

О.О. Матусевич

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Метою статті є розробка методології визначення якості системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) силового електрообладнання тягових підстанцій (ТП) електрифікованих залізниць в умовах невизначеності експлуатації на основі експертної інформації. Методика. Для вирішення поставленого завдання застосовано основні положення теорії нечітких множин, а також бальних, лінгвістичних та інтервальних оцінок експертів. Результати. Аналіз існуючої різноманітності підходів до розробки сучасних методів вдосконалення системи ТО і Р дозволяє зробити висновок, що проблема підвищення якості системи вирішується шляхом розв'язання індивідуальних завдань підвищення експлуатаційної надійності силового електрообладнання ТП в таких основних взаємопов'язаних напрямках: технічному, економічному та організаційному. В основу оцінки якості системи покладено початкові експертні дані та розроблено варіант формалізованого документа оцінки якості обслуговування електрообладнання ТП експертами. Здійснено вибір визначення рівня показника якості системи обслуговування на основі бальних, лінгвістичних і інтервальних оцінок експертів, які відображаються в кількісній і/або якісній формі. Розглянуто можливі варіанти представлення експертних даних і відповідні їм методики розрахунку кількісного інтегрального показника рівня підвищення якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП. Розроблена методика та метод оцінки якості системи ТО і Р ТП дозволяє оперативно реагувати на зміни умов функціонування силового електрообладнання ТП, а також визначати найбільш ефективні стратегії ТО і Р електрообладнання ТП в умовах невизначеності функціонування дистанції електротопостачання. Наукова новизна. У статті набув подальшого розвитку метод системного підходу з підвищення якості функціонування системи ТО і Р силового електрообладнання ТП в умовах невизначеності на основі експертної інформації. У цьому напрямку автор вперше пропонує: варіант формалізованого документа оцінки якості обслуговування силового електрообладнання ТП експертами; вираз для визначення інтегрального показника якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП, який відсутній у стандартах системи ТО і Р; матрицю якості системи з урахуванням етапів (методів) та напрямків підвищення якості обслуговування силового електрообладнання ТП. Цей метод дозволяє виконувати експертну оцінку стану системи обслуговування та прогнозувати й вибирати раціональний варіант підвищення якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП з урахуванням не тільки технічних, але й організаційно-правових та фінансово-економічних заходів. Практична значимість. Удосконалення на електрифікованих залізницях України системи управління якістю ТО і Р ТП дозволить підвищити ефективність і якість системи технічного обслуговування силового електрообладнання ТП та запобігти виникненню або зменшити тяжкість можливих відмов обладнання. На основі взаємозв'язків складових матриці якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП сформовано вирази для розрахунку інтегральних показників якості системи за напрямками й етапами для конкретного обладнання та системи в цілому. Визначено, що при підвищенні якості ТО і Р електрообладнання швидкість зміни вимірюваного значення параметра x_i на i -му кроці під час експлуатації зменшується, при цьому середньоквадратичне відхилення параметра σ також зменшується, а ймовірність $P(t)$ безвідмовної роботи електрообладнання ТП збільшується. Бібл. 8, табл. 3.

Ключові слова: тягова підстанція, технічний стан обладнання, якість системи технічного обслуговування і ремонту, експертна інформація, нечіткі множини, інтегральний показник якості.

