

УДК 621.33

## Восстановление лакового слоя изоляционных пальцев ТЭД с применением установки инфракрасного нагрева камерного типа

И. О. Лобыцин<sup>1</sup>, Е. Ю. Дульский<sup>2</sup>, Н. А. Баранов<sup>1</sup>, В. А. Кручек<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), 129626, Россия, Москва, ул. 3-я Мытищинская, 10

<sup>2</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15

<sup>3</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Лобыцин И. О., Дульский Е. Ю., Баранов Н. А., Кручек В. А. Восстановление лакового слоя изоляционных пальцев ТЭД с применением установки инфракрасного нагрева камерного типа // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 3. С. 142–153. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-03-142-153

### Аннотация

**Цель:** на основании углубленного анализа причин повреждения изоляционных пальцев тяговых двигателей электровозов необходимо разработать способ повышения их эксплуатационной надежности. Наиболее эффективным способом получения требуемого результата является применение усовершенствованной технологии восстановления электроизоляционного лакового слоя изоляционных пальцев с использованием терморadiационного нагрева. Реализация перспективной технологии в деповских условиях возможна с применением установки инфракрасного нагрева камерного типа, в блок управления которой заложен наиболее оптимальный режим энергоподвода, определенный в ходе экспериментальных исследований на лабораторной установке комбинированного нагрева. **Методы:** наиболее значимые результаты работы были получены благодаря экспериментальным исследованиям электрической и механической прочности отвержденного электроизоляционного лакового слоя изоляционных пальцев. Кроме того, в процессе проведения работ по определению оптимального режима энергоподвода применялись методы конечно-элементного моделирования тепловых процессов. **Результаты:** разработана конструкция лабораторной установки комбинированного инфракрасного нагрева, благодаря которой определен оптимальный режим сушки изоляционных пальцев, заложенный в работу промышленной установки камерного типа для сушки комплекта изоляционных пальцев. Также определена зависимость пробивного напряжения и твердости наружной поверхности изоляционного пальца, связывающая его механические и диэлектрические свойства. **Практическая значимость:** результаты работы могут быть использованы для совершенствования существующих технологий деповского и заводского ремонта изоляционных пальцев, в частности для создания серии промышленных установок инфракрасного нагрева в сервисные локомотивные депо. Стоит также отметить, что полученная кривая зависимости твердости и пробивного напряжения в перспективе позволит проводить оценку электрической прочности изоляционных пальцев косвенным способом по параметру твердости наружного лакового слоя.

**Ключевые слова:** тяговый электродвигатель, подвижной состав, изоляционные пальцы, электроизоляционный лак, сушка, инфракрасное излучение, механические характеристики, сушильная камера

## Введение

В процессе эксплуатации тяговый подвижной состав (далее — ТПС) подвергается комплексному воздействию сторонних факторов, негативно сказывающихся на работоспособности отдельных деталей и узлов. Из множественного числа факторов особое влияние стоит уделить динамическим воздействиям от подвижного состава и путевой инфраструктуры на ТПС, а также климатическим условиям эксплуатации. Именно их воздействие с учетом своего накопительного эффекта приводит к повышению unplanned ремонтов и ежегодно увеличивающейся статистике отказов.

Поддержание механической и электрической части локомотивов в исправном состоянии является залогом долгого и стабильного выполнения тонно-километровой работы на железных дорогах. Достигается это не только эксплуатацией локомотивов в оптимальных режимах работы, но и своевременным обслуживанием и качественным ремонтом в деповских условиях. Для наиболее нагруженных и критически важных конструктивных элементов, таких как тяговые электродвигатели (далее — ТЭД), вопросы поддержания надежности имеют высокую значимость.

На сегодняшний день применяется ряд мероприятий, направленных на повышение надежности работы тяговых двигателей, связанных с усовершенствованием материалов изготовления деталей, в том числе электроизоляционных, и изменением его конструктивного исполнения, что способствовало существенному сокращению unplanned ремонтных работ. При анализе статистики отказов тяговых двигателей грузовых электровозов за предшествующие 5 лет (рис. 1) определены группы элементов ТЭД, наиболее подверженные отказам, что указывает на необходимость продолжения работ в направлении повышения надежности [1].

