

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова

СМЄНОВА ЛЮДМИЛА ВІТАЛІЇВНА

УДК: 621.33

**МОНІТОРИНГ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ТЯГОВИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ І АКУМУЛЯТОРНИХ
БАТАРЕЙ ДВОВІСНИХ ЕЛЕКТРОВІЗІВ**

Спеціальність 05.22.09 – електротранспорт

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі електричного транспорту Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник –

доктор технічних наук, професор
Хворост Микола Васильович,
директор Центру заочно-дистанційного навчання,
професор кафедри електричного транспорту
Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова
Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент
Носков Валентин Іванович, професор кафедри
обчислювальної техніки та програмування
Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України;

доктор технічних наук, професор
Муха Андрій Миколайович, завідувач кафедри
електротехніки та електромеханіки Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Захист відбудеться «17» жовтня 2019 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.089.02 Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова за адресою: 61002, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова за адресою: 61002, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

Автореферат розісланий «13» вересня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В. М. Поліщук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На підприємствах різних промислових галузей України використовують більше ніж 4 тисячі 20-ти видів і типів двовісних електровозів, які споживають значні обсяги електроенергії. Вагомим складником ефективності та надійності функціонування цих електровозів, як і інших електрифікованих видів транспорту, є тип тягової електромеханічної системи. На жаль, двовісні електровози, які експлуатують, до сих пір оснащені застарілими неефективними контакторно-резисторними тяговими електромеханічними комплексами на основі електродвигунів постійного струму, що не забезпечують необхідного рівня енергозбереження. За системою живлення тягових комплексів двовісні електровози поділяють на:

- контактні, які отримують живлення від тягової контактної мережі;
- акумуляторні, з автономним джерелом живлення електричної енергії – тягової акумуляторної батареї (ТАБ);
- комбіновані, із синергетичною системою живлення як від тягової контактної мережі, так і від тягової акумуляторної батареї.

Останні експлуатують на багатьох закордонних підприємствах, а в Україні їх тільки починають упроваджувати.

Між тим, перші зразки таких електровозів з енергоефективними тяговими електромеханічними комплексами (ТЕМК) пройшли попередні випробування й отримали позитивні результати. Проте достатнього рівня ефективності сучасних ТЕМК не досягнути без наявності в їхній структурі систем моніторингу й діагностування поточного стану складників ТЕМК.

Отже, дослідження, спрямовані на розв'язання проблеми підвищення ефективності функціонування ТЕМК через удосконалення системи моніторингу стану складників тягових комплексів, актуальні й своєчасні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційну роботу виконано в межах договорів про навчально-наукову й технічну співпрацю кафедри «Електричний транспорт» Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова з підприємствами й організаціями України відповідно до напрямку наукових досліджень кафедри та низки державних програм, а також для реалізації мети державної програми розвитку машинобудування на 2006-2016 р.р., затвердженої постановою Кабінету Міністрів України (№516 від 18.04.2006 р.).

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи – розроблення теоретичних положень і практичних рішень щодо підвищення ефективності експлуатації двовісних промислових електровозів через упровадження систем моніторингу електричних параметрів тягових асинхронних двигунів і тягових акумуляторних батарей.

Досягнення поставленої мети передбачає виконання таких завдань:

- здійснити аналіз зміни технічного стану тягового електрообладнання двовісних електровозів у процесі експлуатації та визначити основні фактори, які впливають на енергоефективність технічних засобів;
- окреслити основні критерії для моніторингу електричних параметрів тягових асинхронних двигунів (ТАД) і тягових акумуляторних батарей двовісних електровозів;
- розробити методику виявлення основних параметрів ТАД і ТАБ, зокрема активного опору статора, індуктивності фази ротора і статора, опору взаємодуції статора й ротора на основі інформації, яка міститься в значеннях струмів і напруг статора двигуна в режимі збудження постійним струмом двох послідовно з'єднаних обмоток фаз статора ТАД;
- установити моменти навантаження тягового електродвигуна за значеннями фазових струмів під час пуску ТАД на різних частотах і напругах;
- визначити сумарний момент інерції приведенного до вала тягового електродвигуна за значеннями фазових струмів під час пуску ТАД на низькій фіксованій частоті й відповідній їй напрузі; з'ясувати допустимі навантаження ТАД під час експлуатації;
- розробити метод і вимоги до моніторингу електричних параметрів тягових асинхронних двигунів і акумуляторних батарей двовісних електровозів.

Об'єкт досліджень. Електротехнічні процеси в складових елементах тягових електромеханічних комплексів двовісних електровозів.

Предмет досліджень. Комплекс моніторингу для аналізу поточного стану електричних параметрів тягових асинхронних двигунів і акумуляторних батарей двовісних електровозів.

Методи дослідження. Методи системного аналізу, математичне моделювання, теорія ймовірностей та математичної статистики, теорія експертних оцінок і нечітких множин, методи лінгвістичних змінних і методи оптимізації складних систем, теорія матриць, експериментальні дослідження показників експлуатаційної надійності та системи технічного обслуговування і ремонту, експертні дослідження. Теоретичні розрахунки та статистичну їх обробку проведено з використанням прикладних програм на ПК.

Наукова новизна отриманих результатів:

- уперше розроблено методику визначення електромагнітних і механічних параметрів асинхронних електродвигунів: активного й реактивного опорів статора, індуктивного опору кола намагнічування, активного й реактивного опору короткозамкнутого ротора, моменту інерції ротора, що дозволяє здійснювати аналіз критичності операцій і підпроцесів запропонованої системи, а також визначати ділянку оперативного втручання в процес управління технічним станом устаткування впродовж життєвого циклу;
- уперше визначено закономірності зміни електромагнітних параметрів асинхронного електродвигуна залежно від стану магнітної системи асинхронного двигуна, що дало змогу прогнозувати технічний стан обладнання та виявляти найбільш імовірні ризики різних подій, порушень справності та відмов;

- удосконалено ітераційну процедуру визначення параметрів асинхронного двигуна по мінімуму відхилення фактичних даних при перехідних процесах від даних, розрахованих за допомогою математичної моделі;

- удосконалено методи оцінок ідентифікованих електромагнітних параметрів асинхронного електродвигуна для розроблення заходів щодо підтримування працездатності тягового асинхронного електропривода, – це дозволило більш точно визначати залишковий ресурс електропривода під час дії різних факторів та умов експлуатації.

Дістали подальший розвиток:

- методи розрахунків і корекції погрешностей розрахункових операцій з урахуванням помилки вимірів для підвищення точності визначення параметрів двигуна;

- методи моніторингу електричних параметрів тягових акумуляторних батарей електровоза, що дають змогу розробляти новий спосіб контролю технічного стану батарей.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні швидкодіючої системи підвищення енергоефективності тягових електроприводів двовісних електровозів за допомогою моніторингу електричних параметрів тягових асинхронних двигунів й акумуляторних батарей у процесі експлуатації. Це дозволяє підвищити вірогідність отриманої інформації про стан тягових електроприводів, підвищити продуктивність випробувань, скоротити собівартість проведення випробувань і оцінки параметрів, збільшити термін служби асинхронних електродвигунів й акумуляторних батарей та знизити виробничі витрати.

Результати досліджень передані для реалізації й освоєння випуску енергоефективних тягових електроприводів для нових видів двовісних електровозів підприємству, що спеціалізується на випуску електротехнічних комплексів, – ТОВ «Промремонтінвест» (м. Кривий Ріг).

Результати досліджень також пропонуємо використовувати в навчальному процесі під час викладання спеціальних дисциплін електромеханічного напрямку.