Целью статьи является разработка методологии определения качества системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) силового электрооборудования тяговых подстанций (ТП) электрифицированных железных дорог в условиях неопределенности эксплуатации на основе экспертной информации. Методика. Для решения поставленной задачи применены основные положения теории нечетких множеств, а также бальных, лингвистических и интервальных оценок экспертов. Результаты. Анализ существующего многообразия подходов к разработке современных методов совершенствования системы ТО и Р позволяет сделать вывод, что решение проблемы повышения качества системы достигается путем решения индивидуальных задач повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП в следующих основных взаимосвязанных направлениях: техническом, экономическом и организационном. В основу оценки качества системы положены начальные экспертные данные и разработан вариант формализованного документа оценки качества обслуживания электрооборудования ТП экспертами. Проведен выбор определения уровня показателя качества системы обслуживания на основе бальных, лингвистических и интервальных оценок экспертов, которые отображаются в количественной и/или качественной форме. Рассмотрены возможные варианты представления экспертных данных и соответствующие им методики расчета количественного интегрального показателя уровня повышения качества системы ТО и Р силового электрооборудования ТП. Разработанная методика и метод оценки качества системы ТО и Р ТП позволяет оперативно реагировать на изменения условий функционирования силового электрооборудования ТП, а также определять наиболее эффективные стратегии ТО и Р электрооборудования ТП в условиях неопределенности функционирования дистанции электроснабжения. Научная новизна. В статье получил дальнейшее развитие метод системного подхода по повышению качества функционирования системы ТО и Р силового электрооборудования ТП в условиях неопределенности на основе экспертной информации. В этом направлении автор впервые предлагает: вариант формализованного документа оценки качества обслуживания силового электрооборудования ТП экспертами; выражение для определения интегрального показателя качества системы ТО и Р силового электрооборудования ТП, которое отсутствует в стандартах системы ТО и Р; матрицу качества системы с учетом этапов (методов) и направлений повышения качества обслуживания силового электрооборудования ТП. Данный метод дает возможность проводить экспертную оценку состояния

© О.О. Матусевич

системи обслуговування, прогнозувати і вибрати раціональний варіант підвищення якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП з урахуванням технічних, організаційно-правових і фінансово-економічних мероприять. Практична значимість. Усовершенствование на електрифікованих залізничних дорогах України системи управління якістю ТО і Р ТП дозволить підвищити ефективність і якість системи технічного обслуговування силового електрообладнання ТП, а також запобігти виникненню або знизити тяжкість можливих отказів обладнання. На основі взаємозв'язків складових матриць якості системи ТО і Р сформульовані вирази для розрахунку інтегральних показників якості системи по напрямкам і етапам для конкретного обладнання і системи в цілому. Установлено, що при підвищенні якості ТО і Р електрообладнання швидкість зміни вимірюваного значення параметра x_i на i -м етапі в час експлуатації зменшується, при цьому середньоквадратичне відхилення параметра σ також зменшується, а ймовірність $P(t)$ безотказної роботи електрообладнання ТП збільшується. Бібл. 8, табл. 3.

Ключові слова: тягова підстанція, технічний стан обладнання, якість системи технічного обслуговування і ремонту, експертна інформація, нечіткі множини, інтегральний показник якості.

Стан проблеми. Актуальність. Якість системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) силового електрообладнання тягових підстанцій (ТП) електрифікованих залізниць може бути оцінена множиною різних показників (одиночних, групових, інтегральних), кожен з яких має кількісний або якісний характер. Зв'язки між показниками, якими описується процес організації та проведення ТО і Р ТП, мають складну структуру. У загальному випадку деякі показники можуть бути виражені через інші, які розташовані на одному або різних рівнях моделі процесу обслуговування й діагностування обладнання. Як показує теорія та практика діагностування [1, 2], дуже поширеним підходом аналізу даних діагностики обладнання є перехід від певної множини показників (найчастіше одиночних), значення яких можуть бути легко виміряні (обчислені) при великій їх кількості, до невеликого числа інтегральних показників, які функціонально пов'язані з вихідними. Основною метою переходу від множини одиночних показників у групі, а останніх в інтегральні є отримання значень показників, які характеризують інтегральні характеристики досягнутої якості системи ТО і Р (або) її окремих складових. Оцінка системи ТО і Р обладнання ТП визначається ступенем (повнотою) виконання вимог, які ставляться до системи ТО і Р. Для виконання такої оцінки необхідно здійснити формальну постановку завдання перетворення показників якості складових системи обслуговування в інтегральні.