Наиболее значимая доля отказов ТЭД приходится на коллекторно-щеточный аппарат [2]. Объясняется это в первую очередь работой элементов в условиях

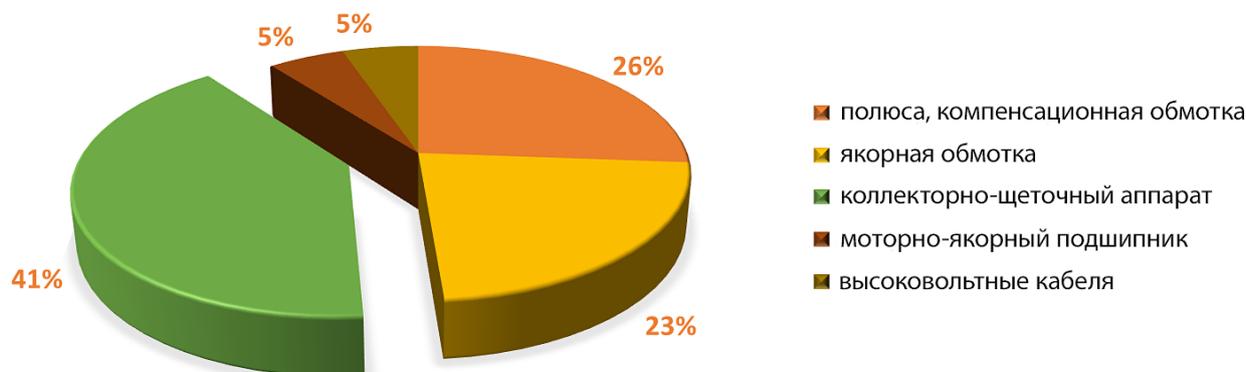


Рис. 1. Диаграмма распределения повреждений ТЭД электровозов по группам оборудования

динамических, электрических и вибрационных воздействий. Особенно данным воздействиям подвержены изоляционные пальцы кронштейнов щеткодержателей ТЭД, являющиеся элементами крепления щеточного аппарата к поворотной траверсе и диэлектрическим элементом, защищающим от перехода тока на корпус.

В статье представлены результаты работы, полученные в ходе создания новой технологии восстановления электроизоляционного лакового слоя изоляционных пальцев ТЭД. Предлагаемая технология восстановления электроизоляционного лакового слоя с применением инфракрасного нагрева имеет ряд преимуществ в сравнении с существующей технологией деповского ремонта, а главное, позволяет повысить надежность работы изоляционных пальцев в эксплуатации.

### **Существующая технология ремонта изоляционных пальцев**

Изоляционные пальцы служат креплением для щеточного аппарата ТЭД постоянного тока грузовых электровозов и представляют собой стальные шпильки, на которых сформован цилиндрической геометрии специальный прессовочный материал с нанесенным электроизоляционным составом.

Главными причинами перекрытия и пробоя изоляционных пальцев принято считать влияние различных газовых включений между твердым диэлектриком и токопроводящим щеткодержателем. Накопление объемных электрических зарядов на боковой поверхности пальца и отрицательное влияние увлажненной пыли между токоподводящей клеммой и траверсой также способствует выходу детали из строя [3].

На сегодняшний день восстановление лакового покрытия пальцев проводится по следующей методике: после забора контрольных образцов лака, демонтажа, осмотра и зачистки пальцев на пунктах ремонта (рис. 2, а) деталь помещается в печь (рис. 2, б) и предварительно нагревается. Затем поверхность пальца пропитывается изоляционной эмалью или лаком, используя пропиточный бак, где пальцы остаются до исчезновения пузырьков на поверхности. Далее пальцы высушиваются при температуре 120–140 °С в течение 7 часов и проверяются на электрическую прочность изоляции с помощью испытательной установки.

### **Восстановление электроизоляционного лакового слоя с применением технологии инфракрасного нагрева**

На базе Иркутского государственного университета путей сообщения была разработана технология восстановления изоляции электрических элементов локомотивов с применением терморadiационного нагрева. Данная технология оказалась высокоэффективной, в том числе при восстановлении изоляционных пальцев ТЭД, обеспечивая эффективное удаление растворителя из пропиточных электроизоляционных лаков посредством инфракрасного излучения [4, 5].

