

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна



МІРОНОВ ДМИТРО ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.331:621.311

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ
ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Спеціальність 05.22.09 - електротранспорт
Галузь знань: 27 - транспорт

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Сиченко Віктор Григорович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, завідувач кафедри інтелектуальні системи електропостачання.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кутін Василь Михайлович,
Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті;

кандидат технічних наук
Конограй Сергій Петрович,
ТОВ «Енергоавтоматизація», м. Запоріжжя, головний інженер.

Захист дисертації відбудеться “03” липня 2018 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, або на сайті університету <http://diit.edu.ua/> (Наука – Захисти у спеціалізованій вченій раді Д 08.820.01)

Автореферат розісланий «01» червня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор



Муха А. М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На залізницях України тягове електропостачання здійснюється від 307 стаціонарних і пересувних ТП. З них 243 стаціонарних (82,09% від загальної кількості) та 10 пересувних ТП працюють з терміном служби понад 30 років. На даний час зношеність основних фондів енергогосподарства виробничого та невиробничого характеру сягає 80 %. Темпи наростання зношеності електроустаткування складають 2-6% на рік від загальної кількості.

Об'єкти залізничного транспорту містять велику кількість пристроїв, тривала експлуатація яких без належного діагностування технічного стану та своєчасного проведення ремонтних робіт може привести до виходу їх з ладу та значного матеріального збитку. Так, внаслідок пошкодження пристроїв електропостачання на залізницях України за 2015 рік було затримано 1006 поїздів на 765,5 годин, у 2011 році 832 поїзди на 656 годин.

Незважаючи на важливу роль ремонтних служб в забезпеченні безперебійної роботи залізничних підприємств, рівень управління, технічного забезпечення, та організації роботи даних підрозділів залишається достатньо низьким. При цьому застосування системи технічного обслуговування і ремонту ускладнюється недостатнім фінансуванням для проведення ремонтів у повному обсязі. Так, на 2015 рік було виділено на виконання ремонтів суму 124883 тис. грн, порівняно з 2014 роком (281070 тис. грн) об'єм фінансування зменшився на 156187 тис. грн (55 %). До теперішнього часу не розроблено критерії ефективності експлуатації обладнання, присутня велика частка суб'єктивізму в оцінці. Внаслідок цього ускладнене економічно обґрунтоване планування ремонтних робіт, визначення ресурсів, необхідних для забезпечення працездатності електроустаткування, а також витрат, пов'язаних з використанням сировини, матеріалів, запасних частин. Тому гостро постає питання про розробку методів та способів підвищення ефективності експлуатації електрообладнання електрифікованих залізниць.

Вирішення проблеми підвищення ефективності експлуатації електрообладнання може відбуватись шляхом застосування системи управління якістю, яка передбачає використання принципів процесного підходу для підвищення якості робіт, що виконуються в процесі експлуатації. При цьому, в якості контрольованого показника процесу експлуатації обладнання доцільно використовувати узагальнені критерії якості об'єкту, які є більш зручними для розрахунку, контролю та прогнозування за даними поточної експлуатації та технічних обстежень електроустаткування.

Таким чином, задача розробки методів і способів підвищення ефективності експлуатації електрообладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць постійного струму є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до державних програм і науково-дослідних робіт:

- Транспортна стратегія України на період до 2020 року, ухвалена Постановою Кабінету Міністрів України № 2174-р від 20.10.2010 р.;

- Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки, ухвалена Постановою Кабінету Міністрів України № 1390 від 16.12.2009 р. (із змінами, внесеними згідно з Постанови № 970);

- Постанова Верховної Ради України «Про програму діяльності Кабінету Міністрів України» № 1099-VIII від 14.04.2016 р.;

- Стратегічний план розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, затверджений наказом Міністерства інфраструктури України від 21.12.15 № 547;

- «Розробка системи технічного обслуговування та діагностики пристроїв тягових підстанцій постійного струму» (№ держреєстрації 0113U000686);

- «Розробка енергоефективної технології сумісної роботи системи централізованого тягового електропостачання та системи розподілених альтернативних джерел електроенергії» (№ держреєстрації 0117U004481).

Автор брав участь у виконанні вказаних науково-дослідних робіт як виконавець.

Мета та задачі дослідження. Підвищення ефективності експлуатації електрообладнання тягових підстанцій з використанням узагальненого показника технічного стану об'єкта.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові задачі:

1. Проаналізувати методи технічного обслуговування і ремонту електрообладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць.

2. Розробити структурно-функціональну модель процесу технічного обслуговування і ремонту електрообладнання.

3. Розробити методику розрахунку часткових і узагальнених показників технічного стану електрообладнання.

4. Отримати аналітичні вирази для розрахунку узагальненого показника технічного стану електрообладнання.

5. Розробити спеціалізоване програмне забезпечення для вирішення задач моніторингу і прогнозування технічного стану електрообладнання.

6. Розробити методику моніторингу і прогнозування технічного стану електрообладнання на основі узагальнених показників технічного стану устаткування.

Об'єкт дослідження – процес експлуатації електрообладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць.

Предмет дослідження – система технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій електричного транспорту.

Методи дослідження. Основні теоретичні положення дисертації отримані за допомогою методів системного аналізу (при розробці структурно-функціональної моделі процесу технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) обладнання тягових підстанцій), математичної статистики (аналіз пошкоджуваності електрообладнання), математичного моделювання (розробка

методики розрахунку часткових і узагальнених критеріїв), математичні методи планування багатофакторного експерименту (розробка математичної моделі узагальненого показника технічного стану електрообладнання), методи математичного програмування (розробка програмного комплексу автоматизованої системи моніторингу і прогнозування технічного стану електрообладнання), імітаційного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше отримано узагальнений показник технічного стану обладнання тягових підстанцій у вигляді квадратичної залежності з урахуванням різнопланових експлуатаційних параметрів електрообладнання для комплексної оцінки технічного стану обладнання, а також отримано регресійну модель узагальненого показника технічного стану, що дозволяє визначити характер впливу експлуатаційних параметрів устаткування на його фактичний технічний стан.

2. Адаптовано метод процесного управління якістю технічного обслуговування і ремонту електрообладнання тягових підстанцій шляхом введення ієрархічного розподілу управлінських завдань, що дає змогу ефективного управління на всіх етапах проведення ремонтно-профілактичних робіт з метою мінімізації часу на виконання даних робіт за рахунок виокремлення найбільш ресурсоємних етапів процесу технічного обслуговування.

3. Набув подальшого розвитку метод оцінки залишкового ресурсу електрообладнання тягових підстанцій в частині застосування узагальненого показника технічного стану електрообладнання в якості основного показника спрацювання ресурсу, на базі якого запропоновано методику розстановки ремонтних пріоритетів на основі виробітку залишкового ресурсу обладнання, що дозволяє скоротити витрати часу на аналіз експлуатаційних параметрів та постановку діагнозу.

Практичне значення отриманих результатів

1. Розроблена структурно-функціональна модель процесу ТО і Р за стандартом ISO 9000:2015 дозволяє виявити основні ресурсоємні етапи процесу ТО і Р обладнання ТП, ефективно управління якими дозволить знизити часові і матеріальні затрати на проведення профілактичних робіт.

2. Запропонована методика розрахунку часткових і узагальнених показників технічного стану дозволяє підвищити швидкодію та зручність обробки діагностичної інформації, а також зменшити час на проведення технічного обслуговування на 700 год на рік в межах однієї дистанції електропостачання.

