

## ВИБІР МЕТОДУ ОЦІНКИ ЯКОСТІ АСИНХРОННИХ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОБУСІВ

Мигаль В. Д.<sup>1</sup>, Аргун Щ. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Проведено порівняльний аналіз існуючих методів оцінки якості асинхронних двигунів (АД) призначених для використання у якості тягових в міських електробусах і вибрані критерії оцінки їх якості, що дозволило вибрати вібраційний метод оцінки якості АД і представити обґрунтування зробленого вибору.

*Ключові слова:* асинхронний двигун, метод оцінки якості, електробус, вібраційні характеристики, тяговий електропривод.

### Вступ

Незважаючи на всі переваги асинхронних електродвигунів, їх ресурс не завжди задовольняє вимогам електробусів. За даними роботи [1], щорічно близько 20-25 % від загальної кількості встановлених асинхронних електродвигунів (АД) потребують ремонту. В залежності від виду відмов їх ремонт здійснюється власними силами (в межах підприємства, що експлуатує електродвигун (ЕД)), або спеціалізованими організаціями). Причинами таких відмов є недостатній контроль якості проектування, виготовлення і експлуатації. Ремонт АД часто проводиться з розбиранням і заміною деталей. При цьому надійність роботи двигунів суттєво знижується [2]. У зв'язку з цим діагностування якості ЕД на стадії виробництва, при приймально-здавальних випробуваннях і в процесі експлуатації є одним з найважливіших способів підвищення надійності і економічної ефективності обладнання. Тому технічний стан бажано оцінювати на різних етапах життєвого циклу ЕД, що є запорукою його надійної роботи. При цьому особливе значення має вибір методу діагностування ЕД, що працюють в динамічних режимах експлуатації механічних та електричних навантажень.

### Аналіз публікацій

Не дивлячись на те, що існують державні і міжнародні стандарти щодо електричних обертювальних машин [3–5], питанню удосконалення методів визначення їх якості, пошуку критеріїв, які найбільш широко описують стан двигуна і розробці способів їх діагностування приділяється багато уваги науковцями і інженерами всього світу [1,2,6–8].

Так, наприклад, в роботі [9] викладено процедури технічного стандарту ІЕС 60034-18-41 для оцінки якості двигунів типу І за допомогою (автономного) випробування з частковим розрядом; порівнюються автономні і онлайн вимірювання, виконані на одному двигуні, який міг би пройти випробування, але невдовзі після подачі живлення через ШІМ-інвертор, не пройшов. Виходячи з цього аналізу, виділяються переваги і недоліки даного стандарту.

Сучасні електродвигуни керуються напівпровідниковими перетворювачами і вже зараз можна сказати, що за останні 20 років вони показали високу частоту відмов. Такі перетворювачі в змозі генерувати імпульси напруги, що мають дуже короткий час зростання (від 50 нс до декількох тисяч мкс) і високу частоту перемикавання (до 20 кГц). З одного боку, такі перетворювачі надзвичайно ефективні при регулюванні швидкості ЕД, з іншого боку, вони можуть значно збільшити ризик відмови двигуна, особливо якщо ізоляція обмотки некваліфіковано спроектована чи виконана. У статтях [10,11] було показано, що напруга, яка виникає на клемі двигуна, може істотно відрізнятися від напруги на виході перетворювача. Це пов'язано з пульсаціями в електричному ланцюзі, що повторюються. Вони можуть виникнути на клемі ЕД через невідповідність опору ЕД та з'єднувальних кабелів. Такі пульсації, величина яких залежить від довжини кабелю і часу зростання перетворювача, а також температурного навантаження, викликаного діелектричним нагріванням при високій частоті перемикавання, можуть сприяти прискоренню старіння ізоляції обмоток і викликати передчасні відмови.