*а**б*

Рис. 2. Пункт ремонта изоляционных пальцев (*а*) и сушильная электропечь А123 (*б*)  
(фото И. О. Лобыцина)

Для экспериментального определения оптимального режима восстановления изоляции была спроектирована и сконструирована лабораторная установка комбинированного нагрева изоляционных пальцев, представленная на рис. 3. С применением данной установки удалось подготовить партию опытных образцов изоляционных пальцев, в которой каждый образец отличается режимом восстановления. Изменение режимов проводится путем выбора параметров: расстояние между излучателем и боковой поверхностью образца, время нагрева, температура нагрева, скорость вращения образца.

Полученная партия образцов подверглась ряду испытаний по определению электрической прочности, шероховатости и твердости боковой поверхности с использованием специализированного испытательного оборудования и приборов контроля. Информация о результатах испытаний детально представлена в работах [6–8]. Важно отметить, что определенная часть результатов уже сейчас может найти практическое применение при ремонте изоляционных пальцев. Так, полученная в ходе экспериментальных проверок зависимость пробивного напряжения от твердости лакового слоя изоляционных пальцев (рис. 4) потенциально позволит проводить неразрушающий контроль электрической прочности изоляции пальцев кронштейнов щеткодержателей электрических машин, определяя пробивное напряжение изоляции с экспериментальной погрешностью не более 7% без разрушения диэлектрического слоя и сокращая время проверки каждого изоляционного пальца в 4 раза по сравнению с существующей технологией [8, 9].



- 1 — регулирующие шпильки; 2 — ИК -излучатель с отражателем; 3 — изоляционный палец;  
 4 — подшипник с патроном крепления пальца; 5 — токовые автоматы защиты;  
 6 — кнопки запуска и останова двигателя; 7 — вольтметры; 8 — лампы индикации;  
 9 — регулятор мощности; 10 — тумблеры включения излучателя.

Рис. 3. Общий вид лабораторной установки комбинированного нагрева изоляционных пальцев ТЭД (фото И. О. Лобыцина)

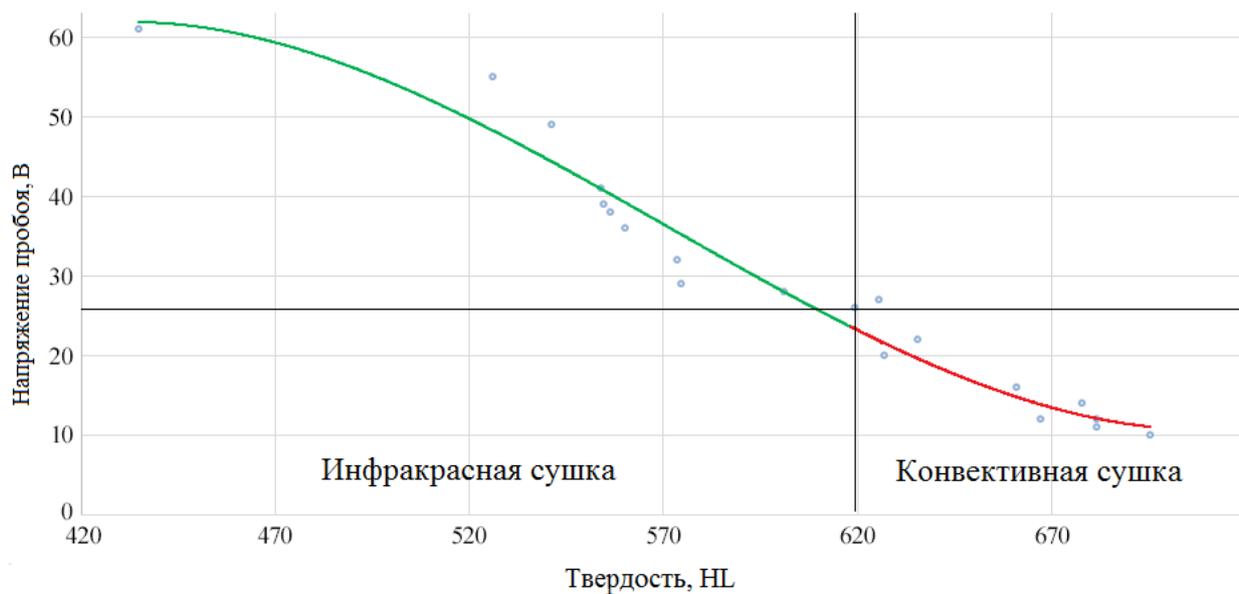


Рис. 4. Зависимость пробивного напряжения от твердости электроизоляционного лакового слоя изоляционных пальцев ТЭД

