

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

КІЙКО АНАТОЛІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 629.4.060

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИБУКСУВАЛЬНИХ
СИСТЕМ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Спеціальність 05.22.09 – електротранспорт

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Павленко Альберт Прокопович,
Харківська філія державного
науково-дослідного центру Укрзалізниці,
головний науковий співробітник
відділу рухомого складу

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Осенін Юрій Іванович,
Східноукраїнський національний університет
ім. Володимира Даля Міністерства освіти
та науки України, проректор з наукової роботи;
кандидат технічних наук, доцент
Семененко Олександр Іванович,
Українська державна академія
залізничного транспорту Міністерства
транспорту та зв'язку України, доцент
кафедри «Системи електричної тяги»

Захист відбудеться «__»_____2008 р. о ____ год на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою:
49010, м. Дніпропетровськ, вул. Академіка В. А. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Автореферат розісланий «____» вересня 2008 г.

В. о. вченого секретаря
спеціалізованої
ради Д 08.820.01,
д-р техн. наук, професор

М. Б. Курган

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

До найважливіших техніко-економічних показників електровозів, що експлуатуються і створюються, відносяться сила тяги, яка реалізується на розрахунковому підйомі, питомі паливно-енергетичні й експлуатаційні витрати на одиницю вантажів, які перевозяться. Серед багатьох чинників, що впливають на зазначені показники, важливу роль відіграє ефективність роботи протибуксувальних систем локомотивів.

Актуальність теми. Режими буксування і юза, які виникають, коли тяговий (або гальмівний момент), прикладений до колісної пари, перевищує граничну його величину за умов зчеплення коліс з рейками, є насправді аварійними режимами роботи. У процесі розвитку вказаних режимів більше як в 2,5...3 рази зростає динамічна навантаженість елементів колісно-моторного блоку, різко підвищується спрацювання колісних пар і рейок, знижуються тягові зусилля локомотивів, що у сукупності призводить до суттєвого зростання паливно-енергетичних й експлуатаційних витрат.

Протибуксувальні системи, що застосовують до останнього часу на вітчизняному й зарубіжному рухомому складі, засновані на порівнянні швидкостей обертання або залежного від них струму (напруги) у тягових електродвигунах буксуючих і небуксуючих колісних пар, і через принцип їх дії в переважній більшості випадків неспроможні попереджувати розвиток буксування. Вони виявляють процеси буксування, коли останні вже достатньо інтенсивно розвинулись і для їхнього припинення необхідне зниження тягового зусилля на 40...70 % з подальшим його відновленням. Зазначені перехідні режими скидання й наступного набору позицій контролера машиніста викликають додаткове зростання паливно-енергетичних й експлуатаційних витрат.

Сучасна мікропроцесорна техніка дозволяє створювати протибуксувальні системи, засновані на аналізі динамічних процесів у тяговому приводі колісних пар. Такі системи, на відміну від тих, що експлуатуються, включають мікропроцесорні пристрої виявлення граничних сил зчеплення (ПВГСЗ) колісних пар з рейками, і спроможні попереджувати можливий розвиток буксування без скидання машиністом тягового зусилля за рахунок попереджувальної (тривалістю 0,4...0,8 с) подачі піску під колісні пари, що автоматично регулюється ПВГСЗ. Розробці і дослідженню вказаних протибуксувальних систем присвячена дана робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на основі досліджень, проведених у 2002–2005 рр. по Научно-исследовательской опытно-конструкторской работе (НИОКР) № П/Т 021452/НЮ «Модернизация грузовых электровозов за счет оборудования их системой обнаружения предельных сил сцепления (СВГСЗ) колесных пар с рельсами» и НИОКР № 22.31.02.02 «Разработка модифицированного варианта и

оборудование 10-ти электровозов ВЛ82М системой обнаружения предельных сил сцепления колесных пар с рельсами» у відповідності до плану робіт Укрзалізниці та Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, науково-дослідної роботи № 22.29.01.05-918.01.05 ЦТех (№ ДР 0101U006460) «Проведення експлуатаційно-ремонтних випробувань дослідної партії електровозів ДЕ-1. Визначення критичних вагових норм вантажних поїздів» у відповідності до плану робіт Укрзалізниці та Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Робота виконувалась у відповідності з концепцією і програмою реструктуризації на залізничному транспорті України, які підтверджені рішеннями колегії Міністерства транспорту України відповідно 18.06.1997 р. (протокол № 14) і 18.08.1998 р. (протокол № 30).

Мета й задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності роботи електровозів, що виражається в суттєвому зниженні їхніх енергетичних та експлуатаційних витрат за рахунок удосконалення протибуксувальних систем шляхом створення і впровадження мікропроцесорних систем виявлення граничних сил зчеплення і попередження буксування колісних пар.

Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовано і вирішено наступні задачі:

- обґрунтування найбільш перспективних напрямів і засобів підвищення ефективності протибуксувальних систем електричного рейкового транспорту з позицій підвищення їхньої швидкодії й здатності попереджувати розвиток процесів буксування (юз) колісних пар;

- розробка методики й алгоритмів математичного моделювання на ЕОМ динамічних процесів у системах «*i*-й тяговий електродвигун (ТЕД)–колісна пара–рейкова колія–СВГСЗ» у різних експлуатаційних режимах роботи локомотивів;

- дослідження закономірностей розвитку динамічних процесів у системах «ТЕД–колісна пара–рейкова колія–СВГСЗ» й факторів, які впливають на швидкість й ефективність протибуксувальних систем;

- розробка структури й алгоритму функціонування мікропроцесорних пристроїв виявлення граничних сил зчеплення (СВГСЗ) колісних пар локомотивів;

- експериментальна перевірка ефективності роботи мікропроцесорних протибуксувальних систем електровозів (СВГСЗ).

Об’єкт дослідження. Динамічні процеси в електромеханічних системах «ТЕД–колісна пара–рейкова колія–СВГСЗ» в режимах реалізації граничних сил зчеплення з переходом до режиму буксування.

Предмет дослідження. Система виявлення й попередження буксування колісних пар локомотивів з мікропроцесорними ПВГСЗ.

Методи дослідження. Сформульовані в роботі задачі вирішено на основі комплексного використання методів математичного моделювання динамічних процесів в електромеханічних системах тягових приводів на ПЕОМ й експериментальних методів у процесі натурних випробувань СВГСЗ, що досліджуються, із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Розроблено математичну модель динамічних процесів в електромеханічній системі «тяговий електропривод–колісна пара–протибуксувальний пристрій» вантажних і вантажопасажирських електровозів, яка на відміну від існуючої моделі включає модель пристрою виявлення граничних сил зчеплення (ПВГСЗ) і поздовжні коливання координати колісної пари, що дозволило обґрунтовано аналізувати квазістаціонарні режими тяги, а також режими реалізації граничних сил зчеплення з переходом до режиму буксування.

2. Вперше встановлено закономірності впливу конструктивних і експлуатаційних факторів тягових електроприводів та екіпажної частини електровозів (кута нахилу централі тягового редуктора, кутової жорсткості зв'язків якорів і колісних пар, швидкості руху) на амплітудно-частотні характеристики системи «тяговий електродвигун–редуктор–колісна пара–рейки», що дозволило більш точно оцінювати й тим самим впливати на ефективність протибуксувальних систем у режимах реалізації граничних сил зчеплення колісних пар, а отже упереджувати процес розвитку буксування, а не ліквідовувати вже розвинутий процес буксування.

3. Обґрунтовано методи вибору найважливіших параметрів системи виявлення граничних сил зчеплення (СВГСЗ), типу і місця розташування датчиків вхідних сигналів, раціональної кількості смугових фільтрів мікропроцесорних пристроїв виявлення граничних сил зчеплення (ПВГСЗ), діапазону і значень центральних частот, а також ширини смуг пропускання сигналів фільтрів. Зазначені методи відрізняються від існуючих тим, що вони базуються на виявлених в роботі кількісній і якісній різницях амплітудно-частотних характеристик тягового електропривода.

4. Виявлено механізм виникнення і розвитку фрикційних автоколивань у системі «тяговий електродвигун–редуктор–колісна пара–рейкова колія–протибуксувальна система» у момент початку подальшого розвитку буксування колісних пар, що дозволяє надійно прогнозувати характер стійких автоколивань, а отже, і значення ряду центральних частот смугових фільтрів пристрою виявлення граничних сил зчеплення (ПВГСЗ).

