

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ПОЛЯХ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.332.3: 621.315.66

**ПОКРАЩЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДНЬОГО РЕСУРСУ ОПОР
КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНОГО ТРАНСПОРТУ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Спеціальність 05.22.09 - електротранспорт

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електропостачання залізниць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДПТУ) Міністерства транспорту та зв'язку України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Кузнецов Валерій Геннадійович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України, доцент кафедри електропостачання залізниць.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лучко Йосип Йосипович,
Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України, професор кафедри рухомого складу та колії;

кандидат технічних наук, доцент
Плугін Дмитро Артурович,
Українська державна академія залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України, м. Харків, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд.

Захист відбудеться “___” _____ 2010 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна ауд. 314 за адресою: вул. Лазаряна 2, м. Дніпропетровськ, 49010.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Автореферат розісланий “___” _____ 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 08.820.01,
д.т.н., проф.

М. О. Костін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Для електрифікованого транспорту, який експлуатується на постійному струмі, згідно з «Правилами улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць ЦЕ-0023», термін експлуатації опор контактної мережі встановлено 40 років, після цього опора повинна замінюватися на нову. Але з кожним роком кількість опор, що перебувають в експлуатації понад нормативний термін, зростає (у 1994 р. до 13 597 шт., 1999 р. до 33 395 шт., у 2004 р. до 66 994 шт., у 2006 р. до 83 240 шт.). Діагностиці підлягають опори, які розташовані в анодній зоні, біля тягових підстанцій та ті, що експлуатуються понад 40 років. Засобами діагностування, що зараз використовують дистанції електропостачання й дорожні електротехнічні лабораторії, перевірити всі опори неможливо. Експертизу опор для прийняття рішення про їх подальшу експлуатацію проводять експертні центри.

Для покращення використання середнього ресурсу системи опор необхідно, передусім, визначити технічний стан кожної конкретної опори за допомогою вдосконалених неруйнівних методів діагностування, які дозволяють зробити висновок щодо можливості подальшої експлуатації опори. Досвід показує, що серед опор, термін експлуатації яких понад 40 років, є значна кількість опор, у яких ресурс не вичерпано. Покращення використання середнього ресурсу опор дає значну економію за рахунок збільшення терміну їх експлуатації.

У зв'язку з вищевикладеним актуальною є задача покращення використання середнього ресурсу системи опор контактної мережі електричного транспорту постійного струму шляхом застосування нових методів діагностування з використанням сучасної техніки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота виконана відповідно до Концепції та програми реструктуризації на залізничному транспорті України, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 651-р 2006 року, що діє до 2015 року, планів науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, держбюджетної теми № 2305 "Підвищення надійності пристроїв контактної мережі електрифікованих залізниць", номер державної реєстрації 0107U002523 (2007 р.). Автор брав участь у виконанні цих науково-дослідних робіт як виконавець.

Мета роботи. Метою роботи є покращення використання середнього ресурсу опор контактної мережі електричного транспорту постійного струму. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Аналіз досвіду експлуатації опор, особливостей роботи опор, сучасних методів діагностування опор, факторів, що впливають на середній ресурс опор;
2. Вибір діагностичного параметра для нового методу;
3. Дослідження імовірнісної природи обраного діагностичного параметра для справних і несправних опор;
4. Наукове обґрунтування необхідної кількості вимірів для запропонованого методу діагностики опор контактної мережі;

5. Розробка апаратних засобів для нового методу діагностування опор контактної мережі електрифікованого транспорту;

6. Прогнозування середнього ресурсу залізобетонних опор контактної мережі в разі використання вдосконаленого методу;

7. Розробка програми систематизації й обробки діагностичної інформації вдосконаленого методу діагностування опор контактної мережі.

Об'єкт досліджень – процес діагностики опор контактної мережі.

Предмет досліджень – опори контактної мережі.

Методи дослідження. При виконанні поставлених задач використовували: теорему Байєса, методи теорії статистики, теорії технічної діагностики, метод мінімального ризику, метод послідовного аналізу. Під час діагностування використовували сучасне вимірювальне обладнання: склерометр Шмідта, штангенциркуль, лупу Польда, УК-1401М, відеокамеру SONY DCR-NC26, МП-3 плеєр MC306F, мікрофони фірми SONY F-V230 та SHURE 236, міні-студію звукозапису Roland VS 880, розроблений і запатентований ударний пристрій.

Обробку експериментальних даних виконували на ПЕОМ із застосуванням програмних забезпечень Abode Audition 2.0, Crystal ball 7.2, АВК – 3.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Запропоновано новий діагностичний параметр для визначення технічного стану опор контактної мережі електрифікованого транспорту постійного струму, який відрізняється від існуючих тим, що визначається розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів коливань, які виникають в опорі під час нанесення ударів розробленим ударним пристроєм. Це дозволяє визначити технічний стан опор без відкопування й покращити використання їх середнього ресурсу за рахунок своєчасного виведення з експлуатації несправних опор.

2. Вперше встановлено імовірнісну природу розподілу розкиду частот гармонік з максимальною амплітудою у справних і несправних опорах контактної мережі залізничного транспорту постійного струму, що дало можливість визначити граничні значення діагностичного параметра й більш повно використати середній ресурс опор.

3. Вперше отримано аналітичний вираз для визначення граничного значення запропонованого діагностичного параметра під час встановлення діагнозу, який враховує специфіку навантаження й руйнування опор контактної мережі залізничного транспорту в процесі їх експлуатації й тим самим дозволяє науково обґрунтувати процес діагностики опор запропонованим методом.

4. Набув подальшого розвитку віброакустичний метод діагностування, який відрізняється від існуючого застосуванням іншої діагностичної ознаки, що не залежить від амплітуди коливань опори. Завдяки цьому підвищується точність визначення її технічного стану й зменшуються витрати праці на проведення вимірів.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблене в роботі наукове обґрунтування нового методу діагностування може бути застосовано для оцінки стану залізобетонних опор контактної мережі постійного струму за критерієм розкиду частот гармонік з максимальною амплітудою.

2. За результатами натурних випробувань, отриманими під час проведення діагностики опор контактної мережі постійного струму на Придніпровській залізниці, дистанціям електропостачання та дорожній електротехнічній лабораторії надано технічні рекомендації щодо покращення використання середнього ресурсу опор.

3. Розроблений у роботі прилад діагностування ВД-01 (який захищено патентом на корисну модель) може бути використано для визначення технічного стану опор контактної мережі в експлуатації. Запропонований автором програмний комплекс для збору та обробки діагностичної інформації може бути застосований у технічних відділах дистанцій електропостачання для планування роботи з експлуатації опор.

4. Результати роботи використовуються під час проведення лабораторних робіт з дисципліни «Діагностика пристроїв електропостачання» на кафедрі «Електропостачання залізниць» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Особистий внесок здобувача. Постановку мети й завдання досліджень, планування експериментів та обговорювання результатів виконано разом з науковим керівником. Автор особисто: розробив план експерименту та провів експериментальні випробування на Придніпровській залізниці; запропонував на основі експериментальних даних новий діагностичний параметр; науково обґрунтував необхідні граничні значення діагностичного параметру, необхідну кількість вимірів для вдосконаленого методу діагностики опор контактної мережі. У публікаціях, які написані у співавторстві, автору належить: у [2] – аналіз факторів, що впливають на довговічність опор, визначення основних статистичних характеристик параметрів опор; у [3] – новий діагностичний параметр для визначення технічного стану опор контактної мережі; у [4, 11] – дослідження імовірнісної природи розкиду частот гармонік при збудженні опор тарованим ударним пристроєм та вираз для граничних значень діагностичного параметра; у [5] – формулювання наукових основ вдосконаленого методу діагностики опор; в [8] – шляхи підвищення надійності опор контактної мережі. Роботи [1, 6, 7, 9, 10, 12 - 15] написані без співавторів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися та одержали схвалення на таких Міжнародних наукових конференціях: 8-й, “Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте”; 65-й та 66-й, “Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта”; 8-й, “Инженерия поверхности и реновация изделий”, 1-й, “Электрификация железнодорожного транспорта-2007”; 2-й, “Электрификация железнодорожного транспорта-2008”. Транспортні зв’язки «Проблеми та перспективи 2008 р.»; 3-й, “Электрификация железнодорожного транспорта-2009”; на науково-технічній раді Придніпровської залізниці.