Итогом лабораторных исследований стало определение режима процесса восстановления электроизоляционного лакового слоя изоляционных пальцев, позволяющего с максимальной скоростью и минимальными энергетическими ресурсами произвести восстановление диэлектрических свойств изоляционных пальцев. Определенный режим сушки включает в себя следующие показатели:

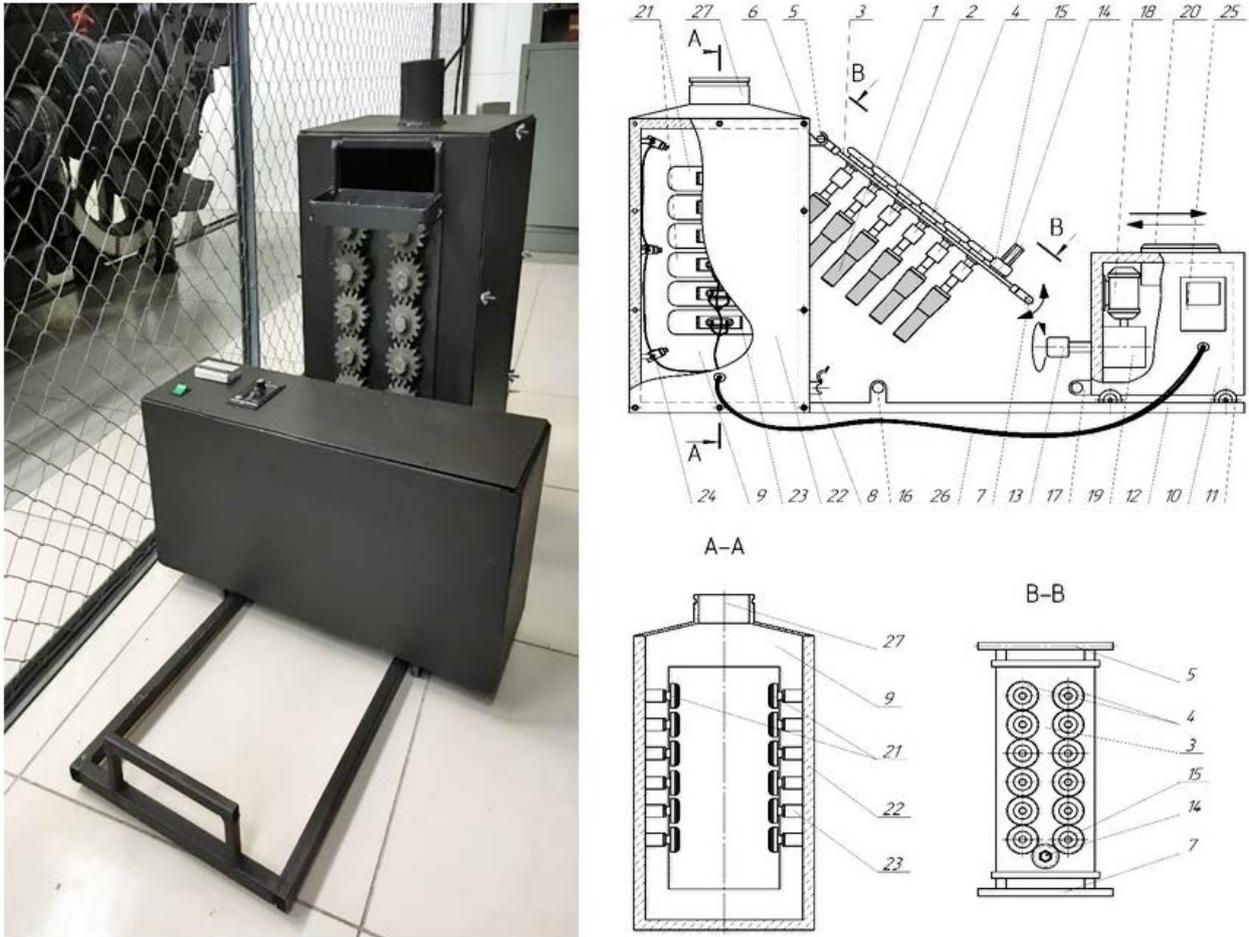
- время предварительного нагрева при температурном диапазоне 70–90 °С — 6 минут;
- время сушки при температуре 120–140 °С — 32 минуты;
- скорость вращения изоляционного пальца — 3 об/мин;
- расстояние между инфракрасным нагревателем и изоляционным пальцем — 50–53 мм.

