

Методологія оцінки експлуатаційної надійності тягових електричних машин міського електротранспорту

В.М. Шавкун

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Україна

E-mail: vm.shavkun@gmail.com

Анотація – Представлено методологію, що дозволяє оцінити експлуатаційну надійність електричних машин з точки зору системного аналізу. Розглянуто невизначеність інформаційних даних, що виникають при експлуатації електричних машин. Проведена декомпозиція мети для ефективної експлуатації та обслуговування електричних машин, яка відображена у вигляді «дерева цілей». Отримані результати можуть бути використані в якості вихідних даних для постановки і вирішення низки завдань управління експлуатаційною надійністю електричних машин.

Ключові слова – системний аналіз, система, експлуатаційна надійність, невизначеність інформації, ефективна експлуатація і обслуговування електричних машин, критерій, дерево цілей.

I. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Найбільш важливою і актуальною проблемою сучасного виробництва є підвищення якості та надійності механізмів машин і обладнання в будь-якій галузі промисловості. Під надійністю електричних машин (ЕМ) розуміють її здатність безвідмовно працювати з незмінними характеристиками протягом заданого проміжку часу і за певних умов застосування [1].

Об'єктом дослідження є тягові електричні двигуни, що використовуються на міському електричному транспорті. Саме вони є одним з основних агрегатів, що забезпечують ефективність роботи електропривода і рухомого складу у цілому. Тому завдання з дослідження (оцінки) параметрів надійності ТЕД у процесі експлуатації з метою підвищення працездатності рухомого складу у цілому є свідченням актуальності даної проблематики.

На цей час потрібні нові розробки та впровадження інноваційних технологій більш ефективного використання відомої техніки, її модернізації, підвищення надійності та подовження ресурсу роботи [2].

II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Для визначення ефективної роботи тролейбуса на лінії використовуються сучасні методи оцінки надійності тягових електричних двигунів, які дозволяють отримати адекватні характеристики з урахуванням властивостей структури, функціональних зв'язків деталей і вузлів.

У напрямку досліджень параметрів надійності ТЕД використовуються методи, за допомогою яких відбувається діагностування параметрів та їхніх характеристик.

Наприклад, у роботах [3–5] відображені методи досліджень та оцінки параметрів асинхронних двигунів під час їх експлуатації. Але такі методи не є універсальними і не враховують кількості відмов або їх імовірності під час роботи тягових електричних двигунів тролейбусів.

Для оцінки параметрів надійності та характеристик тягових електричних двигунів використовуються аналітичні та статистичні методи за рахунок яких визначається взаємозв'язок між параметрами елементів двигуна під час навантаження [6, 7]. Використання вказаних методів показано також у роботах [8, 9]. Недоліком таких технічних рішень є відсутність повноти оцінки експлуатаційної надійності тягових електричних двигунів, а саме не враховані режими навантаження та параметри міцності елементів, що змінюються у часі. Таким чином, неможливо зафіксувати параметри відмов деталей і вузлів тягових електричних двигунів, що свідчить про комплексні дослідження, які використовуються не в повній мірі.

Проблемами надійності електричних машин займаються і закордонні науковці. Так, наприклад, у [10–11] представлено метод, що вимагає тільки тестування холостого ходу для отримання параметрів індукційної машини.

Методи і розробки, що пропонуються у роботі не в змозі відтворити природу виникнення відмов і прогнозувати їхні наслідки від впливу таких експлуатаційних факторів: якості комутації, напруги живлення, струму, швидкості та режиму руху, погодно-кліматичних умов тощо.

Таким чином, проведений вище аналіз наукових досліджень показав, що проблеми підвищення працездатності та подовження ресурсу роботи ТЕД шляхом дослідження (оцінки) їхніх параметрів надійності під час експлуатації тролейбусів, на цей час, практично не вирішені та є актуальними.

Отже, тема роботи та питання що розглядаються є актуальними. Нові технічні рішення з удосконалення методів дослідження, оцінки параметрів надійності

тягових електричних двигунів тролейбусів забезпечать зменшення енергетичних і ресурсних витрат під час експлуатації та ремонту.

III. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є розробка методології оцінки експлуатаційної надійності тягових електричних двигунів рухомого складу електричного транспорту, яка ґрунтується на системі ефективної експлуатації та обслуговуванні (ЕЕіО) ЕМ.

Для досягнення мети поставлено задачі:

- виконати системний аналіз (СА) оцінки надійності ЕМ;
- здійснити структурування (декомпозицію) цілі ЕМ до рівня конкретних показників (критеріїв).

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для забезпечення надійності необхідний ряд заходів, що дозволять більш ефективно продовжити термін служби ЕМ. Дане завдання характеризується багатьма відносинами, що переплітаються і для її вирішення необхідно здійснення системного аналізу (СА) з оцінки надійності ЕМ.

Розглянемо дану проблему на прикладі експлуатаційних підприємств електротранспорту та визначимо вихідні позиції і критерії, які є принциповим підходом до оцінки надійності електричних машин.

Для вирішення виробничих завдань можливий пошук оптимального варіанту режиму функціонування ЕМ. Знаходження максимуму або мінімуму цільової функції $F(x)$ (наприклад, максимуму енергозбереження, мінімуму витрат при виконанні ремонтних робіт, максимуму надійності тощо) [7, 8]:

$$F(x) \rightarrow \max, x \in G, \quad (1)$$

де x – елемент деякого нормованого простору G , що визначається природою моделі;

$G \in E$, де E – нескінченність, яка може мати будь-яку складну природу, яка визначається структурою моделі та особливостями досліджуваної системи.

Таким чином, основною реальною проблемною ситуацією є забезпечення надійності ЕМ при експлуатації. Однак, дане формулювання проблеми є лише вихідним пунктом для СА. Першопричина цього в тому, що проблемна система не є ні ізольованою, ні монолітною. Вона пов'язана з іншими системами, входить як частина у деяку надсистему і одночасно сама складається з частин, підсистем, в різного ступеня причетних до даної проблеми.

Відповідно до методології СА необхідно виділити елементи і сформулювати конкретні цільові вимоги до підсистем (функціональні, технічні, економічні, організаційні), які надають ключовий вплив на надійність ЕМ.

Дана робота ґрунтується на системі ефективної експлуатації та обслуговування (ЕЕіО) ЕМ, в рамках

якої забезпечується контроль працездатності та діагностика відмов, призначення часу проведення перевірок справності функціонування, проведення профілактичного обслуговування, вибір оптимального числа запасних агрегатів.

Будь-яке обладнання у процесі роботи зношується, старіє і, відповідно, потребує організації контролю над справністю його функціонування, а також у проведенні ремонтних, відновлювальних робіт. Під технічним обслуговуванням систем розуміється сукупність заходів, які служать для підтримки і відновлення робочих властивостей систем.

Дані заходи включають:

- поточне обслуговування;
- контроль працездатності та діагностику відмов;
- ремонтно-відновлювальні роботи.

На виробництві під час експлуатації ЕМ про їх стан можна дізнатися тільки за допомогою контролю. Контрольні перевірки є невід'ємною частиною заходів з підтримки і відновлення працездатності. Оскільки відмова системи призводить до економічних втрат, а контроль також пов'язаний з витратами, то виникає задача оптимального планування перевірок з точки зору загальних витрат. Таким чином, слід визначити терміни проведення контрольних перевірок по виявленню несправностей, при яких сумарні витрати на проведення контролю і втрати від простою устаткування через неї своєчасного виявлення і заміни поламаних елементів мінімізуються.

Ремонтно-відновлювальні заходи – більш масштабні за своїм змістом роботи. Вони пов'язані з проведенням комплексної перевірки працездатності ЕМ, заміною відмовили або досягли встановленого ресурсу елементів, регулювання окремих параметрів та іншими роботами. При плануванні профілактичних заходів та заходів так само, як і при плануванні контрольних перевірок, необхідно враховувати, що несвоєчасне проведення профілактичних робіт може призвести до відмов ЕМ і, як наслідок, до матеріальних втрат.

