.

Коло-польова математична модель електромеханічного перетворення енергії в трифазному асинхронному тяговому двигуні з короткозамкнутим ротором виглядає таким чином:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi_A}{dt} = u_A - i_A R_A; \\ \frac{d\Psi_B}{dt} = u_B - i_B R_B; \\ \frac{d\Psi_C}{dt} = u_C - i_C R_C; \\ \left[ \frac{d\Psi}{dt} \right] = [K]^{-1} \times ([R] \times [i]); \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{M - M_c}{J_r}; \\ \frac{d\gamma_r}{dt} = \omega_r; \end{cases}$$

де:  $u_A, u_B, u_C$  – напруги у фазах обмотки статора;  $i_A, i_B, i_C$  – струми фаз обмотки статора;  $R_A, R_B, R_C$  – активні опори фаз обмотки статора;  $\Psi_A, \Psi_B, \Psi_C$  – потокозчеплення фаз;  $\omega_r$  и  $\gamma_r$  – кутова швидкість і координата ротора;  $J_r$  – момент інерції ротора;  $M$  – електромагнітний момент;  $M_c$  – сумарний момент навантаження.

Система рівнянь електричних контурів короткозамкнутої обмотки ротора в матричній формі має вигляд

$$[R] \times [i] = [e],$$

де:  $[e] = \left[ \frac{d\Psi_i}{dt} - \frac{d\Psi_{i+1}}{dt} \right]$  – вектор-стовпець контурних е.р.с.;  $\Psi_i$  и  $\Psi_{i+1}$  – потокозчеплення сусідніх стрижнів;  $[i]$  – вектор-стовпець контурних струмів короткозамкнутої обмотки ротора;  $[R]$  – матриця активних опорів

$$[R] = \begin{bmatrix} 2R_c + 2R_k & -R_c & 0 & 0 & 0 & \dots & -R_c & -R_k \\ -R_c & 2R_c + 2R_k & -R_c & 0 & 0 & \dots & 0 & -R_k \\ 0 & -R_c & 2R_c + 2R_k & -R_c & 0 & \dots & 0 & -R_k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -R_c & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 2R_c + 2R_k & -R_k \\ -R_k & -R_k & -R_k & -R_k & -R_k & & -R_k & -nR_k \end{bmatrix};$$

$2R_c + 2R_k, nR_k$  – опори контурів короткозамкнутої обмотки ротора і короткозамикаючого кільця;  $R_c, R_k$  – опори стрижнів і ділянок короткозамикаючих кілець;  $n$  – число стрижнів короткозамкнутої обмотки ротора.

За умови, що опори стрижнів і короткозамикаючих кілець обмотки ротора є постійні величини, струми, що протікають у них квазістаціонарні, а електричне коло – лінійне, рівняння які визначають струми у колах ротора, складені за методом контурних струмів, виглядають таким чином

$$\left[ \frac{d\Psi}{dt} \right] = [K]^{-1} \times ([R] \times [i]),$$

де  $[K]$  – матриця коефіцієнтів.

$$K = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Введення контурних струмів дає можливість зменшити кількість рівнянь в моделі і спрощує перетворення математичної моделі при переході до програмно-орієнтованого вигляду.

Чисельне моделювання процесу електромеханічного перетворення енергії проводилося при дії на валу тягового двигуна сумарного моменту навантаження, відповідного швидкостям 60, 160 і 200 км/год. Найхарактерніші результати приведені на рис. 11...17.