Особистий внесок здобувача. Результати дисертації, винесені на захист, автор отримав самостійно, їх викладено в працях [1]-[25]. Дослідження [14], [15] самостійні. У роботах, написаних та опублікованих у співавторстві, автору належать такі результати: [1],[5],[9] – розроблено принципи побудови багаторівневої системи моніторингу та діагностики електричного обладнання тягових електротехнічних комплексів; [2] – наведено алгоритм пошуку і розроблення системи керування контактено-акумуляторними електровозами під час завантаження (розвантаження); [3],[19],[23] – проведено моделювання перехідних процесів у тягових асинхронних двигунах двовісних електровозів; [4],[12] – розроблено тактику проведення ідентифікації та діагностики параметрів функціонування ТАД у складі тягових модулів електротранспорту й методичку опрацювання отримуваних експериментальних даних; [6] – описано спосіб визначення реальних параметрів ТАД на основі нових інформаційних

ознак; [7],[8],[13] – окреслено використання мікропроцесорної системи діагностування на двовісних електровозах; [10],[17] – запропоновано й обґрунтовано послідовність операцій під час ідентифікації електричних параметрів і діагностики ТАД; [11] – розкрито теоретичні аспекти перехідних режимів тягових електромеханічних комплексів; [16],[18] – доведено доцільність моніторингу електромеханічних параметрів двовісних електровозів, розроблено методика визначення моментів інерції та опору, приведених до вала ТАД у комплексі електромеханічної системи; [20],[24] – розроблено спосіб виявлення неполадок у ТАБ в усіх режимах їх роботи за допомогою системи контролю; [21] – формалізовано види відмов тягового електрообладнання двовісних електровозів; [22] – запропоновано структури синергетичного тягового електропривода двовісного електровоза з комбінованою системою живлення тягового електромеханічного комплексу; [25] – обґрунтовано доцільність використання пристрою для контролю справності ТАБ за різних експлуатаційних режимів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення, наукові й практичні результати, отримані в дисертаційній роботі, було апробовано й схвалено на міжнародних науково-технічних конференціях: XIV і XV Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика» (Інститут електромеханіки, енергозбереження і систем управління Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (14-16 травня 2013 р. і 14-16 травня 2014 р., м. Кременчук Полтавської області)); XXIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку рейкового транспорту» (23-27 вересня 2013 р., Крим); XXI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» (15-20 вересня 2014 р., м. Одеса); XXI і XXIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми автоматизованого електропривода. Силова електроніка та енергоефективність» (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (16-19 вересня 2015 р. і 12-16 вересня 2017 р., м. Харків)); II-й Міжнародній науково-технічній конференції «Smart-технології в енергетиці та електроніці – 2017» (02-07 вересня 2017 р., смт. Лазурне Скадовського району Херсонської обл.); науково-практичній конференції студентів і молодих учених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (05-07 жовтня 2017 р., м. Лиман Донецької області)); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні методики, інновації та досвід практичного застосування у сфері технічних наук» (27-28 грудня 2017 р., м. Люблін, Республіка Польща); науковому семінарі кафедри автоматизованих електромеханічних систем у промисловості та транспорті ДВНЗ «Криворізький національний університет» (15 березня 2018 р).

У повному обсязі дисертаційну роботу було представлено на розширеному засіданні кафедри «Електричний транспорт» Харківського

національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова від 25 вересня 2018 р. за участю членів спеціалізованої вченої ради.

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи викладено у 25 наукових працях. Серед них 12 статей опубліковано у фахових виданнях, зокрема й 2 статті – у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази даних Scopus; 3 статті – у наукових журналах і збірниках наукових праць; 4 тези доповідей; 4 монографії (одна з них – у закордонному виданні). За результатами дослідження отримано 2 патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (135 позицій) та дев'яти додатків, містить 49 рисунків, 1 таблицю. Загальний обсяг дисертації – 243 сторінки, із них основного тексту – 159 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет вивчення, відображено наукову новизну, практичне значення й методи дослідження. Надано інформацію про апробацію, публікації та впровадження результатів дослідження.

Обґрунтовано необхідність розроблення ефективних методів контролю, визначення електромеханічних параметрів і діагностики технічного стану складників тягового електромеханічного комплексу двовісних електровозів, зокрема тягових короткозамкнутих асинхронних двигунів та акумуляторних батарей.

У **першому розділі** наведено відомості про види й типи двовісних електровозів. Показано доцільність використання нових для вітчизняної промисловості електровозів комбінованих контактено-акумуляторних із гібридними системами тягових електроприводів. Запропоновано жорстку електричну схему двовісного контактено-акумуляторного електровоза з ТАД.

Унаслідок аналізу обраної структури схеми керування тягового електропривода змінного струму визначено та запропоновано мікропроцесорну систему керування ТАД двовісних електровозів.

Концепція системи (рис.1) об'єднує такі частини: плату мікроконтролера; трифазний інвертор, датчики зворотних зв'язків (частоти обертання двигуна, напруги й струмів, перевантаження по струму), оптоізоляцію між силовими електричними колами й мікроконтролером, джерело живлення.

Цю структуру покладено в основу подальших досліджень для розроблення комплексу технічної діагностики електричних параметрів складників синергетичного електромеханічного комплексу двовісного контактено-акумуляторного електровоза.

У **другому розділі** представлено результати теоретичних досліджень тягових асинхронних приводів як базис для ідентифікації їхніх електричних параметрів.

Аналіз методів оцінки стану та якості роботи ТАД показав, що за координатами характеристик тягового електропривода в динамічних режимах у всіх можливих діапазонах зміни частоти обертання ротора можуть бути розраховані електромеханічні параметри двигуна.

Оскільки основними параметрами ТАД є активні й індуктивні опори й момент інерції, то вони виступають коефіцієнтами перед незалежними змінними в рівняннях, що описують електромеханічне перетворення енергії.

Побудова алгоритму визначення параметрів – це детерміновані й пошукові процедури. Суть пошукових процедур полягає у визначенні ітераційних елементів пошуку для мінімізації розходжень між даними експерименту і розрахунку. Згідно із запропонованою методологією необхідні параметри ТАД спершу можуть задаватися наближено, а потім уточнюються до значень, що забезпечують максимальне наближення даних розрахунку на основі використання математичної моделі ТАД й експерименту. Застосування для цього математичних моделей треба передбачати під час створення системи ідентифікації й діагностики, а самі моделі повинні бути такими, щоб їх можна було безпосередньо використовувати в процесі керування. Можливість застосування мікропроцесорів і числових методів із цією метою є ефективним напрямком рішення певної частини проблем.

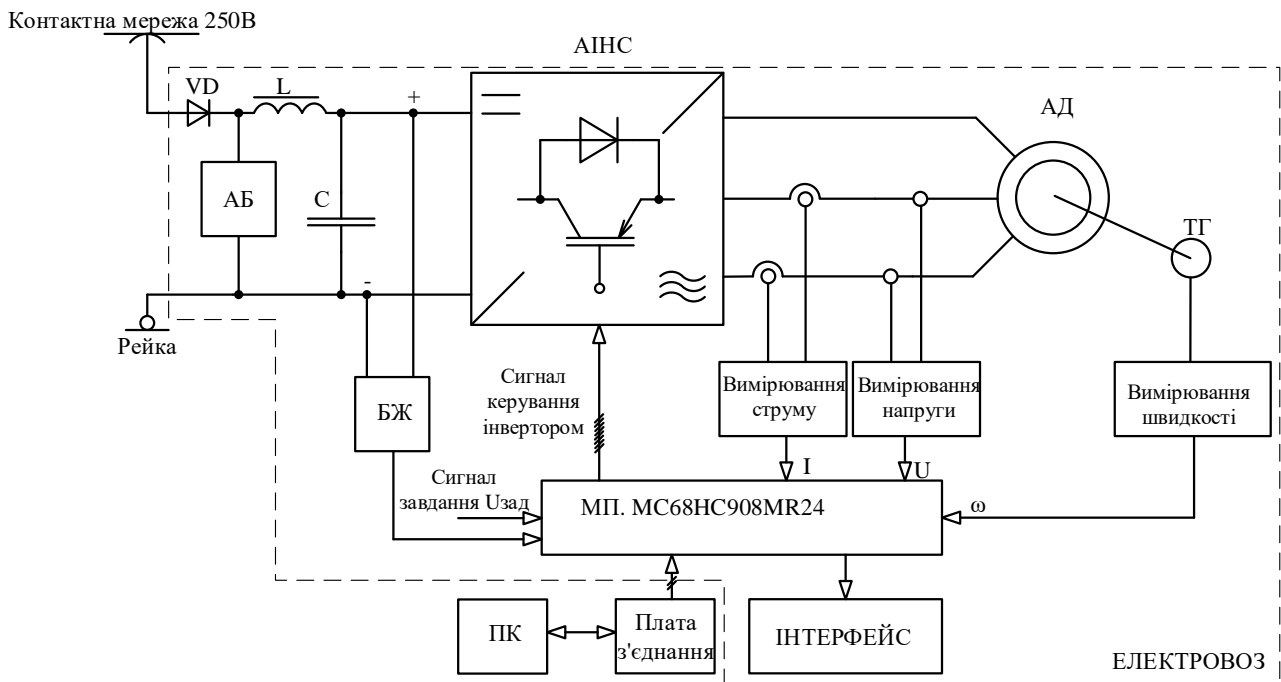


Рисунок 1 – Система керування для тягового асинхронного двигуна двовісного електровоза

У роботі застосовано математичну модель, яка охоплює імітаційну модель трифазного ТАД, пристрій формування трифазної напруги, підсистему ідентифікації та пристрій реєстрації змінних.

Ідентифікація параметрів машини враховує перехідні режими струму статора ТАД у нерухомій відносно статора системі координат.

У **третьому розділі** обґрунтовано новий метод наближення для ідентифікації параметрів тягового асинхронного двигуна синергетичного ТЕМК двовісного електровоза.