Американськими дослідниками розроблено модель на основі системи виявлення несправностей ЕД, яка представлена в патенті [12]. Перевагою цього винаходу є те, що спосіб і система даного винаходу засновані на програмному забезпеченні і використовують дані отримані з неінтрузивних вимірювань. Завдяки цьому значно зменшуються витрати. Система містить комп'ютерні засоби, з'єднані з датчиками, які забезпечують безперервну інформацію в реальному часі про входні параметри: напруга, струм і швидкість двигуна. Система і спосіб використовують багатопараметричний експериментальний алгоритм моделювання для отримання математичного опису двигуна. Алгоритм порівнює змодельований результат з вимірним результатом і кількісно порівнює його з точки зору залишку, який генерується шляхом вирахування відповідних сигналів. Діагност аналізує залишок і визначає, чи працює двигун без помилок. Виявивши признаки несправності, діагност оцінює виміряні зміни параметрів двигуна, визначає відхилення від еталонного значення і видає діагноз ймовірної відмови або несправного компонента.

Авторами статті [6] проведено діагностику технічного стану тягових АД кар'єрного автосамосвалу з використанням вейвлет-аналізу. Показана можливість вибіркового контролю

діагностичних частот при використанні вейвлет-аналізу.

Тож, вибір методу оцінки якості асинхронних електродвигунів є дуже актуальним і важливим завданням.

#### Мета та постановка задачі

Метою роботи є вибір методу оцінки якості асинхронних тягових електродвигунів для електробусів, який дозволяє контролювати їх технічний стан на всіх стадіях життєвого циклу.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- провести порівняльний аналіз існуючих методів оцінки якості асинхронних двигунів;
- вибрати критерії оцінки якості двигунів у відповідності до яких провести раціональний вибір методу оцінки якості АД;
- обґрунтувати вибір методу оцінки якості асинхронних тягових електродвигунів для електробусів.

#### Методи діагностування оцінки якості асинхронних електродвигунів

Існує багато різних методів діагностування асинхронних двигунів [2]. Їх вибір залежить від багатьох умов і в тому числі від того, на якому з етапів життєвого циклу проводиться діагностування, табл. 1.

Таблиця 1 – Етапи діагностування оцінки якості електродвигунів

Етапи життєвого циклу ЕД	Мета діагностування ЕД	Основні види несправностей ЕД
Етап виробництва	Контроль оптимального проектування і доведення, для досягнення надійності та довговічності	Кінематичні помилки виготовлення деталей, вихід структурних параметрів за допустимі значення дефекти збірки (неврівноваженість, наявність ексцентриситету, різного роду перекоси, зазори, відносні зміщення взаємодіючих деталей, недотримання технології і т.д.)
Етап приймально-здавальних випробувань	Контроль якості готових двигунів, визначення класу технічного стану	Зміна параметрів ЕД, які призводять до несправностей і відмов, рис. 1.
Етап експлуатації	Виявлення відхилень діагностичних параметрів від норм та процесів старіння елементів	Будь-які дефекти і поломки, що залишаються на етапі виробництва або з'явилися на етапі експлуатації
Етап ремонту	Передремонтна оцінка і післяремонтний контроль технічного стану з метою визначення несправності і якості ремонту відповідно	

Важливо відзначити, що за швидкістю розвитку експлуатаційні дефекти ділять на категорії, представлені на рис. 1.

Зрозуміло, що після ремонту ЕД, що включає в себе розбирання і заміну деталей, надійність роботи знижується. Тому якісне, своєчасне діагностування на кожному з етапів життєвого

циклу ЕД (без його розбирання) дозволить заздалегідь виявити приховані дефекти, попередити поломки, знизити витрати на ремонт, підвищити надійність ЕД, тим самим підвищивши надійність електробуса в цілому.

На даний час відомо багато методів діагностики асинхронних двигунів. Їх класифікація представлена на рис. 2.



Рис. 1. Категорії експлуатаційних дефектів за швидкістю розвитку

Зрозуміло, що кожен з методів має свої переваги і недоліки, але як бачимо з рис. 2, з усіх методів діагностики електродвигуна найбільш інформативним є вібраційний метод. Основні джерела вібрації електромагнітного, механічного та аеродинамічного походження асинхронного електродвигуна представлені

на рис. 3. Це пов'язано з тим, що у вібраційному сигналі міститься вся необхідна інформація про зміну всіх компонент, що визначають технічний стан електродвигуна в реальному часі на стадії проектування, виготовлення і експлуатації.