Необґрунтовано часте проведення профілактичних робіт знижує ефективність функціонування роторного обладнання, що в свою чергу пов'язане з певними матеріальними витратами. Отже, в даному випадку також має місце оптимізаційна задача: визначити терміни проведення профілактичних робіт і заміни обладнання, при яких сумарні очікувані витрати по ремонту і заміні, а також втрати, пов'язані з погіршенням технологічних характеристик роботи устаткування з огляду на його старіння, мінімізуються на всьому інтервалі експлуатації системи.

Крім цього, існує ще одна задача, що відноситься до організації обслуговування ЕМ – розрахунок і забезпечення запасними частинами або елементами. Дуже важливо визначити необхідну кількість запасних частин і елементів ЕМ для того, щоб бути впевненим в тому, що система з ймовірністю $P(t)$ буде безперебійно функціонувати протягом певного часу.

Перераховані заходи складають послідовність етапів, реалізація яких дозволяє здійснити ЕЕіО ЕМ.

Таким чином, узагальненими елементами системи для підприємств електротранспорту є наступні підсистеми:

- експлуатація;
- ремонт;
- технічна діагностика;
- експлуатаційна надійність.

Основними функціями експлуатаційної надійності у системі ЕЕіО ЕМ є організація та ведення спостереження за експлуатаційними параметрами ЕМ і її елементів, обробка інформації з метою визначення параметрів моделі, формування моделі, рішення оптимізаційних задач, прийняття рішень і впровадження їх у практику управління експлуатацією ЕМ.

До системи організації експлуатації та обслуговування ЕМ необхідно застосовувати імовірнісні моделі [1], так як в якості керуючого параметра в даних завданнях використовується напрацювання об'єктів до відмови, а це, як відомо, величина випадкова. Тому при побудові моделей такого типу необхідно проводити значну роботу по збору інформації про експлуатацію ЕМ, про напрацювання до відмови, часу відновлення їх працездатності, стратегіях обслуговування тощо.

Для прийняття оптимальних рішень, що дозволяють успішно управляти системою ЕЕіО ЕМ як в технологічній групі, так і в загальній системі технічного обслуговування та ремонту, необхідна інформація, що характеризує сам процес експлуатації (наприклад, про показники надійності – безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності). Відсутність інформації не дозволяє використовувати результати теоретичних напрацювань для раціональної організації процесу експлуатації. Найбільш повну інформацію для проведення розрахунків, виконуваних з максимальним відображенням умов експлуатацій, можна отримати за допомогою збору даних про відмови і руйнування деталей.

Існуюча система збору та обробки експлуатаційних даних для поточного аналізу надійності ЕМ в експлуатації лише частково задовольняє вимогам діагностичного контролю. Це пояснюється тим, що слабо налагоджена аварійна статистика (статистика по відмовах) по ЕМ, складність отримання інформації за дефектами, що не призвели до відмови і виявлених при планових ремонтах, не фіксується час їх ремонту, час знаходження на складі і час установки. Крім цього, по суб'єктивних та об'єктивних причин нерідкі випадки, коли відмова обладнання ніде не фіксується.

При дослідженні систем і подальшого прийняття рішень з формалізації проблеми має місце невизначеність інформації, відповідно, прийняття рішень здійснюється у інтервалі невизначеність – ризик – визначеність при поступовому зниженні рівня невизначеності.

Таким чином, рівень невизначеності виражається ймовірністю, приписується наслідку події, і має місце тоді, коли потрібно зробити вибір із сукупності можливих результатів. Формально рівень

невизначеності випадкового об'єкта А з кінцевим нескінченністю можливих станів A_1, \dots, A_n з відповідними можливостями p_1, p_2, \dots, p_n визначиться як [2, 7]:

$$H(A) = H(\{p_i\}) = -\sum_{k=1}^n p_k \log p_k, \quad (2)$$

який називають ентропією випадкового об'єкта А (або розподілу $\{p_i\}$). Для простої події, яке оцінюється двома несумісними подіями $p, q = 1-p$ у разі нерівності результатів $p = q = 1/2$, $H(A)$ набуває максимального значення. При виборі екстремального по ентропії розподілу гарантується найбільша невизначеність, тобто домінує варіант з найгіршим випадком при даних умовах.