Стосовно тягового привода для розрахунку параметрів, зміни яких у процесі роботи істотно впливають на якісні характеристики системи, використовуваний такий підхід.

Перед початком руху електровоза або під час завантаження вагонеток електровоза керований перетворювач частоти переводиться в режим регульованої постійної напруги, яка подається на дві фази асинхронного двигуна. Напруга подається по чергово на кожен пару фаз двигуна *ab*, *bc*, *ca*. Виміряні й перетворені в цифрові значення струми й напруги формують масив про перехідний процес у стопорному режимі двигуна. Цей масив зберігається або передається в систему ідентифікації параметрів. Під час пуску на двигун подається напруга заданої частоти й амплітуди. Дані про струми, напруги й частоти обертання формують масив даних про перехідний процес в електромагнітній системі двигуна у процесі розгону двигуна до заданої швидкості обертання.

Отримані дані обробляються в автоматичному режимі, що дозволяє за допомогою програми здійснювати ідентифікацію параметрів і діагностувати стан асинхронного двигуна.

За встановленими значеннями струму і напруги статора в стопорному режимі розраховуємо активний опір статора. Каталожні, розрахункові або дані параметрів асинхронного двигуна після досліджень вводимо як параметри математичної моделі ТАД. Масив розрахованих у процесі моделювання даних у роботі порівнюємо з даними, отриманими під час стопорного й пускового режиму.

Параметри обчислюємо за аналітичними виразами, отриманими із співвідношень між змінними й параметрами ТАД. При цьому як змінні будемо використовувати тільки вимірювані в приводі змінні: струм, напругу, швидкість, а як параметри – еквівалентні індуктивності розсіювання статора й ротора, які мало змінюються під час експлуатації й залежать від геометричних параметрів.

Розрахункові значення координат у перехідних (динамічних) процесах визначаємо розв'язанням системи нелінійних диференціальних рівнянь, що описують математичну модель ТАД. Для точного розв'язання пропонуємо застосувати метод Рунге – Кутта, за обмежених обчислювальних можливостей мікропроцесора й необхідності зменшення кількості обчислень застосовуємо ітераційний метод послідовного типу Башаріна.

У **четвертому розділі** подано послідовність операцій під час ідентифікації електричних параметрів і діагностики тягових асинхронних двигунів у тягових електромеханічних комплексах двовісних електровозів, яка полягає в такому (рис. 2).



Рисунок 2 – Послідовність операцій під час ідентифікації й діагностики параметрів тягових асинхронних електричних двигунів

Вибір структури – послідовності операцій ідентифікації – визначають режимом роботи, реалізованим тим чи тим способом під час виконання команд машиніста електровоза.

Вимірювані параметри ТАД – значення фазових напруг, струмів і частота обертання, форматизовані мікропроцесорною системою керування ТЕМК у дані, відповідними каналами передаються в бортовий комп'ютер із необхідним програмним забезпеченням для ідентифікації цих параметрів і діагностики стану двигуна.

Авторський варіант алгоритму діагностики й ідентифікації параметрів ТАД подано на рис. 3.

В оперативну пам'ять бортового комп'ютера вводять потрібні для діагностики й ідентифікації параметрів масиви даних про перехідні процеси:

- три масиви даних $I_{a1...aN}, I_{b1...bN}, I_{c1...cN}$ про фазові струми і три масиви даних $U_{a1...aN}, U_{b1...bN}, U_{c1...cN}$ попарного фазового ввімкнення на постійну напругу U_{II} (тобто спочатку вмикають фази ab , потім – bc і в кінці – ca);

- три масиви даних $I_{a1...aN}, I_{b1...bN}, I_{c1...cN}$ про струми в трьох фазах і три масиви даних $U_{a1...aN}, U_{b1...bN}, U_{c1...cN}$ про трифазові напруги під час пуску або в робочому режимі;

- за наявності датчика частоти обертання формується відповідний масив даних – $\omega_{1...N}$.

Оброблення експериментальних даних полягає в масштабуванні, регуляризації узгодження масивів даних з очікуваними результатами розрахунків на математичних моделях об'єкта, що ідентифікується.

За даними масиву, що характеризує режим, який установився, і струму в обмотках визначають активний опір двох послідовно ввімкнених фаз ТАД. Виявляють середнє значення фазового опору за N -вимірів під час установленого процесу й аналізують величину відхилення для кожної пари фазових опорів.

Сам же активний опір статора визначають через усереднення даних при заданій кількості точок N , значенні струму I_{Ktu} , яке встановилося, і напрузі:

$$R_{Sr} = \frac{1}{N} \sum_{1}^N \frac{U_{II}}{I_{Ktu-N}}, \quad (1)$$

де Ktu – порядковий номер кінцевого значення струму;

N – число значень струму;

I_{Ktu} – значення струму, яке встановилося.

При допустимому значенні розрахованого активного опору статора R_{Sr} активний опір ротора:

$$R_r = R_{Sr} \cdot K_{SRO}. \quad (2)$$

Конструктивний коефіцієнт K_{SRO} – відношення активного опору фаз ротора до активного опору фази статора під час виготовлення обмоток статора й ротора з того самого матеріалу, визначають його за каталожними даними й використовують в обчислювальній програмі як постійну величину.

Дані про значення опорів зберігаються й передаються для використання їх під час моделювання процесів у ТАД.

Активний опір статора визначають через усереднення даних за заданою кількістю точок N при значенні струму I_{ust} , яке встановилося, і напруги U_{II} .

Визначають відхилення активного опору фази статора й порівнюють із допустимим значенням.

На підставі аналізу перехідних процесів у статорі розроблено алгоритм ідентифікації активних опорів статора й ротора асинхронного двигуна, який передбачає проведення процедури вмикання електропривода й розрахунки в реальному часі (рис. 3).

Установлення головної магнітної індуктивності або індуктивного опору контура намагнічування за значеннями постійних часу електромагнітного контура дає змогу прогнозувати основні експлуатаційні параметри ТАД і визначати допустиме навантаження двигуна (Блок 12).

За даними масиву, що характеризують режим, який установився, і струму в обмотках визначають активні опори двох послідовно ввімкнених фаз (рис. 3).

Установлення взаємної індукції статора й ротора асинхронного двигуна відбувається в процесі аналітичного розв'язання системи диференціальних рівнянь ТАД під час ввімкнення на постійну напругу.

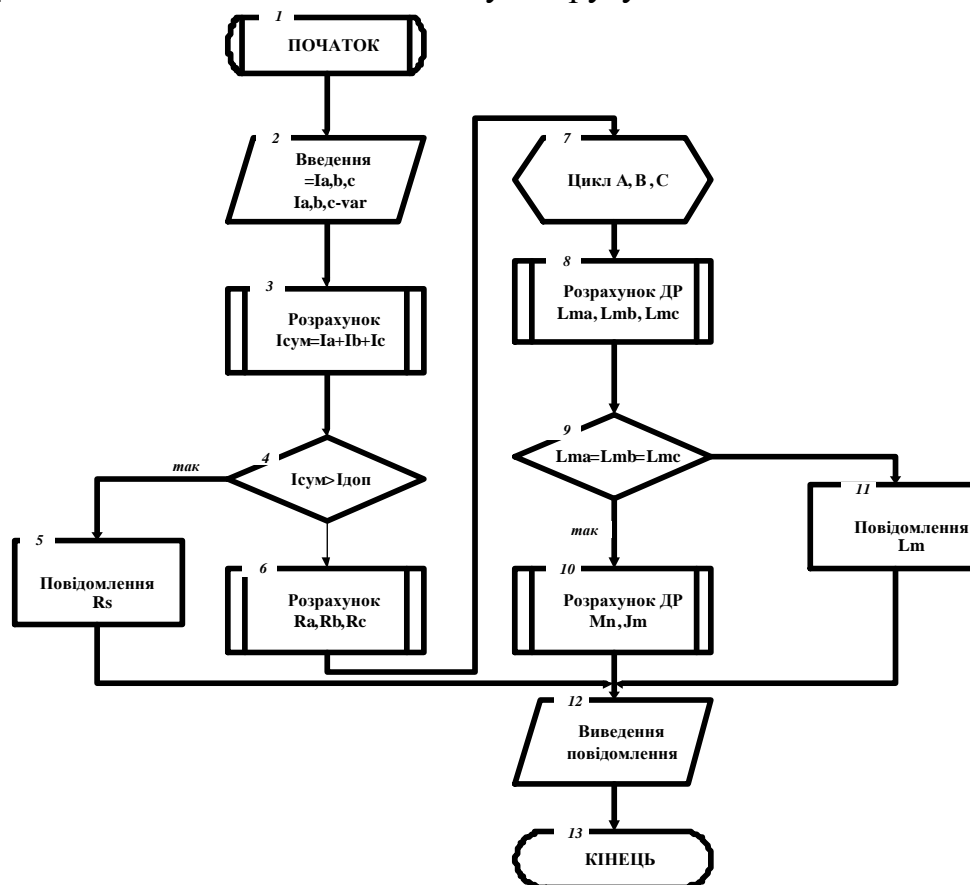


Рисунок 3 – Алгоритм діагностики стану електричних параметрів тягового асинхронного двигуна

За коренями характеристичного рівняння встановлюють значення взаємної індукції статора й ротора.