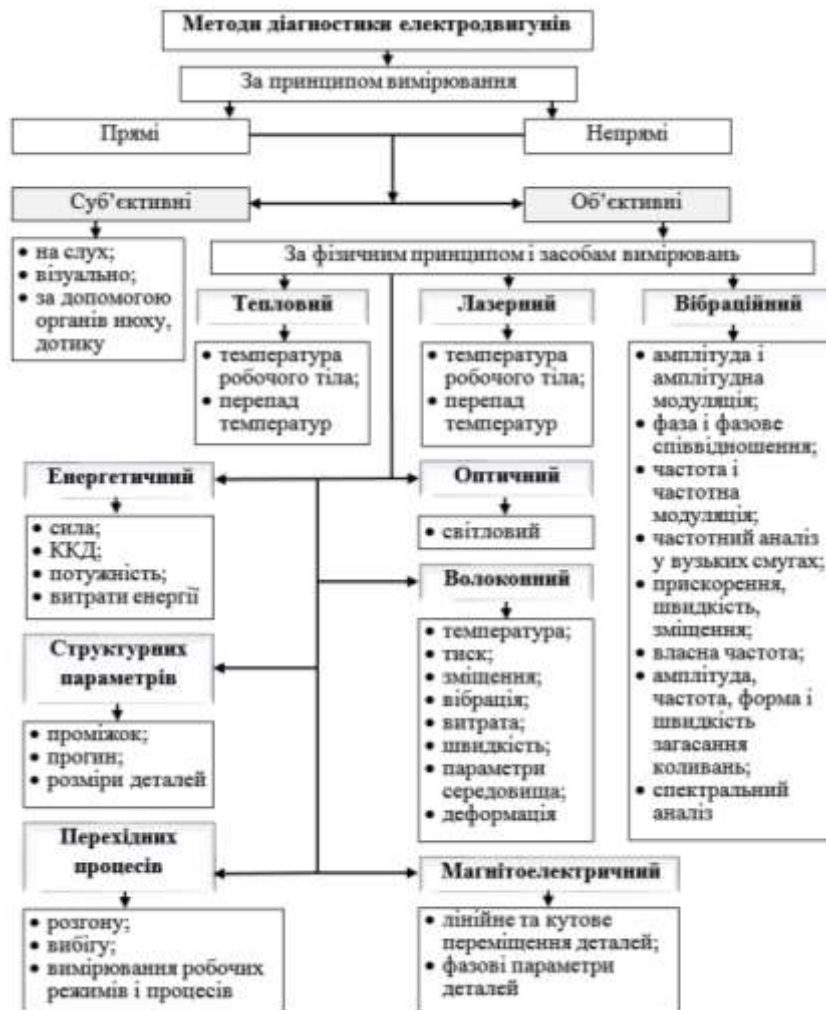


Рис. 2. Класифікація методів діагностики електродвигунів



Рис. 3. Причини і джерела вібрації електромагнітного, механічного та аеродинамічного походження асинхронного електродвигуна

Важливо відзначити, що застосування вібраційних методів є ефективним на всіх стадіях життєвого циклу електродвигуна, табл. 1. Це обумовлено високою чутливістю вібраційних процесів до зміни конструкції, технології, динамічного стану вузлів і деталей, до розподілу пульсацій швидкості, навантаження або тиску в робочих середовищах вузлів, до поля силових впливів, умов експлуатації, до зміни робочих процесів і режимів функціонування. Тому для діагностування якості тягових електродвигунів для електробусів актуальним є застосування саме методів оцінки технічного

стану по вібродіагностичним характеристикам (ВДХ). Найбільше це стосується електробусів, призначених для перевезення пасажирів в міських умовах експлуатації. З особливостями режимів їх роботи. Дані режими роботи характеризуються довільним чергуванням режимів розгону, гальмування і руху з усталеною швидкістю, подолання підйомів і спусків, короткочасних стоянок на зупинках, заторах, світлофорах, перехрестях і «випадкового» навантаження на систему тягового електроприводу [13, 14]. Така динаміка є причиною виникнення підвищеної вібрації електродвигуна [15].