3. Розроблена автоматизована система оцінки технічного стану електрообладнання ТП на основі узагальнених показників технічного стану сприяє зменшенню фінансових витрат на 47878 грн/рік в межах однієї дистанції електропостачання.

4. Створений програмний засіб дозволяє проводити оцінку і моніторинг та прогнозування технічного стану обладнання ТП. При цьому даний програмний

засіб дозволяє створити базу даних діагностичних параметрів для подальшого аналізу пошкоджуваності електрообладнання.

Особистий внесок здобувача. Постановку мети та завдань дослідження виконано спільно з науковим керівником. Основні наукові положення, теоретичні та експериментальні дослідження, викладені в дисертаційній роботі, отримано дисертантом самостійно. У роботах, які написані в співавторстві, автору належать: [1] – реалізація та аналіз результатів повного факторного експерименту; [2] – збір та аналіз статистичних даних експлуатації пристроїв електропостачання; [3] – аналіз основних бізнес-процесів системи ТО і Р обладнання тягових підстанцій для побудови системи ризик-менеджменту; [4] – статистичний аналіз відмов основного силового обладнання ТП, аналіз показників ефективності системи ризик-менеджменту; [5] – розробка методики оцінки залишкового ресурсу, методики визначення ремонтних пріоритетів обладнання, розробка алгоритму роботи та структури автоматизованого діагностичного комплексу; [6] – розробка структурно-функціональних моделей підпроцесів ТО і Р; [7] – розрахунок показників ефективності системи технічного обслуговування і ремонту електрообладнання; [19] – розробка структури автоматизованої системи, опис функціональних блоків.

Роботи [8] та [9] написані та опубліковані без співавторів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 74 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»; 5, 6, 7, 8 Міжнародній науково-практичній конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та у промисловості»; 7,8,9,10 Міжнародній науково-практичній конференції «Електрифікація транспорту "ТРАНСЕЛЕКТРО"»; 7 Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті»; 1 Міжнародній науково-практичній конференції «Енергооптимальні технології перевізного процесу»; Міжнародній науково-практичній конференції Advanced Rail Technologies.

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано у 19 наукових працях і матеріалах конференцій: 9 основних праць, з них: 1 – стаття у журналі, що індексуються Scopus; 8 – у фахових виданнях; і 10 додаткових, з них: 9 – тези доповідей та матеріали конференцій, 1 – патент на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із анотації українською і англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний текст роботи викладений на 149 сторінках, містить 36 рисунків за текстом і 29 таблиць. Список літературних джерел із 152 найменувань займає 16 с. Додатки займають 7 сторінок. Повний обсяг дисертації складає 171 сторінку.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету роботи та основні завдання, які необхідно вирішити для досягнення мети,

сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, подано дані про апробацію роботи та публікації.

У першому розділі проаналізовано методи технічного обслуговування і ремонту електрообладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць.

В основу діючої системи технічного обслуговування і ремонту тягових підстанцій (ТП), згідно «Інструкції з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць» ЦЕ-0024, покладено поєднання технічного обслуговування і планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Залежно від важливості призначення устаткування в технологічному процесі, планово-попереджувальний ремонт може проводитися по методу планово-періодичного ремонту і ремонту по технічному стану.

Існуюча система ППР в сучасних економічних умовах розвитку країни не забезпечує у багатьох випадках прийняття оптимальних техніко-економічних рішень. Це пояснюється тим, що призначення профілактичних робіт здійснюється згідно регламенту і не залежить від фактичного технічного стану обладнання на момент початку ремонту; плани-графіки ППР не встановлюють пріоритет виводу в ремонт різних видів електроустаткування за фактичним технічним станом; при складанні планів-графіків не враховується ряд обмежень (технологічних, матеріальних, трудових, тощо), а також не передбачається їх оптимізація з позиції раціонального управління станами процесу експлуатації і повного використання ресурсу кожної одиниці електроустаткування ТП; система ППР має велику трудомісткість профілактичних робіт. Також пропорційно зростанню кількості електроустаткування збільшується і загальна трудомісткість профілактичних робіт, що вимагає значного збільшення чисельності ремонтного персоналу.

Для оцінки ефективності функціонування системи ППР використовуються показники ефективності. Дані показники (табл. 1) дозволяють оцінювати витрати (або загальні витрати) часу, праці та коштів на технічне обслуговування та ремонти і містять витрати, зумовлені конструкцією та технічним станом виробу (оперативні витрати), і витрати, зумовлені організацією, технологією виконання технічного обслуговування та ремонтів, матеріально-технічним забезпеченням, кваліфікацією персоналу, умовами навколишнього середовища.

При цьому, до теперішнього часу, не розроблено критерії оцінки ефективності експлуатації електрообладнання. Це призводить до зниження якості виконуваних робіт, нераціонального використання матеріальних та людських ресурсів, що спричиняє додаткові збитки.

Тому в даній роботі запропоновано використовувати узагальнений показник технічного стану електрообладнання тягових підстанцій, який дає змогу оцінити максимально можливий спектр експлуатаційних показників контрольованого обладнання для більш точної оцінки технічного стану, в якості критерію ефективності експлуатації електроустаткування.

Таблиця 1 – Показники системи ТО і Р

Термін	Визначення
Середня тривалість (трудомісткість, вартість) технічного обслуговування (ремонту)	Математичне очікування тривалості (трудомісткості, вартості) одного технічного обслуговування (ремонту) даного виду за певний період експлуатації або наробіток
Середня сумарна тривалість (трудомісткість, вартість) технічних обслуговувань (ремонтів)	Математичне очікування сумарної тривалості (трудомісткості, вартості) технічних обслуговувань (ремонтів) за певний період експлуатації або наробіток
Питома сумарна тривалість (трудомісткість, вартість) технічних обслуговувань (ремонтів)	Відношення середньої сумарної тривалості (трудомісткості, вартості) технічних обслуговувань (ремонтів) до заданого напрацювання
Коефіцієнт готовності	Імовірність того, що обладнання виявиться в працездатному стані в будь-який момент часу, крім планованих періодів, протягом яких застосування виробу за призначенням не передбачається
Коефіцієнт технічного використання	Відношення математичного очікування сумарного часу перебування виробу в працездатному стані, за деякий період до математичного очікування сумарного часу перебування виробу в працездатному стані і простоях, викликаних технічним обслуговуванням та ремонтом за той же період.

У другому розділі викладено теоретичні підходи до впровадження системи управління якістю процесу експлуатації електрообладнання тягових підстанцій на основі процесного підходу. Складено розгорнутий опис і виявлені основні характеристики процесу ТО і Р технологічного устаткування, необхідні для його успішного функціонування у рамках мережі процесів. Виконано структурно-функціональний аналіз процесу ТО і Р електрообладнання і розроблена структурно-функціональна модель його складових підпроцесів.

Основною технологічною задачею служби електропостачання (Е) є гарантоване забезпечення електроенергією залізничних та сторонніх споживачів. Електроенергія виступає основним видом продукції. З позицій процесного підходу і відповідно до вимог стандарту системи управління якістю (ДСТУ ISO 9001-2009), функціонування інфраструктури господарства Е може бути представлено у вигляді схеми (рис. 1), в якій гарантоване забезпечення електроенергією залізничних та сторонніх споживачів визначається як головний бізнес-процес господарства.