Публікації. Результати дисертації опубліковано у 15 наукових працях, у тому числі 4 – у фахових виданнях, 2 – у патентах на корисну модель, 7 – тезах, 2 – інших виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, що викладено на 131 сторінках машинописного тексту і які містять 39 рисунків і 37 таблиць, переліку літературних джерел із 115 найменувань на 12 сторінках, 5 додатків на 57 сторінках. Ілюстрації (рисунки) і таблиці, які розміщені на окремих сторінках дисертації, займають 2 сторінки. Повний об'єм дисертації складає 201 сторінку.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету роботи та основні задачі, 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 досвід експлуатації залізобетонних опор контактної мережі електрифікованого транспорту та причини й закономірності їх руйнування. На залізницях України експлуатується 358 452 опори, динаміку їх заміни й діагностики показано на рис. 1. З них понад 22,9 % експлуатуються понад нормативний термін і повинні піддаватися щорічному приладовому обстеженню.

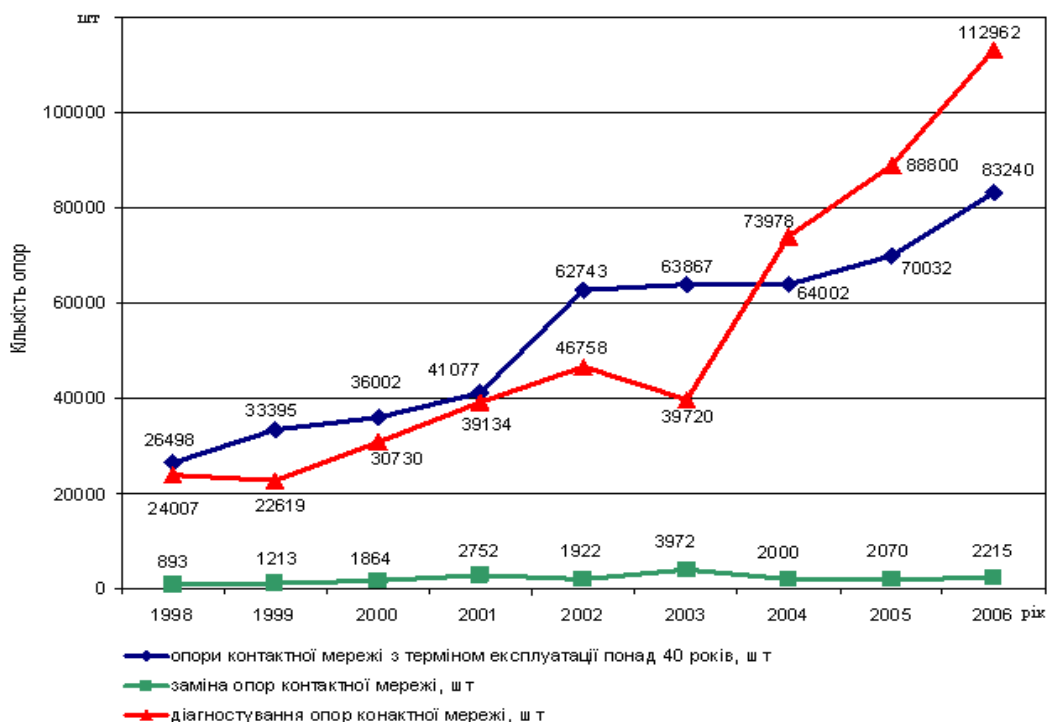


Рис. 1 – Динаміка заміни та діагностування опор контактної мережі на залізницях України

Залізобетонна опора контактної мережі є специфічною як за конструкцією, так і за навантаженнями, які вона несе. Стан опори залежить від стану бетону та арматури. Несуча здатність, навантаження, включаючи і кліматичні, непостійні за довжиною та периметру опори. Ступінь і швидкість корозії арматури під дією струмів і бетону по довжині різні. У розділі приведено результати аналізу сучасних методів і апаратури діагностування для оцінки стану залізобетонних опор електрифікованого транспорту, обговорено їх переваги та недоліки. Обґрунтовано

необхідність розробки нового методу діагностування на базі віброакустичного методу.

У **другому розділі** визначено фактори, що впливають на середній ресурс залізобетонних опор контактної мережі електрифікованого транспорту на етапах проектування, виготовлення, транспортування і монтажу. Одним із факторів, що впливає на середній ресурс, на етапі виготовлення, є товщина стінки бетону. Імовірісно-статистична обробка даних товщини стінок партії опор марки СК 13.6-02.8жд показала, що ця величина підкоряється нормальному закону розподілу з такими параметрами: математичне очікування $m_a = 52,133$ мм – у вершині опори, $m_a = 56,61$ мм – у основи опори; дисперсія $D_a^* = 16,439$ мм² – у вершині опори, $D_a^* = 13,77$ мм² – у основи опори; довірчі границі для математичного очікування у вершині $51,299 < m_a < 52,967$ мм, у основи $55,8 < m_a < 57,3$ мм; середньоквадратичне відхилення складає у вершині $3,549 < \sigma_a < 4,773$ мм, у основи $3,25 < \sigma_a < 4,37$ мм. Також впливає на середній ресурс опор винос іонів металу при електрокорозії арматури. У розділі розглянуто до СНіПу 2.03.01-84* (Бетонные и железобетонные конструкции) вплив виносу іонів металу на власну частоту опори $k = A \cdot v^2 + B \cdot v + C$ (де k - відсоток винесеного в перерізі арматури іонів металу; A, B, C - коефіцієнти, знайдені розрахунковим шляхом; v - власна частота опори). Аналітично отримано залежність несучої здатності опори від виносу відсотка металу для опори типу С136.6-1 $M = -3.739 \cdot k^2 + 11.234 \cdot k$ (де M - несуча здатність опори; k - відсоток залишеного в перерізі металу).

У **третьому розділі** розглянуто наукові положення нового методу діагностування. Наукове обґрунтування й вибір діагностичного параметра проводили на базі поняття ентропії. У дисертаційній роботі за основу обрано віброакустичний метод діагностування, який може використовувати такі діагностичні параметри: декремент згасання амплітуди (δ); тривалість згасання амплітуди звукових коливань збуреної опори (Δt); частота коливань опори після виведення її з рівноваги (f); розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збуреної опори (x). Інформація про стан опори D визначається спостереженням за іншим діагностичним параметром B , який не напряму відображає стан опори. Середню величину інформації можна визначити за формулою:

$$J_D(B) = H(D) - H\left(\frac{D}{B}\right), \quad (1)$$

де $H(D)$ – апіорна ентропія опори D ; $H\left(\frac{D}{B}\right)$ – ентропія опори D після того, як стало відомо про стан діагностичного параметра B . Зробивши припущення і перетворення (якщо об'єкти D і B незалежні), остаточно отримаємо:

$$J_D(B) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(D_i) \cdot P\left(\frac{B_j}{D_i}\right) \cdot \log_2 \frac{P\left(\frac{B_j}{D_i}\right)}{P(B_j)}. \quad (2)$$

Рівняння (2) служить для знаходження середнього очікування значення

інформації $J_D(B)$, що міститься в об'єкті B відносно всіх станів об'єкта D . За цією величиною буде обрано діагностичний параметр. Для вибору й обґрунтування діагностичного параметра здійснено діагностику 100 залізобетонних опор контактної мережі, серед яких було 94 справних (D_1) та 6 несправних (D_2). Діагностичний параметр B умовно було поділено на два рівні: B_1 - справного та B_2 - несправного станів. Розрахунки проведено з вищезазначеними діагностичними параметрами. Вихідні дані розподілу кількості опор залежно від діагностичного параметра наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Розподіл кількості опор залежно від діагностичного параметра

Стан D_1 , шт.				Стан D_2 , шт.				Значення діагностичного параметра			
Δt	f	δ	x	Δt	f	δ	x	Δt , с	f , Гц	δ	x , Гц
88	86	90	92	3	4	2	1	$B_1 (\Delta t > 2,1 \text{ с})$	$B_1 (f > 800)$	$B_1 (\delta > 0,196)$	$B_1 (x < 400)$
3	4	2	1	6	6	6	6	$B_2 (\Delta t < 2,1 \text{ с})$	$B_2 (f < 800)$	$B_2 (\delta < 0,196)$	$B_2 (x > 400)$

Середня інформація про стан опор за дослідженням діагностичного параметра для x - $J_D(B) = 0,245$; f - $J_D(B) = 0,136$; Δt - $J_D(B) = 0,164$; δ - $J_D(B) = 0,198$. Величина інформації про справний стан опори для: x - $J_{D1}(B) = 0,059$; f - $J_{D1}(B) = 0,031$; Δt - $J_{D1}(B) = 0,037$; δ - $J_{D1}(B) = 0,046$. Величина інформації про несправний стан опор для: x - $J_{D2}(B) = 2,712$; f - $J_{D2}(B) = 1,083$; Δt - $J_{D2}(B) = 1,443$; δ - $J_{D2}(B) = 1,952$.

