

5. Вибє И. И. Новое о рабочем цикле двигателей / И. И. Вибє. - М.: МАШГИЗ, 1962. - 271 с.

6. Никитин Е.А. Диагностирование дизелей / Е. А. Никитин, Л. В. Станиславский, Э. А. Улановский и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.

7. Diesel Engine Performance Analyzing System D4.0H: depas.odessa.ua [Электрон. ресурс] // URL: [http://depas.od.ua/pdf/DEPAS\\_Handy\\_brochure\\_rus\\_Print.pdf](http://depas.od.ua/pdf/DEPAS_Handy_brochure_rus_Print.pdf).

8. Varbanets R. Analyse of marine diesel engine performance / R. Varbanets, A. Karianskiy // Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects. Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology. - 2012. - Vol. 7. \_ No. 1. - pp. 269–275.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Ерыганов Алексей Валериевич,**

к.т.н., доцент кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета (ОНМУ).

Ул. Мечникова, 34, Одесса, 65029, Украина.

Тел.: +38 048 728 25 64.

E-mail: office@onmu.odessa.ua.

**Варбанец Роман Анатольевич,**

д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» ОНМУ.

Ул. Мечникова, 34, Одесса, 65029, Украина.

E-mail: roman.varbanets@gmail.com.

**Рухомий склад**

УДК 629.423.31

DOI: 10.34029/2311-4061-2020-135-2-44-48

*Інженер Тарасюк В. М*

*Канд. техн. наук Балійчук О. Ю.*

*Канд. хім. наук Мельник Т. М.*

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОВОЗИВ І ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ**

*Ключеві слова:* залізниці, тяговий рухомий склад, тягові електричні двигуни, ресурс, капітальний ремонт, електрична ізоляція, діагностика

**Вступ**

Підвищення після капітального ремонту ресурсу тягових електричних двигунів тягового рухомого складу залізниць в процесі експлуатації є надзвичайно актуальним для ремонтно-експлуатаційного комплексу АТ «Укрзалізниця». Одним із завдань капітального ремонту тягових електричних двигунів (ТЕД) є відновлення ізоляційних властивостей їх обмоток і забезпечення справної роботи й ресурсу двигуна в межах його міжремонтних пробігів. Виходячи із встановленої послідовності виконання видів ремонту ТЕД в одному циклі від початку експлуатації

до наступного капітального ремонту другого обсягу (КР-2) чи ремонту з подовженням строку служби (КРП) і затверджених міжремонтних пробігів для електровозів та електропоїздів впливає, що пробіги для цього тягового рухомого складу (ТРС) вищі від пробігів встановлених для їх ТЕД [1, 2]. Підвищення ресурсу ТЕД до забезпечення встановлених пробігів на капітальний ремонт КР-2 (КРП) ТРС дозволяє покращити експлуатаційні показники цього рухомого складу і отримати значний економічний ефект. При цьому велике значення має своєчасне і достовірне діагностування технічного стану ізоляції обмоток ТЕД, що надає можливість своєчасно проводити ремонти електричних машин рухомого складу та подовжувати ресурс експлуатації цих виробів.

**Мета роботи**

Визначення та дослідження методів діагностування експлуатаційного стану ізоляції нового покоління електричних обмоток ТЕД залізничного тягового рухомого складу для підтвердження можливості підвищення ресурсу тягових електродвигунів до пробігів встановлених на капітальні ремонти КР-2 (КРП) для цього рухомого складу.

**Аналіз існуючих рішень**

Існуюча діагностика технічного стану електричних машин залізничного рухомого складу під час його експлуатації та ремонту

полягає у перевірці підшипникових вузлів, щіткових апаратів та інших деталей, контролі обмоток і їх електричної ізоляції. Визначення технічного стану електричної ізоляції базується на вимірюванні опору ізоляції та випробуванні її електричної міцності. Чинною нормативною документацією встановлені мінімальні значення опору ізоляції та норми випробувальної напруги на кожен тип тягових електричних машин. Як показує досвід, передбачених показників недостатньо для надійного прогнозування подальшої роботи електроізоляційних систем цих електричних машин.

#### Основна частина дослідження

Одними із можливих напрямків у підвищенні ресурсу ТЕД після капітального ремонту є застосування комплексу електроізоляційних матеріалів нового покоління з високими експлуатаційними характеристиками, впровадження більш досконалих технологій просочування обмоток, а також якісна діагностика технічного стану ізоляції обмоток ТЕД під час ремонту та подальшої експлуатації.