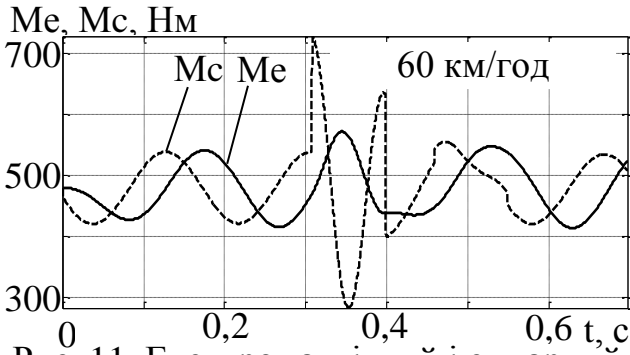


Рис. 11. Електромагнітний і сумарний момент навантаження

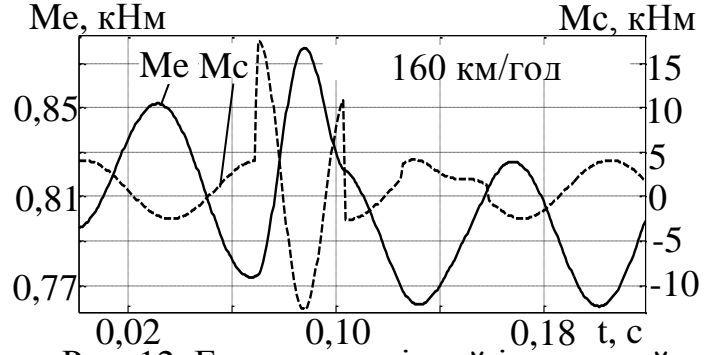


Рис. 12. Електромагнітний і сумарний момент навантаження

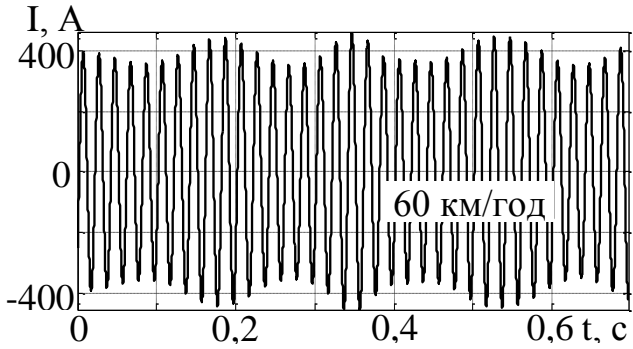


Рис. 13. Струм фази тягового двигуна

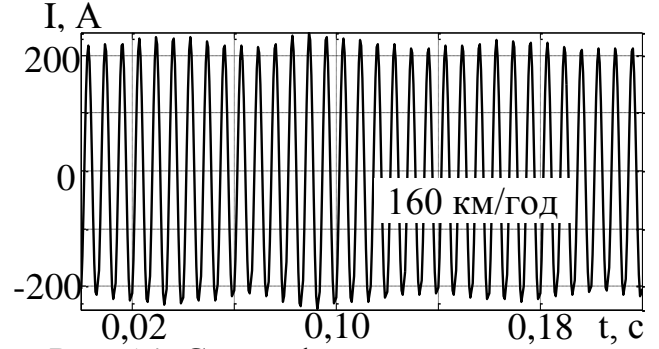


Рис. 14. Струм фази тягового двигуна

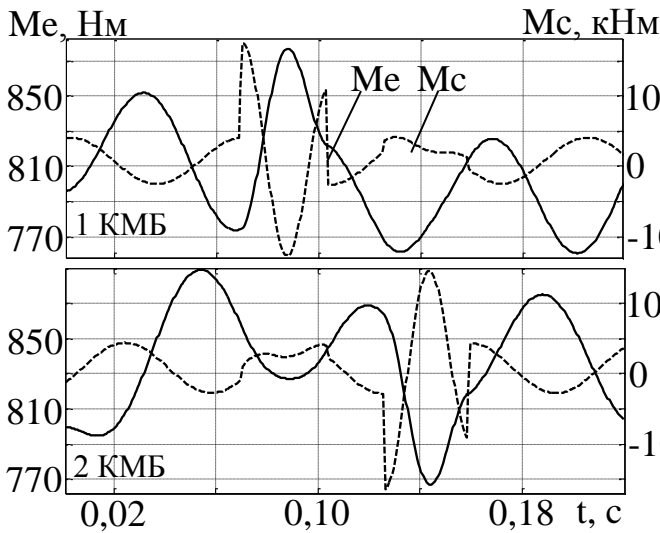


Рис. 15. Електромагнітні і моменти навантаження тягових двигунів на швидкості 160 км/год