5. Запропоновано обґрунтований і експериментально підтверджений метод вибору в експлуатаційних умовах раціональних параметрів мікропроцесорних пристроїв виявлення граничних сил зчеплення (ПВГСЗ), які забезпечують ефективне функціонування протибуксувальних систем електровозів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені в дисертації методика, алгоритми математичного моделювання й виявлені на їхній основі

закономірності розвитку динамічних процесів у системі «тяговий електродвигун–колiсна пара–рейкова колiя–СВГСЗ» при реалiзацiї граничних сил зчеплення, а також розроблений алгоритм функціонування мікропроцесорних ПВГСЗ дають можливість створювати і виготовляти мікропроцесорні ПВГСЗ, для електровозів, які проектуються.

Розроблені мікропроцесорні ПВГСЗ, порівняно з аналогічними пристроями, що застосовувались раніше і працювали на аналоговому принципі, дозволяють:

- суттєво спростити конструкцію, зменшити габарити ПВГСЗ й довести до мінімуму вплив зовнішніх факторів (кліматичних умов, навмисного втручання в роботу пристрою та ін.) на змінення основних параметрів ПВГСЗ;
- кардинально полегшити й спростити процедуру налагодження й подальшого контролю основних параметрів ПВГСЗ, а також датчиків вхідних сигналів у процесі технічного обслуговування ПВГСЗ при експлуатації;
- забезпечити надійний захист від хибного спрацювання СВГСЗ при проходженні стрілочних переводів, стикових з'єднань та ін.

Мікропроцесорними СВГСЗ було обладнано у 2002–2003 рр. вісім електровозів ВЛ82М (локомотивне депо Куп'янськ Південної залізниці) та чотири електровози ВЛ11М у 2008 р. (локомотивне депо Львів-захід Львівської залізниці).

Проведені експлуатаційні випробування підтвердили основні теоретичні висновки дисертації.

Особистий внесок здобувача:

- розробка методики й алгоритму математичного моделювання динамічних процесів у системі «тяговий електродвигун–колiсна пара–рейкова колiя–СВГСЗ» у режимі реалізації граничних сил зчеплення [1; 5; 6];
- розробка алгоритму й елементів програмного забезпечення функціонування мікропроцесорного варіанту ПВГСЗ [2; 7; 8];
- аналіз, узагальнення й виявлення закономірностей розвитку процесів у системах «тяговий електродвигун–колiсна пара–рейкова колiя–СВГСЗ» при реалізації граничних сил зчеплення з рейками й буксуванню колісних пар [4; 5; 6];
- участь у випробуваннях й узагальнення результатів натурних експериментальних досліджень мікропроцесорних СВГСЗ на електровозах [3].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідались й одержали схвалення на:

- XII, XIII і XIV міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми розвитку рейкового транспорту» (Крим, 2002, 2003, 2004 рр.);
- V і VI міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми механіки горно-металлургического комплекса» (м. Дніпропетровськ, 2002, 2004 рр.);

– III міжнародній науково-технічній конференції «Подвижной состав XXI века. Идеи, требования, проекты» (Санкт-Петербург, 2003 р.).

Публікації. Основні положення й результати дисертаційної роботи викладено у 8 публікаціях, з яких: 7 – статті у фахових наукових виданнях.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 171 сторінку, з яких 111 сторінок основного тексту, 57 малюнків на 56 сторінках, 5 таблиць на 3-х сторінках, список використаних джерел зі 109 найменувань на 10 сторінках, 3-х додатків на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету й задачі роботи, визначено об'єкт і предмет досліджень, приведено основні наукові положення, подано відомості про практичне значення результатів роботи, апробацію і публікацію матеріалів досліджень.

У першому розділі приведено аналіз стану роботи, яка досліджується.

У результаті проведеного аналітичного огляду й систематизації існуючих протибуксувальних систем електровозів з урахуванням тенденцій їхнього розвитку показано, що переважна більшість протибуксувальних систем, які експлуатуються, оснований на реєстрації й кількісній оцінці різностей швидкостей обертання або залежного від них струму (напруги) в тягових електродвигунах буксуючих і небуксуючих колісних пар або похідних у часі від вказаної різниці, в принципі не здатні попереджувати розвиток буксування колісних пар. Вони виявляють уже достатньо інтенсивно розвинуте буксування й примусово припиняють його за рахунок різкого зниження тягового моменту на відповідних колісних парах. Застосування радарних та інших пристроїв для визначення швидкості поступального руху локомотивів з подальшим його порівнянням зі швидкістю точок на ободі бандажів різних колісних пар лише трохи покращує чутливість подібних систем до виявлення буксування, але в більшості випадків не дозволяє попереджувати розвиток вказаних процесів. І тільки використання СВГСЗ, які базуються на аналізі динамічних процесів у системах «тяговий електродвигун–тяговий редуктор–колісна пара–рейкова колія» приводу кожної колісної пари із застосуванням сучасних мікропроцесорів і комп'ютерних технологій, дозволяє надійно попереджувати розвиток процесів буксування електровозів.

Аналіз конкретних робіт як вітчизняних, так і зарубіжних вчених в галузі протибуксувальних систем дозволив обґрунтувати задачі, що розглядаються в дисертації, й намітити шляхи до їх вирішення.

Другий розділ дисертації присвячено математичному моделюванню динамічних процесів в електромеханічних системах магістральних електровозів – «тяговий електродвигун–тяговий редуктор–колісна пара–рейкова колія–

СВГСЗ» у квазістаціонарних режимах тяги і – реалізації граничних сил зчеплення, а також у нестаціонарних режимах буксування колісних пар.

Обґрунтовано вибір розрахункової схеми (рис. 1) і розроблена математична модель [рівняння (1)] для дослідження особливостей динамічних процесів у системах, які розглядають.

$$\left. \begin{aligned}
 T_3 \dot{M} + M &= M(\dot{\phi}'_я), \\
 J_я \ddot{\phi}_я + b_{11} \dot{\Delta}_1 + b_{12} \dot{\Delta}_2 + c_{11} \Delta_1 + c_{12} \Delta_2 &= M, \\
 J_{p*} \ddot{\phi}_p + m_{0z} \ddot{z}_к + m_{0x} \ddot{x}_к - b_{11} (u+1) \dot{\Delta}_1 - b_{12} (u+1) \dot{\Delta}_2 + l_* b_p \dot{\Delta}_p + l_* c_p \Delta_p &= -M, \\
 J_{к1} \ddot{\phi}_{к1} - u b_{11} \dot{\Delta}_{11} + b_0 \dot{\Delta}_0 - u c_{11} \Delta_{11} + c_0 \Delta_0 &= -M_{c1}(\dot{\phi}'_{к1}), \\
 J_{к2} \ddot{\phi}_{к2} - u b_{12} \dot{\Delta}_{12} - b_0 \dot{\Delta}_0 - u c_{12} \Delta_{12} - c_0 \Delta_0 &= -M_{c2}(\dot{\phi}'_{к2}), \\
 m_{к*} \ddot{z}_к + (m_0 L_{0z} + m_я L_{яz}) \ddot{\phi}_p + b_{\Pi} \dot{\Delta}_{\Pi} + b_p \dot{\Delta}_p + b_1 \dot{z}_к + c_{\Pi} \Delta_{\Pi} + c_p \Delta_p + c_1 z_к &= 0, \\
 m_{к*} \ddot{x}_к + (m_0 L_{0x} + m_я L_{яx}) \ddot{\phi}_p + b_x \dot{x}_к + c_x x_к &= \sum_{s=1}^2 F_{cs}(\dot{\phi}'_{кс}); \\
 M_{cs}(\dot{\phi}'_{кс}) &= (0,5 \Pi_0 + \Delta \Pi_s) R_s \Psi_{0s} k(\dot{\phi}'_{кс}), \\
 F_{cs} &= R_s^{-1} M_{cs}(\dot{\phi}'_{кс}), \quad s=1,2, \\
 \Delta_{1s} &= \phi_я - u \phi_{кс} - (u+1) \phi_p, \Delta_p = z_к + l_* \phi_p, \quad \Delta_0 = \phi_{к1} - \phi_{к2}, \\
 \Delta \Pi_s &= b_{\Pi} (\dot{z}_к - \dot{\eta}_s) + c_{\Pi} (z_к - \eta_s), \quad \dot{\phi}'_{кс} = \dot{\phi}_{кс} - \frac{\dot{x}_к}{R_s}, \\
 J_{p*} &= J_p + m_я L_я^2 + m_p L_p^2, \quad m_{к*} = m_к + m_p + m_я, \\
 L_{0z} &= L_0 \cos \phi_{\Pi}, \quad L_{0x} = L_0 \sin \phi_{\Pi}, \\
 L_{яz} &= L_я \cos \phi_{\Pi}, \quad L_{яx} = L_я \sin \phi_{\Pi},
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $M, M(\dot{\phi}'_я), T_3$ – відповідно миттєва величина моменту й статична тягова характеристика ТЕД, електромагнітна постійна кола ТЕД; $M_{cs}(\dot{\phi}'_{кс}), k(\dot{\phi}'_{кс}), \Psi_{0s}$ – характеристика зчеплення s -го колеса, безрозмірна характеристика зчеплення коліс і потенційне значення коефіцієнта зчеплення; $m_p, J_p, m_я, J_я, m_к, J_к, m_{кс}, J_{кс}$ – відповідно маси й моменти інерції відносно центральних вісей корпусу блоку «редуктор–ТЕД», якоря ТЕД, колісної пари й кожного її s -го ко-