Для обґрунтування доцільності вибору вібраційного методу оцінки якості електродвигуна необхідно відзначити переваги дослідження ВДХ [15], а саме:

- пропорційну залежність зміни вібрації від навантаження і частоти обертання, зазору, значень геометричних похибок;

- фізичні властивості збудження вібрації, що дозволяють в якості діагностичного параметра використовувати динамічні ознаки;

- властивості вібраційних сигналів швидко реагувати на зміну технічного стану, що дозволяють в реальному часі спостерігати і зіставляти реакцію всіх компонент електродвигуна, пов'язаних кореляційною залежністю, на зміну конструкції, технології виготовлення, робочих процесів, режимів роботи;

- можливості використання сучасних комп'ютерних технологій для швидкого отримання інформації про технічний стан, підвищення точності діагнозу технічного стану, зниження трудомісткості ресурсних і експлуатаційних випробувань і діагностування.

Потенційною проблемою надійності ЕД є власні коливання окремих елементів механічної системи, що лежать в межах частотного діапазону діючих сил, жорсткість конструкції, що змінюється при певних режимах роботи і дії зовнішніх сил, деформація матеріалів і зміна їх в'язко пружних властивостей і спектра власних частот механічних систем. Тому ресурс електродвигуна визначається не тільки робочими процесами, навантаженнями і закладеною міцністю й довговічністю, точністю виготовлення і функціонування механізмів, а й фактичним вібронавантаженням і можливістю механічних систем і деталей мати в певних умовах резонансну частоту. Тож вібраційні характеристики ЕД є комплексним показником його якості.

Основними властивостями вібраційних сигналів, які використовуються для оцінки якості тягового електродвигуна для електробуса є наступні.

1. Пропорційна залежність зміни вібрації від навантаження і частоти обертання, зазору, значень геометричних похибок, що дозволяють нормувати вихідні та граничні їх значення для контролю якості проектування, виготовлення і експлуатації електродвигуна.

2. Висока універсальність, чутливість і вибірковість вібраційного сигналу до парамет-

рів технічного стану електродвигунів, що дозволяють: діагностувати більшість механічних дефектів і систем, що містять потік; виявляти дефекти, що зароджуються; діагностувати дефекти збірки деталей і вузлів (несоосність, вигин, перекіс, дисбаланс).

3. Фізичні властивості збудження вібрації, що дозволяють в якості діагностичного параметра використовувати динамічні – комплексні ознаки структурного, функціонального та динамічного стану електродвигуна: вібродіагностичні характеристики ЕД; власні частоти в зборі деталей, вузлів і агрегатів; резонансні явища; жорсткісні характеристики вузлів і систем.

4. Властивості вібраційних сигналів швидко реагувати на зміну технічного стану ЕД, що дозволяє спостерігати і зіставляти в реальному часі реакцію всіх компонент – структурного, функціонального та динамічного стану механізмів на зміни: конструкції; технології виготовлення і збірки; робочих процесів; режимів роботи; регульовальних робіт; кореляційної залежності дефектів механізмів.

5. Можливість створювати системи автоматизації контролю і попередження аварійних ситуацій і управління роботою електродвигуна.

6. Можливість створювати сучасні комп'ютерні і мікропроцесорні бортові, стаціонарні і переносні системи швидкого отримання достовірної інформації про технічний стан ЕД на стадіях доведення конструкції, виготовлення і експлуатації.

7. Великий обсяг інформації в одному вимірі вібрації.

8. Велика достовірність вібраційного діагностування.

9. Прогресивна технологія діагностування (без розбирання) і висока мобільність коштів.