Аналізуючи результати розрахунків, можливо наочно оцінити інформаційну цінність кожного діагностичного параметра. Як видно з розрахунку середньої інформації про стан залізобетонних опор контактної мережі з дослідження діагностичного параметра x (розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збуреної опори), $J_D(B) = 0,245$ більший стосовно інших діагностичних параметрів, тому вибираємо його як діагностичний параметр нового методу діагностування.

Виміри при діагностиці за новим методом виконано таким чином. По надземній частині опори на зручній висоті від 1,5 до 2,0 м в різних точках наносять удари спеціальним тарованим молотком. Згасаючі коливання, що виникли внаслідок цього збурювання опори, записують у пам'ять звукозаписувального пристрою з наступною обробкою інформації на комп'ютері. Суттєвою відмінністю пропонованого методу діагностики технічного стану залізобетонних опор є використання для прозвучування частот пружних хвиль звукового діапазону. Під час діагностики необхідно обрати таке значення $\tilde{\delta}_0$ параметра x , що при $\tilde{\delta} > x_0$ слід ухвалювати рішення про заміну опори, а при $x < x_0$ - не проводити заміну. Граничне значення параметра $\tilde{\delta}_0$ для ухвалення рішення знаходимо з урахуванням мінімуму середніх експлуатаційних витрат.

Введемо такі позначення: D_1 - справний стан опори, D_2 - наявність корозії. Тоді правило прийняття рішень таке:

$$\left. \begin{array}{l} x \in D_1, \text{ при } x < x_0, \\ x \in D_2, \text{ при } x > x_0. \end{array} \right\} \quad (3)$$

Параметр $\tilde{\delta}_0$ опори залежить не тільки від ступеня корозії, але й від інших факторів. Тому можна говорити про деяку область, у якій може перебувати величина параметра x_0 . Суттєво, що області справного D_1 і корозійного D_2 станів перетинаються і тому неможливо вибрати x_0 так, щоб правило (3) не давало б помилкових рішень. Помилка першого роду $\alpha(\tilde{\delta}_0)$ - ухвалення рішення про наявність корозії (дефекту), коли насправді опора (система) перебуває у справному стані. Помилка другого роду $\beta(\tilde{\delta}_0)$ - ухвалення рішення про справний стан, тоді як опора має корозію (містить дефект). Якщо відомі ціни помилок першого і другого роду c і y відповідно, то для існування мінімуму в точці $\tilde{\delta} = \tilde{\delta}_0$ друга похідна повинна бути додатною, що призводить до такої умови

$$\frac{f'(x_0/D_1)}{f'(x_0/D_2)} < \frac{y \cdot P_2}{c \cdot P_1} \quad (4)$$

Коливання опори при збуреннях розкладали на спектр. Для прикладу наведено спектр частот для несправної опори (рис. 2) і справної опори (рис. 3).

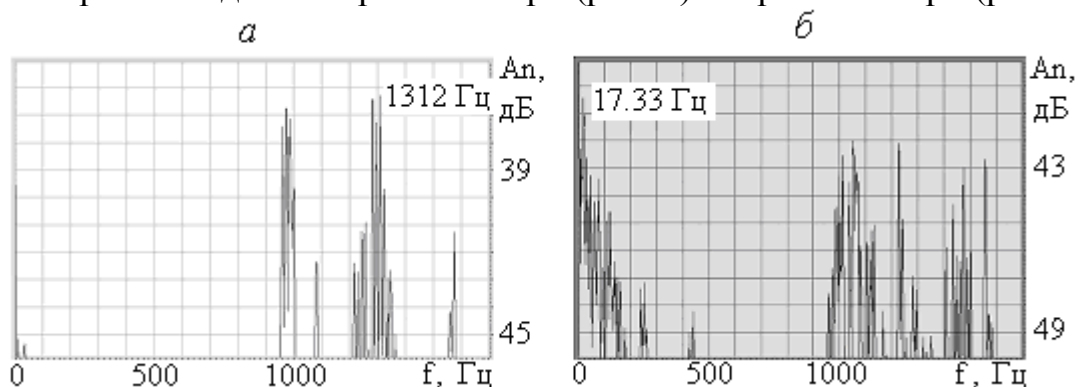


Рис. 2 – Спектр частот при: *a* - першому та *б* - другому збуренні несправної опори (по кожній опорі наносили по 10 ударів)

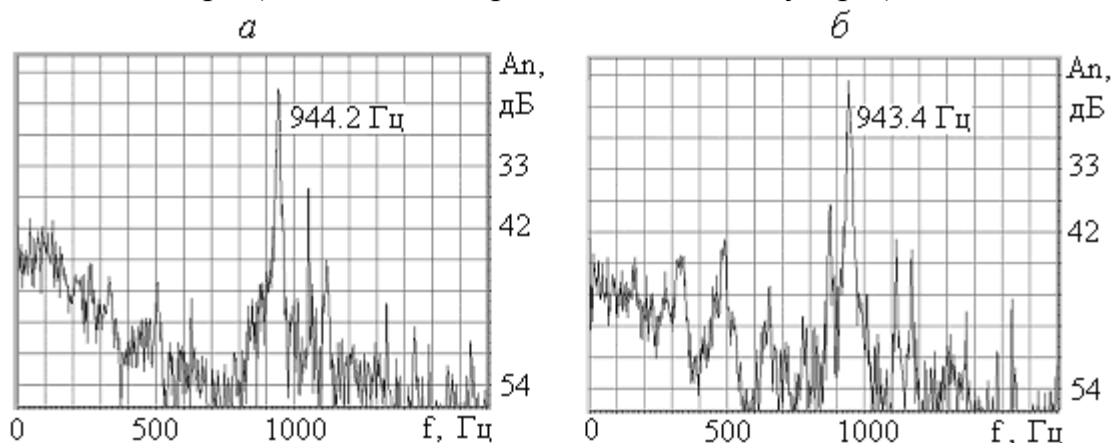


Рис. 3 – Спектр частот при: *a* – першому, *б* - другому збуренні справної опори

Розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів x для випадку несправної опори складає 1294,67 Гц ($1312 - 17,33 = 1294,67$ Гц). Зовсім інша картина при дослідженні розкиду частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів x для справних опор $x = 0,8$ Гц ($944,2 - 943,4 = 0,8$ Гц).