Аналіз досліджень. У основу оцінки якості системи покладемо початкові експертні дані визначення рівня інтегрального показника якості системи. Для проведення експертизи створюється експертна група та надаються рекомендації з проведення експертизи [3]. З метою проведення експертизи для різного типу обладнання складається «Карта оцінки об'єкта експертизи». Для прикладу автор пропонує варіант формалізованого документа оцінки якості обслуговування електрообладнання ТП експертами (табл. 1).

У експертних дослідженнях, як правило, використовують три типи питань – закриті, відкриті й напіввідкриті. При відповіді на закриті питання можна вибрати відповідь лише із заздалегідь сформульованих складачами анкети варіантів. У відповіді на відкрите питання викладається думка експерта у вільній формі. Напіввідкриті питання займають проміжне положення: окрім вибору із перерахованих у карті оцінки варіантів, можна додати свої міркування та думки.

Визначення рівня показника якості системи ТО і Р ТП може здійснюватися на основі бальних, лінгвіс-

тичних і інтервальних оцінок експертів, які виражаються в кількісній і/або якісній формі [3-5]. Шкала відповідності оцінок наведена в табл. 2.

Завдання експертної комісії – вибрати оптимальну стратегію системи ТО і Р ТП. Є два принципово різні підходи до його розв'язання [3].

Перший підхід базується на порівнянні існуючих систем ТО і Р. Наприклад, кожен з експертів вибирає систему відповідно до своїх міркувань. Отримані від експертів впорядкування (ранжування) обробляються тими чи іншими математичними методами з метою розрахунку підсумкової думки комісії експертів.

Другий підхід має на меті порівняти важливість різних показників якості системи ТО і Р та побудувати інтегральний показник якості (рейтингову оцінку), за допомогою якого можна упорядкувати розглянуті системи ТО і Р за якістю (розрахувати рейтинг систем).

У цьому випадку для обробки результатів експертних оцінок та визначення результуючих показників підвищення якості системи ТО і Р можна застосувати адитивний, мультиплікативний або максимінний результуючі показники [3, 6].

Адитивний показник є сумою зважених нормованих частинних показників підвищення якості системи ТО і Р ($\Pi_{\text{я}}$) та має вигляд

$$\Pi_{\text{я}} = \sum_{i=1}^m \alpha_i q_i, \quad (1)$$

де α_i – коефіцієнт відносної важливості напрямку підвищення якості системи обслуговування силового електрообладнання ТП; q_i – дійсне значення показників рівня виконання вимог підвищення якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП; $0 \leq \Pi_{\text{я}} \leq 1$,

$$0 \leq \alpha_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1.$$

Чим більше значення $\Pi_{\text{я}}$, тим більше він впливає на підвищення якості функціонування системи;

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i q_i = 1; \quad \alpha_i > 0; \quad i = 1, m.$$

Мультиплікативний показник утворюється шляхом перемноження частинних показників з урахуванням їх вагових коефіцієнтів і має вигляд

$$\Pi_{\text{я}} = \prod_i q_i^{\alpha_i}, \quad (2)$$

де q_i і α_i мають таке саме значення, що і в адитивному показнику.