10. Зниження трудомісткості ресурсних і експлуатаційних випробувань і діагностування.

Неможливо виготовити двигун, який не має вібрації взагалі, але є рівні вібрації, які можна розглядати як допустимі. Збільшення вібрації більше допустимого рівня або зниження нижче нормального стану свідчить про наявність дефектів, несправностей і зміну режимів роботи. Кожен дефект збуджує вібрації на певній частоті, групі частот або широкій смузі частот [15]. Це дає можливість визна-

чати технічний стан електродвигуна, наявність або відсутність несправності способом простого визначення рівнів спектральних складових вібраційного процесу і порівнянням їх з вихідним значенням.

Тому вибір асинхронного тягового електроприводу по рівню вібрації дозволяє отримати необхідні технічні, екологічні і експлуатаційні якості електробуса, а також дослідження вібраційних характеристик високооборотного асинхронного електродвигуна в такому застосуванні.

Достовірність вібраційної діагностики забезпечується прямим зв'язком вібраційних процесів зі структурними параметрами зазорів кінематичних і геометричних похибок деталей і функціонуванням механізмів [15].

Основною відмінною особливістю методів вібраційного діагностування є використання в якості діагностичних ознак динамічних параметрів, які є результатом зовнішнього впливу і взаємодії деталей електродвигуна в процесі його роботи. Широкі частотні і динамічні діапазони коливальних процесів, мала інерційність, велика швидкість поширення віброакустичних хвиль по деталях і корпусу ЕД обумовлює швидко реакцію вібраційного сигналу на зміну технічного стану. Ці якості є найважливішими для швидкого визначення технічного стану, застосування бортових систем контролю аварійних ситуацій, коли швидкість постановки діагнозу і прийняття рішення є гарантією запобігання катастрофічним наслідкам [15].

Сучасні експериментальні методи вібраційного діагностування із застосуванням віброаналізатора і програмного забезпечення ПК на стадії доведення електродвигуна стають зручним інструментом швидкого отримання інформації, необхідної для усунення динамічних проблем і прийняття конструктивних рішень щодо оптимізації робочих процесів і режимів роботи. Це дозволяє застосовувати економічно найбільш ефективний метод вібраційного діагностування динамічних і технологічних властивостей конструкції електродвигуна, що полягають у виготовленні прототипів на основі інженерних знань і досвіду з подальшим проведенням їх вібраційних випробувань в лабораторних умовах. Фахівцю набагато простіше користуватися методами вібраційного діагностування. З їх допомогою мо-

жна швидше і з достатньою вірогідністю оптимізувати конструктивні параметри ЕД, контролювати якість виготовлення і експлуатації.

Вібродіагностика – найбільш інформативний і універсальний метод в порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю, параметричного контролю та трібодіагностикою. Висока універсальність методу базується на властивостях вібраційних процесів, загальних для всіх типів механізмів і систем ЕД. Тому методи вібраційної діагностики дозволяють підійти до аналізу стану деталей і вузлів електродвигуна різних фізичних діючих процесів та режимів функціонування. Це дозволяє з меншими витратами створення єдиних засобів автоматизації процесів діагностування на всіх стадіях життєвого циклу ЕД.

Комп'ютерні та мікропроцесорні системи дають можливість вібраційного діагностування макетних і дослідних зразків, якості виготовлення і експлуатації за рахунок змінних блоків (плат) запам'ятовуючих пристроїв програмного забезпечення та єдності метрологічного забезпечення, що робить їх доступними в частині вартості, навчання персоналу і зручності в роботі. Можливості комп'ютерних і мікропроцесорних систем автоматизувати процес діагностування електродвигуна дозволяють створювати універсальні вбудовані (бортові і штатні) і зовнішні (портативні і стаціонарні) засоби діагностики, придатні для використання водієм, діагностом, оператором, при будь-яких формах організації технічного сервісу в невеликих і великих господарствах або в спеціальних ремонтних майстернях.