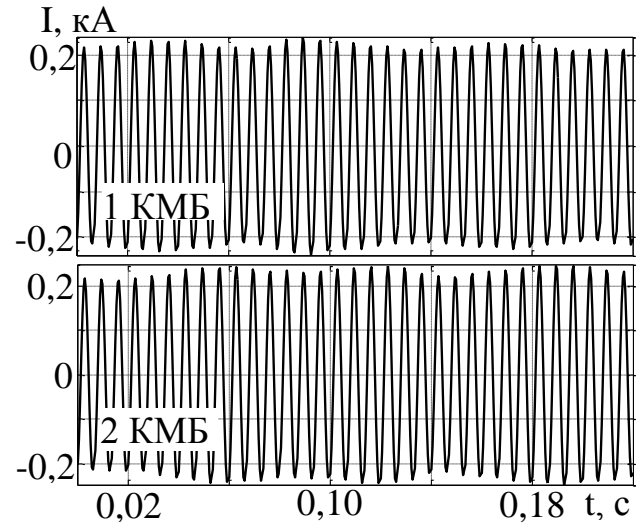


Рис. 16. Струми фаз тягових двигунів на швидкості 160 км/год

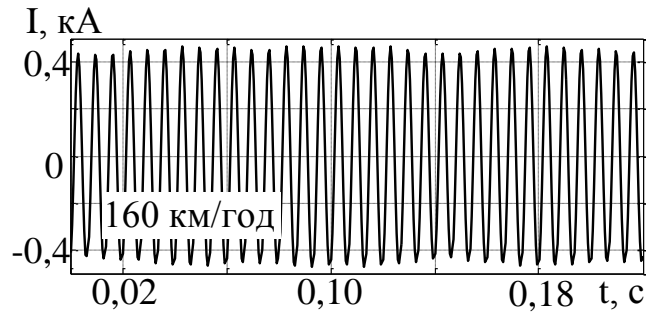
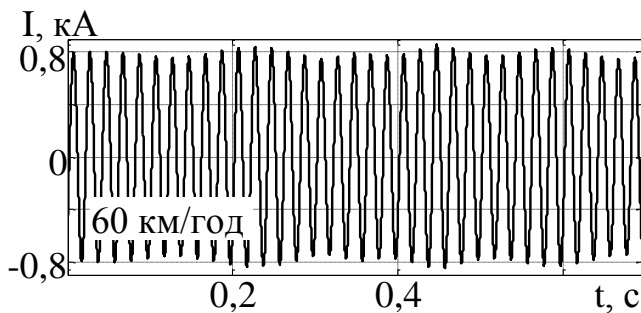


Рис. 17. Струми фаз при груповому живленні тягових двигунів для швидкостей 60 і 160 км/год



Встановлено, що значення динамічної складової моменту навантаження значно зростає по відношенню до сталого значення. Так, при швидкості 60 км/год значення періодичної складової моменту навантаження перевищує стале значення в 1,12 раз, при швидкості 160 км/год це перевищення складає 5 разів. При збільшенні швидкості руху росте відставання за фазою електромагнітного моменту від моменту навантаження, амплітуда коливань струмів фаз щодо номінальних значень зменшується, а постійна складова струму – збільшується. Це обумовлене інерційністю електромеханічної системи. Так, при швидкості 60 км/год, амплітуда коливань струму фази складає 22% номінальної, а постійна складова практично дорівнює нулю. При швидкості руху 200 км/год амплітуда коливань складає 4,5% номінальної, а постійна складова – 10%. Імпульсна дія при взаємодії з одиничними нерівностями колії не призводить до істотної зміни значень електромагнітного моменту і струмів фаз (1,5...6% максимальних значень цих величин при періодичній зміні), через короткочасність дії, а також через електромагнітну і механічну інерційність системи. При груповому живленні двигунів від одного перетворювача амплітуда струмів фаз визначається сумою струмів двох двигунів, що встановлені на візку, а частота їх коливань, як і при індивідуальному живленні, визначається частотою впливу хвилеобразних нерівностей. Амплітуди коливання струмів зменшуються при збільшенні швидкості і складають 8...12% номінального значення.

**У шостому розділі** наведені технічні пропозиції по створенню електровоза для пасажирського потягу з конструкційною швидкістю 160 км/год. Наведені технічні характеристики електровоза. Проведено віртуальне моделювання роботи електровоза у складі 8-вагонного потягу підвищеної швидкості на ділянці шляху магістралі Київ-Харків.

Під час аналітичних досліджень, що описані в першому розділі дисертації, встановлено, що мають місце дві особливості рухомого складу, які забезпечили йому високу експлуатаційну швидкість, прийнятний рівень енергоспоживання, комфортні умови поїздки, а також високий рівень надійності і ремонтпридатності. Це, по-перше, незмінність складу високошвидкісних потягів і, по-друге, високий ступінь пристосовування електрорухомого складу до конкретних умов експлуатації, тобто використання на конкретних дорогах строго певних типів потягів.