У СА невизначеність прийняття рішень обумовлена неповним знанням інформації про параметри, показниках, зовнішніх впливах і обмеженнях.

Існують різні види невизначеності:

- невизначеність, викликана великим часом попередження у прогнозі технічного стану;
- невизначеність, породжена недостатнім знанням інформації в силу технічних, економічних і соціальних причин;
- невизначеність через суб'єктивність прийняття рішення або відсутність досвіду, знань;
- невизначеність, пов'язана з обмеженнями у ситуації прийняття рішення;
- невизначеність, викликана поведінкою зовнішнього середовища тощо.

В умовах експлуатації статистичні дані з ЕМ, як правило, неповні, а оброблювані дані у силу об'єктивних і суб'єктивних причин мають високу ступінь невизначеності. Експлуатаційна інформація про надійність ЕМ представляє результат пасивного (некерованого) експерименту. З точки зору математичної статистики, результатом підконтрольної експлуатації є неоднорідна інформація. Неоднорідність у даному випадку полягає у тому, що отримана інформація складається частково з напрацювань до відмов і частково з напрацювань до припинення спостережень без відмови електродвигунів. При цьому напрацювання до припинення спостереження, як і напрацювання до відмови, є випадковою величиною з огляду на те, що у експлуатаційних умовах практично завжди в підконтрольні групи дослідження машин потрапляють ЕМ різного часу випуску із схильною до випадкових змін інтенсивністю використання. У таких випадках визначення характеристик надійності об'єктів доводиться здійснювати на основі специфічних вибірок. Цей спосіб називається метод цензурованих вибірок (ЦВ) [7, 8].

З точки зору коректного визначення характеристик надійності ЕМ при даній невизначеності необхідно враховувати наступні фактори, що призводять до виникнення ЦВ:

- різний час початку і закінчення експлуатації ЕМ;
- зняття з випробувань або з експлуатації деяких ЕМ з організаційних причин або через відмови складових частин;
- перехід ЕМ з одного режиму роботи в інший у процесі експлуатації;
- необхідність оцінки надійності до настання відмов усіх випробовуваних ЕМ (ця ситуація має місце у системах оперативного управління якістю та надійністю механізмів);
- періодичний контроль ЕМ, що призводить до введення інформації про надійність у вигляді інтервалів спостережень (групування інформації).

Виникаючі певні інформаційні втрати під час експлуатації якраз і враховуються «некласичним» методом обробки – методом ЦВ.

Подальшим етапом процесу оцінки надійності ЕМ є формалізація опису системи, тобто побудова її моделі. Найбільш простою формою опису системи є уявлення її у вигляді «чорного ящика». Однак, питання, що стосуються внутрішнього устрою системи, неможливо вирішити тільки за допомогою моделі «чорного ящика». Для цього необхідні більш розвинені, більш детальні моделі. У цих випадках систему подають як структуру шляхом зв'язування на підсистеми, компоненти, елементи із взаємозв'язками, які можуть носити різний характер.

Структуризація мети, функцій і завдань під час дослідженні діючих експлуатаційних підприємств дозволяє врахувати всі можливі фактори і виділити із них найбільш ефективні та значущі.

Вибір найкращого рішення з ЗЕЕО ЕМ передбачає, перш за все, кількісне визначення цілі. Для цього слід здійснити структуризацію (декомпозицію) цілі ЕМ до рівня конкретних показників (критеріїв). Декомпозиція цілі щодо ефективної експлуатації ЕМ може бути представлена у вигляді «дерева цілі» (fig. 1).