Встановлено, що закон розподілу діагностичного параметра x для справних опор нормальний, а для несправних - логарифмічно нормальний:

$$f(x/D_1) = \frac{1}{\sigma_1 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2 \cdot \sigma_1^2}}, \quad (5)$$

$$f(x/D_2) = \frac{1}{x \cdot \sigma_2 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln x - m_x)^2}{2 \cdot \sigma_2^2}}. \quad (6)$$

З урахуванням цих розподілів умову прийняття рішення (4) можна записати у такому вигляді:

$$\frac{x \cdot \sigma_2 \cdot \left(e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2 \cdot \sigma_1^2}} \right)}{\sigma_1 \cdot \left(e^{-\frac{(\ln x - m_x)^2}{2 \cdot \sigma_2^2}} \right)} = \frac{y \cdot p_2}{c \cdot p_1}. \quad (7)$$

Підставляючи числові значення в (7), для опор СКЦ отримано, що $x_0 = 290$ Гц. Для обґрунтування необхідної кількості вимірів скористаємося теоремою Байєса. У нашому випадку для нового віброакустичного методу стан опори характеризується однією ознакою – x . На кожному кроці процедури діагностування будемо перевіряти умову про можливість постановки діагнозу. Якщо інформації досить, то будемо ставити діагноз і припиняти діагностування. При використанні теореми Байєса для розпізнавання станів D_i і D_j будемо складати співвідношення умовних імовірностей станів опори

$$\frac{P\left(\frac{D_j}{K^*}\right)}{P\left(\frac{D_i}{K^*}\right)} = \frac{P(D_j)}{P(D_i)} \cdot \frac{P\left(\frac{K_1^*}{D_j}\right) \dots P\left(\frac{K_m^*}{D_j}\right)}{P\left(\frac{K_1^*}{D_i}\right) \dots P\left(\frac{K_m^*}{D_i}\right)}, \quad (8)$$

де K_1^* – вектор діагностичних ознак залізобетонної опори при першому вимірюванні; K_m^* – вектор діагностичних ознак залізобетонної опори при m -му вимірюванні.

Якщо в результаті першої перевірки умова (8) виконується (стан опори невстановлений), то необхідна наступна перевірка, тоді відношення ймовірностей набуває вигляду:

$$B < \frac{P\left(\frac{K_1}{D_2}\right)}{P\left(\frac{K_1}{D_1}\right)} \cdot \frac{P\left(\frac{K_2}{D_2}\right)}{P\left(\frac{K_2}{D_1}\right)} < A. \quad (9)$$

Розрахунки будемо повторювати до ти, поки значення відношення (9) не вийде за одну з вказаних меж (A або B). Межі A і B можна розрахувати

виходячи з ймовірностей помилок першого α (прийняте рішення «опора несправна», а насправді – «опора справна») і другого β (прийняте рішення «опора справна», насправді – «опора несправна») роду, які можна задати як:

$$\frac{1-\beta}{\alpha} \geq A, B \geq \frac{\beta}{1-\alpha}. \text{ Значення } \alpha \text{ і } \beta \text{ обрано з економічних міркувань.}$$

Для справних опор математичне очікування діагностичного параметра x склало $\mu_1 = 65,97$ Гц; для несправних - $\mu_2 = 707,27$ Гц. Середні квадратичні відхилення діагностичного параметра x відповідно склали - $\sigma_1 = 44,37$ Гц і $\sigma_2 = 285,5$ Гц. Функції розподілів діагностичного параметра x справних і несправних опор наведено на рис. 4.

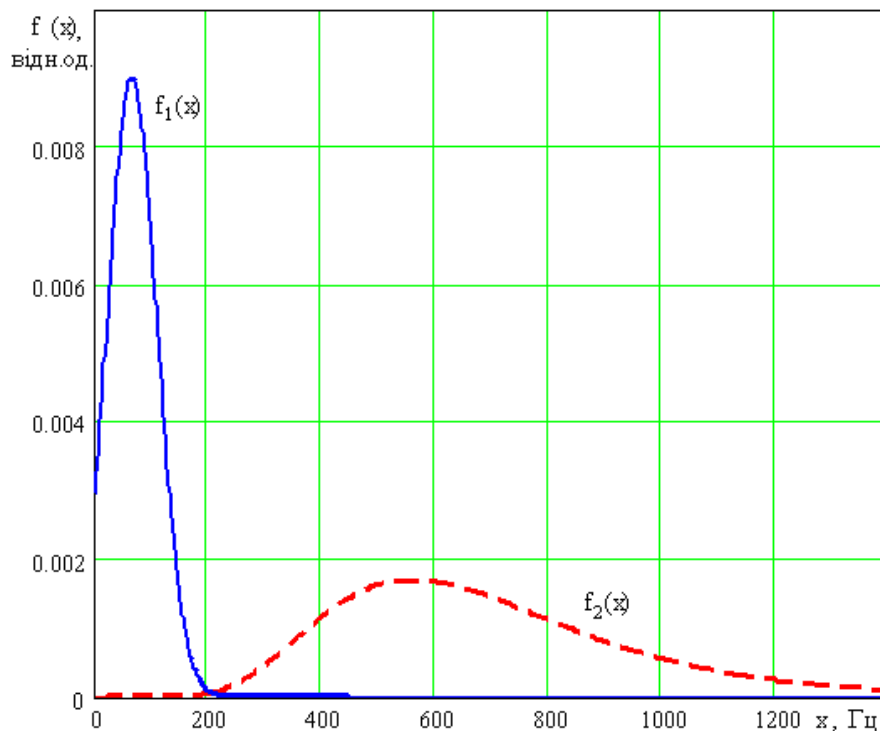


Рис. 4 – Функції розподілу параметра x для справних ($f_1(x)$), несправних ($f_2(x)$) опор

За результатами проведення двох перших вимірювань можна обчислити умовну функцію розподілу діагностичного параметра x за умови, що опори мають діагноз D_2 (несправні) і з D_1 (справні). Знайдемо відношення

$$\frac{f\left(\frac{x_1}{D_2}\right)}{f\left(\frac{x_1}{D_1}\right)} = \frac{\sigma_1 \cdot \exp\left[-\frac{(\ln(x_1) - \mu_2)}{2\sigma_2^2}\right]}{x_1 \cdot \sigma_2 \cdot \exp\left[-\frac{(x_1 - \mu_1)}{2\sigma_1^2}\right]} = \frac{\sigma_1}{x_1 \cdot \sigma_2} \exp\left\{\frac{1}{2}\left[\frac{(x_1 - \mu_1)^2}{\sigma_1^2} - \frac{(\ln(x_1) - \mu_2)^2}{\sigma_2^2}\right]\right\}, \quad (10)$$

де $f\left(\frac{x_1}{D_2}\right)$ - умовна функція розподілу x для несправних опор; $f\left(\frac{x_1}{D_1}\right)$ - умовна функція розподілу x для справних опор.

Відношення (10) для проведення n -го вимірювання перепишеться у вигляді

$$\frac{f\left(\frac{x_1}{D_2}\right) \cdots f\left(\frac{x_n}{D_2}\right)}{f\left(\frac{x_1}{D_1}\right) \cdots f\left(\frac{x_n}{D_1}\right)} = \prod_{i=1}^n \frac{\sigma_1}{x_i \cdot \sigma_2} \exp \left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{(x_i - \mu_1)^2}{\sigma_1^2} - \frac{(\ln(x_i) - \mu_2)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\}. \quad (11)$$

Якщо значення відношення (9) буде лежати в межах

$$\hat{A} < \frac{f\left(\frac{x_1}{D_2}\right) \cdots f\left(\frac{x_n}{D_2}\right)}{f\left(\frac{x_1}{D_1}\right) \cdots f\left(\frac{x_n}{D_1}\right)} < A, \quad (12)$$

то для встановлення діагнозу інформації не вистачає.