леса з урахуванням жорстко пов'язаних з ними мас редуктора ($m_k = \sum_s m_{ks}$, $J_k = \sum_s J_{ks}$, $s = 1, 2$); u, η_s – передатне число редуктора й узагальнююча вертикальна нерівність рейкової колії під s -м колесом, що задається як у детермінованій, так і у випадковій формі через спектральну щільність; $l_*, L_0, L_y, \varphi_{\text{ц}}$ – базовий лінійний параметр редуктора, відстані вздовж централі редуктора від вісі колісної пари до центрів ваги корпусу блоку «ТЕД–редуктор» і якоря ТЕД, а також кут нахилу централі редуктора до горизонтальної вісі x .

Наявність протибуксувальної системи, головним вузлом якої (рис. 2) є мікропроцесорне ПВГСЗ, яке включає (рис. 3) блок вузькосмугових фільтрів по m фільтрів ($m = 2 \dots 5$) на кожную колісну пару з центральними частотами ϖ_m й порогами їхнього відпирання $|y_m|$, враховується шляхом додаткової системи з m диференціальних рівнянь у вигляді

$$\ddot{y}_m + 2n_m \dot{y}_m + \varpi_m^2 y_m = h_m. \quad (2)$$

Вхідним сигналом h_m є нормована величина вертикального прискорення вібродатчика I , який закріплюють на корпусі блоку «тяговий електродвигун–редуктор» (див. рис. 1)

$$h_m = \frac{\ddot{z}_b}{\ddot{z}_{\text{вср}}} = \left(\ddot{Z}_k + \ddot{\varphi}_p l_* \right) \ddot{z}_{\text{вср}}^{-1}, \quad (3)$$

де $\ddot{z}_b$ – миттєва величина (усереднення за малий проміжок часу) вертикального прискорення вібродатчика; $\ddot{z}_{\text{вср}}$ – прискорення датчика, замірене й усереднене на відрізку часу тривалістю $0,5 \dots 5$ секунд.

Обрана розрахункова схема (див. рис. 1) і запропонована математична модель (1)–(3) використовується в роботі при розв'язанні поставлених задач стосовно до вантажних електровозів з опорно-вісевою підвіскою ТЕД – і двосторонньою передачею моменту від ТЕД до колісної пари і до – вантажно-пасажирських електровозів з опорно-рамною підвіскою ТЕД і вісевими редукторами. В останньому випадку в рівняннях (1) необхідно прийняти $c_{11} = c_m$, $b_{11} = b_m$, $c_{12} = b_{12} = 0$, а також відкорегувати значення параметрів J_{p*} , m_{k*} , J_p , m_p .

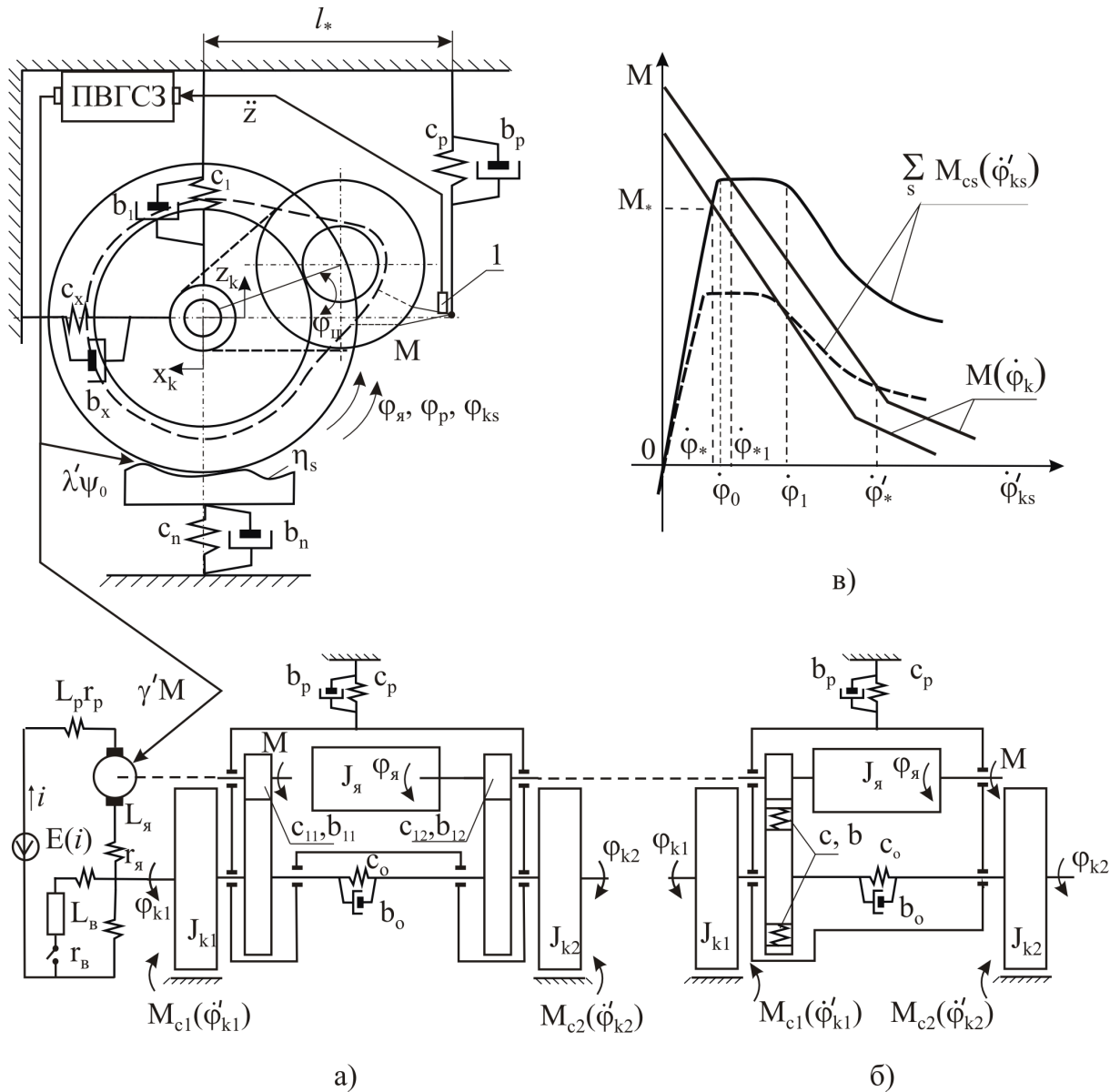


Рисунок 1. – Розрахункова схема динамічної системи «тяговий електродвигун–тяговий редуктор–колісна пара–рейкова колія–СВГСЗ» магістральних електровозів:
 а – привод з вісевою підвіскою тягового електродвигуна; б – привод з рамною підвіскою тягового електродвигуна; в – приведені до вісі колісної пари тягові $M(\dot{\phi}_k)$

й зчіпні характеристики $\sum_s M_{cs}(\dot{\phi}'_{ks})$; l – датчик вхідного сигналу (віброприскорення)