Починаючи з 2012 року на заводах з ремонту рухомого складу АТ «Укрзалізниця» при капітальних ремонтах ТЕД використовуються покращені системи ізоляції *Термоліт*, основними компонентами яких є компаунди *Елпласт*<sup>®</sup> та слюдяні стрічки *Елізтерм*<sup>®</sup> вітчизняного виробника НПП «Укрпромвпровадження» [3, 4].

На теперішній час в капітальний ремонт почали надходити ТЕД, раніше відремонтовані із застосуванням цих нових електроізоляційних матеріалів. Контроль їх технічного стану після експлуатації показує наступне:

- ізоляція полюсних і якірних обмоток має задовільний зовнішній стан;
- опір ізоляції щонайменше в тричі вищий від встановлених норм;
- обмотки успішно проходять випробування на електричну міцність.

Такі результати додатково підтверджують високі електрофізичні характеристики компаундів *Елпласт*<sup>®</sup> та стрічок слюдяних *Елізтерм*<sup>®</sup>. Отримана експлуатаційна надійність системи ізоляції *Термоліт* дає підстави припустити, що її ресурс достатній для експлуатації тягових електричних машин в межах пробігу до КР-2 (КРП) встановлених для електровозів і електропоїздів.

Контроль опору і випробування обмоток ТЕД на електричну міцність, які передбачені діючою нормативною документацією на їх ремонт, не дозволяють об'єктивно оцінити залишковий ресурс наявної системи ізоляції. Зазначені показники вказують тільки на наявність дрібних зосереджених та грубих дефектів електричної ізоляції. В той же час старіння електричної ізоляції супроводжується утворенням дефектів розподілених по всьому об'єму обмотки і які не завжди є критичними під час контролю її електричного опору і випробування електричної міцності.

Достовірність діагностики електричної ізоляції визначається ступенем зв'язку її реального технічного стану з показниками, що його відображують, а також зв'язком значень контрольованих показників з дійсним технічним станом ізоляції при різноманітних видах її дефектів. Підвищити достовірність діагностики ізоляції обмоток електричних машин можна запровадивши додаткові інформативні показники контролю її технічного стану. Для електричної ізоляції окрім опору та електричної міцності такими показниками є: коефіцієнт абсорбції, індекс поляризації, коефіцієнт діелектричного розряду, тангенс кута діелектричних втрат та інші.

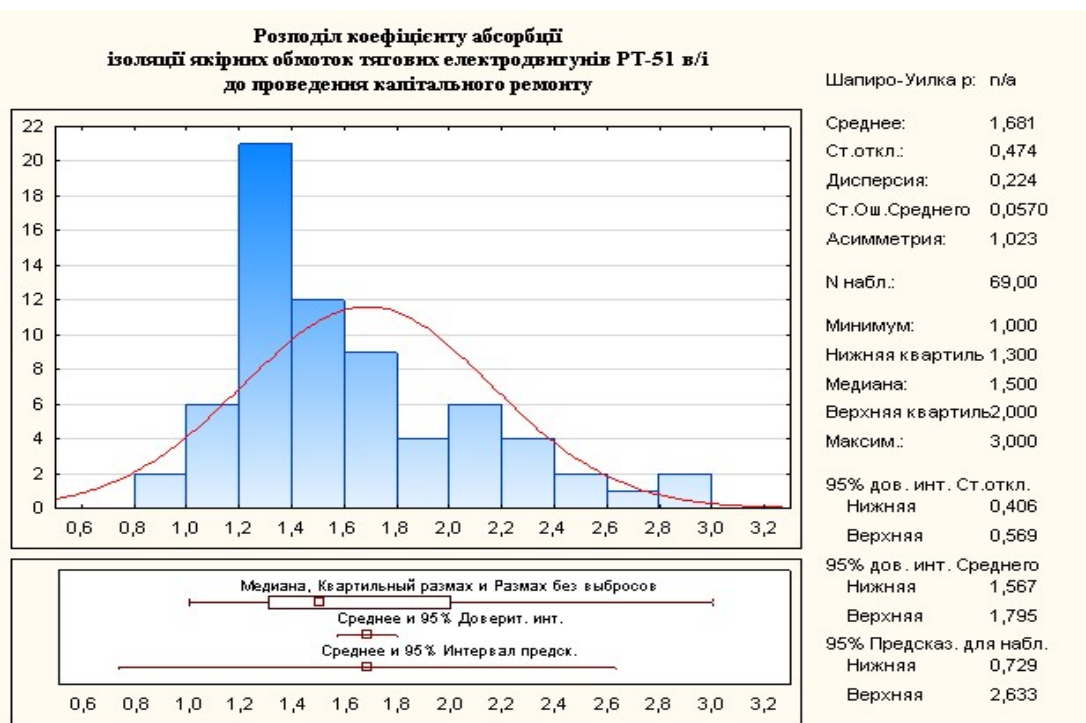
У фундаментальній роботі Д. Вайди доведено, що значний об'єм інформації про внутрішній стан ізоляції, і зокрема, про ступінь незворотних змін її структури та діелектричної властивості, несуть абсорбційні характеристики ізоляційного матеріалу, особливо на початковому інтервалі часу їх вимірювань [5]. В якості показників, що визначають абсорбційні властивості електроізоляційних систем ТЕД можуть бути: коефіцієнт абсорбції, зворотна напруга або частотна залежність ємності ізоляції. Для ремонтних підприємств та експлуатаційних депо можна запровадити показник коефіцієнту абсорбції  $K=R_{60}/R_{15}$ , визначення якого полягає у розрахунку відношення опорів ізоляції вимірюваних на 60-й і 15-й секундах від початку випробування [6, 7, 8].