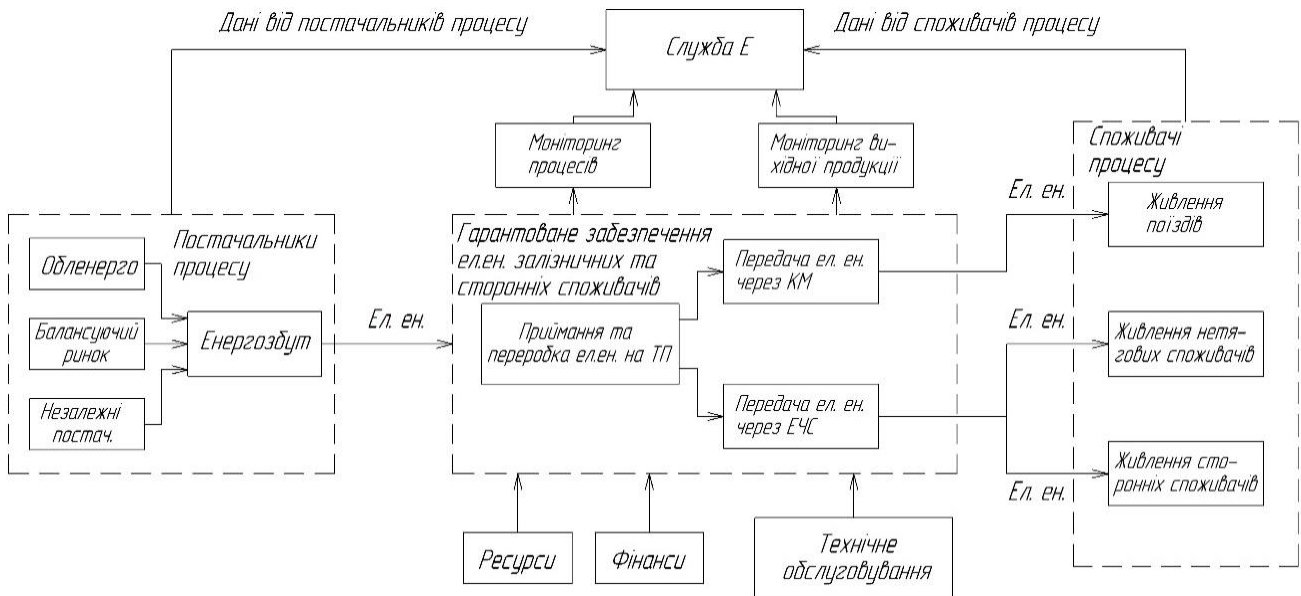


Рисунок 1 – Функціональна структура головного бізнес-процесу господарства Е

Можливість реалізації завдань, покладених на господарство Е, багато в чому визначається якістю функціонування процесу технічного обслуговування (рис.2).

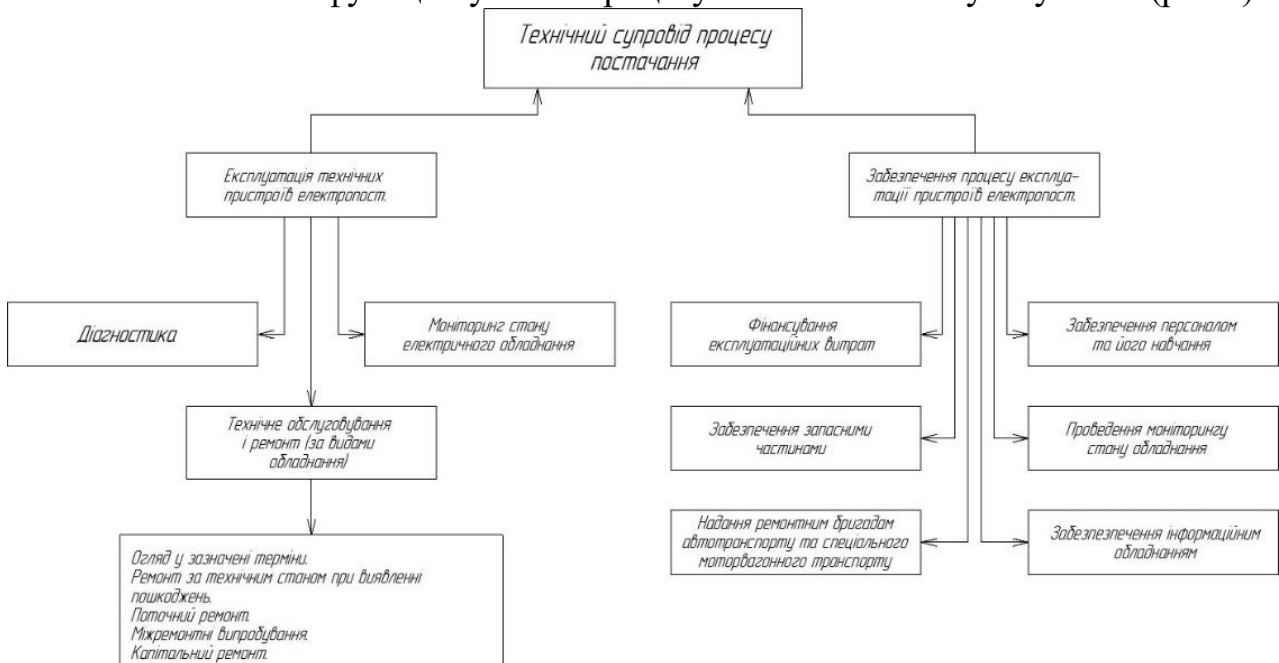


Рисунок 2 – Структура технічного обслуговування процесу електропостачання

Практична реалізація процесного підходу на підприємствах передбачає опис процесів з урахуванням усіх компонентів, необхідних для його належного функціонування. Найважливіші характеристики процесу ТО і ремонту електрообладнання ТП, виявлені відповідно до перерахованих вимог, приведені в таблиці 2.

Реалізація процесного підходу в ремонтній службі дистанції електропостачання (ЕЧ) вимагає розподілу управлінських завдань по трьох рівнях:

- вищий управлінський персонал (керівництво дистанції електропостачання) - власник процесу ТО і ремонту приймає довгострокові

стратегічні рішення і відстежує виконання рішень, принципів з точки зору діяльності усієї організації.

- середній рівень (начальник ЕЧЕ) - керівник процесу реалізує прийняті на вищому рівні рішення шляхом поточного планування і ведення процесу ТО і ремонту з метою досягнення запланованих результатів.

- операційний рівень управління (керівники ремонтних бригад) відповідає за поточний стан справ в ремонтній службі ЕЧ, тобто безпосередньо за ремонт і технічне обслуговування обладнання.

Таблиця 2 – Характеристики процесу ТО і ремонту

Повне найменування процесу	Технічне обслуговування і ремонт обладнання ТП	Виходи процесу	обладнання, що пройшло ТО; - обладнання, що пройшло ремонт (плановий і неплановий); - звіт про проведення робіт по ТО і ремонту
Визначення процесу	Задоволення потреб дистанції електропостачання в проведенні робіт по підтримці в працездатному стані електрообладнання ТП	Ресурси	персонал ремонтної служби; - інфраструктура (обладнання, будівлі і виробничі приміщення, транспорт, зв'язок і так далі); - матеріальні і часові ресурси, необхідні для виконання усіх видів ремонтних робіт; - програмне забезпечення, задіяне при виконанні процесу
Мета процесу	Підтримання електроустаткування в робочому стані при мінімальних трудових і матеріальних витратах	Постачальник процесу	Дистанція електропостачання та залізниця в цілому
Власник процесу	Керівництво дистанції електропостачання	Вимірювані параметри процесу	Витрати на проведення ремонтно-профілактичних робіт (РПР), матеріальний збиток діяльності залізниці в результаті відмов обладнання дистанції електропостачання (затримка поїздів)
Керівник процесу	Начальник ЕЧЕ		
Нормативи процесу	Нормативна документація		
Входи процесу	- номенклатура обладнання; - технологічне обладнання: а) справне (вимагає ТО і плановий ремонт); б) несправне (вийшло з ладу в результаті аварії)		
Показники результативності і ефективності процесу	Узагальнений показник технічного стану (Інструмент управління якістю процесу ТО і ремонту)		
Споживач процесу	Дистанція електропостачання та залізниця в цілому		