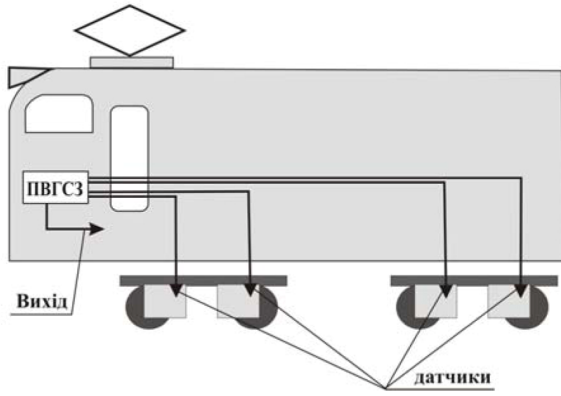


Рисунок 2. – Структурно-монтажна схема СВГСЗ

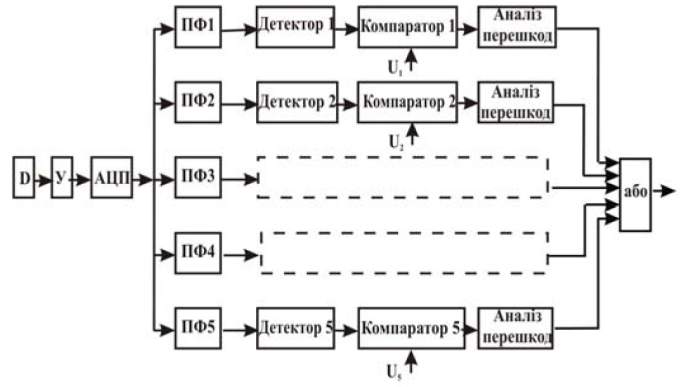


Рисунок 3. – Функціональна схема одного каналу мікропроцесорного ПВГСЗ

Розроблено методики і алгоритми їхньої реалізації на ПЕОМ для дослідження квазістаціонарних режимів тяги і реалізації граничних сил зчеплення, коли нелінійні функції $M(\dot{\phi}_я)$, $M_{cs}(\dot{\phi}'_{кс})$, $F_{cs}(\dot{\phi}'_{кс})$, що входять до рівняння (1), лінеаризують поблизу рівноважного режиму. Це відповідає точці перетину приведеної до вісі колісної пари тягової характеристики тягового електродвигуна $M(\dot{\phi}_к)$ і кривої зчеплення $\sum_s M_{cs}(\dot{\phi}'_{кс})$ (точка $\dot{\phi}_{кс} = \dot{\phi}_*$ відповідає режиму тяги, точка $\dot{\phi}_{кс} = \dot{\phi}_{*1}$ – режиму реалізації граничних сил зчеплення – див. рисунок 1), а також для аналізу режимів буксування, коли використовуються чисельні методи (метод Рунге-Кутта 4-го порядку) для рішення нелінійних рівнянь (1).

У випадку квазістаціонарних режимів лінеаризовані нелінійні члени рівняння (1) мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} M(\dot{\phi}_я) &= M_* u^{-1} - \nu u^{-2} (\dot{\phi}_я - u \dot{\phi}_*), \\ M_{cs}(\dot{\phi}'_{кс}) &= 0,5 (M_* + \Delta \Pi_s \Pi_0^{-1} M_*) + \alpha_s \left[(\dot{\phi}_{кс} - \dot{\mathcal{X}}_к R_s^{-1}) - \dot{\phi}_* \right], \\ F_{cs}(\dot{\phi}'_{кс}) &= R_s^{-1} \sum_s M_{cs}(\dot{\phi}'_{кс}), \quad s = 1, 2, \quad \alpha_s = R_s \Pi_0 \Psi_{0s} \alpha'. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де M_* , ν , α_s , α' – приведені до вісі колісної пари тяговий момент тягового електродвигуна, крутизна його тягової характеристики, зчеплення s -го колеса і безрозмірної характеристики зчеплення колісної пари в рівноважному режимі, коли швидкість просковзування коліс $\dot{\phi}'_{кс}$ дорівнює $\dot{\phi}_*$ або $\dot{\phi}_{*1}$ (див. рисунок 1).

Задавшись конкретним видом узагальненої нерівності колії η_s в детермінованій або випадковій формі на швидкісному інтервалі $0 < V < V_{\max}$ і використовуючи матричні методи рішення рівнянь (1) з урахуванням (4), було одержано

но амплітудно-частотні характеристики АЧХ для узагальнених фазових координат системи, які зацікавили (1). При цьому в рівняннях (1) і (4) крутизна характеристики зчеплення α_s s -го колеса (див. рисунок 1) мала значення $\alpha_s > 0$ при квазістаціонарних режимах тяги і приймалась $\alpha_s = 0$ в режимах реалізації граничних сил зчеплення.

Моделювання режимів реалізації електровозами граничних сил зчеплення з переходом до буксування при $0 \leq V \leq 15$ км, коли вимушеними коливаннями екі-пажу можна знехтувати, вбачаючи в (1) $\eta_s = \text{const} = 0$, здійснювали двома характерними для реальної експлуатації способами: а) за рахунок пришивдшеного набору позицій контролера машиніста, що рівнозначно при моделюванні на ПЕОМ стрибкоподібному підйому в момент часу $t = t_0 = 0$ тягової характеристики $M(\dot{\phi}_k)$ паралельно її попередньому положенню, коли $\dot{\phi}'_{ks} = \dot{\phi}_*$, $M(\dot{\phi}'_k) = M_*$, до рівня, що відповідає перетину кривих $M(\dot{\phi}'_k)$ і $\sum_s M_{cs}(\dot{\phi}'_{ks})$ $\dot{\phi}'_{ks} = \dot{\phi}_{1*}$ в точці (див. рис. 1); б) за рахунок стрибкоподібного зменшення на 5...50 % потенційного значення коефіцієнта зчеплення Ψ_0 з подальшим його відновленням через 0,3...2 с (наїзд на пляму мастила). При цьому початкові значення фазових координат системи (див. рис. 1) в момент $t = t_0 = 0$ визначали за допомогою рівнянь (1) за умов реалізації передуючого рівноважного режиму, коли швидкості просковзування коліс $\dot{\phi}'_{ks} = \dot{\phi}_*$, а узагальнене прискорення системи $\ddot{\phi}_y, \ddot{\phi}_p, \ddot{\phi}_{ks}, \ddot{z}_k, \ddot{x}_k$ дорівнює нулю.

Додатково в кожному з указаних двох випадків розглядали режим вимикання СВГСЗ від виконавчої частини протибуксувальної системи, коли не враховували рівняння (2), і режим вмикання СВГСЗ, коли враховували повну систему рівнянь (1), (2), і розроблена обчислювальна програма передбачала у випадку перевищення вхідного сигналу y_m для будь-якого m -го смугового фільтру (або для кількох одночасно) його порогового значення $|y_m|$ стрибкоподібне збільшення потенціального коефіцієнта Ψ_0 в 1,1...1,8 разу з запізненням $t_3 = 0,1...0,9$ с.

Для уточненого дослідження особливостей динамічних процесів у системі (див. рис. 1) і вибору раціональних параметрів ПВГСЗ за умов експлуатаційних режимів, які розглядаються на швидкісному інтервалі $0 \leq V \leq V_{\max}$, був застосований експериментально-апаратурний метод моделювання, суть якого в наступному. За допомогою спеціального вимірювального комплексу разом з комп'ютером типу Note Book записувалися до пам'яті комп'ютера сигнали від датчиків прискорення кожної колісної пари електровоза (див. рис. 1 і рис. 2) в реальних режимах його експлуатації (режими тяги, вибігу, буксування, проходження стикових з'єднань і стрілочних переводів). Сигнали з вібродатчиків (див.

рис. 1), записані в пам'ять комп'ютера в реальних режимах руху електровозу, після у стаціонарних умовах подаються будь-яке число разів на вхід мікропроцесорного ПВГСЗ при різних параметрах останнього (центральної частоти, порогов відмикання смугових фільтрів та ін.).