Базуючись на цих міркуваннях і на результатах проведених в ході виконання цієї дисертаційної роботи досліджень, був розроблений концептуальний проект електровоза для пасажирського потягу з конструкційною швидкістю 160 км/год.

У якості локомотивів було прийнято два однокабінних електровози змінного струму потужністю по 2000 кВт і масою 86 т кожний. Технічні характеристики електровоза наведені в табл. 1.

Для розрахунку кривих руху потягу і визначення його електроенергетичних показників було розроблено програмний блок PotyagAD, структурна схема якого наведена на рис. 18.

Технічні характеристики електровозу

Осьова формула	$2_0 - 2_0$
Розміри, мм	
Колія, мм	1520
База локомотива, мм	9 900
База візка, мм	2600
Діаметр коліс, мм	1250
Маса локомотива, т	86
Максимальна швидкість, км/год	160
Тривала потужність, кВт	2000
Сила тяги при зрушенні, кН	300
Система тягового електропостачання	25 кВ, 50 Гц
Тип електроприводу	асинхронний двигун, 4q-s та АІН на базі IGBT-транзисторів
Регулювання тягового приводу	групове
Підвішування тягового двигуна	опорно-осьове
Вузол передачі сили тяги	похила тяга
Механічне гальмо	пневматичний, дисковий
Електричне гальмо	рекуперативний



Рис. 18. Програмний блок PotyagAD

Результати моделювання руху пасажирського потягу приведені на рис. 19.

Аналізуючи ці залежності, приходимо до наступних висновків. На кривих маємо всі режими роботи електрорухомого складу: розгін (а), рух при повній потужності (b), рух при частковій потужності (c), рух на холостому ході (d), рекуперативне гальмування (e), механічне гальмування (f). Усі залежності відповідають загально прийнятим уявленням згідно з поглядом впливу профілю шляху, обмежень по прискоренню, а також потужностних та електрофізичних показників електровозу. Швидкість руху на цій ділянці магістралі відповідала гранично допустимим значенням і коливалася в межах 110...170 км/год. Звернемо увагу, що приведені в розділі 4 показники впливу на колію визначалися нами, виходячи з невіднесеної маси колісно-моторного блоку на рівні 4,5 т.