Вирішити управлінські завдання на кожному рівні процесу ТО і ремонту обладнання неможливо без його детального опису і подальшого аналізу. Опис

процесу і кожного виду робіт (діяльності, підпроцесу, процесу другого або подальших рівнів або функцій), що входять в нього, виконано в рамках структурно-функціонального аналізу цього процесу на дистанціях електропостачання. В якості лінгвістичного забезпечення для вирішення цього завдання використано пакет Міжнародних стандартів моделювання IDEF (Icam Definition). Виходячи з положень IDEF- моделювання, складна задача ТО і ремонту була розбита на ряд простих задач, рішення яких дозволило найпростіше впоратися з початковою проблемою, та була розроблена структурно-функціональна модель (рис. 3). Структурно- функціональне моделювання з виділенням подій робилося по методології IDEF0, опис процесів - за методологією IDEF3, а для побудови діаграм потоків даних використовувався метод DFD.

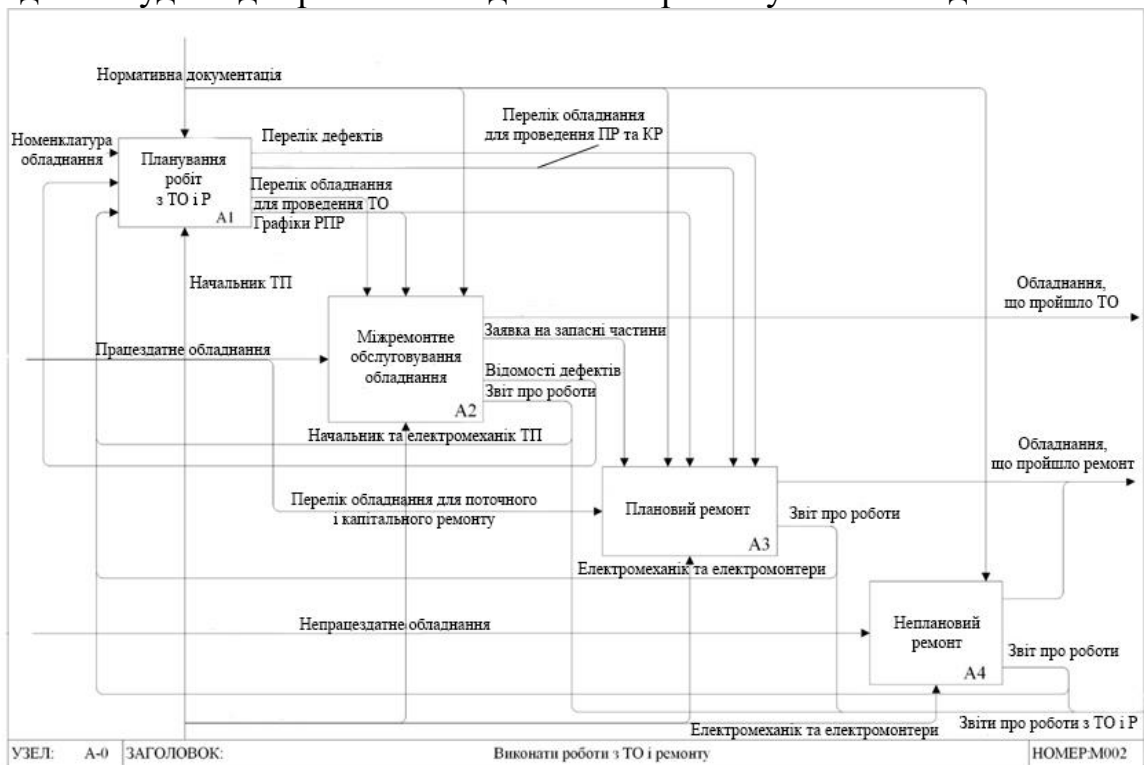


Рисунок 3 – Структурно-функціональна модель процесу ТО і Р

Аналіз вузлів структурно-функціональної моделі процесу ТО і Р електрообладнання ТП показує, що найбільша кількість підпроцесів і, відповідно, об'єм робіт включає в себе вузол «Неплановий ремонт обладнання», оскільки він неминуче призводить до додавання до складу сформованого раніше виробничого завдання термінових, позапланових робіт, що вимагає додаткових фінансових і матеріальних затрат. Визначено, що для впровадження процесного управління експлуатацією обладнання тягових підстанцій необхідно розробити показники результативності і ефективності процесу експлуатації.

У третьому розділі розроблено узагальнений показник технічного стану електрообладнання, а також отримано рівняння регресії для визначення узагальненого показника технічного стану на основі повного факторного експерименту. Запропоновано методику оцінки залишкового ресурсу електрообладнання тягових підстанцій з використанням узагальненого показника технічного стану.

Для адекватної оцінки якості експлуатаційних показників енергетичного обладнання вирішено користуватися узагальненими характеристиками їх роботи, визначеними на основі методів теорії нечітких множин. Найбільшої популярності серед непрямих методів набули метод парних порівнянь, запропонований Т. Сааті; метод множин рівня, запропонований Р. Ягером і методика теорії нечітких множин, заснована на об'єднанні різнопланових показників в узагальнений показник. В якості методики визначення узагальненого показника технічного стану використана методика теорії нечітких множин, заснована на об'єднанні часткових показників якості в узагальнений - в так звану узагальнену функцію бажаності D (функцію Харінгтона). Для побудови узагальненої функції бажаності D пропонується перетворити виміряні значення різних критеріїв у безрозмірну шкалу бажаності d . Для двостороннього обмеження перетворення виміряного критерію y в шкалу d виконується за допомогою виразу:

$$d = \exp(-|y'|^n). \quad (1)$$

Для односторонніх обмежень більш зручною формою перетворення y в d служить інша експоненціальна залежність:

$$d = \exp[-\exp(-y')]. \quad (2)$$

Маючи кілька критеріїв, перетворених в шкалу бажаності d , можна ввести узагальнений показник якості процесу D , як згортку часткових функцій бажаності. У термінах цієї шкали можна сконструювати середню геометричну згортку:

$$D_G = \prod_{1 \leq i \leq q} d_i^{\alpha_i} = \exp[-\sum_{i=1}^q \alpha_i \exp(-y'_i)], \quad (3)$$

Для оцінки значення цього показника зручно користуватися наступною шкалою (табл. 3):

Таблиця 3 - Базові позначки шкали бажаності

Кількісна відмітка на шкалі бажаності d	Бажаність значення критерію y'
0,80 - 1,00	Дуже добре
0,63 - 0,80	Добре
0,37 - 0,63	Задовільно
0,20 - 0,37	Погано
0,00 - 0,20	Дуже погано

Значення узагальненої функції бажаності D є комплексною оцінкою технічного стану електроустаткування і визначає наступні задачі технічного обслуговування: коригування та оптимізація термінів та обсягів ТО і Р, визначення та безперервна діагностика найбільш критичних за результатами розрахунку часткових функцій бажаності елементів. В залежності від значення узагальненої функції бажаності D пропонуються наступні стратегії ТО і Р:

