

## Исследование влияния электропроводящих смазок на сопротивление сильноточных контактных систем электролизеров и электрических аппаратов

Беляев В. Л., доктор техн. наук, Шалагинов А. А., инж.

Национальный минерально-сырьевой университет “Горный”, Санкт-Петербург

Одним из эффективных, безопасных и надежных способов уменьшения и стабилизации сопротивления контактов является использование электропроводящих смазок (ЭПС). В результате исследований на экспериментальной установке выявлено, при какой смазке эффективнее экономится электроэнергия на пяти рассмотренных контактных парах. Построены диаграммы зависимости сопротивления контактов от ЭПС и даны рекомендации по применению смазок для каждой контактной пары.

**Ключевые слова:** падение напряжения, сильноточная контактная система, электролизер, электрический аппарат, экспериментальная установка, сопротивление контактов, контактная пара, экономия электроэнергии.

Согласно данным ФГУ ВНИИПО МЧС России 50 % общего числа пожаров и аварий на промышленных предприятиях происходит в электроустановках, причем половина из них непосредственно связана с состоянием электрических контактов<sup>1</sup>. Причинами их возникновения могут быть следующие факторы: человеческий (нет должного контроля, ошибки и непрофессионализм обслуживающего персонала и службы главного энергетика предприятия), экономический (отсутствие в требуемых объемах необходимых контактных материалов, например серебра, и высокая их стоимость), технический (повышение переходного сопротивления контакта вследствие чрезмерного окисления контактных соединений, возникновение электрической дуги во время коммутационных процессов — включения-отключения электрооборудования, что иногда ведет к пожарам в электроустановках [2, 3]).

Рассмотрим подробнее технический фактор (один из основных), которого можно избежать при профессиональном подходе к контролю за состоянием электрических контактов.

Электрические контактные соединения<sup>2</sup> по условиям работы делятся на три основных вида:

1) неподвижные (жесткие), при работе которых контактные поверхности не отделяются одна от другой. Их выполняют механическим соединением проводников болтами, заклепками, пайкой, сваркой и другими способами;

2) подвижные (размыкающиеся и замыкающиеся), в которых одна контактная поверхность отделяется от другой. Они используются в выключателях, реле, контакторах и т. д. для периодического размыкания и замыкания электрических цепей. Подвижные контактные соединения различаются по отключаемой мощности, току и напряжению;

3) скользящие, в которых одна контактная поверхность перемещается по другой без нарушения между ними электрического контакта (применяются в электрических машинах и аппаратах).

Нажатие на подвижные и скользящие контакты осуществляется главным образом с помощью пружин.

Все контактные соединения должны отвечать следующим требованиям:

- надежность электрического соединения;
- достаточная механическая прочность;
- перегрев не выше допустимого значения в длительном режиме;
- термическая и электродинамическая стойкость при протекании токов КЗ;
- стойкость по отношению к внешним воздействиям.

Для снижения сопротивления контактов предлагалось немало современных способов, например, использование большого количества болтов, применение дополнительных пружин, тарельчатых шайб и различных приспособлений, механически повышающих контактное

<sup>1</sup> Место соприкосновения двух или нескольких проводников, через которое протекает ток, называется электрическим контактом [1]. Надежное соприкосновение этих проводников обеспечивается болтами, зажимами, пружинами, тарельчатыми шайбами и т. д.

<sup>2</sup> Электрическим контактным соединением называется конструктивный узел, с помощью которого соединяются два или несколько проводников для перетекания электрического тока из одного в другой [1].

нажатие, металлизация контактных поверхностей (нанесение тонкого слоя металла на контактную поверхность с целью корректировки микронеровностей и защиты от окисления), а также использование различных паст и смазок. Все эти способы давали или небольшой начальный эффект (незначительное снижение сопротивления контакта), или носили чисто декларативный характер, после чего вновь усиливался процесс окисления контактных поверхностей, повышались сопротивление контакта и потребление электроэнергии.

Поэтому исходя из экономической целесообразности и технической эффективности было предложено использовать электропроводящие смазки, которые представляют собой композиции из ряда смазочных материалов с электропроводящими порошкообразными наполнителями [4]. Эти смазки предназначены для снижения и стабилизации сопротивления контакта в любых металлических болтовых контактных соединениях силового, осветительного оборудования, систем связи и обеспечивают существенную экономию электроэнергии на промышленных предприятиях. Кроме того, являясь антипригарным и антикоррозионным покрытием металлических контактов, они способствуют повышению надежности и увеличению продолжительности работы электрооборудования.