Машинограми перехідного процесу за струмом статора ТАД під час увімкнення на постійну напругу, при зміні K_{ls} на величину, що дорівнює ΔK_{ls} , і процес, розрахований за каталожними даними, наведено на рис. 4. Початковий крок наближення $\Delta K_{ls}=0,016$, початкове наближення $K_{ls}=1,17$. Початковий час перехідного процесу $t_0=0,0$, кінцевий час – $t_k=8,00$ с.

Помилки між вихідними й розрахованими значеннями, виявлені за допомогою запропонованого алгоритму, електричних параметрів, становлять: $\Delta R_s=0,13\%$; $\Delta R_r=0,36\%$; $\Delta L_s=1,20\%$; $\Delta L_r=2,60\%$; $\Delta L_\mu=3,06\%$; $\Delta K_{lr}=3,20\%$; $\Delta K_{ls}=3,18\%$; $\Delta K_{sr}=6,41\%$.

Визначення сумарного моменту інерції здійснюється через порівняння даних перехідного процесу за струмом статора в режимі пуску при відомій амплітуді й частоті живильної напруги.

При цьому помилку в розходженні вимірних і розрахованих перехідних процесів виявляють за значеннями фазового струму статора.

Ідентифікація моменту інерції здійснювалася за таких умов: крок наближення $\Delta J_m = 1,22$ кгм²; початкове наближення $J_m=27,45$ кгм².

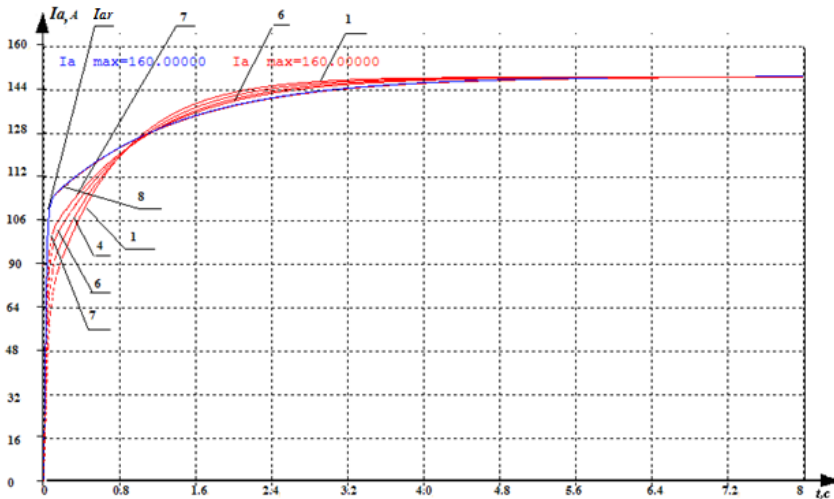


Рисунок 4 – Машинограми перехідного процесу за струмом статора ТАД під час увімкнення на постійну напругу для визначення оптимального Kl_s

На рис. 5 наведено машинограми перехідного процесу за частотою обертання під час наближення за моментом інерції.

Помилка між реальними значеннями моменту інерції, моменту навантаження й розрахованим моментом навантаження, а також моментом інерції, яку визначають наближенням, становить:

$$P_{om} = 100 \frac{|\Delta J_m|}{J_m} = 100 \frac{|48,4 - 44,0|}{44,0} = 10\%, \quad P_{om} = 100 \frac{|\Delta M_{gm}|}{M_{gm}} = 10\%,$$

де J – приведений до вала двигуна момент інерції і M – момент навантаження.

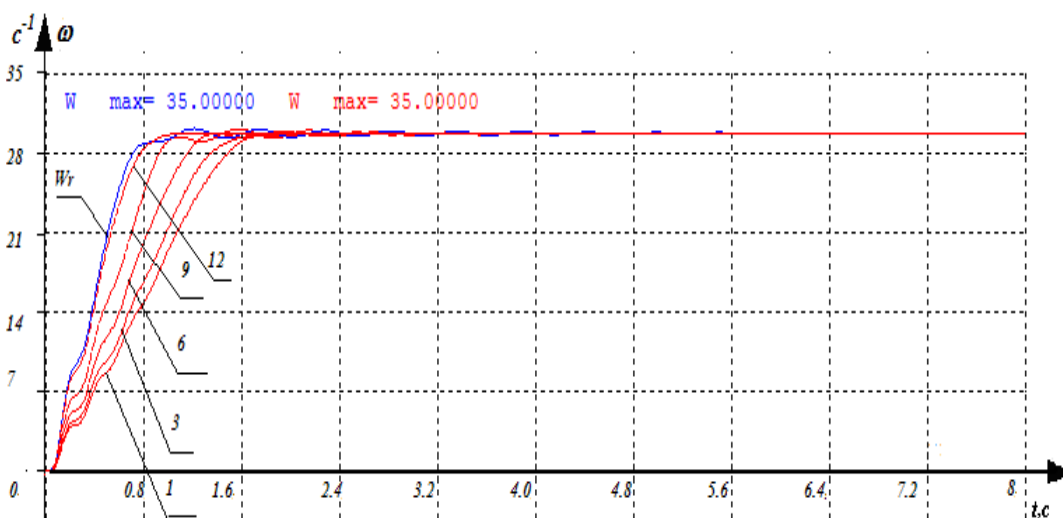


Рисунок 5 – Машинограми частоти обертання під час визначення сумарного моменту інерції, приведенного до вала ТАД

Визначення сумарного моменту інерції приведенного до вала ротора ТАД і механізму здійснюється через порівняння даних перехідного процесу за струмом статора в режимі пуску, якщо відомі амплітуда й частота напруги, що живить. Миттєві значення напруги, що живить, можуть бути задані за допомогою розрахунку або даних вимірної напруги.

електровоза

Машинограми перехідних процесів за струмом статора, моментом, що розвиває асинхронний двигун, і частотою обертання при прямому пуску на зниженій напрузі, розраховані за допомогою запропонованої математичної моделі, наведено на рис. 6-8.

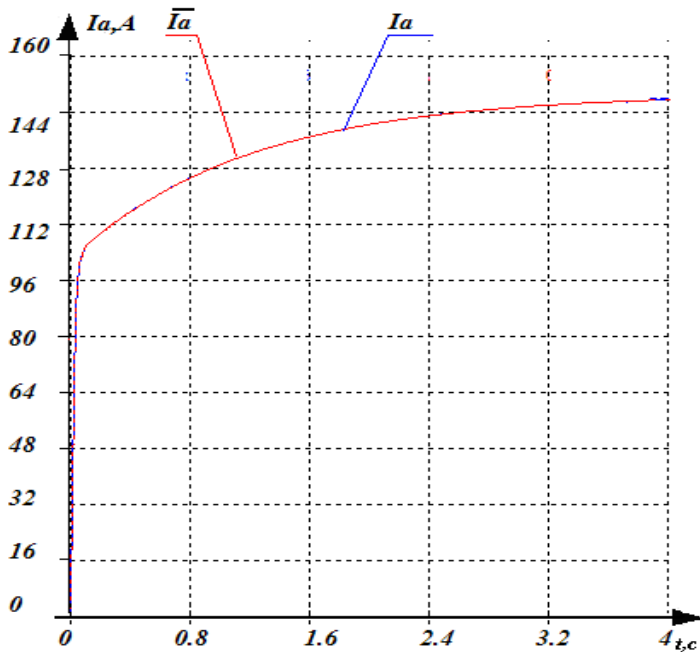


Рисунок 6 – Машинограма перехідного процесу струму статора ТАД ($L_{\mu}=0,025$ Гн) під час увімкнення на постійну напругу

опис основних експлуатаційних (електричних, характеристик акумуляторних батарей.

У п'ятому розділі надано результати дослідження тягових акумуляторних батарей як джерела автономного живлення тягових електротехнічних комплексів двовісних електровозів.