Тут виділені рівні підсистем: ремонт, експлуатація, технічна діагностика, експлуатаційна надійність. Далі деталізація здійснюється по кожній підсистемі, в якій вказуються найбільш ймовірні критерії, що впливають на експлуатаційну ефективність ЕМ:

А.1. Підсистема ремонту: f_1 – рівень якості ремонту; f_2 – заводський дефект; f_3 – неправильний вибір матеріалів при ремонті; f_4 – невдале конструктивне рішення і недосконалість технології ремонту; f_5 – якість вхідного і вихідного контролю ЕМ; f_6 – рівень кваліфікації ремонтного персоналу; f_7 – порушення правил гігієни праці; f_8 – неправильний інструктаж ремонтного персоналу.

А.2. Підсистема експлуатації: f_9 – рівень кваліфікації експлуатаційного персоналу; f_{10} – неправильний інструктаж експлуатаційного персоналу; f_{11} – порушення правил гігієни праці; f_{12} – умови зберігання і транспортування; f_{13} – умови експлуатації та роботи; f_{14} – застосування відповідного типу електричних захистів; f_{15} – неправильний вибір двигуна; f_{16} – забезпечення перевірок спрацювання і

повернення захисту в початковий стан; f_{17} – відсутність заземлення корпусів ЕМ; f_{18} – незабезпечення електричних і механічних блокувань; f_{19} – незабезпечення вибухозахисності; f_{20} – достатність якості організації робіт з розробки і впровадженню заходів, спрямованих на усунення дефекту; f_{21} – якість електроенергії; f_{22} – якість поставлених деталей, складальних одиниць і комплектуючих виробів; f_{23} – частка працюючого обладнання; f_{24} – час напрацювання устаткування; f_{25} – коефіцієнт завантаження обладнання; f_{26} – коефіцієнт змінності обладнання.

А.3. Підсистема діагностики: f_{27} – рівень і повнота збору діагностичної інформації; f_{28} – контролепридатність обладнання; f_{29} – рівень кваліфікації фахівця з діагностики; f_{30} – якість діагностики справного стану, правильного функціонування, працездатного стану; f_{31} – дострокові висновки в ремонт внаслідок помилкових діагнозів; f_{32} – якість прогнозування технічного стану та ресурсу; f_{33} – допуск до подальшої експлуатації деякої частини ненадійного устаткування; f_{34} – необхідність прийняття компромісних рішень при встановленні меж (норм) в умовах недостатньо чіткої та повної оцінки альтернативних чинників і їх наслідків; f_{35} – критерій економічної неефективності діагностики (при малому парку експлуатованих машин); f_{36} – проведення складних і трудомістких досліджень для розробки методик і засобів діагностування конкретних машин по конкретному виду дефекту при неповному уявленні про його причини й умови виникнення, а також фактори, що впливають на його розвиток; f_{37} – недостатність інформаційного базису при постановці завдань діагностики і підготовці діагностичних висновків; f_{38} – технічна неможливість проведення діагностування в обсязі, що дає повну інформацію.

А.4. Підсистема експлуатаційної надійності: f_{39} – склад і кількість додаткових варіюваних величин і показників, пов'язаних з надійністю; f_{40} – помилки при розрахунку оцінки надійності; f_{41} – нормування показників надійності і визначення економічного ефекту; f_{42} – критерії оцінки функціональних наслідків відмови: вимушений простій; необхідність витрат на проведення ремонту; вимушений простій і необхідність витрат на проведення ремонту.

Безумовно, виділена система критеріїв не є повною і відбиває всі потреби при якійсая та ефективній експлуатації ЕМ, але вона дозволяє показати структуру мети. Основною особливістю виділеної системи критеріїв $\{f_i\}_{42}$ є їх суперечливість і взаємопов'язаність. Так, вибір методу діагностики в конкретному випадку визначається не стільки конструкцією машини, яку потрібно обстежити, скільки, головним чином, залежить від величини витрат, які може дозволити собі власник устаткування, і глибини аналізу результатів. Економія трудових ресурсів, збільшення потоку інформації при діагностуванні можливо внаслідок автоматизації виробничих процесів, тощо. Впровадження автоматизованих систем контролю і діагностики, що в свою чергу вимагає додаткових витрат на реалізацію даного проекту.