З метою дослідження змін абсорбційних характеристик систем ізоляції електричних машин рухомого складу було проведено визначення коефіцієнту абсорбції для якірних обмоток ТЕД електропоїздів. Вимірювання опору виконувалось за допомогою цифрового високовольтного тестера BakerDS 265 (США). Усього було досліджено 327 якорів

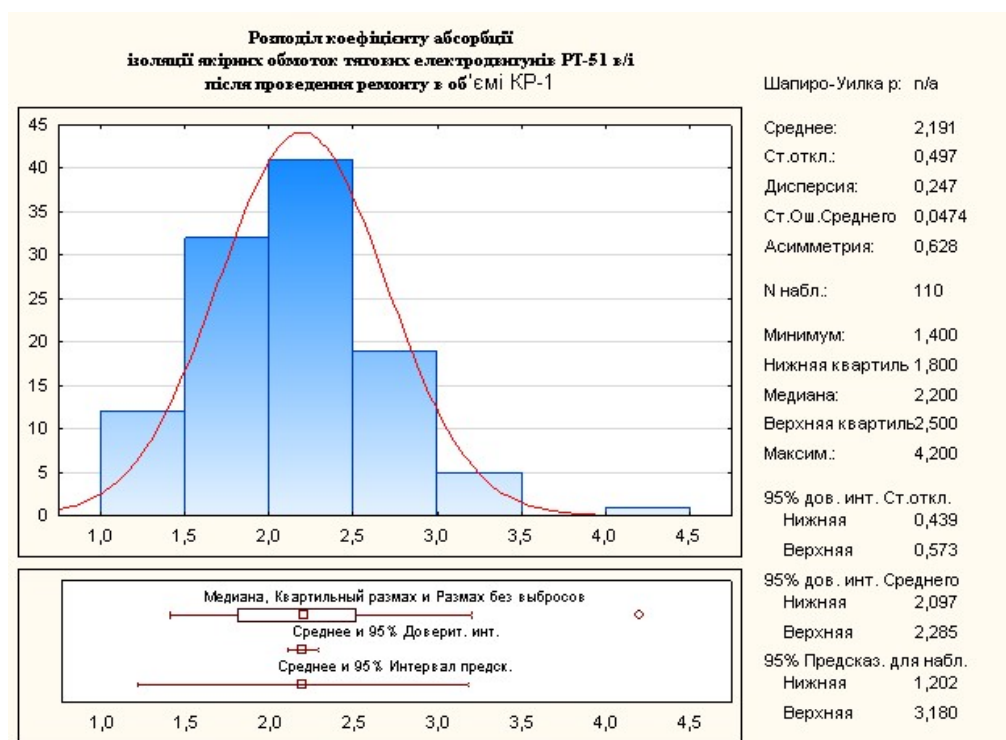
## РУХОМИЙ СКЛАД

РТ-51 ТЕД, із них: 110 після виконання КР-2 і 110 після КР-1, які ремонтувались із застосуванням системи ізоляції *Термоіт-F*. Також було проведено 107 вимірів перед виконанням ремонтів. На рисунках 1-3 зображені