- для $D \leq 0,37$ – обладнання знаходиться у передаварійному стані. Проводиться безперервне діагностування усіх елементів електроустаткування. При досягненні ними граничного стану проводиться попереджувальний ремонт

устаткування. Для забезпечення задовільного технічного стану необхідне покращення контрольованих параметрів та розробка рекомендацій по управлінню якістю утримання обладнання на підставі обслуговування та ремонту за поточним технічним станом. В подальшому при повторюванні даного результату є сенс розглядати питання про заміну окремих елементів або обладнання в цілому;

- для $0,37 \leq D \leq 0,63$ – обладнання знаходиться у задовільному стані. Питання про призначення термінів ТО і Р вирішується на основі періодичного діагностування за планом, який включається в календарні графіки. Проводиться аналіз часткових функцій бажаності з метою визначення “слабших” показників, по відношенню до яких проводиться безперервне діагностування в процесі експлуатації;

- для $D \geq 0,63$ – обладнання знаходиться на даний момент у справному стані. В ремонтний цикл, як основну операцію технічного обслуговування, необхідно включити графік контролю технічного стану електрообладнання. На підставі діагностування міжремонтний період кожної одиниці електрообладнання коригується залежно від його фактичного технічного стану

Для отримання рівняння регресії для визначення узагальненого показника технічного стану проводився повний факторний експеримент 2^n на прикладі швидкодіючого вимикача постійного струму ВАБ-43, так як дана модель вимикача на сьогодні найбільш поширена на тягових підстанціях електрифікованих залізниць. Отримано рівняння регресії. Для розрахунку коефіцієнтів рівняння побудовано розширену матрицю, яка враховує взаємодію факторів. Коефіцієнти рівняння регресії, абсолютна величина яких дорівнює довірчому інтервалу або більша за нього, визнані статистично значущими та отримано кінцеве рівняння. Модель перевірена на адекватність за допомогою критерію Фішера та визнана неадекватною. З огляду на це план експерименту добувано до плану другого порядку (композиційний план) та сформовано функцію відгуку у вигляді повного квадратичного полінома без втрати інформації про попередньо зроблені дослідження. На основі ортогонального центрально-композиційного плану другого порядку записано рівняння регресії для визначення узагальненого показника технічного стану електрообладнання. Кінцеве рівняння має такий вигляд:

$$D_{ШВ} = 0.347074 - 0.20529 \cdot x_1 + 0.269718 \cdot x_2 + 0.31173 \cdot x_3 + 0.174552 \cdot x_4 - 0.77776 \cdot x_5 + 0.490774 \cdot x_1^2 - 0.38433 \cdot x_3^2 + 1.135307 \cdot x_5^2. \quad (4)$$

Аналогічно отримано рівняння регресії для узагальненого показника технічного стану електрообладнання на основі повного факторного експерименту і для інших типів вимикачів ТП:

- масляні вимикачі

$$D_{МВ} = 0.203348 + 0.333772 \cdot x_1 + 0.327493 \cdot x_2 + 0.593883 \cdot x_3 + 0.226136 \cdot x_4 - 0.49 \cdot x_1^2 - 0.49877 \cdot x_2^2 - 0.29268 \cdot x_3^2. \quad (5)$$

- вакуумні вимикачі

$$D_{BB} = 0.90204 + 0.246541 \cdot x_1 + 0.2479 \cdot x_2 - 0.35461 \cdot x_3 - 0.46874 \cdot x_1^2 - 0.48785 \cdot x_2^2. \quad (6)$$

- елегазові вимикачі

$$D_{EB} = 0.676946 + 0.31107 \cdot x_1 + 0.091242 \cdot x_2 - 0.29718 \cdot x_3 - 0.31101 \cdot x_2^2. \quad (7)$$

Розроблено методику оцінки узагальненого залишкового ресурсу електрообладнання. Методика передбачає введення додаткової оцінки залишкового ресурсу агрегату на основі використання узагальненого показника технічного стану електрообладнання D .

Для аналізу результатів діагностичних вимірювань, уніфікації інформації та отримання узагальненої оцінки залишкового ресурсу електрообладнання пропонується використання узагальненого показника технічного стану електрообладнання. Залишковий ресурс електрообладнання пропонується визначати за наступним виразом:

$$R_{зал}^i(t) = R_0 \cdot \frac{D_{доп}^{ав} - D_i(t)}{D_{доп}^{ав} - D_{ном}}. \quad (8)$$

де $D_i(t)$ - поточне значення узагальненого показника технічного стану; $D_{доп}^{ав}$ - граничне (аварійне) значення $D_i(t)$ ($D_{доп}^{ав} = 0,37$); $D_{ном}$ - номінальне (робоче) значення $D_i(t)$ ($D_{ном} = 0,8$).

З використанням методики оцінки залишкового ресурсу обладнання реалізований підхід до оперативного планування ремонтно-профілактичних робіт, заснований на розстановці ремонтних пріоритетів контрольованого обладнання. Розстановка ремонтних пріоритетів здійснюється, виходячи з виробітку узагальненого залишкового ресурсу однотипного обладнання:

$$B_k(t) = \left(1 - \frac{R_{зал}^i(t)}{R_0}\right) \cdot 100\%. \quad (9)$$

де $B_k(t)$ - вироблення залишкового ресурсу i -го обладнання; $R_{зал}^i(t)$ - залишковий ресурс i -го обладнання на момент прийняття рішення; R_0 - нормативний ресурс електрообладнання.

Практична реалізація отриманих результатів на тягових підстанціях дистанцій електропостачання можлива шляхом розробки автоматизованого комплексу оцінки технічного стану електрообладнання.

У четвертому розділі виконано розробку автоматизованої системи оцінки технічного стану електрообладнання та програмний засіб для реалізації даної системи на дистанціях електропостачання.

Використовуючи методику оцінки фактичного залишкового ресурсу енергетичного обладнання було розроблено алгоритм оперативного моніторингу технічного стану ЕО (рис.4).

Алгоритм реалізується наступним чином:

- введення початкових даних (нормативний ресурс ЕО; номінальне (робоче), поточне та граничне (аварійне) значення діагностичного параметру);
- розрахунок часткових та узагальнених показників технічного стану;
- співставлення значення розрахованих величин з пороговими рівнями:
 - виконання умови $D_i(t) > 0,63$ свідчить про нормальний робочий стан обладнання;
 - виконання умови $0,37 < D_i(t) \leq 0,63$ свідчить про передаварійний стан обладнання; розраховується та прогнозується фактичний залишковий ресурс обладнання, виробіток узагальненого залишкового ресурсу та виноситься рішення про проведення РПР;
 - виконання умови $D_i(t) \leq 0,37$ свідчить про аварійний стан обладнання; проводиться аналіз часткових показників технічного стану, розраховується та прогнозується частковий залишковий ресурс обладнання, виноситься рішення про виведення обладнання із експлуатації та проведення РПР.