Позначимо (11) як D_n (n – кількість вимірювань)

$$D_n = \prod_{i=1}^n \frac{\sigma_1}{x_i \cdot \sigma_2} \exp \left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{(x_i - \mu_1)^2}{\sigma_1^2} - \frac{(\ln(x_i) - \mu_2)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\}. \quad (13)$$

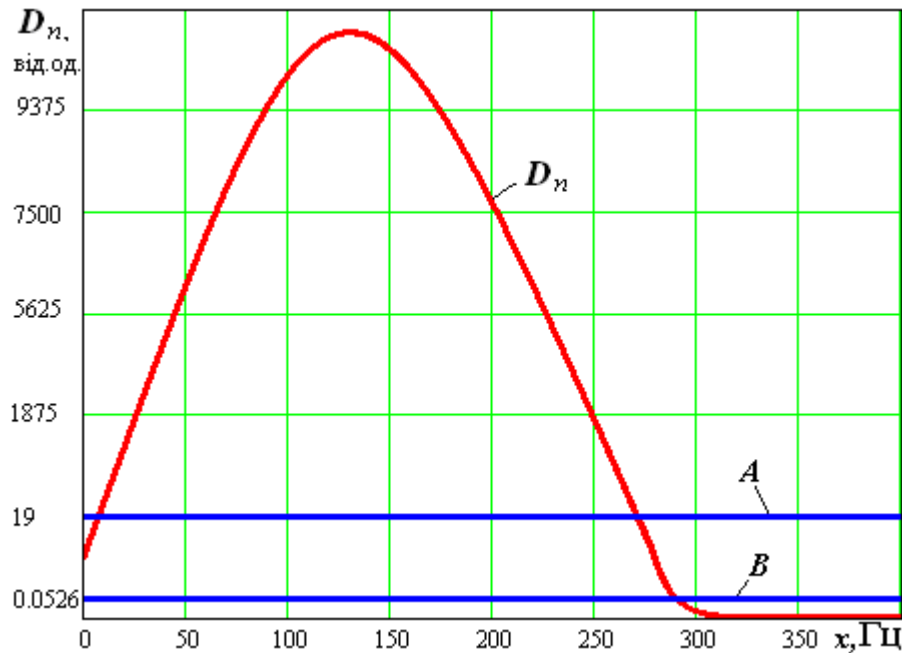


Рис. 5 – Межі прийняття рішення A і B

Результати розрахунків за формулою (12) свідчать про те, що для постановки діагнозу «опора несправна» або «опора справна» достатньо однієї пари вимірювань (для опор типу СКЦ). Для опор іншого типу частоти будуть інші, але по суті картина не зміниться.

Розрахуємо прогнозований середній ресурс полігону залізобетонних опор контактної мережі на Придніпровській залізниці із застосуванням методів діагностування.

Інтенсивність заміни за кожною віковою групою визначаємо за формулою:

$$\lambda_i = n_i / (N_i \cdot t), \quad (14)$$

де n_i – кількість замінених опор у кожній віковій групі; N_i – загальна кількість опор у віковій групі; t – контрольований період, приймають рівним 3 рокам на ділянках

постійного струму. На підставі даних про інтенсивність заміни опор за кожною віковою групою визначаємо прогнозований середній термін служби опор:

$$T_{\bar{n}} = 1 / \lambda_i . \quad (15)$$

Середній термін служби опор по залізниці:

$$T_{\text{ср}} = \sum (T_c \cdot N_i) / N, \quad (16)$$

де N - загальна кількість залізобетонних опор.

Прогнозована щорічна кількість замін на майбутні 3 роки:

$$z = (\lambda_1 N_1 + \lambda_2 N_2 + \dots + \lambda_k N_k), \quad (17)$$

де λ_i і N_i - питома заміна та кількість опор по кожній віковій групі. Розрахунок зведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Прогнозована щорічна кількість заміни опор

Тип опори	Опори, які експлуатуються, шт.	Щорічна заміна опор на період трьох років при діагностиці, шт.	Кількість опор, що експлуатуються понад 40 років, шт.
СЗБК	4321	23	3069
ЗБК	6034	106	5218
ЗБД	752	19	752
СД, СДУ, СБД	3208	90	51
СО, СС	4424	7	19
СК	11153	28	407
СКУ	23785	15	43
СКЦо	2454	1	3
Разом	56131	289	9562

Розрахована прогнозована щорічна кількість (на три роки) заміни опор при застосуванні нового методу діагностики по Придніпровській залізниці складає 289 опор. Розрахунковий середній ресурс опор контактної мережі Придніпровської залізниці при застосуванні запропонованого методу діагностування буде складати 46 років, тобто на 15 % більше нормативного. Порівнюючи результати, видно, що із застосуванням діагностування за запропонованим методом покращується використання середнього ресурсу опор контактної мережі електрифікованого транспорту постійного струму.

У четвертому розділі розглянуто апаратне забезпечення приладу діагностування ВД - 01.

Викладені наукові положення у попередньому розділі дисертаційної роботи, дозволили розробити новий прилад діагностування опор контактної мережі, який складається з ударного пристрою, пристрою запису звуку та програмного забезпечення із обробки інформації. За основу ударного пристрою був взятий склерометр Шмідта. Заміри пропонується виконувати наступним чином. На опорі обирають місце для нанесення тарованого удару для збудження коливань опори. Місце повинно бути без дефектів, мати чисту й рівну поверхню. За допомогою пристрою для спрямованого удару направляють вісь молотка на місце, де буде нанесений удар, і фіксують ударний пристрій на опорі силою руки. Натискають кнопку спускового пристрою, який звільняє з стислого стану пружину, і вісь молотка починає рухатися по направляючим шайбам до зіткнення з опорою. Енергія молотка передається на опору, збурення опори записує пристрій запису звуку.

Пристрій запису звуку включає такі складові: мікрофону, підсилювача аналогового сигналу, перетворювача аналогового сигналу в цифровий, бази даних проведених вимірювань, блоку керування, блоку живлення (рис. 6.)

З бази даних обстежених опор звукозаписувального пристрою інформація передається в базу даних комп'ютера, яка зберігається в MP3 форматі. Генератор номеру запису присвоює кожній обстеженій опорі свій номер і з цим номером інформація зберігається в базі даних. З бази даних MP3 формату береться інформація опори і за допомогою спеціальної програми «Adobe Audition 2.0» розкладається на спектр. Із числа розкладених на спектр частот гармонік обирають гармоніки з максимальною амплітудою. Потім розраховують розкид спектру частот з максимальною амплітудою і порівнюють з еталонним (для різних типів опор – своє значення).



Рис. 6 – Функціональна схема обробки інформації з діагностики опор

Вибираючи мікрофон для пристрою діагностування опор контактної мережі, необхідно звернути увагу на основні його технічні характеристики: осьову чутливість; номінальний діапазон частот; нерівномірність частотної характеристики, у якому працює мікрофон; вихідний опір мікрофона; рівень власних шумів; характеристику направленості.

У роботі виконано теоретичні розрахунки частоти поперечних коливань різних типів опор контактної мережі. Діапазон частот при проведенні експериментів з різними типами залізобетонних опор контактної мережі складав від 400 до 1800 Гц. Згідно з ІЕС651, ССІR 468-2/3, ГОСТ16123-88, діапазон частот усіх приладів, використовуваних під час вимірювань, повинен не менш ніж на 10 % перевищувати номінальний діапазон. Тобто, діапазон частот приладу, користуючись методом розрахунку за ГОСТ 17168-82, повинен бути не менше $300 \div 3000$ Гц. Тому для нового приладу діагностування можливо застосувати мікрофон 3-ї групи складності й вище, згідно з ГОСТ 6495-89.

Досліджено оптимальне розташування мікрофона до опори при проведенні вимірювань. Для нового методу діагностування з новим діагностичним признаком x (розкид частоти гармонік з максимальною амплітудою спектрів) оптимальна висота виведення опори з рівноваги складає 1 ... 2 м.

Програмне забезпечення призначено для автоматизації діагностування та аналізу залізобетонних опор контактної мережі за допомогою аналізу звукового файлу, зробленого звукозаписувальним пристроєм. На рис. 7 подано зображення екрана комп'ютера.