Все вище зазначене підтверджує, що ВДХ є універсальними і найбільш придатними для оцінки якості тягових АД, а використання вібродіагностичного методу таким, що його можна використовувати на всіх етапах життєвого циклу АД: етапу проектування, виробництва, приймально-здавальних випробувань, експлуатації та ремонту.

### Висновки

Проведено порівняльний аналіз існуючих методів оцінки якості асинхронних двигунів. У якості критеріїв оцінки якості вибрані вібродіагностичні характеристики у відповідності до яких запропоновано використовувати вібраційний метод оцінки якості тягових АД для електробусів, на всіх етапах життєвого циклу АД: етапу проектування, виробництва,

приймально-здавальних випробувань, експлуатації та ремонту. Даний метод дозволяє діагностувати технічний стан всіх систем тягового двигуна електробуса: механічного електромагнітного та аеродинамічного походження.

### Література

1. Полковниченко Д. В. Послеремонтная оценка технического состояния короткозамкнутых асинхронных электродвигателей. *Электротехника і Електромеханіка*. 2005. Вып. 1. С. 59–62.
2. Сидельников Л. Г., Афанасьев Д. О. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации. *Вестник ПНИПУ Геология, нефтегазовое и горное дело*. 2013. Вып. 7. С. 127–137.
3. ДСТУ EN 60034-14:2016 Машини електричні обертові. Частина 14. Механічні вібрації деяких механізмів із висотою вала 56 мм і вище. Вимірювання, оцінювання та допустимі рівні вібрації (EN 60034-14:2004; EN 60034-14:2004/A1:2007, IDT)
4. ГОСТ IEC 60034-14-2014 Машины электрические вращающиеся. Часть 14. Механическая вибрация некоторых видов машин с высотами вала 56 мм и более. Измерения, оценка и пределы жесткости вибраций. 2015.
5. Standards European UNE EN 60034-14:2004/A1:2007 Rotating electrical machines - Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher - Measurement, evaluation and limits of vibration severity (IEC 60034-14:2003/A1:2007). 2007.
6. Большунова О. М., Большунова А. В., Камышнян А. М. Диагностика технического состояния тяговых асинхронных двигателей карьерного автосамосвала с применением вейвлет-анализа. Динамика систем, механизмов и машин. 2016. Вып. 3. С. 49–52.
7. Воробьев Н. П., Воробьева С. Н., Суханкин Г. В., Герцен Н. Т. Методы и приборы диагностирования изоляции асинхронных двигателей. *Ползуновский вестник*. 2011. Вып. 2 (2). С. 261–269.
8. Воробьев В. Е., Кучер В. Я. Прогнозирование срока службы электрических машин. СПб.: СЗТУ, 2004. 56 с.
9. Cavallini A., Montanari G. C., Tozzi M. Electrical aging of inverter-fed wire-wound induction motors: from quality control to end of life. *2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation* (San Diego, 6-9 June 2010). San Diego, 2010. P. 1–4.
10. Rotating electrical machines - Part 18-41 Qualification and Type Tests for Type I-Electrical Insulation Systems Used in Rotating Electrical Machines Fed from Voltage Converters. IEC TS. 2014. P. 60034–18.
11. Kaufhold M., Borner G., Eberhardt M., Speck J. Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage electric machines fed by pulse-controlled inverters. *IEEE Electrical insulation magazine*. 1996. Vol. 12. P. 9–16.
12. Patent US6014598A. Duyar A., Albas E., Durakbasa O. T., Serafettinoglu A. H. Model-based fault detection system for electric motors, 2000.
13. Мигаль В. Д., Двадненко В. Я. Выбор электродвигателей для электромобилей и гибридных автомобилей. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2016. Вып. 75. С. 116–119.
14. Dvadenko V., Arhun S., Bogajevskiy A., Ponikarovska S. Improvement of economic and ecological characteristics of a car with a start-stop system. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. 2018. Vol. 10. P. 209–22.
15. Мигаль В. Д. Вибрационные методы оценки качества тракторов на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации. [Харьков]: ХНАДУ, 2002. 512 с.