При использовании ЭПС токораспределение в параллельных ветвях силовых контактных систем (СКС) становится более равномерным, сопротивление контактов снижается в зависимости от состояния и материалов контактных поверхностей, а его стабильность во времени повышается. Кроме того, увеличиваются герметизация и надежность СКС благодаря герметизирующему свойству ЭПС и повышению их термо- и электростабильности. Это обусловлено тем,



Рис. 1

что достаточная текучесть композиции обеспечивает ее выдавливание в зоне контактирования, а введение металлического электропроводящего порошка, состоящего из частиц небольшого размера, в нейтральную смазку приводит к заполнению микровпадин соприкасающихся контактных поверхностей и увеличению площади контакта (несмотря на более высокое удельное сопротивление ЭПС, чем у материалов основных проводников — меди, алюминия), а также к сближению значений коэффициентов линейного расширения контактных материалов и смазки. Применение ЭПС исключает необходимость в других дефицитных и дорогостоящих средствах стабилизации сопротивления контакта (медно-алюминиевых переходных деталях, тарельчатых пружинах, металлопокрытиях контактирующих поверхностей и т. д.).

С целью выявления эффективности смазок для СКС были проведены опыты на экспериментальной установке (рис. 1), представляющей собой совокупность разнородных шин размерами  $54 \times 10 \times 147$  мм. Исследовали

Электропроводящая смазка	Контакты, подлежащие смазке	Температура нагрева смазки, °С	
		рабочая	максимальная
ЭПС-90	Подвижные, скользящие и неподвижные	- 60 ÷ 90	150
ЭПС-150	Неподвижные	- 60 ÷ 150	250
ЭПС-200	Неподвижные	- 30 ÷ 200	300
ЭПС-300+	Неподвижные	- 50 ÷ 1000	1100
ЭПС-СК	Скользящие и неподвижные	- 30 ÷ 1000	1100