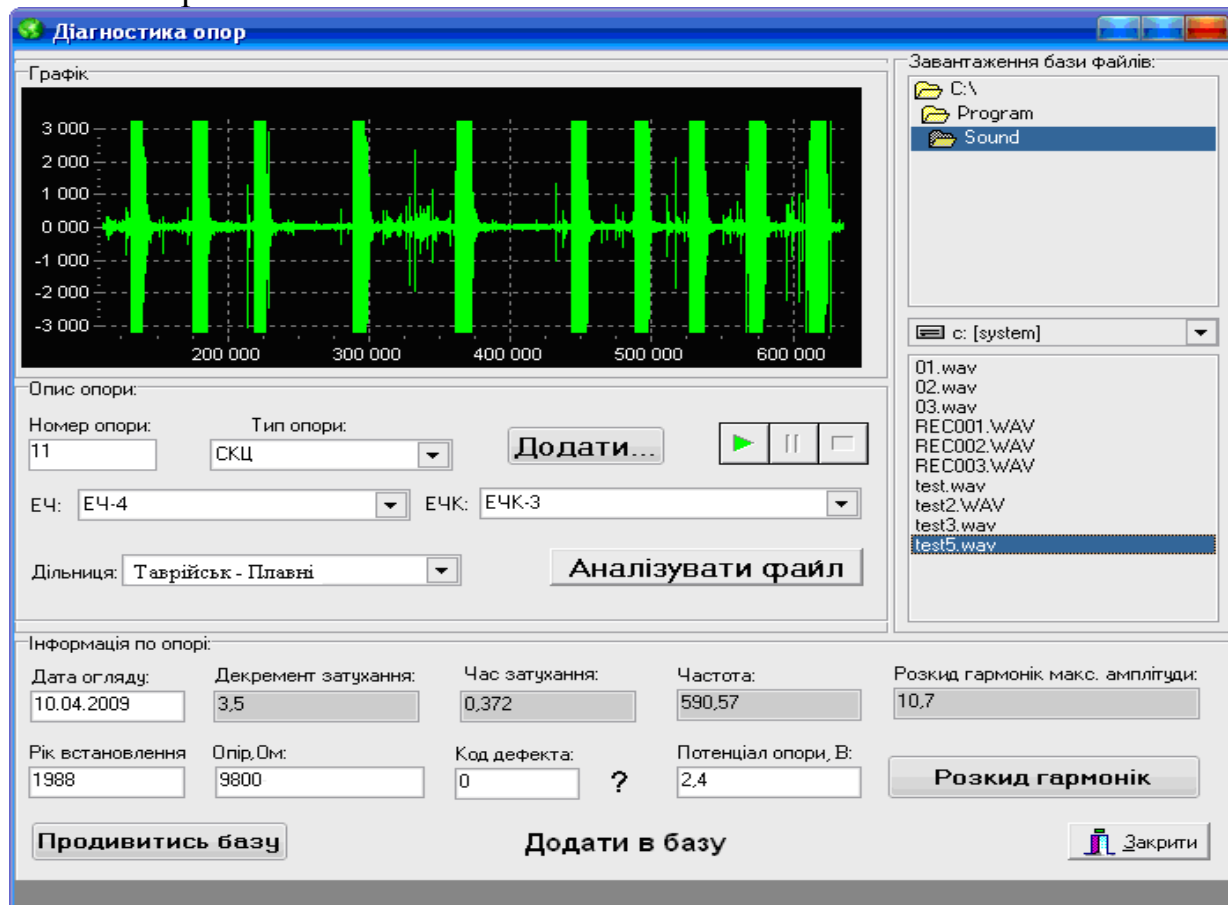


Рис. 7 – Форма «Діагностика опор»

Порівняння різних методів діагностування проводили на основі прийнятих Укрзалізницею інструкцій ЦЕ-0019 та ЦЕ-0010. Для перевірки достовірності результатів експерименту було обрано дві ділянки: перегони Плавні – Тавричеськ та Ігрень – Ілларіоново на Придніпровській залізниці. Обстежено всього 360 опор типу ЗБК, СКЦ. Результати досліджень у відсотках: візуальний: несправні – 18,7%, справні – 81,3%; ультразвуковий: несправні – 20,8%, справні – 79,2%; вдосконалений: несправні – 25,3%, справні – 74,7%.

Порівняння точності вимірів різних методів діагностування залізобетонних опор контактної мережі подано в табл. 3. Таким чином, експлуатаційна перевірка нового віброакустичного методу діагностики свідчить про його достовірність.

Для експериментального визначення середнього ресурсу залізобетонних опор контактної мережі з використанням запропонованого методу діагностування було обрано два типи опор (ЗБК і СКЦ), які приблизно перебували в однакових умовах (ЗБК – 125 шт. та СКЦ – 115 шт.) Додатково несправні опори було перевірено традиційними методами діагностування з відкопкою на глибину 1 м для прийняття

рішення про подальшу експлуатацію опор. На основі проведених експериментальних досліджень запропонованим методом діагностування отримано результати вимірів, що були оброблені за такими показниками: кількість опор перевірених (кількість справних, несправних); кількість опор, що підлягають заміні. Причому, загальну кількість опор, що підлягають заміні, записували у відповідну вікову групу. Ці дані подано в табл. 4.

Таблиця 3 – Порівняння показників ультразвукового, запропонованого та візуального методів діагностування

№ п/н	Марка опори	№ опори	УК 1401				Новий метод		Візуальний метод
			П1	П2	П1/П2	Висновок	x_0	Висновок	
1	ЗБК6/9.3	257	66.74	50.70	1.3	Справ.	1610.11	Неспр.	Без видимих дефектів
2	ЗБК6/9.3	253	77.30	53.80	1.4	Неспр.	2030.07	Неспр.	5Ц тріщин: Ішт.-2,5м розкриття-5мм
3	ЗБК6/9.3	181	57.20	56.38	1.02	Справ.	20.2	Справ.	Справна
4	СКЦ	324	40.10 49.60	39.70 45.00	1.01 1.1	Неспр.	1421.67	Неспр.	4Ц Електрокорозія підзем. част. опори
5	СКЦ	259	48.30	43.90	1.1	Неспр.	1166.17	Неспр.	3Ц руйнування 10×50мм
6	СКЦ	248	35.70	33.50	1.07	Справ.	10	Справ.	Справна

Примітка: в рядку 4 верхнє число означає, що виміри проводились в надземній, нижнє - в відкопаній частинах опори.

Таблиця 4 – Результати експериментальних досліджень новим методом діагностування

Марка опори	Перевірено опор, шт	Справних опор, шт	Несправних опор, шт	кількість опор, що підлягає заміні, шт	вікова група опор, що підлягає заміні
ЗБК	125	117	8	7	41...45 років
СКЦ	115	108	7	6	26...35 років
Разом	240	225	15	13	

За результатами досліджень розраховано інтенсивність заміни опор та їх середній ресурс служби, який складає для марки опор: ЗБК експериментальне – 53,56 років, розрахункове – 50 років; СКЦ експериментальне – 57,5 років, розрахункове – 50,03 років. Встановлено, що експериментальний середній ресурс служби опор збільшується на 7.12% – для опор типу ЗБК і на 15% – опор типу СКЦ, а в середньому має місце збільшення середнього ресурсу на 11%.

У п'ятому розділі розраховано економічний ефект від впровадження вдосконаленого віброакустичного методу діагностування, завдяки якому покращується використання середнього ресурсу опор контактної мережі. Економічний ефект виникає внаслідок скорочення витрат праці на діагностичні виміри.

Розроблений в дисертації метод діагностики опор дозволяє організувати дворівневу схему діагностики. Спочатку опори перевіряють запропонованим методом. Виявлені несправні опори додатково перевіряють більш точними методами з відкопкою. Таким чином зменшується полігон опор для діагностики з відкопкою та витрати праці. Економічний ефект розраховано за даними Придніпровської залізниці. В розрахунках використано загальну кількість залізобетонних опор. Витрати із заробітної плати бригади з трьох чоловік за рік

новим методом діагностування в порівнянні з існуючим зменшуються на 22 905,12 грн. Сумарні витрати на технічне обслуговування зменшуються на 306 960 грн. Термін окупності запропонованого методу складає 0.18 року.

У додатках подано робочу програму дослідження технічного стану залізобетонних опор контактної мережі; акт про використання результатів дисертаційної роботи; характеристика залізобетонних опор Придніпровської залізниці; розрахунок помилок першого та другого роду (y та c); програмне забезпечення; залежність частоти коливань у корпусі опори від висоти заземлення, марки бетону, виносу іонів металу з арматури.