### References

1. Polkovnichenko D. V. (2005) Posleremontnaya otsenka tehničeskogo sostoyaniya korotkozamknytyh asinhronnykh elektrodvigatelye. [Post-repair assessment of the technical condition of short-circuited asynchronous electric motors] *Elektrotexnika i Elektromexanika*. 1, 59–62. [in Russian].
2. Sidelnikov L. G., Afanasev D. O. (2013) Obzor metodov kontrolya tehničeskogo sostoyaniya asinhronnykh dvigateley v protsesse ekspluatatsii. [Review of methods for monitoring the technical condition of asynchronous motors in operation] *Vestnik PNIPU Geologiya, neftegazovoe i gornoe delo*. 7, 127–137. [in Russian].
3. DSTU EN 60034-14:2016 Mashyni`ny` elektry`chni obertovi. Chasty`na 14. Mexanichni vibraciyi deyaky`x mexanizmiv iz vy`sotoyu vala 56 mm i vy`shhe. Vy`miryuvannya, ocinyuvannya ta dopusty`mi rivni vibraciyi [Electric rotary machines. Part 14. Mechanical vibrations of some mechanisms with a shaft height of 56 mm and higher. Measurement, evaluation and permissible vibration levels] (EN 60034-14:2004; EN 60034-14:2004/A1:2007, IDT) [in Ukrainian].
4. GOST IEC 60034-14-2014 Mashyniye elektricheskie vraschayuschiesya. Chast 14. Mehanicheskaya vibratsiya nekotorykh vidov mashin s vyisotami vala 56 mm i bolee. Izmereniya, otsenka i predelyi zhestkosti vibratsiy (2015). [Rotary electric machines. Part 14. Mechanical vibration of certain types of machines with shaft heights of 56 mm and