Выбранный режим был заложен в основу алгоритма управления тепловым полем производственной установки камерного типа (рис. 5) для сушки полного комплекта изоляционных пальцев одного ТЭД, которую можно использовать при выполнении ремонта в условиях депо [10, 11].

Конструкция производственной установки (рис. 5) включает теплоизолированную сушильную камеру (9), оснащенную керамическими инфракрасными излучателями (21) и датчиками температурного контроля (24). Система управления представлена передвижным блоком (10), в который входят электродвигатель (18), червячный редуктор (19), модули управления электродвигателем (20) и температурным режимом (25). Для закрепления изоляционных пальцев (1) используется установочная панель (3) с комплектом шестерней и патронами крепления (2).

Основным преимуществом предлагаемой конструкции является наличие теплоизоляционной сушильной камеры, позволяющей произвести сушку комплекта изоляционных пальцев, состоящего из 12 единиц, с уменьшением тепловых потерь.

Изоляционные пальцы, закрепленные на установочной панели, приводятся во вращение электродвигателем через червячный редуктор и комплект шестерней и размещаются в сушильной камере. Инфракрасные излучатели и датчики температурного контроля обеспечивают поддержание стабильного температурного режима на протяжении всего процесса сушки. Съёмные теплоизоляционные боковые панели (22) камеры снабжены кронштейнами (23) для горизонтального размещения 12 керамических инфракрасных излучателей мощностью 250 Вт каждый, обеспечивающих равномерный нагрев изоляционных пальцев. Температурное поле внутри камеры контролируется датчиками, передающими сигналы в модуль автоматического управления, который регулирует подачу напряжения на излучатели по питающему кабелю (26).



- 1 — изоляционные пальцы кронштейнов щеткодержателей; 2 — патроны крепления; 3 — установочная панель; 4 — ведомые шестерни; 5 — верхняя ручка установочной панели; 6 — подвесной кронштейн; 7 — нижняя ручка установочной панели; 8 — фиксатор; 9 — сушильная камера; 10 — передвижной блок управления; 11 — ролики передвижного блока; 12 — направляющие рейки; 13 — приводной вал с посадочной головкой; 14 — шестигранный вал; 15 — ведущая шестерня; 16 — ограничитель; 17 — кронштейн фиксации передвижного блока; 18 — электродвигатель; 19 — червячный редуктор; 20 — модуль управления электродвигателем; 21 — керамические инфракрасные излучатели; 22 — теплоизоляционные боковые панели; 23 — кронштейны крепления инфракрасных излучателей; 24 — датчики температурного контроля; 25 — модуль автоматического управления температурным полем; 26 — питающий кабель; 27 — вытяжная труба.

Рис. 5. Конструкция устройства камерного типа для сушки полимерной изоляции пальцев кронштейнов щеткодержателей электрических машин (фото И. О. Лобыцина)

Для предотвращения выброса паров растворителя из пропиточного изоляционного состава во время сушки предусмотрена вытяжная труба (27), соединяющая сушильную камеру с вытяжной системой.

В данной технологии изоляционные пальцы устанавливаются в патроны крепления на установочной панели, а съемные ведомые шестерни (4) фиксируют патроны снаружи панели и передают им вращение через зубчатое зацепление. Частота вращения электродвигателя регулируется модулем управления, оборудованным системой защиты от перегрузок.