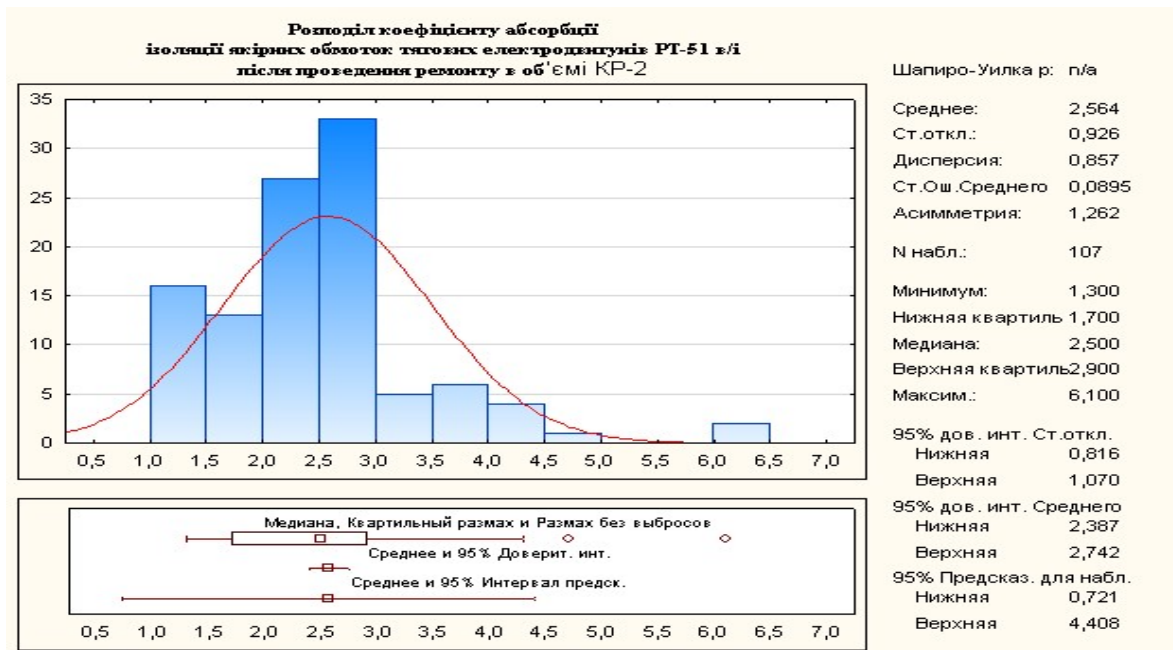
результати обробки статистичних даних за результатами проведених досліджень абсорбційних характеристик обмоток якорів ТЕД електропоїздів.



*Рис. 1 – Результати визначення коефіцієнтів абсорбції для якорних обмоток РТ-51 ТЕД перед проведенням капітальних ремонтів (середній пробіг 1800 тис. км)*



*Рис. 2 – Результати визначення коефіцієнтів абсорбції для якорних обмоток РТ-51 ТЕД після проведення капітальних ремонтів в об'ємі КР-1*



*Рис. 3 – Результати визначення коефіцієнтів абсорбції для якорних обмоток РТ-51 ТЕД після проведення капітальних ремонтів в об'ємі КР-2*

Аналізуючи наведені гістограми і графічні залежності можна стверджувати, з імовірністю 95 %, про те, що:

- нова ізоляція (після КР-2) має коефіцієнт абсорбції 2,5 і вище;
- ізоляція, яка пройшла відновлення своїх діелектричних характеристик (після КР-1) має коефіцієнт абсорбції 2,1 і вище;
- ізоляція, яка потребує відновлення діелектричних характеристик має коефіцієнт абсорбції нижче 1,6.

Отримані залежності дозволяють визначити граничні показники для оцінки експлуатаційного стану електричної ізоляції обмоток ТЕД. Якщо ізоляція має коефіцієнт абсорбції менше 1,6 – це свідчить про те, що ТЕД необхідно відправити на проведення профілактичних заходів із відновлення діелектричних властивостей його обмоток (сушіння, просочування). Ізоляція з коефіцієнтом від 1,6 до 2,1 має структурні зміни, викликані старінням в процесі експлуатації. Рішення щодо подальших дій з ТЕД (ремонт або продовження експлуатації) необхідно приймати з урахуванням отриманих фактичних значень електричного опору і діелектричної міцності ізоляції обмоток. Якщо ізоляція має коефіцієнт абсорбції 2,1 і вище, а опір та електрична міцність обмоток відповідають вимогам Правил ремонту ЦТ-0204 [1] – це вказує на те, що ресурс ізоляції достатній для подальшої

експлуатації ТЕД в межах пробігу до КР-1. Такий підхід до діагностування дозволяє визначити реальний технічний стан ізоляції обмоток ТЕД та підвищити їх ресурс роботи, з забезпеченням необхідного рівня безпеки руху поїздів, до встановлених пробігів ТРС на якому встановленні ці електродвигуни.