Карта оцінки якості системи ТО і Р електрообладнання ТП

Складові етапів (методів) експертизи	Варіанти оцінки	Напрями оцінки
1. Наукова значущість прийнятої стратегії системи ТО і Р силового електрообладнання ТП	1. Надзвичайно висока 2. Значна 3. Невисока 4. Невизначена (нині) 5. Відсутня	Технічні Економічні Організаційні
2. Практична значущість прийнятої стратегії обслуговування	1. Надзвичайно висока 2. Значна 3. Невисока 4. Невизначена (нині) 5. Відсутня	
3. Наукова новизна, оригінальність прийнятої стратегії обслуговування	1. Немає аналогів 2. Немає аналогів у країні, є за кордоном 3. Немає аналогів за кордоном, є в країні 4. Є відомості про окремі вітчизняні й зарубіжні аналоги 5. Наукова новизна відсутня	
4. Методи й способи досягнення мети підвищення якості системи ТО і Р	1. Нові 2. Сучасні 3. Традиційні 4. Застарілі 5. Неадекватні	
5. Потенціал виконавців проведення ТО і Р електрообладнання ТП	1. Достатній 2. Недостатній у частині наукового забезпечення (досвіду роботи) 3. Недостатній у частині матеріально-технічної бази 4. Недостатній у частині досвіду складу ремонтних бригад 5. Даних для оцінки недостатньо	
6. Термін виконання робіт з ТО і Р силового електрообладнання ТП	1. Реальний 2. Завищений 3. Занижений 4. Даних для оцінки недостатньо	
7. Вартість робіт (обсяг фінансування) з ТО і Р силового електрообладнання ТП	1. Прийнятна 2. Завищена 3. Занижена 4. Даних для оцінки недостатньо	
8. Рекомендації пріоритету заходів і робіт з підвищення якості системи ТО і Р ТП	1. Заходи (роботи) першочергової важливості 2. Заходи (роботи) високої важливості 3. Заходи (роботи) становлять певний інтерес 4. Заходи (роботи) становлять незначний інтерес, але заслуговують на підтримку за наявності достатніх засобів 5. Заходи (роботи) підтримки не заслуговують	
9. Підвищення експлуатаційної надійності силового електрообладнання ТП	1. Надзвичайно високе 2. Значне 3. Невисоке 4. Невизначено (нині) 5. Відсутній	
10. Контроль ефективності та якості системи ТО і Р ТП	1. Надзвичайно високий 2. Значний 3. Невисокий 4. Невизначений (нині) 5. Відсутній	
Тощо.....	

Таблиця 2

Шкала відповідності бальної, лінгвістичної та інтервальної оцінок

Бальна оцінка	Лінгвістична оцінка	Інтервальна оцінка
5 – відмінно	(В) Повністю задовольняє вимоги	0,9–1
4 – добре	(ВС) Майже задовольняє	0,7–0,9
3 – задовільно	(С) Задовольняє в основному	0,5–0,7
2 – незадовільно	(НС) Не задовольняє	0,3–0,5
1 – повністю незадовільно	(Н) Повністю не задовольняє	0–0,3

Максимінний показник. У низці випадків вид результуючої цільової функції достатньо важко обґрунтувати або застосувати. У подібних випадках можливим простим шляхом розв'язання задачі є застосування максимінного показника. У цьому випадку правило вибору оптимальної системи підвищення якості ТО і Р ТП (S_0) має вигляд

$$\max(S \in M) \min(1 \leq i \leq m) \left\{ q_1^{a_i}(S), \dots, q_i^{a_i}(S), \dots, q_m^{a_m}(S) \right\}. \quad (3)$$

Максимінний показник підвищення якості системи ТО і Р забезпечує якнайкраще (найбільше) значення якнайгіршого (найменшого) з частинних показників якості.

Виклад матеріалу дослідження, отримання наукових результатів. Проте велика кількість показників рівня виконання вимог підвищення якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП може призвести до втрати об'єктивності визначення коефіцієнтів важливості α_i . Тому перспективним шляхом розв'язання цієї проблеми є визначення *інтегрального показника якості* ($I_{я}$) системи ТО і Р ТП з урахуванням коефіцієнтів важливості показників системи за напрямками, методами та етапами підвищення якості ТО і Р силового електрообладнання ТП.

Для визначення інтегрального показника якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП з урахуванням розглянутих умов та (1) автор вперше пропонує такий вираз:

$$I_{я} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \sum_{k=1}^m \alpha_k \cdot \sum_{j=1}^h \alpha_j q_{ikj} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot q_i + \sum_{k=1}^m \alpha_k \cdot q_k + \sum_{j=1}^h \alpha_j \cdot q_j \quad (4)$$

де $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$, $\sum_{k=1}^m \alpha_k = 1$, $\sum_{j=1}^h \alpha_j = 1$ – коефіцієнти відносної важливості відповідно напрямків, методів та етапів підвищення якості системи обслуговування;

q_{ikj} – дійсне значення показників рівня виконання вимог підвищення якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП за напрямками, методами та етапами. Такий показник оцінки якості системи ТО і Р відсутній у стандарті [7].