У результаті математичного моделювання квазістаціонарних режимів тяги й граничних сил зчеплення на швидкісному інтервалі $0 < V < V_{\max}$ й аналізу одержаних амплітудно-частотних характеристик (подібно рис. 4) різних вихідних процесів системи (рис. 1) при варіюванні її інерційних, пружно-дисипативних і конструктивних параметрів було встановлено таке:

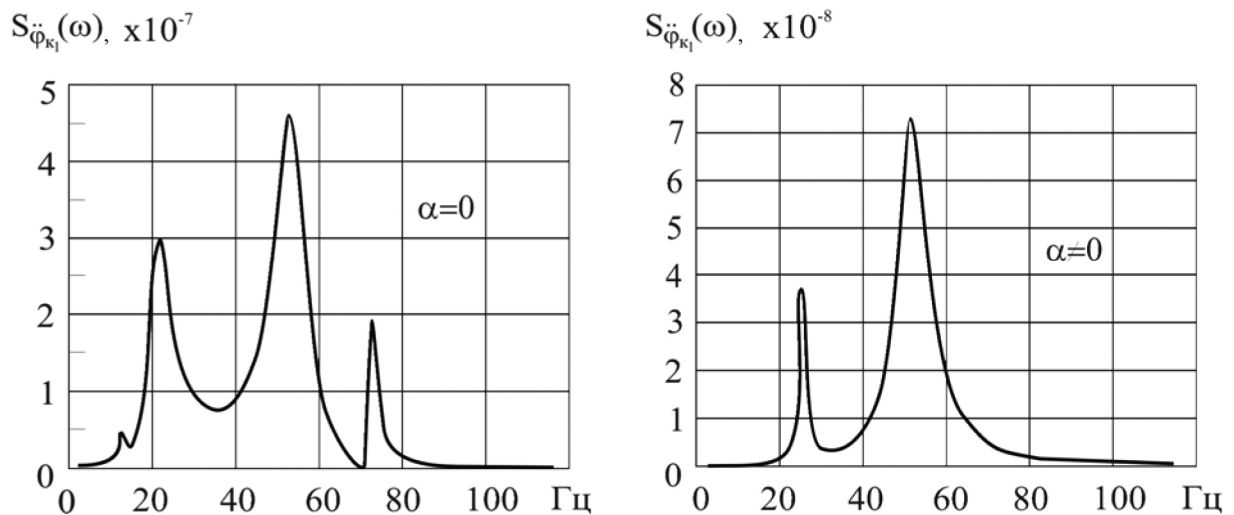


Рисунок 4. – Нормована спектральна густина (АЧХ) кутового прискорення 1-го колеса тягового приводу (рис. 1, б) в режимах тяги ($\alpha \neq 0$) і реалізації граничних сил ($\alpha = 0$)

1) суттєва кількісна і якісна відмінність енергетичних спектрів (АЧХ) вихідних процесів системи (рис. 1) в режимах тяги (вибігу) електровоза складає 6...32 %. Це має місце, коли крутизна характеристик зчеплення колісних пар з рейками, що реалізуються, максимальна, порівняно з режимами реалізації граничних сил зчеплення, коли вказана крутизна відповідно дорівнює нулю або від'ємна;

2) найбільшою інформативністю стосовно виявлення всіх можливих резонансних максимумів кривих АЧХ вихідних процесів системи має АЧХ вертикального прискорення колеса вісі локомотива $\dot{\varphi}_{ks}$ (див. рис. 1);

3) за умов надійності «спрацювання» мікропроцесорних ПВГСЗ, головною ланкою яких є блок смугових фільтрів, число вказаних фільтрів повинно складати не менше 2...5 для кожної колісної пари;

4) суттєвий вплив на частоти резонансних максимумів кривих АЧХ (див. рис. 4) впливає швидкість поступального руху локомотивів (особливо в інтервалі швидкостей $0 < V < 10$ км/год – (див. рис. 5)), а також приведена до вісі

колiсної пари еквiвалентна кутова жорсткiсть c зв'язку якоря ТЕД з колiсною парою i кут $\alpha_{\text{ц}}$ нахилу централi тягового редуктора до площини колiї;

5) теоретично обґрунтовано можливiсть одноразового й iдентичного на-
строювання параметрiв ПВГСЗ для електровозiв однiєї серiї поза залежнiстю
вiд величини iїхнього пiсляремонтного пробiгу.

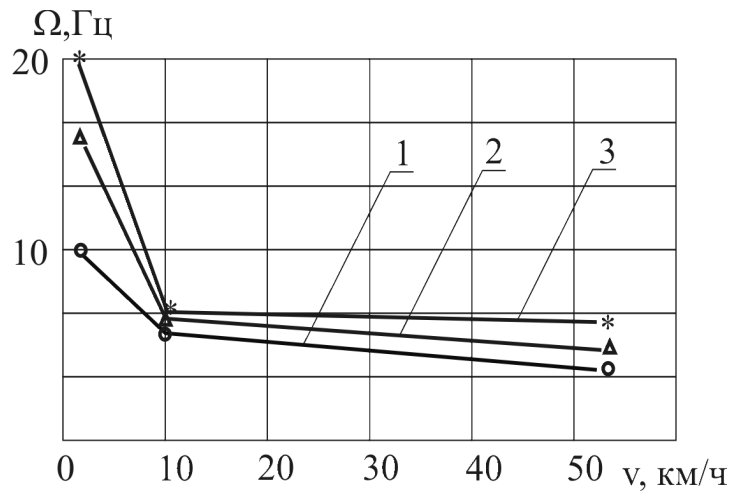


Рисунок 5. – Зміна абсолютної величини різниці резонансної частоти на графіках АЧХ, що характеризує синфазні кутові коливання приводу (рис. 1), при переході режиму тяги до режиму граничних сил зчеплення:
1 – $c = 1,36 \cdot 10^6$ Нм/рад; 2 – $c = 5,2 \cdot 10^6$ Нм/рад; 3 – $c = 7,26 \cdot 10^6$ Нм/рад

Математичне моделювання режимів реалізації граничних сил зчеплення з наступним переходом до режиму буксування, коли СВГСЗ вимкнено від виконавчої системи подачі піску під колiсні пари або зниження діючого на них тягового зусилля, а також в режимах спiльної роботи СВГСЗ i виконавчої протибуксувальної системи (див. рис. 6) дозволило проаналізувати вплив рiзних значень пружно-дисипативних i конструктивних параметрiв розрахункової схеми (рис. 1) на характер розвитку фрикційних автоколивань, що збуджуються силами зчеплення колiс з рейками, коли швидкiсть ковзання колiс $\dot{\phi}'_{\text{кс}}$ вiдповiдає падаючiй дiлянцi (з вiд'ємною кутизною) кривої зчеплення. Зокрема вивчено вплив указаних факторiв на iнтенсивнiсть (у часi) збудження, умов усталеного розвитку й наступного затухання фрикційних автоколивань, на iїх частотний склад, рiвень динамiчних сил, що виникають при цьому, i моментiв в рiзних вузлах системи (рис. 1).

З використанням експериментально-апаратного методу моделювання вивчено характер динамiчних процесiв у системi (рис. 1) при проходженнi електровоза з поїздом стикових з'єднань, стрiлочних переводiв при швидкостi $0 < V < V_{\text{max}}$, а також у режимах реалізації граничних сил зчеплення з переходом до режиму буксування при швидкостях $15 < V < 65$ км/год.

Проведене моделювання дозволило узагальнити закономірності розвитку динамічних процесів в системах, які розглядаються, для різних експлуатаційних режимів, сформулювати технічні вимоги й надати рекомендації щодо вибору структури й раціональних параметрів ПВГСЗ, що забезпечують їхню максимальну швидкодію й ефективність. Зокрема встановлено, що основними динамічними процесами, які забезпечують появу інформативного сигналу від датчика I (див. рис. 1) для «спрацювання» ПВГСЗ, є фрикційні автоколивання у системі (див. рис. 1), коли швидкість руху потягу порівняно невелика ($0 \leq V < 15$ км/год), і вимушені коливання, обумовлені збуреннями з боку рейкової колії, коли швидкість локомотиву $15 < V \leq V_{\max}$.