Верхняя ручка установочной панели (5) расположена на подвесном кронштейне (6), что позволяет удобно помещать изоляционные пальцы в сушильную камеру. Для предотвращения случайных угловых перемещений нижняя ручка установочной панели (7) закрепляется фиксатором (8), обеспечивая горизонтальное положение пальцев во время сушки. Передвижной блок управления установлен на роликах (11) и перемещается по направляющим рейкам (12) к сушильной камере для соединения приводного вала с посадочной головкой (13) и шестигранного вала (14) с ведущей шестерней, (15) входящей в зацепление с ведомыми шестернями. Ограничитель (16) совмещается с кронштейном фиксации передвижного блока (17), предотвращая возможное расцепление валов в процессе эксплуатации.

## Заключение

В результате применения устройства камерного типа для сушки полимерной изоляции пальцев кронштейнов щеткодержателей электрических машин инфракрасным излучением повышается скорость сушки комплекта изоляционных пальцев, формируется равномерный изоляционный слой по их поверхности за счет горизонтального расположения в процессе сушки, а также снижаются дополнительные затраты электроэнергии на нагрев путем снижения тепловых потерь в сушильной камере и выполнения автоматического контроля температурным полем [12].

Установка камерного типа получила производственное применение весной 2023 года при ремонте тяговых двигателей электровозов серий ВЛ80Р в сервисном локомотивном депо «Боготол-Сибирский». Комплекты изоляционных пальцев в ходе системных периодических проверок остаются в исправном состоянии, что положительно отражается на перспективе предлагаемой технологии, которая в будущем может служить альтернативной заменой существующему способу.

## Библиографический список

1. Тычков А. С., Золкин А. Л., Кремнев К. С. Диагностирование тяговых электродвигателей электровозов с применением средств классификации образов // Наука и образование транспорту: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Самара: СамГУПС, 2010. С. 14–16.

2. Зеленченко А. П., Коломиец Д. М. Диагностические параметры коллекторно-щеточного аппарата тягового электродвигателя // Электрификация, развитие электроэнергетической инфраструктуры и электрического подвижного состава скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта: материалы VIII международного симпозиума «Элтранс-2015». СПб.: ПГУПС, 2017. С. 190–191.
3. Харламов В. В., Шкодун П. К., Долгова А. В. Использование математического аппарата теории подобия для оценки износа элементов коллекторно-щеточного узла тягового электродвигателя // Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе: тезисы междунар. науч.-практич. конф., посвящ. 80-летию СГУПС: в 3-х ч. Новосибирск, 2012. Ч. 1. С. 378–380.
4. Дульский Е. Ю. Научные основы теории упрочнения изоляции электрооборудования тягового подвижного состава тепловым излучением: дисс. ... докт. техн. наук. СПб., 2023. 394 с.
5. Исследование существующих методов сушки увлажненной изоляции тяговых электродвигателей локомотива / М. Ю. Хажеева [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2024. Т. 21, № 2. С. 508–516.
6. Лобыцин И. О., Худоногов И. А., Худоногов А. М. Управление микрошероховатостью в технологии восстановления изоляционных пальцев коллекторных тяговых электродвигателей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 4 (60). С. 15–23.
7. Лобыцин И. О. Использование инфракрасного излучения при упрочнении изоляционных конструкций электрооборудования тягового подвижного состава // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2020. Т. 17, № 1. С. 108–116.
8. Лобыцин И. О., Панков И. А., Худоногов А. М. Исследование твердости лакового слоя изоляционных пальцев тягового электродвигателя локомотива при конвективном и терморационном способах сушки // Известия Транссиба. 2021. № 1 (45). С. 11–22.
9. Управление механическими свойствами изоляции элементов крепления щеточного аппарата двигателей постоянного тока в процессе ремонта / И. О. Лобыцин [и др.] // Железная дорога: путь в будущее: сборник материалов I Международной научной конференции аспирантов и молодых ученых (Москва, 28–29 апреля 2022 года). М.: НИИ железнодорожного транспорта, 2022. С. 154–159.
10. Устройство для контроля электроизоляции лакокрасочных покрытий на проводящей основе / В. И. Вертяев [и др.] // Патентное ведомство СССР. 1972. № 1460954/18-1.
11. Новая технология ремонта изоляционных пальцев тягового электродвигателя постоянного тока / И. О. Лобыцин [и др.] // Инфраструктура и эксплуатация наземного транспорта. материалы международной студенческой научно-практической конференции: в 2 ч. Ч. 2. 2019. С. 17–21.
12. Лобыцин И. О., Дульский Е. Ю., Худоногов А. М. Совершенствование процесса восстановления изоляционных пальцев тяговых электродвигателей // Политранспортные системы: материалы X Международной научно-технической конференции. Новосибирск: СГУПС, 2019. С. 317–321.