Згідно із запропонованими складовими визначення інтегрального показника якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП (4), побудуємо матрицю якості системи (табл. 3) з урахуванням етапів (методів), напрямків підвищення якості обслуговування силового електрообладнання ТП (див. табл. 1).

На основі взаємозв'язків складових матриці якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП, які наведені в табл. 2, сформуємо вирази для розрахунку інтегральних показників якості системи за напрямками й етапами для обладнання (1, 2...N) та системи в цілому, згідно з формулами (1) та (4):

1. $I_{я111} = q_{111} \cdot \alpha_{111}$ – інтегральний показник якості системи ТО і Р при обслуговуванні *обладнання 1* ТП, за умови виконання рівня вимог підвищення якості за етапом 1 та технічним напрямком.

2. $I_{я22} = q_{221} \cdot \alpha_{221} + q_{222} \cdot \alpha_{222} + q_{223} \cdot \alpha_{223}$ – інтегральний показник якості системи ТО і Р при обслуговуванні *обладнання 2* ТП, за умови виконання рівня вимог підвищення якості за етапом 2 та технічним, економічним, організаційним напрямками.

3. $I_{яN} = q_{1n1} \cdot \alpha_{1n1} + \dots + q_{mn3} \cdot \alpha_{mn3}$ – інтегральний показник якості системи ТО і Р при обслуговуванні *обладнання N* ТП, за умови виконання рівня вимог підвищення якості за етапами 1÷M та технічним, економічним, організаційним напрямками.

4. $I_{я.системи\ ТО\ і\ Р} = I_{я1} \cdot \alpha_{облад.1} + I_{я2} \cdot \alpha_{облад.2} + \dots + I_{яN} \times \alpha_{облад.N}$ – інтегральний показник якості системи ТО і Р при обслуговуванні *обладнання 1÷N* ТП, за умови виконання рівня вимог підвищення якості за етапами 1÷M та технічним, економічним, організаційним напрямками.

Таблиця 3

Матриця якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП

Етапи підвищення якості ТО і Р ТП	Обладнання 1			Обладнання 2			.....	Обладнання N		
	Напрямки підвищення якості ТО і Р обладнання 1			Напрямки підвищення якості ТО і Р обладнання 2			.....	Напрямки підвищення якості ТО і Р обладнання N		
	010			020			.....	0n0		
	Технічні	Економічні	Організаційні	Технічні	Економічні	Організаційні	.....	Технічні	Економічні	Організаційні
1. (100)	$I_{я(111)}$	$I_{я(112)}$	$I_{я(113)}$	$I_{я(121)}$	$I_{я(122)}$	$I_{я(123)}$	.....	$I_{я(1n1)}$	$I_{я(1n2)}$	$I_{я(1n3)}$
2. (200)	$I_{я(211)}$	$I_{я(212)}$	$I_{я(213)}$	$I_{я(221)}$	$I_{я(222)}$	$I_{я(223)}$	.....	$I_{я(2n1)}$	$I_{я(2n2)}$	$I_{я(2n3)}$
.....	
M. (M00)	$I_{я(m11)}$	$I_{я(m12)}$	$I_{я(m13)}$	$I_{я(m21)}$	$I_{я(m22)}$	$I_{я(m23)}$	.....	$I_{я(mn1)}$	$I_{я(mn2)}$	$I_{я(mn3)}$

Як бачимо, згідно зі сформованими виразами можна розрахувати інтегральні показники якості системи ТО і Р при обслуговуванні:

- обладнання 1÷N ТП за будь-яким напрямком та

вибраним етапом;

- обладнання 1÷N ТП за усіма напрямками та вибраним етапом;
- обладнання 1÷N ТП за усіма напрямками та етапами;

• системи ТО і Р силового електрообладнання ТП за усіма етапами та напрямками – $111 \div mn^3$ (табл. 1).