ВИСНОВКИ

На основі проведених експериментальних та теоретичних досліджень у дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача покращення використання середнього ресурсу опор контактної мережі електрифікованого транспорту постійного струму за рахунок діагностування опор розробленим у дисертації методом. Основні наукові результати та висновки дисертації такі:

1. З аналізу досвіду експлуатації опор контактної мережі електрифікованого транспорту можна зробити висновок, що значна кількість опор при досягненні 40-річного терміну експлуатації не вичерпує свого ресурсу, але існують і такі, подальша експлуатація яких може нести загрозу виникнення відмов у роботі системи електропостачання залізниць. Встановлено, що найбільшу загрозу становлять дефекти в підземній частині опори, які можливо визначити без відкопки тільки приладовими засобами. Існуючі методи діагностування опор контактної мережі мають спільний недолік - значні витрати праці на одну опору (понад 3 люд.·год).

2. На середній ресурс опор контактної мережі впливають, у першу чергу, такі фактори, як товщина стінки опори, якість виготовлення опори та тріщиностійкість бетону. У другу чергу - корозія і електрокорозія арматури (60 %), корозія бетону (10 %) та інші фактори.

3. В якості діагностичного параметру, що найбільш інформативно враховує специфіку навантаження опор контактної мережі залізничного транспорту, в дисертації запропоновано розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів x . Значення діагностичного параметра x не залежить від амплітуди коливань опори при нанесенні ударів розробленим пристроєм, що є важливим при визначенні технічного стану.

4. Запропонований діагностичний параметр розподіляється за нормальним законом для справних опор і за логарифмічно нормальним законом для несправних опор.

5. Згідно з аналітичним виразом, отриманим у дисертації, встановлено, що для опор типу СКЦ в умовах Придніпровської залізниці достатньо наносити три удари по опорі.

6. Середній ризик визначення технічного стану опори контактної мережі за запропонованим віброакустичним методом має мінімум при значенні діагностичного параметра $x_0 = 290$ Гц (для опор типу СКЦ).

7. Середній ресурс опор контактної мережі залізничного транспорту збільшується на 15...20 % при використанні запропонованого методу діагностики.

Окрім того, знижуються витрати праці на проведення діагностичних вимірів. Економічний річний ефект по Придніпровській залізниці складає 149 426 грн.

8. Створено програмний комплекс систематизації і обробки діагностичної інформації, запропоновані апаратні засоби для вдосконаленого методу діагностування опор контактної мережі, що захищено патентом на корисну модель. Адекватність методу діагностування перевірена шляхом експерименту.

9. Розроблені в дисертації метод діагностики та рекомендації з покращення використання середнього ресурсу опор контактної мережі залізничного транспорту впроваджено на ділянках Придніпровської залізниці.

Основні положення та результати дисертації опубліковано в таких працях:

1. Полях О. М. Визначення величини відсотка виносу метала підземній частині залізобетонних опор / О. М. Полях // Вісн. Діпропропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – 2007. – № 15. – С. 36 – 40.

2. Кузнецов В. Г. Визначення факторів, що впливають на довговічність залізобетонних опор контактної мережі / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях // Вісн. Діпропропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – 2007. – № 19. – С. 55 – 60.

3. Кузнецов В. Г. Визначення науково обґрунтованого значення діагностичного параметру при віброакустичному методі діагностики залізобетонних опор / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях // Залізничний трансп. України. – 2008. – № 2. – С. 46 – 50.

4. Кузнецов В. Г. Визначення необхідної кількості замірів для вдосконаленого віброакустичного метода діагностики залізобетонних опор контактної мережі / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях // Вісн. Діпропропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – 2008. – № 20. – С. 58 – 62.

5. Пат. на корисну модель, 33089 Україна, МПК⁷ В60М 1/00. Спосіб визначення стану залізобетонної опори контактної мережі / Полях О. М., Кузнецов В. Г.; заявник і власник Дніпропетр нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, u 2008 01473; заявл. 05.02.08; публік. 10.06.08, Бюл. № 11.

Додаткові праці:

6. Полях О. М. Економічна ефективність застосування вдосконаленого методу діагностування залізобетонних опор контактної мережі / О. М. Полях // Зб. наук. пр. – Донецького ІЗТ. – 2008. – Вип. 13. – С. 151 – 155.

7. Пат. на корисну модель, 31991 Україна, МПК⁷ В60М 1/00. Ударний пристрій віброакустичного діагностування / Полях О. М.; заявник і власник Дніпропетр нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. u 2008 00118; заявл. 02.01.08; публік. 25.04.08, Бюл. № 8.

8.4. Сиченко В. Г. Підвищення довговічності та надійності стійок залізобетонних опор контактної мережі / В. Г. Сиченко, О. М. Полях, О. С. Кучмій // ОНПУ. Вип. Підйомно - транспортна техніка. – 2008. – № 2. – С. 70 – 79.

9. Полях А. Н. Проблема обеспечения надежности железобетонных опор контактной сети при помощи диагностики / А. Н. Полях // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: 65-я междунар. науч.-практ. конф., 19-20 мая 2005 г.: тезисы. – Дн., 2005. – С. 144 – 145.

10. Полях А. Н. Исследование собственных колебаний железобетонных опор контактной сети при выносе металла / А. Н. Полях // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: 66-я междунар. науч.-практ. конф., 11-12 мая 2006 г.: тезисы. – Дн., 2006. – С. 147.

11. Полях О. М. Визначення факторів, що впливають на довговічність стійок залізобетонних опор контактної мережі / О. М. Полях, В. Г. Кузнецов // Електрифікація залізничного транспорту: I міжнарод. науч.-практ. конф., 3-6 октябрь 2007 г.: тезисы. – Дн., 2007. – С. 53.

12. Полях О. М. Новий прилад діагностування залізобетонних опор контактної мережі / О. М. Полях // Електрифікація залізничного транспорту: II міжнарод. науч.-практ. конф., 30 сентября - 4 октября 2008 г.: тезисы. – Дн., 2008. – С. 55.

13. Полях О. М. Вдосконалення методів діагностування залізобетонних опор контактної мережі / О. М. Полях // Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи: зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф., 29-30 травня 2008 р. – Дн., 2008. – С. 75 – 76.

14. Полях А. Н. Устройство для контроля железобетонных опор контактной сети / А. Н. Полях // Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте : материалы 8-го междунар. науч.-техн. семинара, 26-28 февраля 2008 г., г. Свалява, Карпаты. – К., 2008. – С. 195 – 197.

15. Полях О. М. Покращення використання середнього ресурсу залізобетонних опор контактної мережі / О. М. Полях // Електрифікація транспорту: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., 3-5 червень 2009 р. – Дн., 2009. – С. 61 – 62.

АНОТАЦІЯ

Полях О. М. Покращення використання середнього ресурсу опор контактної мережі електрифікованого транспорту постійного струму. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2010.

Дисертаційна робота присвячена покращенню використання середнього ресурсу опор контактної мережі шляхом вдосконалення віброакустичного методу діагностування з новим діагностичним параметром x (розкид частоти спектрів з максимальною амплітудою).

У роботі проведено аналіз досвіду експлуатації, особливостей роботи опор контактної мережі, аналіз сучасних методів і апаратури діагностування для оцінки стану опор контактної мережі. Визначено фактори, що впливають на середній ресурс опор контактної мережі електрифікованого транспорту на різних етапах. Досліджено вплив виносу іонів металу при електрокорозії, імовірісно-статистичну обробку даних товщини стінок взятої партії опор марки СК 13.6-02.8жд. Обґрунтовано вибір діагностичного параметра.

Вперше встановлено імовірісну природу розподілу розкиду частот гармонік з максимальною амплітудою у справних і несправних опор контактної мережі.

Вперше отримано аналітичний вираз для визначення граничного значення запропонованого діагностичного параметра під час встановлення діагнозу, що враховує специфіку навантаження й руйнування опор контактної мережі залізничного транспорту в процесі їх експлуатації. Встановлено необхідну кількість вимірів для нового методу діагностики опор контактної мережі. Розроблено апаратні засоби методу діагностування та програму обробки діагностичної інформації. Проведено прогнозування середнього ресурсу опор контактної мережі з використанням вдосконаленого методу.

Ключові слова: опора контактної мережі, діагностування, діагностичний параметр, метод діагностування, кількість вимірів, апаратне забезпечення, прилад діагностування, середній ресурс.