Дата поступления: 05.08.2024

Решение о публикации: 30.08.2024

### Контактная информация:

ЛОБЫЦИН Игорь Олегович — ведущий инженер НЦ «ЦМПЭ»; Lobytin.Igor@vniizht.ru

ДУЛЬСКИЙ Евгений Юрьевич — докт. техн. наук, доцент; e.dulskiy@mail.ru

БАРАНОВ Николай Алексеевич — стажер-исследователь; Baranov.Nikolai@vniizht.ru

КРУЧЕК Виктор Александрович — докт. техн. наук, профессор; victor.kruchek@yandex.ru

## Restoration of the lacquer layer of TEM insulation fingers using a chamber-type infrared heating system

I. O. Lobytin<sup>1</sup>, E. Yu. Dulskiy<sup>2</sup>, N. A. Baranov<sup>1</sup>, V. A. Kruchek<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Railway Research Institute, 10, 3rd Mytishchinskaya st., Moscow, 129626, Russia

<sup>2</sup> Irkutsk State Transport University, 15, Chernyshevskogo st., Irkutsk, 664074, Russia

<sup>3</sup> Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

**For citation:** *Lobytin I. O., Dulsky E. Yu., Baranov N. A., Kruchek V. A.* Restoration of the lacquer layer of TEM insulation fingers using a chamber-type infrared heating system // Bulletin of scientific research results. 2024. Iss. 3. P. 142–153. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-03-142-153

### Abstract

**Purpose:** based on an in-depth analysis of the causes of damage to the insulating fingers of traction motors of electric locomotives, it is necessary to develop a method for increasing their operational reliability. The most effective way to obtain the desired result is to use an improved technology for restoring the electrical insulating varnish layer of insulating fingers using thermoradiation heating. The implementation of a promising technology in depot conditions is possible with the use of a chamber-type infrared heating unit, the control unit of which contains the most optimal energy supply mode determined during experimental studies on a laboratory combined heating unit. **Methods:** the most significant results of the work were obtained thanks to experimental studies of the electrical and mechanical strength of the cured electrical insulating varnish layer of insulating fingers, in addition, in the process of determining the optimal energy supply mode, finite element modeling methods of thermal processes were used. **Results:** a design of a laboratory combined infrared heating unit has been developed, thanks to which the optimal drying mode of insulating fingers has been determined, embedded in the operation of an industrial chamber-type unit for drying a set of insulating fingers. Also, the dependence of the breakdown voltage and the hardness of the outer surface of the insulating finger, linking its mechanical and dielectric properties, was determined. **Practical significance:** the results of the work can be used to improve existing technologies for depot and factory repair of insulating fingers, in particular, to create a series of industrial infrared heating units in locomotive service depots. It is also worth noting that the obtained curve of the dependence of hardness and breakdown voltage, in the future, will allow assessing the electrical strength of insulating fingers indirectly by the hardness parameter of the outer varnish layer.

**Keywords:** traction electric motor, rolling stock, insulating fingers, electrical insulating varnish, drying, infrared radiation, mechanical characteristics, drying chamber