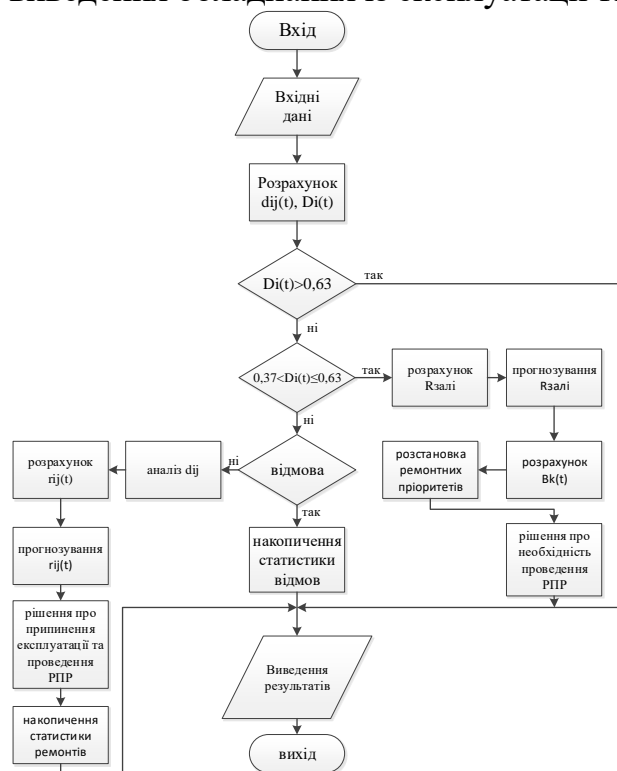


Рисунок 4 - Алгоритм оперативного моніторингу технічного стану електрообладнання

Даний алгоритм дає змогу попереджувати можливі відмови і аварійні ситуації на контрольованому обладнанні за рахунок моніторингу та прогнозуванню поточного технічного стану ЕО, що підвищує надійність і безвідмовність роботи обладнання тягових підстанцій.

За допомогою алгоритму розроблена автоматизована система моніторингу фактичного технічного стану обладнання тягових підстанцій (рис. 5).

Автоматизована система забезпечує виконання наступних функцій:

- ведення інформаційної бази даних показників працездатності та ремонтної статистики обладнання;
- розрахунок і графічне відображення критичного і залишкового ресурсів обладнання;
- формування графіку ремонтних робіт обладнання на заданий інтервал часу;
- розрахунок і графічне відображення ремонтних пріоритетів обладнання.

Для реалізації взаємодії автоматизованої системи діагностування з користувачем було розроблено програмний комплекс, функціональним призначенням якої є:

- розрахунок узагальнених і часткових показників технічного стану по окремим контрольованим показникам, визначення залишкового ресурсу та ремонтних пріоритетів електрообладнання;
- відображення графіків ремонтних пріоритетів та графіків залишкових ресурсів електрообладнання дистанцій електропостачання;
- зберігання масиву даних результатів діагностики електрообладнання та його розрахункових показників технічного стану;
- можливість експорту графіків ремонтних пріоритетів та залишкових ресурсів електрообладнання у файл.

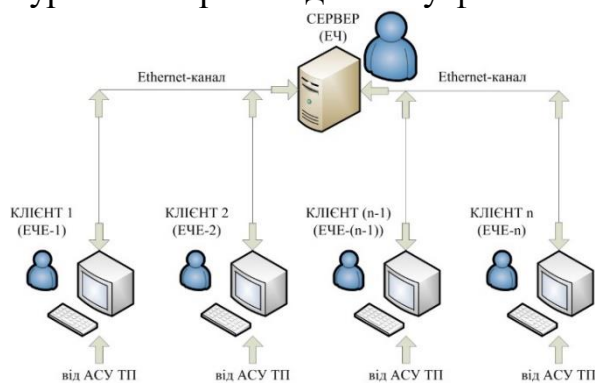


Рисунок 5 - Структура автоматизованої системи моніторингу фактичного технічного стану обладнання тягових підстанцій

- надання альтернативи застарілим паперовим розрахункам параметрів електрообладнання дистанцій електропостачання.

У *н'ятому розділі* проведено оцінку ефективності експлуатації електрообладнання тягових підстанцій з використанням запропонованих в даній роботі рішень.

В якості критеріїв оцінки ефективності експлуатації електроустаткування вибрані критерії, які належать до двох груп: критерії, що враховують економічні фактори (витрати на експлуатацію; прибуток від експлуатації; витрати на одиницю часу роботи обладнання; витрати на ремонт і технічне обслуговування, віднесені до одиниці продукції), та коефіцієнт технічного використання обладнання. Розрахунок критеріїв ефективності проведений для швидкодіючих вимикачів постійного струму ВАБ-43 ЕЧ-2 «НД-Вузол». Розрахунки виконувались для двох варіантів: при впровадженні розроблених у даній роботі заходів та при існуючій системі технічного обслуговування і ремонту.

Загальний час T_j , необхідний для проведення ремонтно-профілактичних робіт за один рік, можна визначити за наступним виразом:

$$T_{j1} = T_D + T_{PCP} + T_H + T_O, \quad (10)$$

де T_D - витрати часу на проведення діагностування одиниці обладнання;

T_{PCP} - витрати часу на проведення збірно-розбірних робіт;

T_H - витрати часу на усунення несправності устаткування;

T_O - витрати часу на оформлення технічної документації за результатами проведених діагностичних і ремонтних робіт.

Загальний час T_j для двох варіантів виконання за результатами розрахунку складає:

- при існуючій системі технічного обслуговування електроустаткування 30,26 год на рік для одного швидкодіючого вимикача;

- з використанням автоматизованої системи моніторингу технічного стану електрообладнання 24,313 год відповідно.

Таким чином, використання автоматизованої системи моніторингу технічного стану електрообладнання в процесі технічного обслуговування електрообладнання дозволяє скоротити час на проведення робіт для одного швидкодіючого вимикача ВАБ-43 за рік на 6 год. В межах однієї дистанції електропостачання розташовуються приблизно 20 тягових підстанцій постійного струму з середнім числом швидкодіючих вимикачів біля 120. При цьому загальний час, який витрачається на виконання ремонтно-профілактичних робіт в рік, скоротиться з 3631,2 год до 2917,56 год.

Розраховано значення коефіцієнта технічного використання k_{mv} для швидкодіючих вимикачів ВАБ-43. В якості вихідних даних для розрахунку та подальшої оцінки динаміки зміни коефіцієнта для варіанту технічного обслуговування з використанням автоматизованого комплексу та за існуючої системи технічного обслуговування були використані дані експлуатації швидкодіючих вимикачів тягової підстанції «НД-Вузол». За результатами розрахунку побудовано суміщені графіки коефіцієнтів технічного використання швидкодіючих вимикачів для існуючої системи технічного обслуговування обладнання і для системи з використанням автоматизованого комплексу. Графіки коефіцієнтів технічного використання наведені на рис. 6-9.