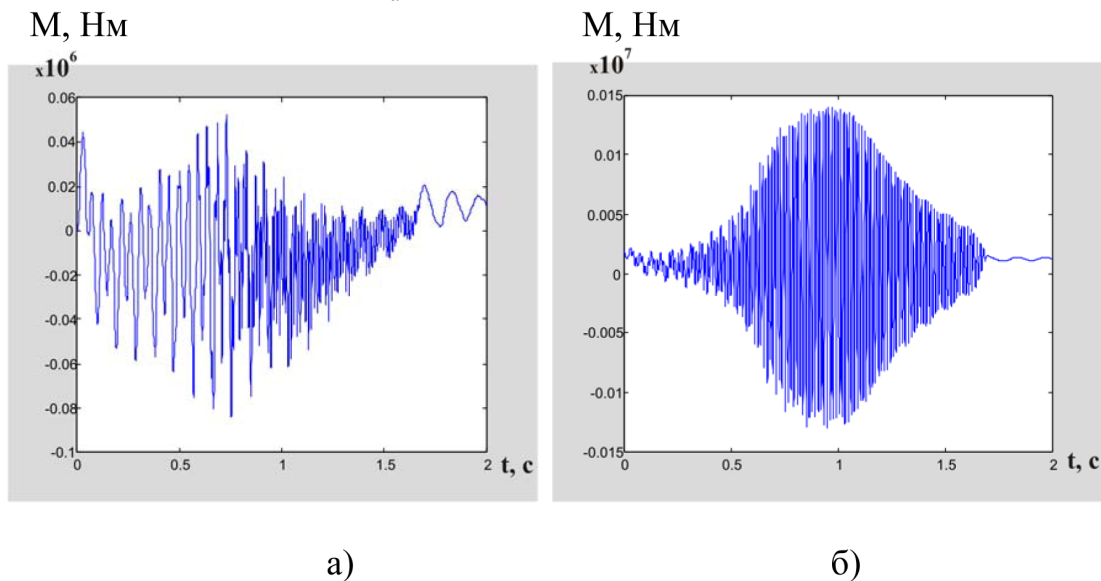


Рисунок 6. – Осцилограми зміни динамічного моменту на валу якоря ТЕД (а) і – у вісі колісної пари (б) системи (рис. 1). Моделювання на ЕОМ. Режим реалізації граничних сил зчеплення з переходом до буксування при $V = 0 \dots 5$ км/год і спільній роботі СВГСЗ і виконавчої системи

Третій розділ присвячено обґрунтуванню структури, алгоритму функціонування, а також розробці методики вибору й налагодження основних параметрів мікропроцесорних ПВГСЗ.

Розроблений за участю автора мікропроцесорний ПВГСЗ складається з корпусу й двох інтегральних плат, одна з яких є блоком живлення, а друга – безпосередньо мікропроцесорним модулем, що має i однотипних каналів (i дорівнює числу датчиків вхідних сигналів – (див. рис. 2)). Аналоговий вхідний сигнал від кожного i -го датчика (див. рис. 3)) після проходження блоку підсилювачів і аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) надходить на вхід блоку j паралельно до включених смугових фільтрів ($j = 2 \dots 5$), які нормально замкнені, якщо тяговий момент, що реалізується i -ю колісною парою, менший граничного за умов зчеплення коліс з рейками, і відмикаються при досягненні колісною парою межі по зчепленню і при подальшому її можливому буксуванню.

Після прохода j -го порогового фільтра сигнал випрямляється й згладжується (усереднюється на заданому інтервалі часу T_j), і в подальшому надходить на вхід виконавчої протибоксувальної системи (подачі піску під i -ту колісну пару або регулювання тягового моменту i -го тягового електродвигуна).

В роботі запропоновано алгоритм функціонування мікропроцесорного ПВГСЗ, в основі якого закладена процедура формування нормованого сигналу q_{ij} кожного j -го порогового фільтра стосовно до i -му каналу у вигляді:

$$q_{ij} = S_{ij} / k_j (S_{i0} + U_{i0}), \quad (5)$$

де S_{ij} – усереднена за малий проміжок часу (0,01...0,3 с) величина вихідного сигналу j -го порогового фільтра; S_{i0} , U_{i0} – усереднена за порівняно «значний» проміжок часу (0,8...7 с) величина сигналу i -го датчика після проходження його блоку АЦП і деяке мінімальне значення вказаного сигналу; k_j – константа ($0 < k_j < 1$), яку вибирають у процесі настроювання ПВГСЗ.

Кожний j -й порогів фільтр i -го вхідного каналу ПВГСЗ вважається «відкритим» (пропускає сигнал до блоку аналізу перешкод і далі до блоку АБО), якщо виконується умова

$$q_{ij} > 1 \quad (6)$$

і вважається «закритим», якщо $q_{ij} \leq 1$.

Слід підкреслити, що запропонований алгоритм функціонування мікропроцесорних ПВГСЗ, який математично описаний виразами (5) і (6), з урахуванням установлених в розділі 2 закономірностей зміни АЧХ вихідних сигналів системи (рис. 1) при переході від режиму нормальної тяги до режимів реалізації граничних сил зчеплення забезпечує автоматичне обчислення і видачу на відповідний компаратор напруг порогів відмикання порогового фільтра $U_1, U_2, \dots, U_j$ при одноразово вибраних параметрах ПВГСЗ (центральної частоти ω_j , величин k_j, U_{i0} , інтервалу часу усереднення вихідного сигналу i -го датчика T_i і j -го ПФ – T_j) без залежності від величини швидкості локомотива і стану рейкової колії.

Викладено методику вибору й налагодження вказаних параметрів ПВГСЗ, наведено технічні характеристики реалізованих і тих, що пройшли експлуатаційні випробування мікропроцесорних ПВГСЗ.

Четвертий розділ присвячено експериментальним дослідженням ефективності роботи мікропроцесорних СВГСЗ в умовах реальної експлуатації обладнаних ними електровозів подвійного живлення ВЛ82М.

Викладено методику і результати експлуатаційних випробувань СВГСЗ, що тривали з жовтня 2002 р. до березня 2004 р. на різних електровозах серії ВЛ82М з різними за вагою поїздами.

До найважливіших технічних характеристик СВГСЗ, які випробовуються, підлягають експериментальній перевірці і визначають у кінцевому рахунку ефективність їхньої роботи, відносяться:

1) чутливість системи до виявлення реалізації кожною колісною парою граничних сил зчеплення і попередженню боксування, яка характеризується часом в секундах від моменту початку нарощування (сплеску) відповідних гармонік вихідного сигналу датчика прискорення до моменту «спрацювання» СВГСЗ;

2) завадозахищеність системи або відсутність хибних «спрацювань» СВГСЗ тривалістю, яка допускає вмикання системи подачі піску під колісні пари при проходженні стикових з'єднань і стрілочних переводів.

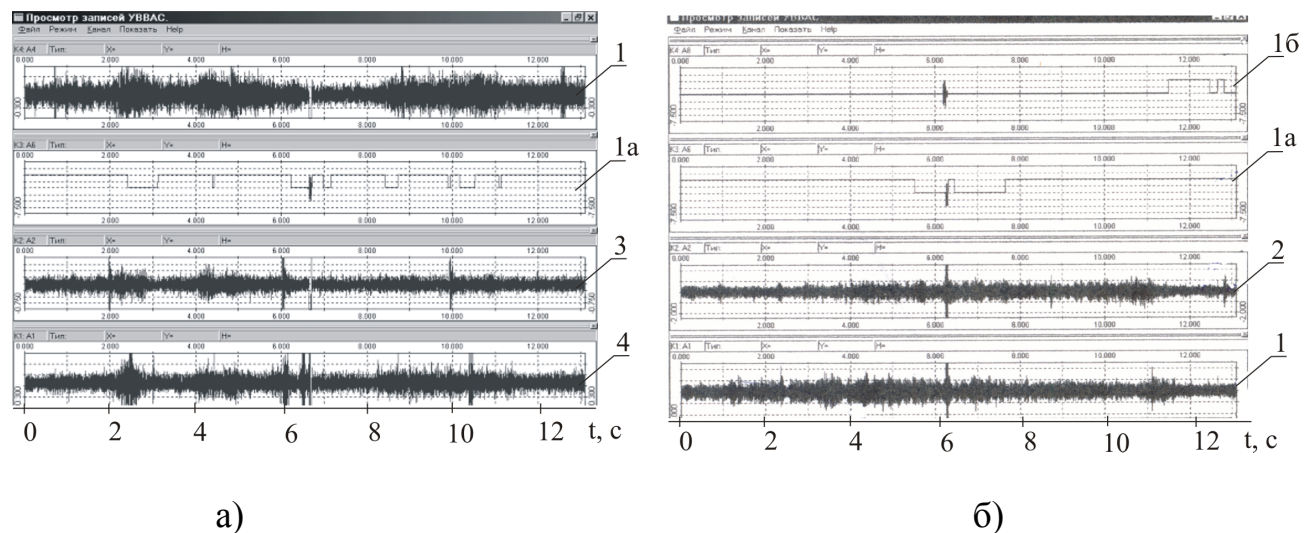


Рисунок 7. – Осцилограми експлуатаційних випробувань мікропроцесорної СВГСЗ.