### Висновки

Отримані рівні коефіцієнтів абсорбції ізоляції обмоток можна застосувати для діагностики стану якорів РТ-51 ТЕД, відремонтованих із застосуванням системи ізоляції **Термоліт-F**, з метою забезпечення можливості їх ремонту по технічному стану та підвищення експлуатаційного ресурсу.

Результати проведених досліджень дозволяють розробити методику діагностування технічного стану ізоляції обмоток ТЕД, відремонтованих із застосуванням системи ізоляції **Термоліт**, для визначення необхідності виконання капітального ремонту тягових електродвигунів чи продовження їх експлуатації до пробігів тягового рухомого складу, на якому вони встановленні, а саме до термінів виконання КР-2 (КРП). Подібну методику можна застосувати також для діагностування допоміжних електричних машин рухомого складу, які відремонтовані в об'ємі КР-2 із застосування компаундів **Елпласт**<sup>®</sup> та слюдяних стрічок **Елізтерм**<sup>®</sup> [9, 10].

Для впровадження запропонованого підходу діагностування електричних машин необхідні подальші дослідження абсорбційних характеристик якірних і полюсних обмоток інших типів ТЕД тягового рухомого складу, з використанням цифрових портативних приладів, які на теперішній час випускаються вітчизняними підприємствами. На підставі статистичної обробки отриманих результатів доцільно створити базу даних для визначення нормативних показників, які будуть застосовуватись під час діагностики електричної ізоляції ТЕД та інших електричних машин залізничного тягового рухомого складу.

### *Література*

1. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів: ЦТ-0204., №105.86000.94111 – Затв. Наказом Укрзалізниці від 28.07.2011 р. № 451-Ц – Київ: Укрзалізниця, 2012. – 360 с. – (Галузевий норм. докум.).

2. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель-поїздів). – Затв. наказом Укрзалізниці від 15.10.2015 р., № 429/Ц. – Київ: Укрзалізниця, 2015. – 15 с. – (Галузевий норм. докум.).

3. Мельник Т.М. Впровадження енергозберігаючих технологій при капітальних ремонтах тягових електродвигунів / Т.М. Мельник, В.М. Тарасюк // Локомотив-інформ. - 2017. - № 03-04 (129-130). – С. 28-31.

4. Электроизоляционные материалы и системы изоляции для электрических машин : в двух книгах: кн. 2 / В. Г. Огоньков и др. : под ред. В. Г. Огонькова і С. В. Серебрянникова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Издательский дом МЭИ, 2018. – 314 с.

5. Вайда Д. Исследование поврежденных изоляции / Д. Вайда. - М.: Энергия, 1968. – 400 с.

6. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов [2-е изд., перераб. и доп.] / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. - М.: Высш. шк., 2007. - 535 с.

7. Гуменюк В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем: учеб. пособие для вузов / В.М. Гуменюк. — Владивосток:

Изд-во Дальневост. гос. техн. ун-та, 2010. – 218 с.

8. Барэмбо К.Н. Сушка, пропитка и компаундирование обмоток электрических машин / К. Н. Барэмбо, Л.М. Бернштейн. – Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 368 с.

9. Балійчук О.Ю. Термін служби допоміжних машин електропоїздів змінного струму / О.Ю. Балійчук // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. - 2015. - № 2 (56). - С. 116-125.

10. Мельник Т.М. Нове покоління електроізоляційних матеріалів вітчизняного виробництва – гарантія надійності тягових електричних машин / Т. М. Мельник // Локомотив-інформ. – 2016. - № 9-10 (123-124). – С. 26-31.

### **ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Тарасюк Василь Миколайович**, заступник головного технолога ПрАТ «Київський електровагоноремонтний завод».

Вул. Ползунова, 2, м. Київ, 03049, Україна.

Тел.: +38 066 552 00 20.

E-mail: tyrik1109@gmail.com.

**Балійчук Олексій Юрійович**, к.т.н., завідувач лабораторії кафедри «Електротехніка та електромеханіка» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010, Україна.

Тел.: +38 066 400 64 23.

E-mail: lejikbaliychuk@gmail.com.

**Мельник Тетяна Михайлівна**, к.х.н., технічний директор ТОВ «НВП «Укрпромвпровадження» Вул. Мишуги, 2, оф.416, м. Київ, 02141, Україна.

Тел.: +38 044 574 72 02.

E-mail: info@upv.kiev.ua.