## References

1. Tychkov A. S., Zolkin A. L., Kremnev K. S. Diagnostirovanie tyagovyh elektrodvigatelej elektrovozov s primeneniem sredstv klassifikacii obrazov // Nauka i obrazovanie transportu: materialy III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Samara: SamGUPS, 2010. S. 14–16. (In Russian)
2. Zelenchenko A. P., Kolomicz D. M. Diagnosticheskie parametry kollektorno-shhetochnogo apparata tyagovogo elektrodvigatelya // Elektrifikaciya, razvitie elektroenergeticheskoy infrastruktury i elektricheskogo podvizhnogo sostava skorostnogo i vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta: materialy VIII mezhdunarodnogo simpoziuma “Eltrans-2015”. SPb.: PGUPS, 2017. S. 190–191. (In Russian)
3. Harlamov V. V., Shkodun P. K., Dolgova A. V. Ispol'zovanie matematicheskogo apparata teorii podobiya dlya ocenki iznosa elementov kollektorno-shhetochnogo uzla tyagovogo elektrodvigatelya // Innovacionnye faktory razvitiya Transsiba na sovremennom etape: tezisy mezhdunar. nauch.-praktich. konf., posvyashh. 80-letiyu SGUPSa: v 3-h ch. Novosibirsk, 2012. Ch. 1. S. 378–380. (In Russian)
4. Dul'skij E. Yu. Nauchnye osnovy teorii uprochneniya izolyacii elektrooborudovaniya tyagovogo podvizhnogo sostava teplovym izlucheniem: diss. ... dokt. tehn. nauk. SPb., 2023. 394 s. (In Russian)
5. Issledovanie sushhestvuyushhih metodov sushki uvlazhnennoj izolyacii tyagovyh elektrodvigatelej lokomotiva / M. Yu. Hazheeva [i dr.] // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshheniya. 2024. T. 21, № 2. S. 508–516. (In Russian)
6. Lobycin I. O., Hudonogov I. A., Hudonogov A. M. Upravlenie mikrosherohovatostyu v tehnologii vosstanovleniya izolyacionnyh pal'cev kollektornyh tyagovyh elektrodvigatelej // Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2018. № 4 (60). S. 15–23. (In Russian)
7. Lobycin I. O. Ispol'zovanie infrakrasnogo izlucheniya pri uprochnenii izolyacionnyh konstrukcij elektrooborudovaniya tyagovogo podvizhnogo sostava // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshheniya. 2020. T. 17, № 1. S. 108–116. (In Russian)
8. Lobycin I. O., Pankov I. A., Hudonogov A. M. Issledovanie tverdosti lakovogo sloya izolyacionnyh pal'cev tyagovogo elektrodvigatelya lokomotiva pri konvektivnom i termoradiacionnom sposobah sushki // Izvestiya Transsiba. 2021. № 1 (45). P. 11–22. (In Russian)
9. Upravlenie mehanicheskimi svojstvami izolyacii elementov krepleniya shhetochnogo apparata dvigatelej postoyannogo toka v processe remonta / I. O. Lobycin [i dr.] // Zheleznaya doroga: put' v budushhee: sbornik materialov I Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii aspirantov i molodyh uchenykh (Moskva, 28–29 aprelya 2022 goda). M.: NII zheleznodorozhnogo transporta, 2022. S. 154–159. (In Russian)
10. Ustrojstvo dlya kontrolya elektroizolyacii lakokrasochnykh pokrytij na provodyashhej osnove / V. I. Vertyaev [i dr.] // Patentnoe vedomstvo SSSR. 1972. № 1460954/18-1. (In Russian)
11. Novaya tehnologiya remonta izolyacionnyh pal'cev tyagovogo elektrodvigatelya postoyannogo toka / I. O. Lobycin [i dr.] // Infrastruktura i ekspluataciya nazemnogo transporta. materialy mezhdunarodnoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii: v 2 ch. Ch. 2. 2019. P. 17–21. (In Russian)

12. Lobycin I. O., Dul'skij E. Yu., Hudonogov A. M. Sovershenstvovanie processa vosstanovleniya izolyacionnyh pal'cev tyagovyh elektrodvigatelej // Politransportnye sistemy: materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Novosibirsk: SGUPS, 2019. P. 317–321. (In Russian)

Received: 05.08.2024

Accepted: 30.08.2024

**Author's information:**

Igor O. LOBYTSIN — Leading Engineer, Digital Transportation Models and Energy Saving Technologies Scientific Centre; Lobytin.Igor@vniizht.ru

Evgeniy Yu. DULSKIY — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor; e.dulskiy@mail.ru

Nikolay A. BARANOV — Trainee Researcher; Baranov.Nikolai@vniizht.ru

Viktor A. KRUCHEK — Dr. Sci. in Engineering, Professor; victor.kruchek@yandex.ru