Найважливішою задачею, що виникає під час створення нових технічних засобів у процесі експлуатації ТАБ, до яких належать зарядні й зарядно-розрядні пристрої, засоби моніторингу, контролю й захисту від недопустимих режимів роботи ТЕТК двовісних електровозів, є вивчення й математичний енергетичних і надійнісних)

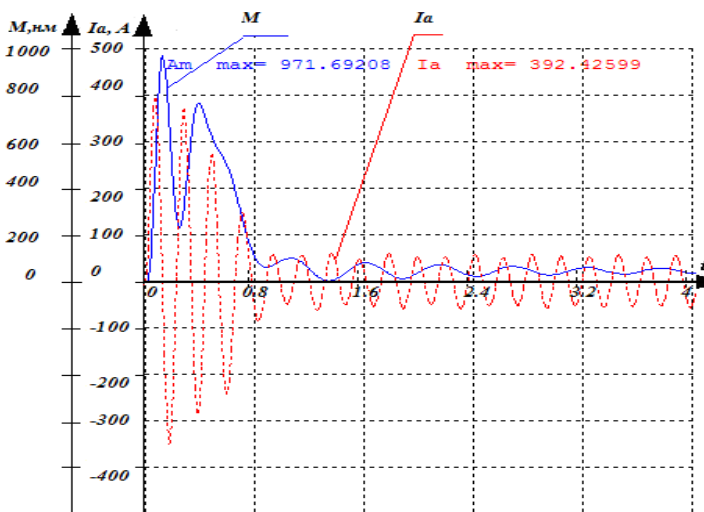


Рисунок 7 – Машинограми перехідних процесів моменту й струму статора ТАД ($L_{\mu}=0,025$ Гн) під

час пуску

Це забезпечить
можливість отримання

достатньо універсальних математичних моделей, що дозволяють оцінювати експлуатаційні властивості й режими функціонування ТАБ, контролювати стан параметрів, прогнозувати їх у різних виробничих ситуаціях. Електричну схему заміщення акумулятора можна отримати на основі подання процесу накопичення потенціалу як заряду конденсатора, що імітує відповідний шар електрода, а зв'язок між шарами – як резистивне з'єднання (рис. 9). Резистори $R_{01} - R_{cn}$ імітують внутрішній опір ТАБ, резистори $R_{11} - R_{1n}$ – зовнішні витікання й саморозряд акумуляторів. Заряд конденсаторів під час подачі напруги U відбувається зі швидкостями, обернено пропорційними їхнім ємностям $C_1 - C_n$ та опорам відповідних резисторів.

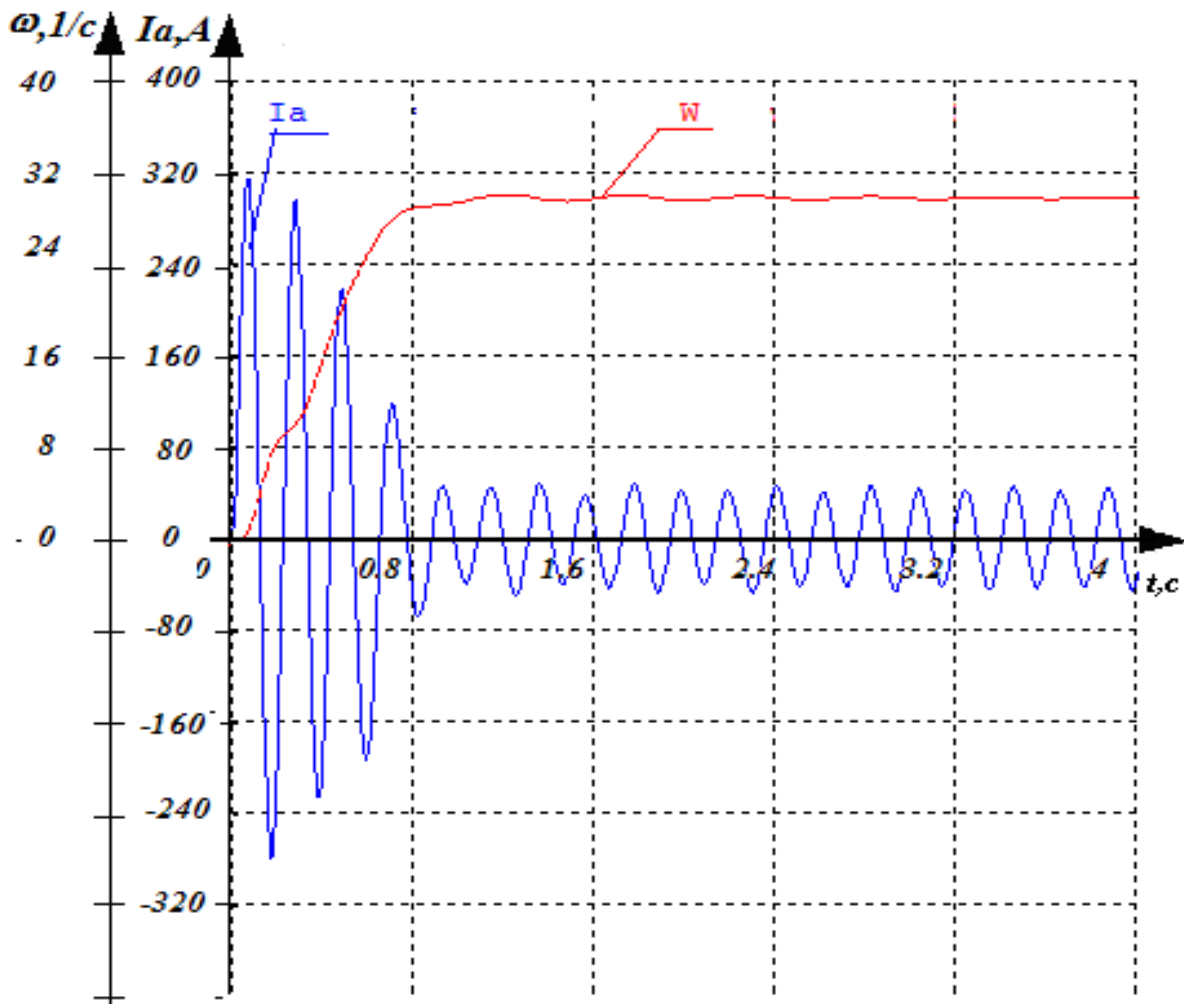


Рисунок 8 – Машинограми перехідних процесів струму статора й частоти обертання ТАД ($L_{\mu}=0,025$ Гн) під час пуску

Режим розряду ТАБ імітується підключенням зовнішнього опору навантаження, показаного пунктиром на рис. 9.

У загальному випадку значення струму під час увімкнення ТАБ на заряд чи розряд і напруги на її виводах у режимі паузи можна апроксимувати сумою

експоненціальних кривих із різними початковими значеннями й постійними часу. Це дозволяє експериментальні залежності $U = f(t)$ й $i = f(t)$ розкласти на експоненціальні складники й за ними визначати параметри математичної моделі тягової батареї.

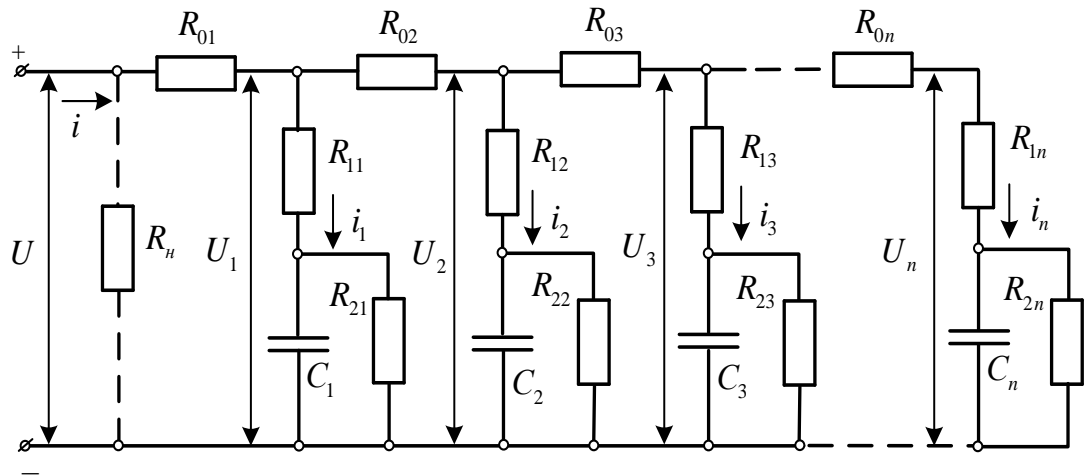


Рисунок 9 – Електричні схеми заміщення тягових акумуляторів

Сучасні тягові системи й комплекси двовісних видів електровозів повинні суміщати програмно-апаратні засоби, що дозволяють значно скоротити кількість складників тягового електротехнічного комплексу. У поданій системі контролю й керування апаратна частина виконує функцію виконавчих механізмів, тоді як програмний продукт мікроконтролерів системи керування відповідає за вимірювання, опрацювання й аналіз відповідної інформації. На підставі отриманих та оброблених даних постає рішення про технічний стан та зміну режиму функціонування тягової акумуляторної батареї.