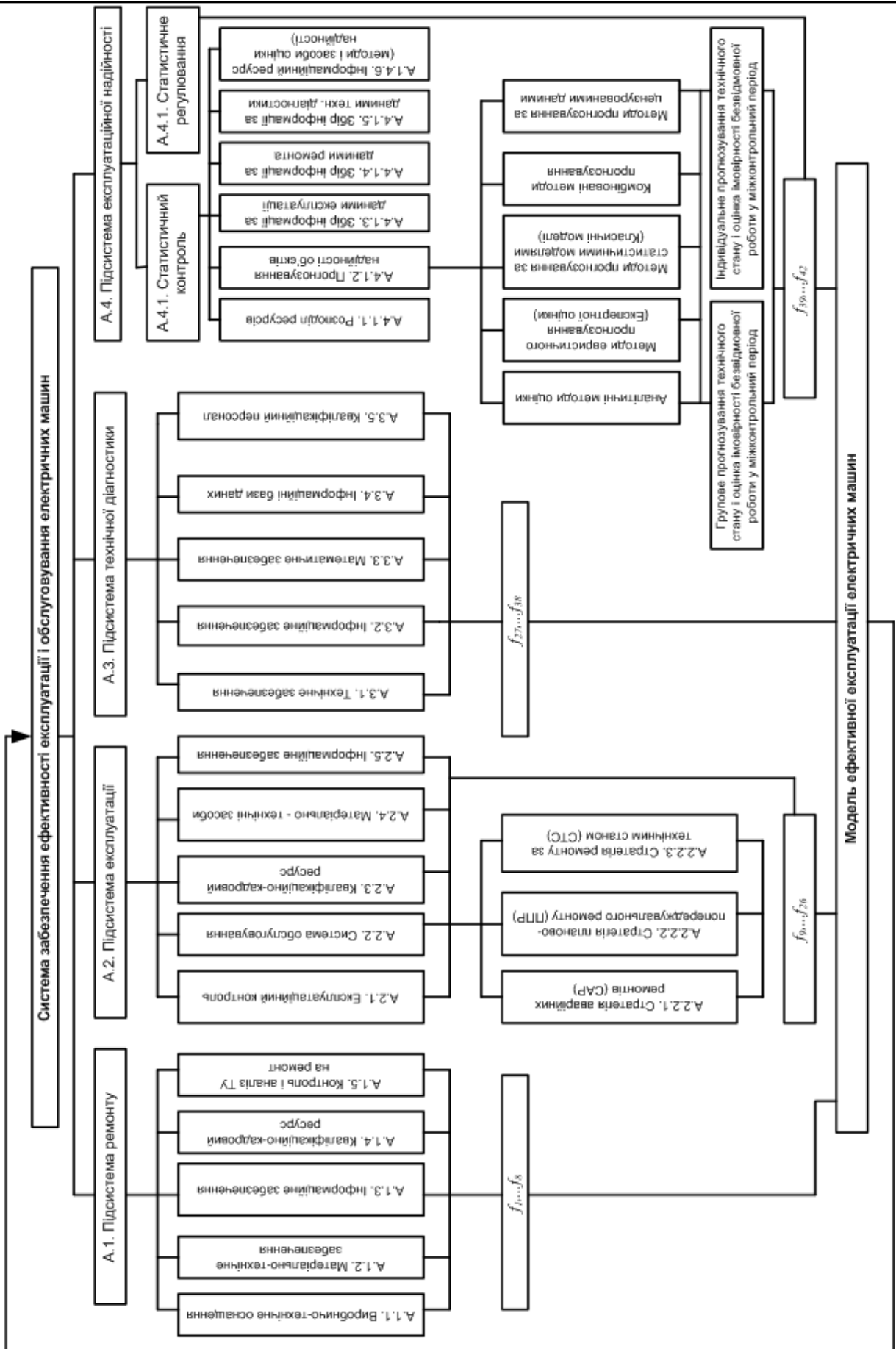


Fig. 1. Дерево цілі з ефективною експлуатації та обслуговування ЕМ

В аварійних ситуаціях визначальним фактором при діагностиці ЕМ є швидкість постановки діагнозу і прийняття рішення, і при цих обставинах виникають нові критерії, що впливають на оцінку надійності (ймовірність відновлення; гамма процентний час відновлення; інтенсивність відновлення; середня трудомісткість відновлення).

Включення в структурну схему підсистеми надійності А.4 забезпечує координацію дій елементів підсистем (ремонт А.1, експлуатації А.2, технічної діагностики А.3) у ході їх функціонування і включає облік, аналіз, прогнозування, регулювання, організацію і нормування. Вибір методу прогнозування по оцінці надійності обґрунтовується точністю і достовірністю отриманих даних, вимог точності і достовірності прогнозу. За використанням статистичними даними парку експлуатованих машин і результатами діагностування проводять корекцію критеріїв оцінки станів і їх діагностичних ознак, тобто реалізують зворотний зв'язок на основі діагностування парку машин. Оцінка технічного стану ЕМ після ремонту і результати статистичного аналізу причин виникнення відмов не тільки виявляють недобросовісних ремонтників, але і вдосконалюють майстерність сумлінних.

V. ВИСНОВКИ

Таким чином, рішення щодо ефективної експлуатації повинно завжди прийматися на основі вибору, який може бути критеріальним (як в розглянутому випадку), вольовим (усвідомленим) і випадковим (інтуїтивним).

Подальшу деталізацію можна здійснювати по окремих технологічних операціях або поділі парку машин за ступенем їх надійності та виділення групи критичного (з точки зору забезпечення технологічного режиму підприємства) обладнання. Проведення систематизації по окремим технологічним операціям дозволяє встановлювати параметричну оцінку надійності для даного обладнання з відшукування цільової функції $F(x)$, зменшенням розмірності вектора x і зі зниженням складності структури нескінченності G .