Розглянемо можливі варіанти представлення експертних даних і відповідні їм методики розрахунку кількісного інтегрального показника рівня підвищення якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП [3, 8]:

1. Ступінь виконання кожної вимоги підвищення якості системи ТО і Р визначається як: вимога виконана $q_i = 1$; вимога не виконана $q_i = 0$, $i = 1, m$. Коли ступінь виконання визначається з урахуванням важливості кожної вимоги, інтегральний показник оцінки рівня якості оцінюється співвідношеннями (1) та (4).

2. Ступінь оцінки виконання вимог при оцінці за бальною шкалою (табл. 2). Наприклад, у найбільш поширеній 5-бальній шкалі: $b_j = 5$ – відмінно; $b_j = 4$ – добре; $b_j = 3$ – задовільно; $b_j = 2$ – незадовільно; $b_j = 1$ – повністю незадовільно.

Для оцінки (прогнозування) якості системи ТО і Р бальну оцінку запишемо таким чином: відмінно – якість системи повністю задовольняє вимоги; добре – майже задовольняє; задовільно – задовольняє в основному; незадовільно – не задовольняє; повністю незадовільно – повністю не задовольняє.

Коли ступінь виконання вимог при оцінці за бальною шкалою визначається з урахуванням важливості кожної вимоги a_j , тоді показник оцінки рівня підвищення якості системи ТО і Р визначається з виразу

$$B_{\text{я}} = \sum_{j=1}^m a_j b_j, \quad (5)$$

де $1 \leq B_{\text{я}} \leq 5$, $0 \leq a_j \leq 1$, $\sum_{j=1}^m a_j = 1$.

Дуже часто при бальній оцінці рівня виконання вимог зручно підсумкову оцінку мати в шкалі від 0 до 1 ($0 < I_{\text{я}} < 1$). У зв'язку з цим сформуємо шкалу відповідності: $B_{\text{я}} = I_{\text{я}}$, $b_j = q_j$, $j = 1, \bar{m}$.

Розрахунок інтегрального показника оцінки рівня підвищення якості системи ТО і Р виконується згідно з (1) та (4).

3. Розрахунок показника підвищення якості системи ТО і Р із застосуванням лінгвістичної змінної.

Наприклад, лінгвістична змінна «Показник якості системи ТО і Р» визначена на універсальній множині варіантів: u_j ; $i = 1, \bar{n}$. Рівень показника оцінюватимемо термами В, ВС, С, НС, Н, наведеними в табл. 2.

Нехай експертним шляхом отримані функції належності вимог до системи ТО і Р заданому рівню якості $\mu(u_{ij})$. Тоді, використовуючи співвідношення (4), (5), можна отримати інтегральний показник якості системи ТО і Р ТП електропостачання залізниць

$$B_{\text{я}} = \sum_{j=1}^m a_j \sum_{b_j=1}^5 b_j \mu(u_i b_j). \quad (6)$$

Розглянемо питання залежності експлуатаційної надійності силового електрообладнання ТП від якості системи ТО і Р. Багаторічний досвід експлуатації обладнання ТП підтверджує, що якість ТО і Р здійснює вплив на безвідмовність роботи обладнання як при раптовій відмові, так і при поступовому накопиченні відмов. У зв'язку з цим загальну ймовірність безвідмовної роботи обладнання можна виразити як

$$P(t) = P_k(t) \cdot P_m(t), \quad (7)$$

де $P_k(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи електрооб-

ладнання ТП, яка зумовлюється наявністю елементів обладнання, відмови яких є раптовими та можуть бути усунені підвищенням якості ТО і Р; $P_m(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи електрообладнання ТП при поступовому накопиченні відмов елементів обладнання, яким можна запобігти підвищенням якості ТО і Р за рахунок зниження швидкості зміни параметра, який визначає працездатність електрообладнання.