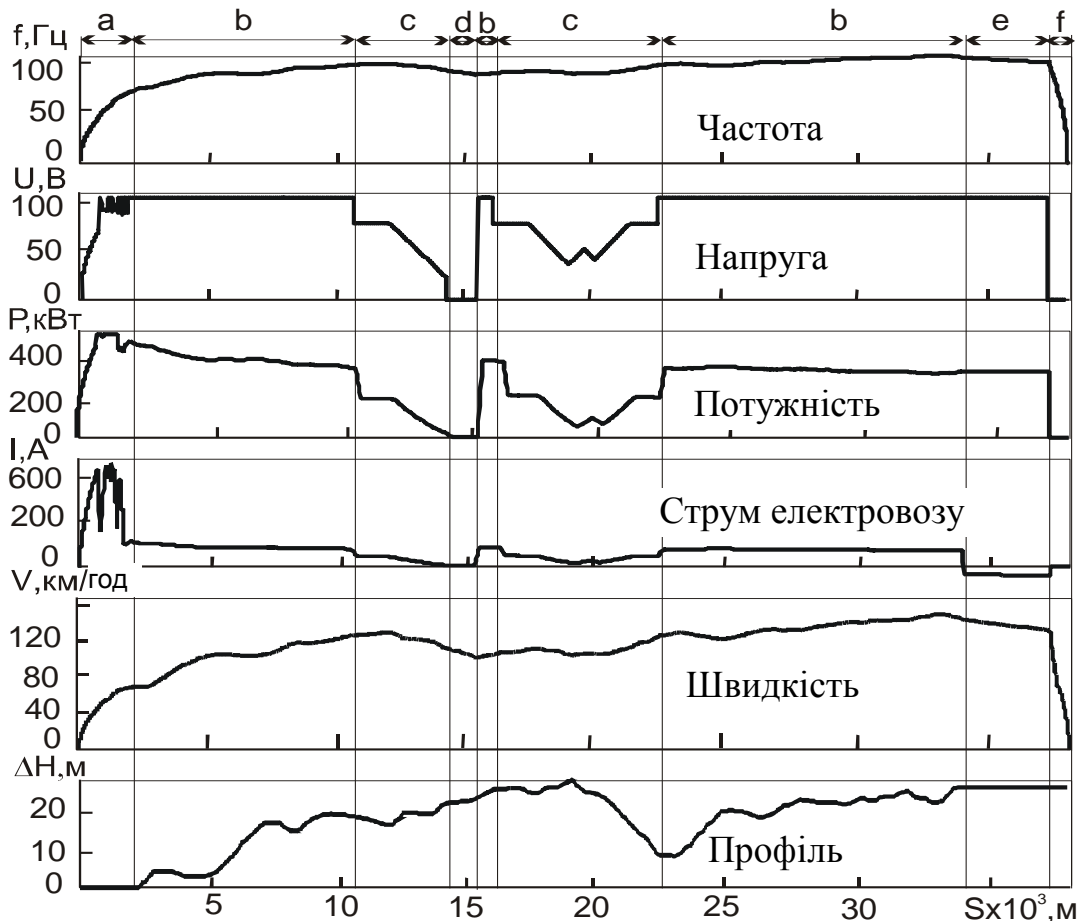


Рис. 19. Криві руху і електроенергетичні показники потягу

Тому, щоб забезпечити швидкість руху 170 км/год, неподресорена маса повинна бути зменшена пропорційно квадрату швидкості і мати значення не більше 4 т.

Цього можна досягти застосуванням в ходовій частині порожнистих осей, корпусних елементів буксових вузлів і редукторів, а також елементів підвіски тягових двигунів з алюмінієвих сплавів.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі дослідження впливу динамічних процесів в тяговій передачі електровозу, що викликані взаємодією з нерівностями верхньої будови колії, на процес електромеханічного перетворення енергії в асинхронному тяговому двигуні.

1. В результаті виконання дисертаційної роботи отримали подальший розвиток наукові основи проектування колісно-моторних блоків з опорно-осьовим підвішуванням асинхронних тягових двигунів, які полягають у створенні програмно-алгоритмічного комплексу, що дозволяє шляхом чисельного моделювання досліджувати динаміку колісно-моторного блоку в поєднанні з електромеханічними процесами в тяговому електроприводі. Програмно-алгоритмічний комплекс базується на математичній моделі, електромеханічне перетворення енергії в якій визначається трьома незалежними складовими сумарного моменту навантаження на валу тягового електродвигуна: опором руху

потягу, динамічною складовою, що обумовлена вертикальними коливаннями візка і колісної пари, а також моментом тертя від контакту гребеня колеса з бічною поверхнею рейки.

2. В якості факторів, що характеризують взаємодію колісно-моторного блоку з верхньою будовою шляху в горизонтальній площині, прийнято віджимання рейки і момент тертя, що приведений до валу тягового двигуна. На віджимання рейок найістотніший вплив надають маса колісно-моторного блоку і жорсткість його поперечних зв'язків з рамою візка. На значення моменту тертя найбільш істотно позначається передавальне відношення редуктора, маса колісно-моторного блоку і параметр демпфування пружних елементів зубчатого вінця. Вплив цієї складової динамічного моменту на електромагнітні процеси, що відбуваються в асинхронному тяговому двигуні, неістотний.

3. Процеси, що відбуваються в колісно-моторному блоці при взаємодії з верхньою будовою колії у вертикальній площині, досліджувалися за наявності хвилеподібних періодичних і імпульсних одиничних нерівностей. Встановлено, що динамічний момент від взаємодії з хвилеподібними нерівностями має періодичний характер і перевищує номінальний в 1,2 раз при швидкості руху 200 км/год. При взаємодії з одиничними нерівностями динамічний момент має імпульсний характер і при тому ж значенні швидкості перевищує номінальний в 5 разів. Найістотніший вплив на величину динамічного моменту для певної конструкції колісно-моторного блоку надає швидкість руху і параметри нерівностей верхньої будови колії.