Таким чином, використання методології СА дозволило уявити експлуатаційну надійність ЕМ як керований інформаційний процес послідовного зняття невизначеності у цілеспрямованому пошуку оптимального шляху забезпечення ЕЕіО ЕМ.

Формування мети СА ґрунтується на комплексному підході кожної проблеми, яка полягає не тільки в різноманітності стратегій розвитку системи в майбутньому, а й в унікальності кожної з них. В рамках такої методології, що розглядає в повній єдності систему ЕЕіО ЕМ, може бути забезпечена надійність ЕМ на етапі експлуатації.

На основі СА проведена структуризація мети щодо забезпечення надійності ЕМ при дослідженні діючих експлуатаційних підприємств галузі електро-транспорту, яка може бути представлена у вигляді «дерева цілі», що дозволяє враховувати усі можливі

фактори та виділити з них більш важливі критерії, що впливають на ефективну експлуатацію ЕМ.

Дана робота дозволяє обґрунтувати такі пропозиції:

– зниження числа позапланових зупинок (раптових відмов) обладнання при досягненні максимально тривалого терміну експлуатації коштовного устаткування;

– постійна наявність (надання) інформації про стан обладнання, що дозволяє судити про стан загальної продуктивності, а також прогнозування та планування потреби у необхідному обслуговуванні;

– рівномірне прогнозування і обґрунтування завантаження ремонтного персоналу, спільне планування графіків та обсягів обслуговування ремонтними й технологічними службами;

– зниження експлуатаційних витрат підприємства, збільшення прибутку, підвищення безпеки праці, якості обслуговування пасажирів та скорочення відмов.