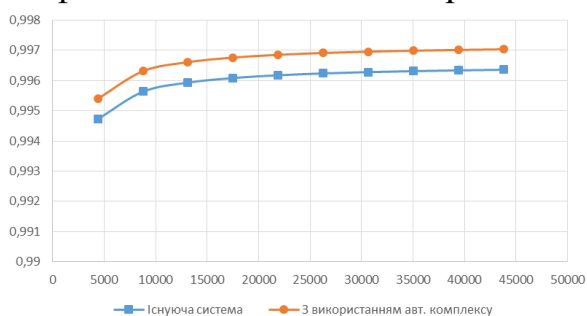


Рисунок 6 – Графік $K_{mv}(t)$ для швидкодіючого вимикача ВАБ-43 ФА-5А

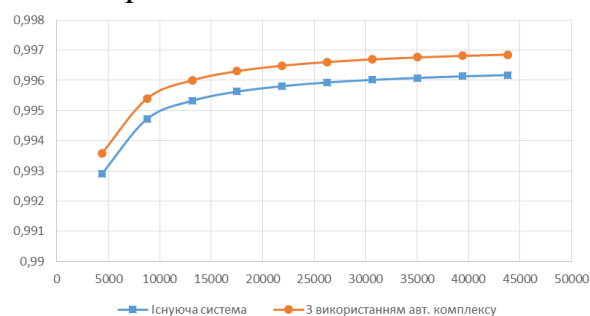


Рисунок 7 – Графік $K_{mv}(t)$ для швидкодіючого вимикача ВАБ-43 ФА-7

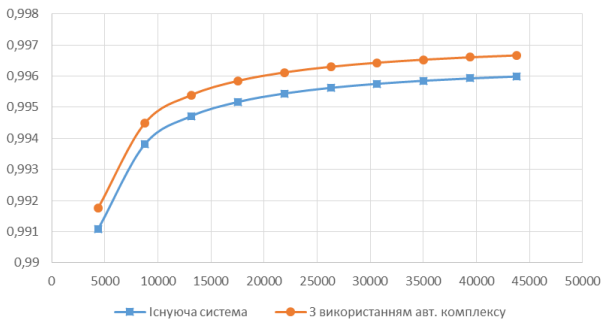


Рисунок 8 – Графік $K_{me}(t)$ для швидкодіючого вимикача ВАБ-43 ФА-3А

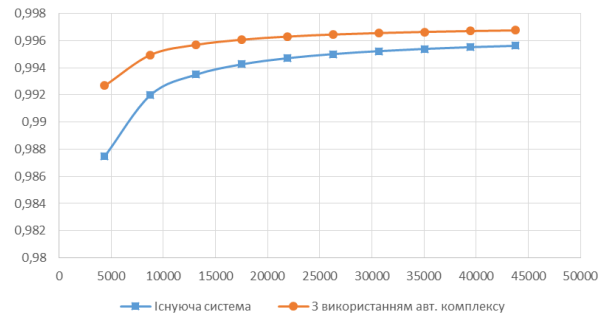


Рисунок 9 – Графік $K_{me}(t)$ для швидкодіючого вимикача ВАБ-43 ФА-9

Результати розрахунків значень $K_{me}(t)$ силового обладнання ТП вказують на їх збільшення за рахунок значного зменшення часу на проведення ремонтно-профілактичних робіт з використанням автоматизованого комплексу в системі технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій.

Річний економічний ефект від впровадження нової техніки розраховується з урахуванням сумарної економії всіх видів продуктивних ресурсів одержаної в результаті виробництва й експлуатації впроваджуваного пристрою, спрямованого на автоматизацію виробництва, що забезпечує економію виробничих ресурсів, визначається як різниця витрат по базовій і новій техніці:

$$E = C_1 - (C_2 + K \cdot E_H), \quad (11)$$

де C_1 - експлуатаційні витрати на існуючу систему ТО і Р;

C_2 - експлуатаційні витрати на систему ТО і Р з використанням автоматизованого комплексу;

K - капітальні витрати на впровадження автоматизованої системи;

E_H - коефіцієнт ефективності капітальних витрат ($E_H = 0,25$ для обчислювальної техніки).

Річний економічний ефект від впровадження автоматизованої системи моніторингу технічного стану електрообладнання буде рівним 63 тис. грн. Строк окупності системи складає 4,35 роки.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі теоретичних і експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення ефективності системи технічного обслуговування і ремонту електрообладнання тягових підстанцій. Основні наукові результати та висновки полягають в такому.

1. Проведене дослідження показує що існуюча система ППР стала неадекватною економічним умовам функціонування системи тягового електропостачання та експлуатації силового обладнання ТП електрифікованих залізниць і увійшла до протиріччя з ринковими механізмами виробничо-господарської діяльності об'єктів господарства електропостачання

Укрзалізниці. На сучасному етапі розвитку залізниць України удосконалення системи ТО і Р електроустаткування ТП стає однією з основних задач підвищення надійності тягового електропостачання та вирішення проблеми скорочення витрат на ТО і ремонт.

2. Виконано структурно-функціональний аналіз процесу ТО і Р електрообладнання і розроблена структурно-функціональна модель процесу. Встановлено, що увагу необхідно приділити підпроцесу непланових аварійних ремонтів електрообладнання ТП, так як він вимагає додаткових фінансових і матеріальних затрат та включає в себе найбільший об'єм ремонтно-профілактичних робіт і, відповідно, найбільшу кількість підпроцесів для виконання.

3. Визначено, що аналітичний вираз зміни узагальненого показника технічного стану D має вигляд нелінійного поліному другого порядку. Доведено, що використання математичних методів теорії планування експерименту дозволяє побудувати математичну модель зміни узагальненого показника технічного стану D з досить високою точністю отримання вихідного результату (значення середньоквадратичного відхилення для різних типів силового обладнання тягових підстанцій коливається в межах від 0,002254 до 0,002978).

4. Запропоновано підхід до пріоритетного планування ремонтно-профілактичних робіт на основі оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання з використанням узагальнених показників технічного стану, що дозволяє обґрунтовано встановити черговість проведення ремонтно-профілактичних робіт для парку однотипного обладнання.

5. Розроблено методику оцінки узагальненого залишкового ресурсу електрообладнання, яка передбачає введення додаткової оцінки залишкового ресурсу агрегату на основі використання узагальненого показника технічного стану електрообладнання. Це дає змогу отримання узагальненої оцінки залишкового ресурсу електрообладнання з урахуванням максимально можливого спектру експлуатаційних показників електроустаткування.

6. На основі методики оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання розроблена автоматизована система для безперервного моніторингу та розрахунку фактичного залишкового ресурсу, що дозволяє оперативно реагувати на зміну технічного стану контрольованого обладнання і виділяти найбільш критичні одиниці технічного устаткування.

7. Розроблено програмний комплекс моніторингу технічного стану електричного обладнання тягових підстанцій, який дає змогу оперативно оцінювати результати діагностичних вимірів та гнучко планувати графік ремонтних робіт, зменшуючи при цьому час на аналіз результатів діагностування та постановку діагнозу на 700 год на рік в межах однієї дистанції електропостачання та підвищуючи точність постановки діагнозу за рахунок усунення людського фактору та автоматизації процесу.

8. Встановлено, що використання автоматизованої системи моніторингу технічного стану електрообладнання в процесі технічного обслуговування

електрообладнання дистанції електропостачання дозволяє зменшити фінансові витрати на 47878 грн/рік в межах однієї дистанції електропостачання.

9. Визначено, що строк окупності автоматизованого комплексу при його впровадженні лише для одного типу обладнання для дистанції електропостачання в цілому складає 6,3 роки при відсутності персональних комп'ютерів та 4,35 роки при їх наявності. При впровадженні комплексу для всіх типів електрообладнання ТП витрати на проведення ремонтно-профілактичних робіт та строк окупності можна значно скоротити.

Основні положення та результати дисертації опубліковано у виданнях, що індексуються Scopus:

1. V. Sychenko, D. Mironov, "Development of a mathematical model of the generalized diagnostic indicator on the basis of full factorial experiment", *Archives of Transport*, vol. 43, no. 3. pp. 125-133, 2017.

у фахових виданнях:

2. О. Матусевич, Д. Міронов, "Дослідження експлуатації силового обладнання системи тягового електропостачання залізниць", *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*, № 6(54), с. 78-86, 2015.

3. О. Матусевич, Д. Міронов, "Математична модель ризик – аналізу технічного стану силового обладнання тягових підстанцій", *Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб.*, № 93, с. 48-50, 2014.

4. О. Матусевич, Д. Міронов, "Методика проведення ризик-аналізу технічного стану обладнання тягових мереж", *Електрифікація транспорту*, № 9, с. 115-123, 2015.