Основними складниками підсистеми контролю стану елементів ТАБ є: контроль рівня напруги на елементах; контроль значення струму силового електричного кола.

У **шостому розділі** обґрунтовано заходи з технічної реалізації ідентифікаційної й діагностичної системи обладнання електровоза.

Основними функціями системи комплексної ідентифікації параметрів і діагностики тягового електромеханічного обладнання електровоза (рис.10) повинні бути: контроль параметрів контактної мережі; формування завдання тяговим електроприводам; забезпечення узгодженої роботи тягового електропривода, рейкових і механічних гальм у режимі гальмування; захисні функції; ідентифікації параметрів і діагностика стану електровоза; збір і відображення інформації про рух; керування допоміжним обладнанням. Передбачено використання бортового комп'ютера, призначеного для керування обладнанням електровоза та його діагностики в усіх режимах роботи, а також надання машиністу необхідної інформації про роботу електричного й іншого устаткування в нормальних та аварійних режимах.

Результат роботи системи діагностування може бути поданий в активному чи пасивному режимі залежно від впливу даної події на безпеку руху. Активний режим полягає в обов'язковому інформуванні машиніста про діагностичні події,

що відбулися, й отриманих висновках; пасивний режим являє собою констатацію факту виникнення діагностичної події, зафіксованої системою. Цю інформацію машиніст може використовувати на свій розсуд.

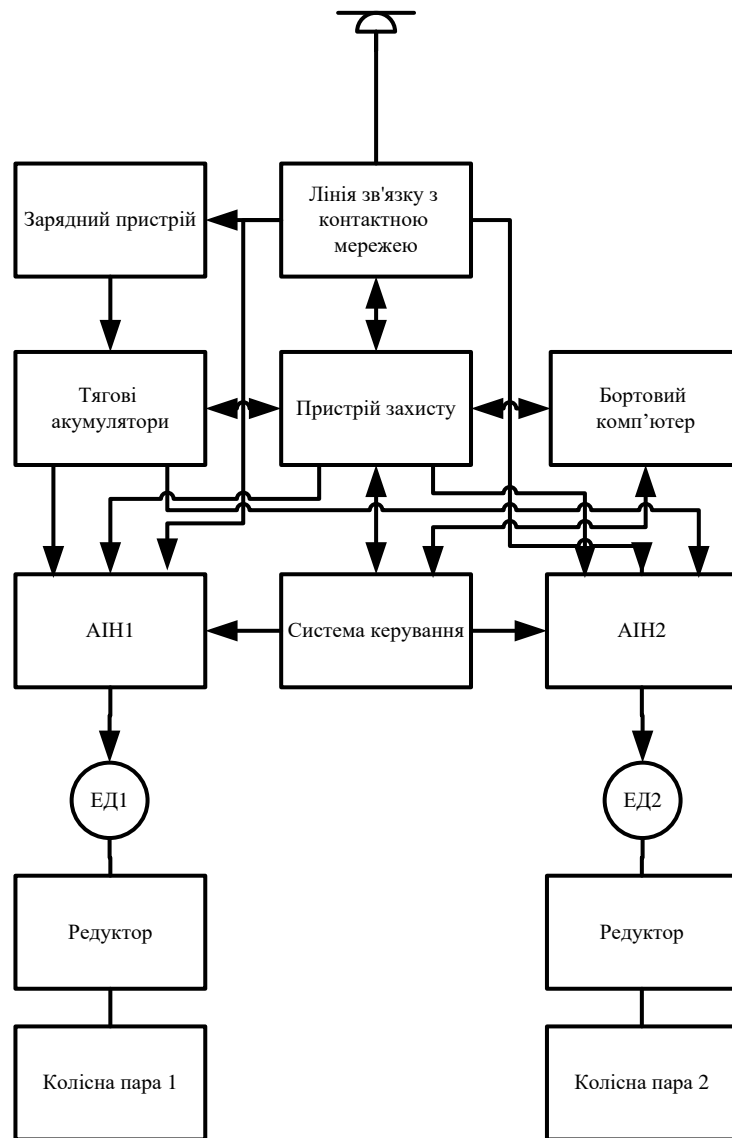


Рисунок 10 – Загальна система комплексного керування й діагностики

Увесь набір модулів системи керування й діагностики можна функціонально розділити на два рівні:

- верхній рівень – підсистема керування електровозом;
- нижній рівень – підсистеми керування перетворювачами.

Агрегативну структуру системи керування й діагностики подано на рис. 11.

До верхнього рівня системи керування відносять органи керування та дисплеї на пультах керування.

До нижнього рівня системи керування належать:

- підсистеми керування тяговими перетворювачами;
- підсистема керування перетворювачем власних потреб;

– блоки електроніки, розміщені під пультами машиніста в кабінах електровоза;

– блоки електроніки, розміщені в машинному відділенні електровоза в трьох різних місцях для оптимізації довжини дротів між блоками й апаратами, якими керують.

Підсистеми керування тяговими перетворювачами розміщено всередині цих перетворювачів.

Акцентовано увагу на необхідності вдосконалення способу виявлення неполадок у тягових акумуляторних батареях.

Запропоновано здійснювати постійний контроль параметрів ТАБ в усіх режимах її роботи за допомогою системи, до якої входять: акумуляторна батарея АБ із середньою точкою, пристрій контролю напруги УК та подільник напруги на резисторах R0 (рис. 11).

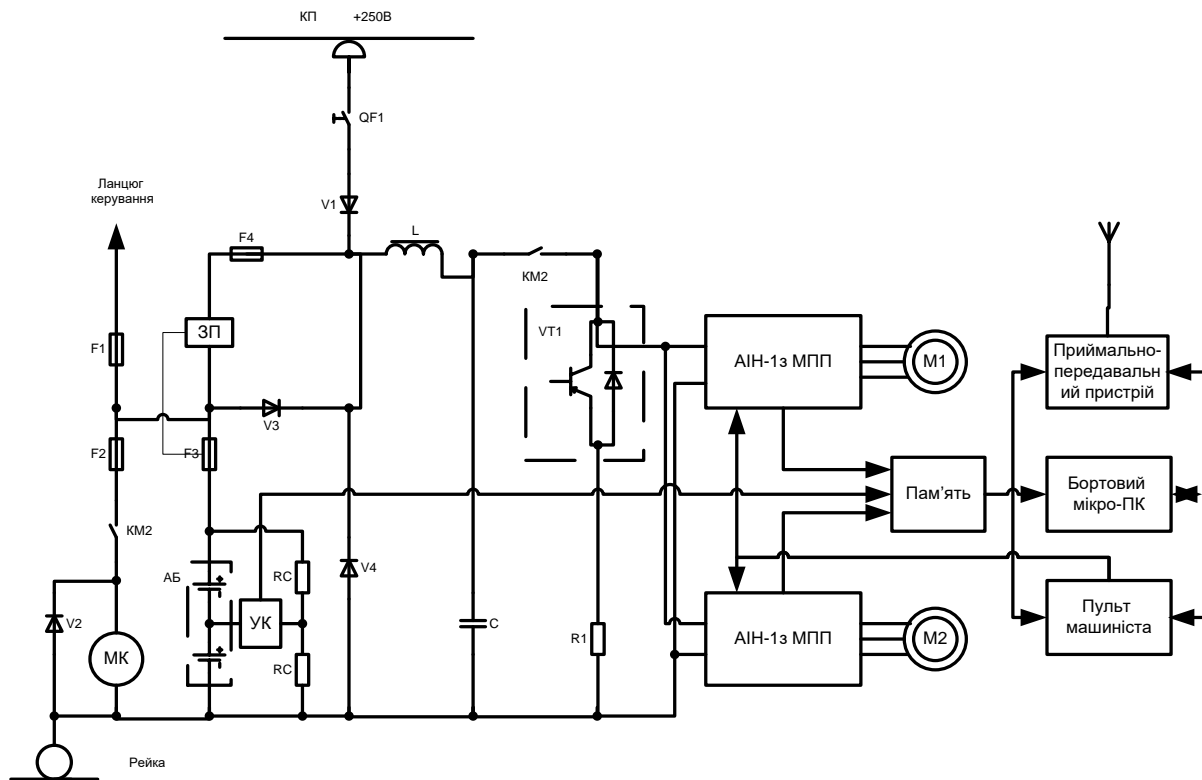


Рисунок 11 – Агрегативна структура системи керування й діагностики

Обґрунтовані заходи з технічної реалізації ідентифікаційної й діагностичної системи обладнання електровоза забезпечують підвищення ефективності функціонування двовісних електровозів та транспортних одиниць підприємств.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі подано розв'язання актуальної наукової задачі підвищення ефективності експлуатації двовісних промислових електровозів за

рахунок ідентифікації параметрів і оцінки якості тягового асинхронного двигуна й тягової акумуляторної батареї.