Для розрахунку $P(t)$ у першому наближенні можна прийняти нормальний закон розподілу оцінки безвідмовної роботи [2]

$$P(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (8)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення параметра; x – вимірне значення параметра; \bar{x} – середнє значення параметра (математичне сподівання).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (9)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (10)$$

де x_i – вимірне значення параметра на i -му кроці; n – кількість вимірювань параметра.

Аналіз отриманих розрахункових виразів дозволяє зробити висновок, що при зменшенні швидкості зміни вимірюваного значення параметра x_i на i -му кроці під час експлуатації за рахунок підвищення якості ТО і Р електрообладнання ТП середньоквадратичне відхилення параметра σ також буде зменшуватись, а ймовірність $P(t)$ безвідмовної роботи електрообладнання ТП буде збільшуватись.

Висновки. Розроблена методика та метод оцінки якості системи ТО і Р електрообладнання ТП дозволяє оперативно реагувати на зміни умов функціонування силового електрообладнання ТП; визначати найбільш ефективні стратегії ТО і Р електрообладнання ТП в умовах невизначеності функціонування дистанції електропостачання; задавати (імітувати) різні умови експлуатації обладнання ТП для вибору оптимального варіанта обслуговування та досягнення необхідного рівня якості системи ТО і Р; контролювати стан удосконалення системи; визначати рівень дійсного інтегрального показника якості системи.

У статті автор вперше пропонує: варіант формалізованого документа оцінки якості обслуговування силового електрообладнання ТП експертами; вираз для визначення інтегрального показника якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП, який відсутній у стандартах системи ТО і Р; матрицю якості системи з урахуванням етапів (методів) та напрямків підвищення якості обслуговування силового електрообладнання ТП. Цей метод дозволяє виконувати експертну оцінку стану системи обслуговування та прогнозувати й вибрати раціональний варіант підвищення якості системи ТО і Р силового електрообладнання ТП з урахуванням не тільки технічних, але й організаційно-правових та фінансово-економічних заходів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рассальский А.Н., Сахно А.А., Конограй С.П., Спица А.Г., Гук А.А. Основные принципы непрерывного контроля

высоковольтного маслонаполненного электрооборудования с изоляцией конденсаторного типа под рабочим напряжением // *Электромеханичні і енергозберігаючі системи*. – 2009. – № 2. – С. 53-55.

2. Матусевич О.О. Удосконалення методології системи технічного обслуговування і ремонту тягових підстанцій : монографія. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. – 295 с.

3. Панков Л.А., Петровский А.М., Шнейдерман Н.В. Организация экспертизы и анализ экспертной информации. – М.: Наука, 1984. – 214 с.

4. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные сети. – М.: Физматлит, 2001. – 221 с.

5. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решения на основе нечетких моделей: примеры использования. – Рига: Знание, 1990. – 184 с.

6. Матусевич О.О. Методика проведення експертизи оцінки надійності функціонування системи автоматизованого керування тягового електропостачання електричного транспорту // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. – 2009. – №28. – С. 42-44.

7. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения – М.: Стандартинформ, 2007. – 12 с.

8. Матусевич О.О. Методи підвищення надійності функціонування системи керування тягового електропостачання електричного транспорту на основі експертної інформації // *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. – 2009. – №26. – С. 63-66.

REFERENCES

1. Rassalsky A.N., Sakhno A.A., Konogray S.P., Spitsa A.G., Guk A.A. The basic principles of continuous monitoring of high-voltage oil-filled electrical isolation condenser type under operating voltage. *Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy – Electromechanical and energy saving systems*, 2009, no.2, pp. 53-55. (Rus).

2. Matusevych O.O. *Udoskonalennia metodolohii systemy tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu tiahovykh pidstantsii : monohrafiia* [Improving the system of maintenance and repair of traction substations: Monograph]. Dnipropetrovsk, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan Publ., 2015. 295 p. (Ukr).