5. Д. Міронов, В. Сиченко, О. Матусевич, "Автоматизована система моніторингу та прогнозування фактичного залишкового ресурсу обладнання тягових підстанцій", *Електротехніка і електромеханіка*, №4, с. 51-63, 2016.

6. V. Sychenko, D. Mironov, A. Białoń, "Structural – functional model of maintenance and repair of the traction substations equipment", *Technika transportu szynowego*, №11, с. 49-52, 2017.

7. В. Сиченко, Д. Міронов "Оцінка ефективності автоматизованої системи моніторингу технічного стану обладнання тягових підстанцій", *Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт"*, вып. 27 (1249), с.440-444., 2017.

8. Д. Міронов, "Удосконалення технічного обслуговування обладнання тягових мереж на основі процесного підходу", *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*, № 6(54), с. 78-86, 2014.

9. Д. Міронов, "Удосконалення системи ТО і Р обладнання тягових підстанцій з використанням узагальнених критеріїв", *ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія*, № 3 (41), с.107-116, 2015.

Додаткові праці

тези доповідей та матеріали міжнародних науково-практичних конференцій:

10. Д. Міронов, “Удосконалення технічного обслуговування обладнання тягових мереж на основі процесного підходу”, на 74 Міжнар. науково-практ. конф. Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту, Дніпропетровськ, 2014, с. 160-161.

11. Д. Міронов, “Вдосконалення процесу технічного обслуговування обладнання тягових мереж шляхом впровадження системи управління ризиками”, на V міжнар. науково-практ. конф. Енергозбереження на залізничному транспорті та у промисловості, Дніпропетровськ, 2014, с.110-111.

12. В. Сиченко, Д. Міронов, “Оцінка технічного стану обладнання тягових підстанцій з використанням багатофакторного аналізу експлуатаційних показників”, на VII Междунар. научно-практ. конф. Электрификация транспорта "ТРАНСЭЛЕКТРО-2014", Днепропетровск, 2014, с. 57-58.

13. Д. Міронов, В. Скалько, “Вдосконалення системи ТО і Р обладнання тягових мереж шляхом використання системи управління ризиками”, на міжнар. науково-практ. конф. «Науково-технічний прогрес на залізничному транспорті», Дніпропетровськ, 2015, с. 25-26.

14. Д. Міронов, О. Лябах, “Оцінка якості технічного обслуговування обладнання тягових підстанцій з застосуванням функції бажаності Харінгтона”, на VI міжнар. науково-практ. конф. Енергозбереження на залізничному транспорті та у промисловості, Дніпропетровськ, 2015, с.96-97.

15. Д. Міронов, “Методика оцінки фактичного технічного стану обладнання тягових підстанцій”, на VIII Міжнар. науково-практ. конф. Электрификация транспорта "ТРАНСЭЛЕКТРО-2015", Днепропетровськ, 2015, с. 46-47.

16. Д. Міронов, “Методика оцінки ресурсу обладнання тягових підстанцій”, на VII Міжнар. науково-практ. конф. «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті», Дніпропетровськ, 2016, с. 50-51.

17. Д. Міронов, “Оцінка ресурсу обладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць”, на I-й Міжнародній науково-практичній конференції Енергооптимальні технології перевізного процесу, Дніпропетровськ, 2016, с. 97-99.

18. Д. Міронов, Ю. Громова, “Автоматизована система моніторингу технічного стану обладнання тягових підстанцій”, на X Міжн. наук.-практ. конф. «Електрифікація транспорту «ТРАНСЭЛЕКТРО – 2017», Дніпро, 2017, с. 35-36.

охоронні документи:

19. Д. В. Міронов, В. Г. Сиченко, О. О. Матусевич, “Автоматизована система моніторингу та прогнозування технічного стану обладнання тягових підстанцій”, Патент на корисну модель №114608, 2017.

АНОТАЦІЯ

Міронов Д. В. Підвищення ефективності експлуатації обладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць постійного струму. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт (27 – транспорт). – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2018.

Дисертація присвячена проблемі підвищення ефективності технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць постійного струму. У роботі проведено аналіз сучасного стану системи технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій. Виконано структурно-функціональний аналіз процесу ТО і Р електрообладнання і розроблена структурно-функціональна модель процесу. Для уніфікації інформації, отриманої в результаті виконання ремонтно-профілактичних робіт розроблено узагальнений показник технічного стану електроустаткування. Запропоновано підхід до пріоритетного планування ремонтно-профілактичних робіт на основі оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання з використанням узагальнених показників технічного стану. На основі методики оцінки фактичного залишкового ресурсу електрообладнання розроблена автоматизована система для безперервного моніторингу та розрахунку фактичного залишкового ресурсу. Розроблено програмний комплекс моніторингу технічного стану електричного обладнання тягових підстанцій, який дає змогу зменшити час на аналіз результатів діагностування та постановку діагнозу на 700 год на рік в межах однієї дистанції електропостачання.

Ключові слова: електропостачання, тягові підстанції, технічне обслуговування, ремонт електрообладнання, нечіткі множини, процесний підхід, автоматизована система діагностування.

ABSTRACT

Mironov D.V. Increase of efficiency of operation of equipment of traction substations of electrified railways of direct current. - Qualification scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.22.09 - electric transport (27 - transport). - Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnepr, 2018.

The dissertation is devoted to the problem of increasing the efficiency of technical maintenance and repair of equipment of traction substations of electrified DC railways. The work analyzes the technical state of electrical power devices of electrified railways. The basic reasons of electric equipment failures are revealed. The analysis of the current state of the system of maintenance and repair of traction substation equipment is carried out. The analysis shows that the existing system became inadequate to the economic conditions of the functioning of the traction power supply system and the operation of the power equipment of the electrified railways and contradicted the market mechanisms of the production and economic activity of the objects of the power supply Ukrzaliznytsia. At the present stage of the development of the railways of Ukraine, the improvement of the system of maintenance and repair of electric equipment TR becomes one of the main tasks

of increasing the reliability of traction power supply and solving the problem of reducing the costs of maintenance and repair. The structural and functional analysis of the process of electrical equipment diagnostics has been carried out, and a structural-functional model of the process has been developed. To unify the information obtained as a result of repair and maintenance work, a generalized indicator of the technical condition of the electrical equipment was developed. It is proved that the use of mathematical methods in the theory of experimental planning makes it possible to construct a mathematical model for changing the generalized indicator of a technical state with a sufficiently high accuracy of obtaining the initial result (for different types of power equipment of traction substations, the value varies from 0.002254 to 0.002978).

The approach to priority planning of repair and preventive works is proposed on the basis of an estimation of the actual residual life of electrical equipment using generalized indicators of technical condition, it allows to establish the sequence of repair and preventive works for a park of the same type of equipment. On the basis of the methodology for estimating the actual residual life of electrical equipment, an automated system for continuous monitoring and calculation of the actual residual resource has been developed that allows to react quickly to changes in the technical condition of the monitored equipment and to allocate the most critical units of technical equipment. A software package for monitoring the technical condition of the electrical equipment of traction substations has been developed, which makes it possible to quickly evaluate the results of the Measurement and flexibly schedule the repair schedule, while reducing the time for analyzing the diagnostic results and diagnosing at 700 h per year within a single power supply distance.

Keywords: power supply, traction substations, maintenance, electrical equipment repair, fuzzy sets, process approach, automated diagnostic system.

МІРОНОВ ДМИТРО ВІКТОРОВИЧ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ
ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ ПОСТІЙНОГО
СТРУМУ

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку «21» «травня» 2018

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим.

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії:
49010, Дніпро, вул. Лазаряна, 2.