Основні результати виконаного дослідження полягають у такому:

1. На основі аналізу використання двовісних електровозів, проблеми і шляхів підвищення ефективності їх експлуатації окреслено завдання дослідження. Показано, що проблему своєчасної ідентифікації параметрів і діагностики стану тягового електромеханічного комплексу двовісних електровозів дотепер повністю не розв'язано. Тому визначено закономірності зміни електромагнітних параметрів асинхронних електродвигунів залежно від стану магнітної системи, що дало змогу прогнозувати технічний стан обладнання та виявляти найбільш імовірні ризики різних подій, порушень справності та відмов.

2. Визначено основні вимоги до моніторингу електричних параметрів тягових асинхронних двигунів і тягових акумуляторних батарей двовісних електровозів. Доведено, що основними параметрами для моніторингу технічного стану тягових асинхронних двигунів і тягових акумуляторних батарей двовісних електровозів є значення, зокрема активного опору статора, індуктивності фази ротора й статора, опору взаємоіндукції статора й ротора на основі інформації, наявної в значеннях струмів і напруг статора двигуна в режимі збудження постійним струмом двох послідовно з'єднаних обмоток фаз статора ТАД.

3. Уперше розроблено методику визначення електромагнітних і механічних параметрів асинхронних електродвигунів: активного й реактивного опорів статора, індуктивного опору кола намагнічування, активного й реактивного опорів короткозамкнутого ротора, моменту інерції ротора, що дозволяє здійснювати аналіз критичності операцій і підпроцесів запропонованої системи, а також установлювати ділянку оперативного втручання в процес управління технічним станом двовісних електровозів; запропоновано ітераційну процедуру визначення параметрів асинхронного двигуна на підставі мінімальних відхилень фактичних даних під час перехідних процесів від даних, розрахованих за допомогою математичної моделі на ПК; розроблено алгоритм, який за режимом двофазового ввімкнення обмоток статора ТАД на постійну напругу на стоянках визначає активні опори статора й ротора та створює базу для діагностики елементів електропривода. Окреслено методи моніторингу електричних параметрів тягових акумуляторних батарей електровоза, що забезпечили можливість розроблення нового способу контролю технічного стану батарей. Новий спосіб виявлення неполадок в акумуляторних батареях передбачає постійний контроль справності акумуляторної батареї у всіх режимах її роботи за допомогою системи контролю, яка визначає її працездатність, через порівняння напруг на двох половинах акумуляторної батареї.

4. Удосконалено методи оцінок ідентифікованих електромагнітних параметрів асинхронного електродвигуна для розроблення заходів щодо підтримки працездатності тягового асинхронного електропривода.

Обґрунтовано методи визначення моментів навантаження тягового електродвигуна за значеннями фазових струмів під час пуску ТАД на різних частотах і напругах та визначення сумарного моменту інерції приведенного до вала тягового електродвигуна за значеннями фазових струмів під час пуску ТАД на низькій фіксованій частоті й за відповідної їй напруги; допустимих навантажень ТАД під час експлуатації. Це дозволило більш точно визначати залишковий ресурс електропривода під час дії різних факторів та умов експлуатації. Визначено технічні вимоги до пристроїв перетворення, зберігання й передачі необхідної інформації й показано можливість їхньої реалізації засобами мікропроцесорної й аналогової техніки, що застосовують у сучасних електроприводах, які випускають серійно. Установлено, що обчислювальні процедури для визначення електромагнітних параметрів статора й ротора, які ґрунтуються на збудженні постійним струмом у нерухомій системі координат, мають менші похибки, ніж у системах із використанням синусоїдальної напруги або обертових системах координат, через простоту реалізації обчислювальних процедур. Результати проведених досліджень свідчать про високу точність запропонованого способу ідентифікації: максимальна помилка становить 6,20%, а мінімальна – 0,13%.

5. Сформульовано практичні рекомендації щодо створення в структурі ТЕМК підсистем діагностики електричних параметрів ТАД і ТАБ з урахуванням результатів досліджень та конструкторсько-технологічних факторів і параметрів удосконалених технічних засобів, реалізація яких дозволяє значно підвищити ефективність роботи двовісних електровозів, зокрема знизити час діагностування до 1,5 хвилини, значно підвищити точність моніторингу електричних параметрів тягових асинхронних двигунів і тягових акумуляторних батарей та покращити рівень ресурсозбереження на підприємствах.

6. Наукові положення, висновки й рекомендації, отримані в дисертаційній роботі, опубліковано в низці практичних розробок для підприємств, організацій і установ, які проектують, виготовляють та експлуатують технічні засоби міського електротранспорту, а також упроваджено в навчальний процес для підготовки фахівців.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. О. Н. Синчук, В. О. Черная, Э. С. Гузов, И. О. Синчук, Л. В. Сменова, и Р. А. Пархоменко, «Каналы и их параметры для передачи информации от системы мониторинга тяговых электрических систем шахтных электровозосоставов», *Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал*, № 4(20), с. 43-48, 2012.

2. О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, А. В. Устенко, и Л. В. Сменова, «Управление контактно-аккумуляторными электровозами при погрузочно-разгрузочных

операциях», *Международный информационный научно-технический журнал «Локомотив-информ»*, № 11(77), с. 45-47, 2012.

3. О. Н. Синчук, В. Ю. Захаров, И. О. Синчук, и Л. В. Сменова, «Идентификация электрических параметров тяговых асинхронных двигателей электровозов», *Электротехнические и компьютерные системы: научно-технический журнал*, № 10(86), с. 50-59, 2013.

4. О. Н. Синчук, В. Ю. Захаров, и Л. В. Сменова, «Теоретические аспекты построения структуры системы мониторинга состояния электрических приводов тяговых электротехнических комплексов», *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*, № 36(1009), с. 142-145, 2013.

5. И. О. Синчук, и Л. В. Сменова, «Структура идентификации и диагностики электрических параметров тяговых асинхронных двигателей электровозов на базе специализированных сигнальных процессоров», *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал*, т. 1, № 18(207), с. 125-127, 2013.

6. А. В. Омельченко, В. Ю. Захаров, И. О. Синчук, и Л. В. Сменова, «Идентификация электрических параметров тяговых асинхронных двигателей электровозов», *Вісник Кременчуцького національного університету імені М. Остроградського: науковий журнал*, № 6(83), с. 34-38, 2013.

7. О. Н. Синчук, А. В. Устенко, и Л. В. Сменова, «Тяговый электромеханический комплекс шахтного двусосного электровоза с микропроцессорной системой диагностирования», *Международный информационный научно-технический журнал «Локомотив-информ»*, № 07(85), с. 58-60, 2013.

8. О. Н. Синчук, А. В. Устенко, и Л. В. Сменова, «Микропроцессорная система идентификации электрических параметров тяговых электроприводов шахтных электровозов», *Международный информационный научно-технический журнал «Локомотив-информ»*, № 07(97), с. 10-14, 2014.

9. В. Ю. Захаров, О. Н. Синчук, Ю. М. Иньков, и Л. В. Сменова, «Моделирование переходных процессов в тяговом асинхронном двигателе шахтных электровозов», *Электротехнические и компьютерные системы: научно-технический журнал*, № 15(91), с. 140-147, 2014.

10. Н. В. Хворост, И. О. Синчук, И. В. Касаткина, М. Л. Барановская, и Л. В. Сменова, «К вопросу идентификации и диагностики электрических параметров тяговых асинхронных двигателей шахтных электровозов», *Видання Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*, № 14, с. 61-71, 2017.

11. А. Б. Сёмочкин, В. А. Федотов, и Л. В. Сменова, «О строении управляющей функции тяговых электромеханических комплексов шахтных электровозосоставов для позиционирования вагонеток», *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*, № 27(1249), с. 419-423, 2017.

12. N. Hovorost, L. Smenova, I. Kasatkina, and M. Baranovskaya, «Identification and diagnostics of functioning parameters of asynchronous traction

motors”, *Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал*, № 4(40), с. 8-20, 2017.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. С. М. Якимець, В. О. Чорна, Р. Стржелецький, та Л. В. Сменова, «Ущільнення каналу системи автоматизації управління тяговими електротехнічними комплексами електровозів в умовах шахт», *Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів. Збірник наукових праць XI Міжнародної науково-технічної конференції*, Кременчук, 2012, с. 68-70.

14. Л. В. Сменова, «Спосіб виявлення неполадок в тягових акумуляторних батареях», *Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник матеріалів конференції*, Кременчук, 2013, с. 157.

15. Л. В. Сменова, «Идентификация электрических параметров тягового асинхронного двигателя шахтного электровоза», *Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник матеріалів конференції*, Кременчук, 2014, с. 126-127.