3. Pankov L.A., Petrovsky A.M., Schneiderman N.V. *Organizatsiia ekspertizy i analiz ekspertnoi informatsii* [Organization of examination and analysis of expert information]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 214 p. (Rus).

4. Kruglov V.V. *Nechetkaia logika i iskusstvennye seti* [Fuzzy logic and artificial networks]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 221 p. (Rus).

5. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. *Priniatie resheniia na osnove nechetkikh modelei: primery ispol'zovaniia* [Making a decision based on fuzzy models usage examples]. Riga, Znanie Publ., 1990. 184 p. (Rus).

6. Matusevych O.O. The method of reliability estimation of the automated control system functioning of traction power supply of electric transport. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2009, no.28, pp. 42-44. (Ukr).

7. *GOST 18322-78. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniia i remonta tekhniki. Terminy i opredeleniia* [State Standard 18322-78. System maintenance and repair of equipment. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform, 2007. 12 p. (Rus).

8. Matusevych O.O. Methods of improving the reliability of the control system traction power supply of electric transport based on an expert information. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2009, no.26, pp. 63-66. (Ukr).

Надійшла (received) 30.11.2015

Матусевич Олександр Олександрович, к.т.н., доц., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 49069, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, тел/phone +38 067 6367851, e-mail: al_m0452@meta.ua

O.O. Matusevych

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2, Lazaryana Str., Dnipropetrovsk, 49069, Ukraine.

Methodology of determination of quality index of maintenance service system of power equipment of traction substations.

Purpose. The purpose of this paper is development of methodology for definition of a quality system of maintenance and repair (M and P) power equipment of traction substations (TS) of electrified railways operating under conditions of uncertainty based on expert information. **Methodology.** The basic tenets of the theory of fuzzy sets and marks, linguistic and interval estimates of experts were applied to solve this problem. **Results.** Analysis of the existing diversity of approaches to development of modern methods of improvement of M and P allows us to conclude that the improvement in the quality of the system is achieved by solving individual problems increase the operational reliability of power equipment of traction substations in the following main interrelated areas. There are technical, economic and organizational. The basis of the quality evaluation system is initial data and expertise developed version of the document formalized quality evaluation of electrical equipment of traction substations by experts. The choice of determining the level of Quality service system based on the marks, linguistic and interval estimates of experts, which are reflected in quantitative and / or qualitative form was done. The possible options for expert data presentation and their corresponding quantitative methods of calculating the integral index of quality improvement system maintenance and P of traction substations were described. The methodology and the method of assessing the quality of system maintenance and P of TS allows quickly respond to changing operating conditions of power equipment of traction substations, and to determine the most effective strategies for maintenance of electrical and P TS under conditions of uncertainty functioning distance electricity. **Originality.** The method of a systematic approach to improve the quality of the system maintenance and P of power equipment of traction substation under conditions of uncertainty based on expert information was further developed. The author offers a number of options at first time. There are version of the document formalized quality evaluation of power equipment of traction substations by experts; expression to define the integral Quality systems maintenance and electrical power P TS, which is absent in the standard system maintenance and P; matrix of quality system with regard to steps (methods) and ways of increasing service quality electrical power control systems. This method makes it possible to conduct an expert assessment of the maintenance system and to predict and select the option rational system of quality improvement and maintenance of power equipment of traction substations considering not only technical but also organizational, legal, financial and economic measures. **Practical value.** Improvement on electrified railways of Ukraine quality management system maintenance and P TS will improve the efficiency and quality of maintenance of power equipment and provide TA prevent or reduce the severity of possible equipment failures. Based on the relationships matrix components as systems maintenance and electrical power P TP were formed expressions calculating quality indices of integrated systems with directions and stages for specific equipment and systems in general. It was determined that an increase in the quality and maintenance of electrical PR, the rate of change of the measured value at step k during operation is reduced while the standard deviation parameter is also reduced, and the probability of electrical TA increases. References 8, tables 3.

Key words: traction substation, technical condition of equipment, quality system of maintenance and repair, expert information, fuzzy sets, integral indicator of quality.