Електровоз ВЛ82-043. Режим буксування при $V=15$ км/год і спільній (а) роботі СВГСЗ і штатної протибуксувальної системи і – при вимкнутій СВГСЗ (б):

1, 2, 3, 4 – сигнали датчиків віброприскорень корпусів тягових електродвигунів колісних пар; 1а – сигнал «спрацювання» СВГСЗ; 1б – сигнал спрацювання штатної протибуксувальної системи

Результати експлуатаційних випробувань мікропроцесорних СВГСЗ повністю підтвердили основні теоретичні положення і результати математичного моделювання, покладені в основу алгоритму функціонування й вибору параметрів ПВГСЗ. Випробування підтвердили стабільність і високу ефективність роботи СВГСЗ порівняно зі штатними протибуксувальними системами, яка проявляється у здатності СВГСЗ надійно попереджувати розвиток буксування колісних пар без скидання і наступного відновлення тягового моменту, за рахунок попереджувальної короткочасної (тривалістю 0,4...0,7 с) подачі піску під колісні пари, яка автоматично регулюється СВГСЗ. Якщо при вимкнанні СВГСЗ

(див. рис. 7, б) і реалізації граничних сил зчеплення машиніст був змушений, як правило, через 2...4 с скидати навантаження з тягового електродвигуна, щоб зупинити розносне буксування колісних пар (при цьому штатна протибуксувальна система «спрацюувала», як правило, лише на кінцевому етапі буксування за 0,2...0,3 с до скинення навантаження), то при увімкнутій СВГСЗ (див. рис. 7, а) і реалізації граничних сил зчеплення протягом 15...60 і більше секунд, виникнення реального буксування зафіксувати не було можливим. Це пояснюється періодичним «спрацюванням» мікропроцесорних ПВГСЗ з подачею піску під відповідні колісні пари.

У кінці розділу на основі результатів експлуатаційних випробувань СВГСЗ і наявних даних технічних характеристик кращих зарубіжних протибуксувальних систем виконано попередній розрахунок економічної ефективності впровадження мікропроцесорних СВГСЗ на вітчизняному рухомому складі.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення ефективності протибуксувальних систем електровозів за рахунок розробки і застосування мікропроцесорних систем виявлення граничних сил зчеплення й попередження буксування колісних пар. Виконані в роботі теоретичні й експериментальні дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Протибуксувальні системи, що застосовують сьогодні, базуються переважно на вимірюванні і подальшому порівнянні швидкостей обертання або залежних від них напруг, струмів у ланцюгах тягових електродвигунів боксуючих і небоксуючих колісних пар (або похідна в часі від названих величин), принципово нездатні попереджувати розвиток буксування, вони тільки усувають вже розвинений процес буксування за рахунок скидання моменту тягових електродвигунів на 40...70 %. Найбільш перспективними, що мають більш високі техніко-економічні показники, є протибуксувальні системи, які ґрунтуються на аналізі динамічних процесів у тягових приводах колісних пар з використанням мікропроцесорних ПВГСЗ, що забезпечують попередження процесів буксування.

2. Розроблено математичну модель, методики й алгоритми математичного й експериментально-апаратного моделювання динамічних процесів у системі «тяговий електродвигун–колісна пара–рейкова колія–протибуксувальна система» для різних експлуатаційних режимів: тяги, реалізації граничних сил зчеплення, режимів буксування.

3. Вперше виявлено й вивчено закономірності впливу на характер динамічних процесів у системі «тяговий електродвигун–колісна пара–рейкова колія–протибуксувальна система» при реалізації режимів тяги, граничних сил зчеплення й буксування колісних пар експлуатаційних і конструктивних факторів: швидкості руху електровоза, жорсткісних і дисипативних характеристик систе-

ми, кута нахилу централі тягового редуктора до вісі колії. Виявлені суттєві кількісні (на 6...32 %) і якісні відмінності амплітудно-частотних характеристик динамічних процесів у вказаній системі в режимах буксування й реалізації граничних сил зчеплення (порівняно з квазістаціонарними режимами тяги) покладені в основу розробки алгоритму функціонування й методики вибору параметрів ПВГСЗ.

4. Основною причиною появи інформаційного вхідного сигналу для «спрацювання» ПВГСЗ при досягненні колісними парами межі зчеплення є фрикційні автоколивання, які виникають у системі «тяговий електродвигун–колісна пара–рейкова колія–протибуксувальна система» в режимі зрушування електровоза з місця і руху його з малими швидкостями $V < 15$ км/год, і – вимушені резонансні коливання у вказаній системі від збурень з боку колії при $V > 15...20$ км/год.

5. Розроблено алгоритм функціонування мікропроцесорних ПВГСЗ, що включає процедуру формування нормованих сигналів смугових фільтрів і наявності ланки розпізнавання перешкод, який усуває недоліки, характерні для аналогових ПВГСЗ, і забезпечує надійне виявлення реалізації колісними парами граничних сил зчеплення і попередження розвитку буксування. Мікропроцесорний ПВГСЗ, створений на основі запропонованого алгоритму його функціонування, не має аналогів в Україні й закордоном і може бути застосованим для будь-якої тягової одиниці рейкового транспорту.

6. Розроблено методику вибору та налагодження параметрів мікропроцесорних ПВГСЗ, яка дозволяє в умовах локомотивного депо визначити й встановити раціональні параметри ПВГСЗ, що забезпечують подальше їхнє стабільне функціонування. Експериментально підтверджено можливість одноразового настроювання основних параметрів ПВГСЗ (центральної частоти і порогів відмикання смугових фільтрів) для кожної серії електровозів поза залежністю від тривалості експлуатації.

7. Експлуатаційні випробування електровозів ВЛ82М, обладнаних мікропроцесорними СВГСЗ, на ділянках з мережею змінного й постійного струму, підтвердили основні теоретичні положення дисертації, а саме:

- високу ефективність роботи СВГСЗ порівняно зі штатними протибуксувальними системами, яка виражається у здатності попереджувати розвиток буксування колісних пар без скидання й наступного поновлення тягового моменту ТЕД, а за рахунок СВГСЗ, яка автоматично регулює подачу піску під колісні пари тривалістю 0,4...0,7 с;

- надійність роботи запропонованого алгоритму функціонування мікропроцесорних ПВГСЗ, що забезпечують попередження розвитку буксування колісних пар з обмеженням їхнього відносного сковзання менше 2...5 % і несприйнятливості до перешкод при проходженні стиків і стрілок, в той час як кращі зарубіжні протибуксувальні системи забезпечують обмеження відносно проковзування коліс в інтервалі 6...24 %;

– здатність СВГСЗ під час руху електровоза з поїздом на підйомі виконувати функції автоматичної системи керування оптимальними зчіпними (і тяговими) характеристиками електровоза, яка забезпечує рух електровоза без буксування.

8. Визначено оцінку економічної ефективності впровадження СВГСЗ на електрорухомому складі. Економічний ефект за рік на один електровоз становить 77,6 тисяч гривнів. Термін окупності витрат при оснащенні електровозів мікропроцесорного СВГСЗ складає біля 0,4 роки.