16. О. Н. Синчук, А. Б. Сёмочкин, В. А. Федотов, и Л. В. Сменова, «К вопросу совершенствования методики определения электромеханических параметров тяговых асинхронных двигателей шахтных электровозов», *Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика: наукове видання*, Кременчук, № 1(2), 2014, с. 156-158.

17. М. В. Хворост, І. В. Касаткіна, М. Л. Барановська, та Л. В. Сменова, «Діагностика електричних параметрів тягових асинхронних двигунів», *International research and practice conference “Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences”, December 27-28, 2017, Radom, Republic of Poland*, 2017, с. 83-87.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

18. І. О. Сінчук, Е. С. Гузов, В. О. Чорна, та Л. В. Сменова, «Розробка безсенсорного способу захисту тягових електричних двигунів рудничних електровозів від перегріву», *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*, № 12(1121), с. 204-208, 2015.

19. О. Н. Синчук, И. В. Касаткина, и Л. В. Сменова, «Моделирование переходных процессов в асинхронных двигателях тяговых электромеханических комплексов двоосных электровозов», *Вісник Криворізького національного університету*, № 42, с. 240-246, 2016.

20. И. О. Синчук, В. О. Черная, А. В. Пироженко, В. А. Федотов, Н. В. Хворост, и Л. В. Сменова., *Мониторинг параметров и защита тяговых электромеханических комплексов шахтных электровозов: монография*. Кривой Рог, Украина: ЧП Щербатых А. В., 2017.

21. О. Н. Синчук и др., *Теоретические и практические аспекты строения архитектур современных тяговых электромеханических комплексов шахтных электровозов (в 2-х томах). Том 1. Тяговые электромеханические комплексы*

постоянного тока: коллективная монография. Кривой Рог, Украина: ЧП Щербатых А. В., 2018.

22. О. Н. Синчук и др., *Теоретические и практические аспекты строения архитектур современных тяговых электромеханических комплексов шахтных электровозов (в 2-х томах). Том 2. Тяговые электромеханические комплексы переменного тока: коллективная монография.* Кривой Рог, Украина: ЧП Щербатых А. В., 2018.

23. V. V. Golovenskyu, T. F. Shmeleva, Yu. M. Shmelev, I. O. Sinchuk, S. M. Boiko, and L. V. Smenova, *Aspects of technical diagnostics of electrical equipment in modern electric power systems: Multi-Authored Monograph.* Warsaw, Republic of Poland: iScience, 2018.

24. Е. С. Гузов, І. О. Сінчук, А. А. Петриченко, та Л. В. Сменова, «Спосіб виявлення неполадок в акумуляторних батареях», *и201211848*, Трав. 27, 2013.

25. О. М. Сінчук, Е. С. Гузов, А. А. Петриченко, та Л. В. Сменова, «Пристрій для контролю справності тягових акумуляторних батарей» *и201407090*. Груд. 25, 2014.

АНОТАЦІЯ

Сменова Л. В. Моніторинг електричних параметрів тягових асинхронних двигунів і акумуляторних батарей двовісних електровозів. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.22.09 – електротранспорт. – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова МОН України, Харків, 2019.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної наукової проблеми підвищення ефективності експлуатації двовісних промислових електровозів за допомогою ідентифікації параметрів і оцінки якості тягового асинхронного двигуна й тягової акумуляторної батареї.

Визначено основні вимоги до моніторингу електричних параметрів тягових асинхронних двигунів і тягових акумуляторних батарей двовісних електровозів; розроблено методику визначення електромагнітних і механічних параметрів асинхронних електродвигунів, удосконалено методи оцінок ідентифікованих електромагнітних параметрів асинхронного електродвигуна для розробляння заходів щодо підтримки працездатності тягового асинхронного електропривода. На основі результатів досліджень розроблено вимоги до пристроїв діагностування, що охоплюють новітні досягнення науки й техніки.

Ключові слова: двовісний електровоз, тяговий асинхронний двигун, тягова акумуляторна батарея, ідентифікація, діагностика, мікропроцесор.

АННОТАЦИЯ

Сменова Л. В. Мониторинг электрических параметров тяговых

асинхронных двигателей и аккумуляторных батарей двуосных электровозов. Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.09 – электротранспорт. – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова МОН Украины, Харьков, 2019.

Диссертационная работа посвящена решению актуального научного задания повышения эффективности эксплуатации двуосных промышленных электровозов с помощью идентификации параметров и оценки качества тягового асинхронного двигателя и тяговой аккумуляторной батареи.

Определены основные требования к мониторингу электрических параметров тяговых асинхронных двигателей и тяговых аккумуляторных батарей двуосных электровозов; предложена методика определения электромагнитных и механических параметров асинхронных электродвигателей, усовершенствованы методы оценок идентифицированных электромагнитных параметров асинхронного электродвигателя для разработки мероприятий по поддержке работоспособности тягового асинхронного электропривода. На основе результатов исследований разработаны требования к устройствам диагностирования, которые включают новейшие достижения науки и техники.

Ключевые слова: двуосный электровоз, тяговый асинхронный двигатель, тяговая аккумуляторная батарея, идентификация, диагностика, микропроцессор.

ABSTRACT

Smenova L. V. Monitoring of electric parameters of traction asynchronous motors and storage batteries of biaxial electric locomotives. The qualification scientific work on the rights of manuscripts.

The dissertation for candidate degree in technical sciences by speciality 05.22.09 – electric transport. O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv MES of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The thesis is devoted to solving the actual scientific problem of increasing the efficiency of operation of biaxial industrial electric locomotives by identifying the parameters and assessing the quality of the traction asynchronous motor and the traction storage battery.

Results of research and development of energy efficient and safe in operation of new modern types and types of mine and other biaxial electric locomotives with the traction electrotechnical complex are generalized. It is offered the control system of the state of parameters and diagnostics of the electric equipment that will allow increasing the service life and inter-repairing periods of electric locomotives. The generalized requirements for creation of a system of determination of electromechanical parameters and diagnostics of the state of electric drives for biaxial locomotives are formulated. The essence of system is to use the information contained in the measured voltages, stator currents and the frequency of rotation of

the traction asynchronous electric motor and current, and the voltage of the traction storage batteries of the mine electric locomotive being the dynamic mode of operation to determine the parameters and evaluation of the quality of the electric motor.

It is carried out the analysis of structures of known and developed contact - accumulator traction electric drives, microprocessor control systems and element base for their realization.

It is justified and proposed methods of solution and the software for modeling of processes, identifications of parameters, diagnostics, evaluation of the state and the quality of the electric drive as well as methods of definition of one of the necessary estimated parameters.

Scientific novelty of the obtained results:

for the first time it is developed the method of determining the electromagnetic and mechanical parameters of asynchronous motors: active and reactive resistance of the stator, inductive resistance of the magnetization circle, active and reactive resistance of the short-circuited rotor, which allows analyzing the criticality of operations and subprocesses of the proposed system as well as determine the area of operational intervention in the process of controlling the technical state of the equipment during the life circle; for the first time it is determined the regularities of the change in electromagnetic parameters of the asynchronous electric motor depending on the state of the magnetic system and the integrity of the asynchronous motor design, which made it possible to predict the technical condition of the equipment and identify the most likely risks of various events, malfunctions and failures.

It is improved the iterative procedure for determining the parameters of the asynchronous motor with a minimum of deviation of the actual data during transient processes from the data calculated with the help of the mathematical model on the computer; methods of evaluation of identified electromagnetic parameters of the asynchronous electric motor for the development of measures to maintain the efficiency of the traction asynchronous electric motor for the development of measures to maintain the efficiency of the traction asynchronous electric drive. This made it possible to determine more accurately the residual life of the electric drive under the action of various factors and operating conditions.

The practical value of the results of the work is that they allowed to develop a high-speed system for improving the energy efficiency of traction electric of biaxial electric locomotives by monitoring the electrical parameters of traction asynchronous motors and storage batteries during operation. This allows increasing the reliability of the obtained information on the state of traction drives, to improve the performance of the test, to reduce the cost of the test and evaluation of parameters, to increase the service of asynchronous electric motors and storage batteries, to reduce production costs.

Keywords: biaxial electric locomotive, traction asynchronous motor, traction storage battery, identification, diagnostics, microprocessor.

Смєнова Людмила Віталіївна

**МОНІТОРИНГ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВИХ АСИНХРОННИХ
ДВИГУНІВ І АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДВОВІСНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ**

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 11.09.2019 р. Формат 60x90/16.
Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний.
Друк – цифровий. Умовн. друк. арк. 1,0
Наклад 100 прим. Замовлення № 846090

Надруковано у ФЛ-П Черняк Л.О.
61002, м. Харків, вул. Багалія, 16
Свідоцтво № 2480000000079553 від 16.05.2007 р.