VI. ЛІТЕРАТУРА

- [1] Шавкун В.М. Перспективні напрями розвитку методів і засобів технічної діагностики електричного транспорту / В.М. Шавкун // Комунальне господарство міст, Сер.: Технічні науки та архітектура. – 2018. – Вип. 1(142). – С. 58–63.
- [2] Яцун М.А. Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів / М.А. Яцун, А.М. Яцун. – Львів: «Львівська політехніка», 2010. – 228 с.
- [3] Шавкун В.М. Аналіз сучасних методів діагностики технічного стану асинхронних двигунів / В.М. Шавкун, В.В. Лінков // Комунальне господарство міст, Сер.: Технічні науки та архітектура. – 2019. – Вип. 5 (151). – С. 8–12.
- [4] Pavlenko T.P. Methodology of determining the parameters of traction electric motor failures when operating trolleybuses / T.P. Pavlenko, V.M. Shavkun, V.I. Scurihin, N.P. Lukashova // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2018. – № 4(76) – С. 47–59.
- [5] Pavlenko T. Ways to improve operation reliability of traction electric motors of the rolling stock of electric transport / T. Pavlenko, V. Shavkun, A. Petrenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5. – Iss. 8(89). – P. 22–30. doi: 10.15587/1729-4061.2017.112109.
- [6] Далека В.Х. Технічна експлуатація міського електричного транспорту : навч. посібник / В.Х. Далека, В.Б. Будниченко, Е.І. Карпушин. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 235 с.
- [7] Бондаренко В.Г. Теорія імовірностей і математична статистика / В.Г. Бондаренко, І.Ю. Канівська, С.М. Парамонова. – К.: НТТУ «КПІ», 2006. – 125 с.
- [8] Иваботенко Б.А. Планирование эксперимента в электромеханике / Б.А. Иваботенко, Н.Ф. Ильинский. – М.: Энергия, 1975. – 240 с.
- [9] Шавкун В.М. Діагностування тягових електричних машин електротранспорту / В.М. Шавкун // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вип. 1/7(67). – С. 48–52.
- [10] Kolcio K., Fesq L. Model-based off-nominal state isolation and detection system for autonomous fault management / K. Kolcio, L. Fesq // IEEE Aerospace Conference Proceedings. 2016 – June. DOI: 10.1109/AERO.2016.7500793.
- [11] Krobot Z., Turo T., Neumann V. Using vehicle data in virtual model for maintenance system support / Z. Krobot, T. Turo, V. Neumann // ICMT 2017–6th International Conference on Military Technologies, P. 171–174. DOI: 10.1109/MILTECHS.2017.7988750

Methodology for the assessment of the operation reliability of pulling electric machines of city electric transport

V. Shavkun

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

One of the most commonly used means of the city's electric traffic system is trolleybus that has a lot of advantages in comparison with fixed-route taxis, buses and trams. During trolleybuses operation, the most electric and mechanical load has an effect on the traction electric engines, on which the further effective operation of a trolleybus on a transfer line depends.

Statistic data concerning the trolleybuses operations in Ukraine prove that reliability of traction electric engines has been reduced for subjective and objective reasons over the past 10-15 years. New developments and the use of technologies are therefore needed for more effective use of the known technical equipment, its modernization, reliability improvement and extending the service life.

To determine the effectiveness of trolleybus operation on the route, the modern methods of reliability assessment of the traction electric engines are used, which allow to get adequate characteristics of the structure, functional links of parts and units.

But some methods don't meet the necessary requirements to ensure the reliability of traction electric engines operation. So the subject and the tasks of the research work are still relevant today. New solutions of characterization the reliability of traction electric engines guarantee reducing energy and resource consumption during operation, repair and production.

A methodology is presented that allows assessing the operational reliability of electrical machines from the point of view of system analysis. Uncertainty of information data arising during the operation of electrical machines is considered.

The decomposition of the goal for the efficient operation and maintenance of electrical machines has been carried out, which is reflected in the form of a "goal tree". The results obtained can be used as initial data for the formulation and solution of a number of problems of control over the operational reliability of electrical machines.

Keywords – system analysis, system, operational reliability, information uncertainty, efficient operation and maintenance of electrical machines, criteria, goal tree.