Основні положення та результати дисертації опубліковано у таких працях:

1. Кийко А. И. Моделирование динамических процессов в системе «тяговый электродвигатель–колесная пара–рельсовый путь–противобуксовочная система» / Кийко А. И., Павленко А. П. // Днепропетровск. Сб. трудов нац. горного ун-та, 2002. – № 13, т. 3. – С. 47–51.
2. Павленко А. П. Микропроцессорная система предупреждения буксования и юза локомотивов / Павленко А. П., Павленко А. А., Павленко В. А., Кийко А. И. // Луганск, 2002. – Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. Технічні науки, Серія «Транспорт». – № 6 (52). – С. 39–42.
3. Павленко А. П. Результаты эксплуатационных испытаний микропроцессорной противобуксовочной системы локомотивов / Павленко А. П., Павленко В. А., Касторный П. М., Кийко А. И. // Луганск, 2003. – Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. Технічні науки. Серія «Транспорт». – № 9 (57). – С. 16–19.
4. Кийко А. И. Моделирование динамических процессов в тяговых приводах локомотивов для различных эксплуатационных режимов / Кийко А. И. // Днепропетровск, 2004. – Сборник трудов Днепропетровского нац. ун-та жел.-дор. транспорта им. акад. В. Лазаряна. – № 4. – С. 44–50.
5. Павленко А. П. Моделирование системы «тяговый электропривод – микропроцессорное устройство предупреждения буксования колесных пар» грузовых электровозов / Павленко А. П., Кийко А. И., Осинковский О. А. // Луганськ, 2004. – Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. Технічні науки. Серія «Транспорт». – № 8 (78), частина 1. – С. 271–277.
6. Павленко А. П. Особенности моделирования динамических процессов в системе тягового электропривода рельсового транспорта при буксовании колесных пар / Павленко А. П., Кийко А. И., Осинковский О. А. // Днепропетровск, 2004. – Сборник научн. трудов нац. горного ун-та. – № 19, т. 4. – С. 54–60.
7. Павленко А. П. Универсальная микропроцессорная система предупреждения буксования и юза тяговых единиц рельсового транспорта / Павленко А. П., Касторный П. М., Кийко А. И., Осинковский О. А. // Днепропетровск, 2004. – Сборник научн. трудов нац. горн. ун-та. – № 19, т. 5. – С. 166–169.

8. Павленко А. П. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 14851. Твір науково-технічного характеру «Мікропроцесорна система виявлення граничних сил зчеплення (СВГСЗ) та попередження буксування колісних пар локомотивів» / Павленко А. П., Павленко А. А., Павленко В. А., Кійко А. І., Касторний П. М., Осинівський О. А. Дата реєстрації 01.12.2005. – 25 с.

АНОТАЦІЯ

Кійко А. І. Підвищення ефективності протибуксувальних систем електровозів – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2008.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності протибуксувальних систем електровозів за рахунок створення й впровадження мікропроцесорних систем виявлення граничних сил зчеплення колісних пар з рейками. Кінцева мета роботи – підвищення тягово-зчіпних властивостей, зниження паливно-енергетичних й експлуатаційних витрат електровозів.

Запропоновані математична модель, методика й алгоритми моделювання на ПЕОМ, а також виявлені й досліджені закономірності динамічних процесів у системі «тяговий електропривод – колісна пара – рейкова колія – протибуксувальна система» при різних їхніх параметрах й експлуатаційних режимах, на основі яких був розроблений і реалізований алгоритм функціонування мікропроцесорних СВГСЗ, що забезпечують попередження розвитку буксування (юза) колісних пар з обмеженням їхнього відносного проковзування не більше 2...5 % на всьому швидкісному діапазоні локомотивів.

Експлуатаційні випробування магістральних електровозів, обладнаних серійною партією розроблених мікропроцесорних систем попередження буксування, підтвердили їхню високу ефективність і стабільність функціонування, які забезпечують підвищення тягово-зчіпних властивостей електровозів на 12...18 % і зниження паливно-енергетичних затрат на 5...11 %.

Ключові слова: колісні пари, рейки, динамічні процеси, буксування, мікропроцесорний пристрій, система виявлення й попередження буксування.

АННОТАЦИЯ

Кийко А. И. Повышение эффективности противобуксовочных систем электровозов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.09 – электротранспорт. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2008.

Диссертация посвящена повышению эффективности противобуксовочных систем электровозов за счет создания и внедрения микропроцессорных систем обнаружения предельных сил сцепления колесных пар с рельсами. Конечная цель работы – повышение тягово-сцепных свойств, снижение топливно-энергетических и эксплуатационных затрат электровозов. На основании выполненного анализа показано, что противобуксовочные системы электровозов, которые используются сейчас, основаны на измерении и сравнении скоростей вращения или зависимых от них токов (напряжений) тяговых электродвигателей буксующих и небуксующих колесных пар и не способны предупреждать процесс их буксования. Они только принудительно прекращают уже развитый процесс буксования за счет сброса тягового момента, который действует на колесную пару. На основе результатов математического моделирования динамических процессов в системе «тяговый электропривод – колесная пара – рельсовый путь – противобуксовочная система» в различных эксплуатационных режимах разработан алгоритм функционирования и само микропроцессорное устройство обнаружения предельных сил сцепления (УОПСС) колесных пар с рельсами, которое обеспечивает предупреждение процессов буксования за счет кратковременной предупредительной подачи песка под соответствующие колесные пары, автоматически регулируемой УОПСС посредством анализа динамических процессов в тяговом приводе каждой колесной пары.

Разработанная микропроцессорная система обнаружения предельных сил сцепления (СОПСС) основана на анализе динамических процессов в тяговом приводе каждой колесной пары и позволяет обнаруживать и предупреждать возможное развитие процессов буксования за счет упреждающей кратковременной подачи песка (длительностью 0,4–0,7 с) под колесные пары в момент времени достижения ними предельных сил сцепления с рельсами, что регулируется автоматически.

Разработана методика выбора и наладки параметров микропроцессорных систем обнаружения предельных сил сцепления (СОПСС), которая позволяет в условиях локомотивного депо определить и установить рациональные параметры СОПСС, которые обеспечат ее дальнейшее стабильное функционирование. Экспериментально подтверждена возможность одноразовой настройки основных параметров СОПСС (центральных частот и порогов отпираания полосовых фильтров) для каждой серии электровозов независимо от срока их эксплуатации.

Эксплуатационные испытания магистральных электровозов, оборудованных серийной партией разработанных микропроцессорных систем предупреждения буксования, подтвердили их высокую эффективность и стабильность функционирования по сравнению с эксплуатируемыми противобуксовочными системами, которые по своему принципу не способны предупреждать процессы буксования, а лишь принудительно прекращают уже развившееся буксование за счет сброса тягового момента, действующего на колесные пары.

Разработанная микропроцессорная СОПСС обеспечивает повышение тягово-сцепных свойств электровозов на 12–18 % и снижение топливно-энергетических затрат на 5–11 %.

Ключевые слова: колесные пары, рельсы, динамические процессы, буксование, микропроцессорное устройство, система обнаружения и предупреждения буксования.

ABSTRACT

Kiyko A. I. Increase of efficiency of electric locomotive antiskid system. – Manuscript.

The dissertation on competition for a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.22.09 – electrical transport. – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk, 2008.

The Thesis deals with raising the efficiency of electric locomotive antiskid systems by means of creating and establishing microprocessor systems of fixing top forces of wheel set-rail cohesion. On the basis of the results of dynamic process mathematical modelling in the system of traction electric drive – wheel set – rail track – antiskid system in different maintenance regimes the algorithm of functioning and microprocessor device of fixing top forces wheel set-rail cohesion have been developed. This microprocessor device ensures prevention of skid process due to the transitory preventive feed of sand under corresponding wheel sets. The process is automatically regulated by microprocessor device by means of analysis of dynamic processes in an electric drive of every wheel set.

Maintenance tests of main line electric locomotives equipped with a serial lot of skid prevention microprocessor systems confirmed their high efficiency and stability of functioning as compared to antiskid systems used nowadays which are not able to prevent skid processes but can only stop skidding which has already been developed. This is done due to throwing off tractive power (traction moment), acting on the wheel sets.

Key words: wheel sets, rail, dynamic processes, skid/slip, microprocessor device, the system of fixing and prevention of skid (fixing and prevention skid system).

КІЙКО Анатолій Іванович

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИБУКСУВАЛЬНИХ
СИСТЕМ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку «_____»_____2008 р.
Формат 60х84 1/16. Папір для множних апаратів. Різограф.
Ум. др. арк. 1,0. Обл.-вид. л. 1,0. Тираж 100 прим.
Замовлення № _____. Безкоштовно.

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
ДК № 1315 від 31.03.03

Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії:
49010, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. В. А. Лазаряна, 2.
www.diitrvv.dp.ua,
admin@diitrvv.dp.ua