4. Знайдено, що в процесі електромеханічного перетворювання енергії для першого і другого колісно-моторного блоку одного візка при швидкостях руху 60, 160 і 200 км/год мають місце коливання (до 22% номінального значення) фазних струмів асинхронного двигуна, що обумовлені взаємодією колісно-моторного блоку з хвилеподібними і одиничними нерівностями верхньої будови колії. Визначальне значення мають хвилеподібні нерівності. Менш істотно позначається взаємодія з одиничними нерівностями. Ці коливання струмів фаз слід ураховувати як при виборі номіналів елементної бази ключів автономного інвертора напруги, так і параметрів елементів ланки постійного струму перетворювача.

5. На базі встановлених закономірностей розроблені технічні пропозиції щодо створення електровозу для пасажирського потягу з конструкційною швидкістю 160 км/год. Віртуальне дослідження руху такого локомотива у складі 8-вагонного потягу підвищеної швидкості Київ-Харків на ділянці між 62 і 98 км Південно-західної залізниці показало можливість досягнення ним швидкостей 110...170 км/год. Програмно-алгоритмічний комплекс також дає можливість віртуально одержувати і досліджувати тягові і струмові характеристики сучасних електровозів при русі їх у складі потягів будь-яких типів на конкретних ділянках залізниць із заданим профілем шляху.

6. Розроблені в дисертаційній роботі технічні пропозиції по створенню пасажирського локомотиву використовуються при виборі систем підвіски тягових двигунів для нових типів електровозів на ДП НВК "Електровозобудування" (м. Дніпропетровськ), що підтверджено актом про впровадження дисертаційної роботи від 09.02.2007г.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Чумак В.В., Кривякин Г.В. Выбор типа привода для передачи мощности локомотива с асинхронным тяговым двигателем // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2002. – №9., Т.4. – С.137-142.

*Здобувачем сформульовані вимоги до тягових передач локомотивів, а також наведені переваги та недоліки приводів з опорно-осьовим підвішуванням тягових двигунів.*

2. Кривякин Г.В. Возможности повышения скоростей движения пассажирских локомотивов, обусловленные применением тяговой передачи с опорно-осевой подвеской на базе асинхронных тяговых двигателей // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2004. – №24. – С. 35-40.

3. Кривякин Г.В. Сравнение поведения колесно-моторного блока опорно-осевой подвески с различными тяговыми двигателями при горизонтальной динамике локомотива // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2005. – №2. – С. 164 -172.

4. Омеляненко В.И., Кривякин Г.В. Вертикальная динамика колесно-моторного блока с опорно-осевой подвеской // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2005. – №37. – С.119-126.

*Здобувачем запропонована математична модель вертикальних коливань колісно-моторного блоку.*

5. Кривякин Г.В. Математическая модель динамики опорно-осевого тягового привода с учетом колебаний наддресорного строения // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 11. – С. 73-79.

6. Омеляненко В.И., Кривякин Г.В. Высокоскоростной электрический транспорт. Европа. Часть 1 // Локомотив-информ. – Харьков: Техностандарт. – 2006. – №4. – С. 12-17.

*Здобувачем наведено технічні рішення що застосовані у механічній частині високошвидкісних поїздів Франції*

7. Омеляненко В.И., Калюжный Н.Н., Кулиш Т.А., Кривякин Г.В. Тяговые и токовые характеристики электроподвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы LXVI международной конференции. – Днепропетровск: ДИИТ, 2006. – С. 123.

*Здобувачем розв’язана тестова задача по розрахунку режимів руху поїзду.*

8. Омеляненко В.И., Любарский Б.Г., Кривякин Г.В. Электромеханическое преобразование энергии в асинхронном тяговом двигателе с опорно-осевой подвеской // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ. – 2007. – №1. – С. 46-50.

*Здобувачем запропоновано використання метода контурних струмів при складанні рівнянь кіл ротора.*

## АНОТАЦІЯ

Кривякін Г.В. Колісно-моторний блок з опорно-осьовою підвіскою асинхронного тягового двигуна для електровозу з конструкційною швидкістю 160 км/год. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.22.09. – електротранспорт. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. – Харків, 2007.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню впливу динамічних процесів в тяговій передачі, що викликані взаємодією з нерівностями верхньої будови колії, на процес електромеханічного перетворення енергії в асинхронному тяговому двигуні.

Створений програмно-алгоритмічний комплекс, що дозволяє досліджувати динаміку колісно-моторного блоку при вертикальних коливаннях візка і колісної пари, а також наявності моменту тертя від контакту гребеня колеса з бічною поверхнею рейки в поєднанні з електромеханічними процесами в тяговому електроприводі. Цей комплекс також дає можливість віртуально одержувати тягові і струмові характеристики сучасних електровозів з асинхронними двигунами.