АННОТАЦИЯ

Полях А. Н. Улучшение использования среднего ресурса опор контактной сети электрифицированного транспорта постоянного тока. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.09 - электротранспорт. - Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2010.

Диссертационная работа посвящена улучшению использования среднего ресурса опор контактной сети электрифицированного транспорта постоянного тока путем усовершенствования виброакустического метода диагностирования с новым диагностическим параметром x (разброс частоты спектров с максимальной амплитудой).

На электрифицированных железных дорогах Украины более 22,9 % опор находятся в эксплуатации выше нормативного срока и подлежат ежегодному диагностированию. В работе проведен анализ опыта эксплуатации и причин выхода из строя опор контактной сети. Рассмотрены особенности конструкции и работы железобетонных опор. Установлено, что железобетонная опора контактной сети несет неодинаковые нагрузки как по периметру, так и по высоте, ее эксплуатация сильно отличается от опор воздушной линии. Этот факт требует специальных методов диагностики опор контактной сети, которые применяются на железнодорожном транспорте. Проведен анализ современных методов и аппаратуры диагностирования для оценки технического состояния опор контактной сети. Определены их преимущества и недостатки. Один недостаток объединяет их - это большие затраты времени на диагностирование опор. Анализ литературных источников показал, что внедрение экспресс-контроля и методов технического диагностирования есть одним из способов, позволяющих улучшить использование среднего ресурса опор контактной сети электрифицированного транспорта постоянного тока.

В работе определены факторы, которые влияют на средний ресурс железобетонных опор контактной сети на различных этапах проектирования, изготовления, транспортирования, монтажа и эксплуатации: влияние выноса ионов металла при электрокоррозии арматуры опоры; влияние материалов и технологий. Наиболее существенным фактором есть коррозия арматуры, которая, в свою очередь, зависит от толщины стенки опоры (защитного слоя бетона), от

разрушения которой зависит время начала коррозии арматуры. Вероятностно-статистическая обработка данных толщины стенок "а" подчиняется нормальному закону распределения как у вершины опоры, так и у ее основания с такими параметрами: математическое ожидание $m_a = 52,133$ мм – у вершины опоры, $m_a = 56,61$ мм – у основания опоры; дисперсия $D_a^* = 16,439$ – у вершины опоры, $D_a^* = 13,77$ – у основания опоры; доверительный интервал для математического ожидания у вершины $51,299 < m_a < 52,967$ мм, у основания $55,8 < m_a < 57,3$ мм; среднеквадратическое отклонение составляет у вершины $3,549 < \sigma_a < 4,773$ мм, у основания $3,25 < \sigma_a < 4,37$ мм. Установлено, что из партии опор, взятой для исследования, в эксплуатацию на железную дорогу, поступило 20 % опор, которые не отвечают требованиям ДСТУ Б В.2.6-21-2000 (ГОСТ 19330 - 99) по толщине стенки. Получено уравнение для определения величины выноса ионов металла в процентах при изменении собственной частоты опоры: $k = A \cdot v^2 + B \cdot v + C$. Собственная частота опоры при 100 % выносе ионов металла изменяется на 4 %. Зависимость несущей способности от выноса ионов металла для опоры имеет выражение: $M = -3,739 \cdot k^2 + 11,234 \cdot k$. При использовании бетона марок В20 и В40 собственная частота опоры при α_6 составляет разницу 30 Гц. При отклонении высоты заземления на 20 см при α_6 составляет разницу 10 Гц.

Изложены научные положения нового метода диагностирования. На базе энтропии выбран и научно обоснован новый диагностический параметр x (разброс частот гармоник с максимальной амплитудой спектров возбужденной опоры) по средней информации о состоянии железобетонных опор $J_D(B) = 0,245$, который есть большим относительно других диагностических параметров. Установлен закон распределения диагностического параметра исправных и неисправных железобетонных опор типа СКЦ Приднепровской железной дороги. Диагностический параметр x распределяется по нормальному закону для исправных опор и по логарифмическому нормальному закону для неисправных опор. Параметры этих законов: для исправных опор математическое ожидание диагностического параметра x составило $\mu_1 = 65,97$ Гц; для неисправных - $\mu_2 = 707,27$ Гц; средние квадратические отклонения диагностического параметра x соответственно составили для исправных $\sigma_1 = 44,37$ Гц и $\sigma_2 = 285,5$ Гц для неисправных опор. Научно обоснована граничная величина диагностического параметра при новом методе диагностики железобетонных опор. Определено необходимое количество измерений для нового метода диагностики опор контактной сети. Выполнено прогнозирование среднего ресурса железобетонных опор контактной сети при использовании предложенного метода диагностирования.

Проведено экспериментальное подтверждение полученных теоретических результатов. Для этого разработано аппаратное обеспечение прибора ВД – 01 диагностирования опор контактной сети. Произведен выбор микрофона и исследование необходимого расстояния от микрофона до опоры контактной сети. Для разработанного ударного устройства рациональным условием измерения параметра x есть расстояние от опоры до микрофона, которое составляет 20...27

см. Оптимальная высота нанесения удара по опоре тарированным ударным устройством составляет 1...2 м от уровня земли. Разработано программное обеспечение предложенного метода. Произведено сравнение нового метода с существующими, результаты отличаются на 4,5...6,6 %. Выполнено экспериментальное определение среднего ресурса железобетонных опор контактной сети при использовании предложенного метода диагностирования. Экспериментальный средний ресурс опор увеличивается на 7,12 % для опор типа ЖБК и на 15 % - для опор типа СКЦ, а в среднем ресурс увеличивается на 11 %.

Рассчитана экономическая эффективность улучшения использования среднего ресурса железобетонных опор. На Приднепровской железной дороге суммарные затраты на техническое обслуживание второго варианта меньше на 306 960, грн. Приведенные затраты на реализацию мероприятий по эксплуатации предложенным методом диагностирования меньше от существующего на 5 346,82 грн. Окупаемость предложенного метода составит 0,18 года.

Ключевые слова: опора контактной сети, диагностирование, диагностический параметр, метод диагностирования, количество измерений, аппаратное обеспечение, прибор диагностирования, средний ресурс.

ABSTRACT

Polyah O.M. The improvement of using the average resource of contact line supports on direct-current electrified transport. – The manuscript.

The dissertation for candidate degree in technical sciences by speciality 05.22.09 – electric transport. - Dnepropetrovsk national university of railway transport named by academician V. Lasarian, Dnepropetrovsk, 2010.

Dissertation is dedicated to the improvement of the average resource of a contact line support by improving the method of vibroacoustic diagnosis with a new diagnostic parameter x (difference of frequency spectrum with a maximum amplitude).

The author gave the analysis of maintenance, features of work of contact line's supports, analysis of modern methods and diagnostic devices that can estimate the state of contact line's supports. A lot of causes that influence on the average resource of contact line supports of the electrified transport on the different stages are investigated. It's explored the influencing of bearing-out of metal' ions to electro-corrosion; it's done the probabilistic-statistical processing of thickness of walls of the given party of supports СК 13.6-02.8жд. The choice of diagnostic parameter is validated.

Probabilistic nature of diagnostic parameter is explored (for supports in working condition and for defective ones). The author gave the analytical expression for determination the maximum value of the offered diagnostic parameter during determination of diagnosis. This expression takes into account the specific of loading and destruction of contact line's supports of railway transport during their maintenance.

It's calculated the necessary number of measurements for a new diagnostic method. A hardware method of diagnosis and treatment program that processes diagnostic information is created. In the last part of dissertation the author gave the prediction of the average resource of contact line support using created diagnostic methods.

Key words: contact line, diagnosis, diagnostic parameter, the diagnostic method, the number of measurements, hardware, diagnostic device, average resource.

ПОЛЯХ Олександр Миколайович

**ПОКРАЩЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДНЬОГО РЕСУРСУ ОПОР
КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНОГО ТРАНСПОРТУ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Автореферат

на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Формат паперу 60x84 1/16.

Ум. др. арк. 0,9. Обл.-вид. л. 1,0. Тираж 100 пр.

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №1315 від 31.03.03

Адреса університету і дільниці оперативної поліграфії:

49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

www.diitrvv.dp.ua