- more. Measurement, evaluation and vibration stiffness limits]. [in Russian].
5. Standards European UNE EN 60034-14:2004/A1:2007 Rotating electrical machines - Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher - Measurement, evaluation and limits of vibration severity (IEC 60034-14:2003/A1:2007). 2007.
  6. Bolshunova O. M., Bolshunova A. V., Kamyshyan A. M. (2016) Diagnostika tehničeskogo sostoyaniya tyagovyih asinhronnyih dvigateley karernogo avtosamosvala s primeneniem veyvlet-analiza. [Diagnostics of the technical condition of traction asynchronous engines of a mining dump truck using wavelet analysis.] *Dinamika sistem, mehanizmov i mashin.* 3, 49–52. [in Russian].
  7. Vorobev N. P., Vorobeva S. N., (2011) Suhankin G. V., Gertsen N. T. Metody i pribory diagnostirovaniya izolyatsii asinhronnyih dvigateley. [Methods and instruments for diagnosing insulation of asynchronous motors.] *Polzunovskiy vestnik.* 2 (2), 261–269. [in Russian].
  8. Vorobev V. E., Kucher V. Ya. (2004) Prognozirovanie sroka sluzhbyi elektricheskikh mashin. [Predicting the life of electric cars] SPb.: SZTU. [in Russian].
  9. Cavallini A., Montanari G. C., Tozzi M. (2010) Electrical aging of inverter-fed wire-wound induction motors: from quality control to end of life. *2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation* (San Diego, 6-9 June 2010), 1–4.
  10. (2014) Rotating electrical machines - Part 18-41: Qualification and Type Tests for Type I-Electrical Insulation Systems Used in Rotating Electrical Machines Fed from Voltage Converters. IEC TS. 60034–18.
  11. Kaufhold M., Borner G., Eberhardt M., Speck J. (1996) Failure mechanism of the interturn insulation of low voltage electric machines fed by pulse-controlled inverters. *IEEE Electrical insulation magazine.* 12, 9–16.
  12. Patent US6014598A. Duyar A., Albas E., Durakbasa O. T., Serafettinoglu A. H. (2000) Model-based fault detection system for electric motors.
  13. Migal V. D., Dvadnenko V. Ya. (2016) Vyibor elektrodvigateley dlya elektromobiley i gibridnyih avtomobiley. [The choice of electric motors for electric vehicles and hybrid cars.] *Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta.* 75, 116–119 [in Russian].
  14. Dvadnenko V., Arhun S., Bogajevskiy A., Ponikarovska S. (2018) Improvement of economic and ecological characteristics of a car with a start-stop system. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles.* 10, 209–22.
  15. Migal V. D. (2002) Vibratsionnyie metodyi otsenki kachestva traktorov na stadiyah proektirovaniya, izgotovleniya i ekspluatatsii. [Vibration methods for assessing the quality of tractors at the stages of design, manufacture and operation] [Harkov]: HNADU [in Russian].
- Мигаль Василь Дмитрович**<sup>1</sup>, д.т.н., проф, тел. +38 096-263-3326, vasilymigal9@gmail.com,  
**Аргун Щасяна Валіковна**<sup>2</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, shasyana@gmail.com,  
<sup>1</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, 61002, Україна, м. Харків, вул. Алчевських 44.  
<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.
- Selection of method for estimation of quality of asynchronous traction electric motors for electric buses**
- Abstract. Problem.** *Despite all the advantages of asynchronous electric motors (ADs), they often fail. In connection with this diagnosis of blood pressure in the production stage, during the acceptance tests and in the process of operation is one of the most important ways to improve the reliability and cost-effectiveness of equipment. Therefore, the right choice of diagnostic method for assessing the quality and technical condition at different stages of the life cycle of blood pressure is a guarantee of its reliable operation. This is especially true for traction BP, which operate in dynamic modes of operation of mechanical loads.* **Goal.** *The purpose of the work is to choose a method for assessing the quality of asynchronous traction electric motors for electric buses.* **Methodology.** *Analytical methods of theoretical studies, comparative analysis of methods for determining the quality of traction AO for electric bus are used.* **Results.** *A comparative analysis of existing methods for assessing the quality of asynchronous motors is carried out. Vibrant diagnostic characteristics were selected as criteria of quality assessment, in accordance with which it was suggested to use a vibration method for assessing the quality of tractional blood pressure for electric buses.* **Originality.** *The proposed method can be used at all stages of the life cycle of blood pressure: the stage of design, production, acceptance testing, operation and repair. In addition, this method uses dynamic parameters as diagnostic features, which is important for the operation of the traction electric motor in the city electric bus.* **Practical value.** *This work allows us to proceed to the next step - the development of the method of vibration diagnostics of blood pressure, which is planned to be lit in subsequent publications.*
- Keywords:** *asynchronous motor, method of quality evaluation, electric bus, vibration characteristics, traction electric drive.*



**Migal Vasily**<sup>1</sup>, Professor, Dr. Sc., Professor, tel. +38 096-263-3326, vasilymigal9@gmail.com,  
**Shchasyana Arhun**<sup>2</sup>, Ph.D., Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: [shasyana@gmail.com](mailto:shasyana@gmail.com).

<sup>1</sup>Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, 44, Alchevskyyh, Kharkiv, Ukraine 61002.

<sup>2</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Выбор метода оценки качества асинхронных тяговых электродвигателей для электробусов**

*Аннотация. Проведен сравнительный анализ существующих методов оценки качества асинхронных двигателей (АД) предназначенных для использования в качестве тяговых в городских электробус и избранные критерии оценки их качества,*

*что позволило выбрать вибрационный метод оценки качества АД и представить обоснования сделанного выбора.*

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, метод оценки качества, электробус, вибрационные характеристики, тяговый электропривод.

**Мигаль Василий Дмитриевич**<sup>1</sup>, д.т.н., проф., тел. +38 096-263-3326, vasilymigal9@gmail.com,

**Аргун Щасяна Валиковна**<sup>2</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 0993780451, [shasyana@gmail.com](mailto:shasyana@gmail.com),

<sup>1</sup>Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Алчевских 44.

<sup>2</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.