Встановлено, що визначальний вплив на динамічні процеси, як в механічній частині приводу, так і в системі електромеханічного перетворення енергії надають вертикальні коливання візка і колісної пари, причому з двох типів нерівностей (хвилеподібні періодичні та імпульсні одиничні) найбільш істотно позначаються хвилеподібні. Вони можуть викликати суттєві коливання струмів фаз обмотки статора двигуна, а тому їх слід враховувати при виборі як номіналів елементної бази ключів автономного інвертора напруги, так і параметрів елементів ланки постійного струму перетворювача.

Наведені технічні пропозиції по створенню електровозу для пасажирського потягу з конструкційною швидкістю 160 км/год.

Ключові слова: електровоз, тяговий електропривод, колісно-моторний блок, асинхронний тяговий двигун, електроенергетичні показники локомотива.

## АННОТАЦИЯ

Кривякин Г.В. Колесно-моторный блок с опорно-осевой подвеской асинхронного тягового двигателя для электровоза с конструкционной скоростью 160 км/ч. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.09. – электротранспорт. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”. – Харьков, 2007.

Диссертационная работа посвящена исследованию влияния динамических процессов в тяговой передаче, вызванных взаимодействием с неровностями верхнего строения пути, на процесс электромеханического преобразования энергии в асинхронном тяговом двигателе.

Создан программно-алгоритмический комплекс, позволяющий исследовать динамику колесно-моторного блока при вертикальных колебаниях тележки и колесной пары, а также наличии момента трения от контакта гребня колеса с боковой поверхностью рельса в сочетании с электромеханическими процессами в

тяговом электроприводе. Этот комплекс также дает возможность виртуально получать тяговые и токовые характеристики современных электровозов с асинхронными двигателями.

Установлено, что определяющее влияние на динамические процессы, как в механической части привода, так и в системе электромеханического преобразования энергии оказывают вертикальные колебания тележки и колесной пары, причем из двух типов неровностей (волнообразные периодические и импульсные единичные) наиболее существенно сказываются волнообразные. Они могут вызывать существенные колебания токов фаз обмотки статора двигателя, а поэтому их следует учитывать при выборе как номиналов элементной базы ключей автономного инвертора напряжения, так и параметров элементов звена постоянного тока преобразователя.

Разработаны технические предложения по созданию электровоза для пассажирского поезда с конструкционной скоростью 160 км/ч.

Ключевые слова: электровоз, тяговый электропривод, колесно-моторный блок, асинхронный тяговый двигатель, электроэнергетические показатели локомотива.

## THE SUMMARY

Krivyakin G.V. Wheel-motor block with the axle sprung of induction traction motor for the electric locomotive with the construction speed 160 km/h. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of Candidate of Science (engineering) on specialty 05.22.09. – electric transport. – National Technical University “Kharkivskiy polytechnichniy institut”. – Kharkiv, 2007.

The dissertation work is devoted to research of influencing of dynamic processes in the hauling transmission, caused by co-operation with the unevenness of overhead structure of path, on the process of electro mechanic transformation of energy in the asynchronous hauling engine.

A program-algorithmic complex is created, allowing to explore a dynamics of wheeled-motor block at the vertical vibrations of bogie and wheelset, and also presence of moment of friction from the contact of comb of wheel with the lateral surface of rail in combination with the electro mechanic processes in traction electric drive. This complex also enables virtually to get hauling and current descriptions of modern electric locomotives with the asynchronous engines.

It is set, that determining influence on the dynamic processes, both in the mechanical part of drive, and in the system of electro mechanic transformation of energy render the vertical vibrations of bogie and wheelset, thus from two types of unevenness (undulating periodic and impulsive single) most substantially tell undulating. They can cause the substantial vibrations of currents of phases of puttee of stator of engine, and therefore them it follows to take into account at the choice both face values of element base of the keys of the stand-alone inverting of tension, and parameters of elements of link of direct current of transformer.

The technical suggestions are developed on creation of electric locomotive for the passenger train with the construction speed 160 km/h.

Keywords: electric locomotive, electric traction drive, wheel-motor block, induction traction motor, locomotive electroenergetic indexes.