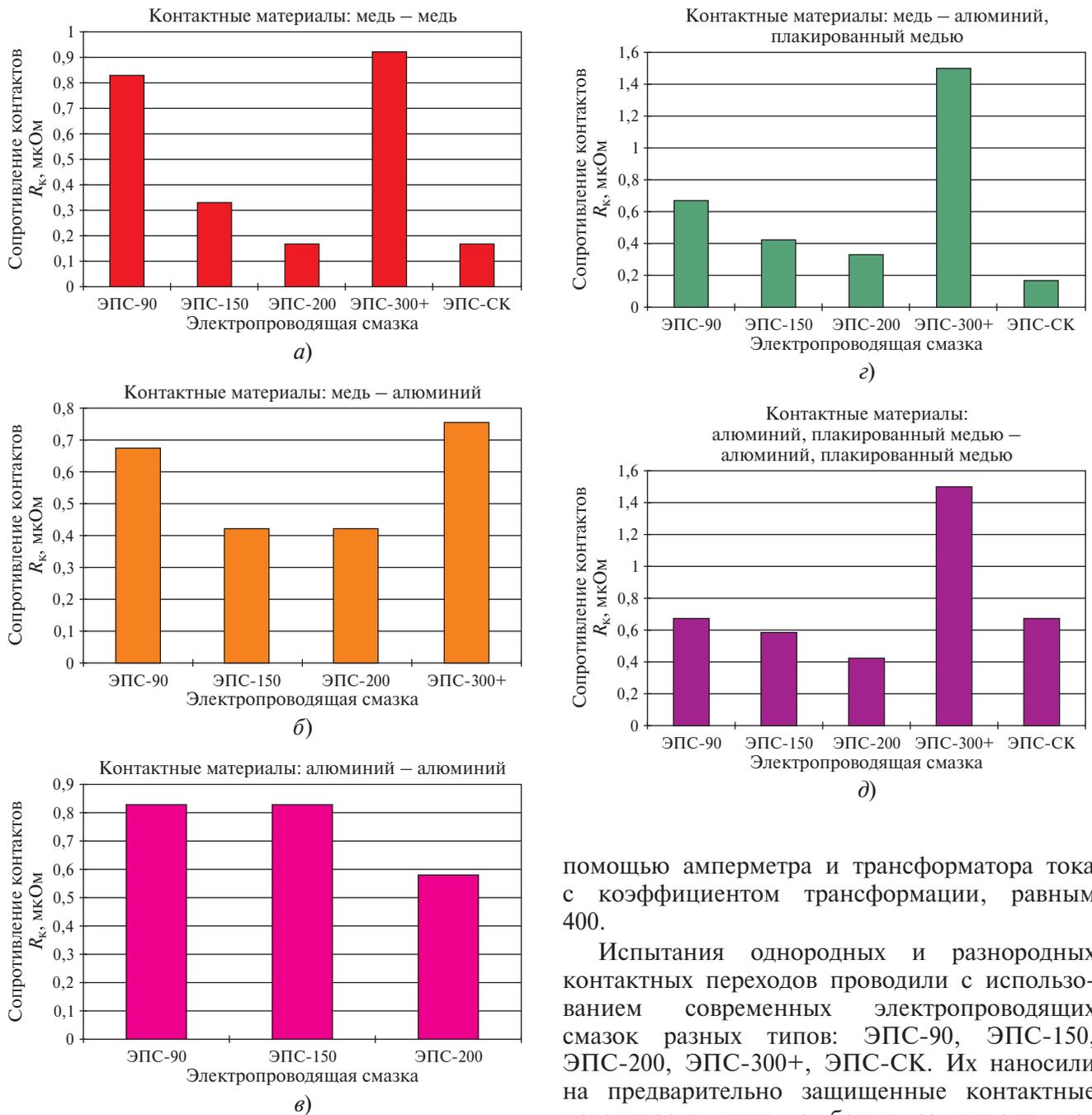


Рис. 2

контактные переходы пяти видов: медь — медь, медь — алюминий, алюминий — алюминий, медь — алюминий, плакированный медью, а также алюминий, плакированный медью, — алюминий, плакированный медью. Номинальный ток составлял 600 А [5, 6]. Питание установки осуществляли от сети переменного тока через регулируемый автотрансформатор, понижающий трансформатор и выпрямитель, состоящий из 20 диодов типа В200 на номинальный ток 1000 А. Значение тока, протекающего по шинам, измеряли с

помощью амперметра и трансформатора тока с коэффициентом трансформации, равным 400.

Испытания однородных и разнородных контактных переходов проводили с использованием современных электропроводящих смазок разных типов: ЭПС-90, ЭПС-150, ЭПС-200, ЭПС-300+, ЭПС-СК. Их наносили на предварительно защищенные контактные поверхности шин, а болты затягивали моментальным индикаторным ключом типа ДК-25 в соответствии с ГОСТ 10434–82. Так, при затяжке болта М12 значение крутящего момента должно равняться 60–70 Н·м, а при затяжке болтов М16, М20, М24, М30, М36 — соответственно 90–100, 120–130, 200–220, 300–340, 360–380 Н·м.

Технические параметры электропроводящих смазок типа ЭПС приведены в таблице. При испытаниях падения напряжения измеряли с помощью милливольтметра типа М82 (пределы измерений — 15 и 30 мВ), а температуру нагрева — цифровым лабораторным водонепроницаемым термометром типа ThermoLab 910.0150Е (диапазон измерений

–  $50 \div 200$  °С, точность индикации –  $0,1$  °С). Опыты проводили в течение нескольких месяцев, данные записывали в протоколы испытаний.

На основе полученных сведений были построены диаграммы зависимости сопротивления контакта  $R_k$  от типа электропроводящих смазок (рис. 2) на разных контактных переходах: медь – медь (*a*), медь – алюминий (*b*), алюминий – алюминий (*в*), медь – алюминий, плакированный медью (*г*) и алюминий, плакированный медью, – алюминий, плакированный медью (*д*). Из них видно, на каком контактном переходе выгодней и целесообразней получить минимальное сопротивление контактов  $R_k$ , что в условиях действующего производства позволит значительно уменьшить потребляемую мощность и получить существенную экономию электроэнергии. Применение 1 кг электропроводящей смазки за 1 год даст возможность сэкономить на общепромышленных предприятиях до 10 000 кВт·ч, а на энергоемких предприятиях – до 100 000 кВт·ч электроэнергии.

Таким образом, для получения максимальной экономии электроэнергии рекомендуется использовать на нижеперечисленных контактных парах следующие электропроводящие смазки: медь – медь – ЭПС-200 и ЭПС-СК; медь – алюминий – ЭПС-200 и -150; алюминий – алюминий – ЭПС-200;

медь – алюминий, плакированный медью, – ЭПС-СК и ЭПС-200; алюминий, плакированный медью, – алюминий, плакированный медью, – ЭПС-200 и -150.

### Список литературы

1. **Беляев В. Л.** Основы теории электрических аппаратов: учеб.-методический комплекс. – СПб.: СЗТУ, 2009.
2. **Шалагинов А. А.** Способы улучшения переходного сопротивления электрических контактов. – В кн.: Сб. докл. междунар. симпозиума “Экологические и инженерно-экологические аспекты жизнеобеспечения “Евро-Эко-2007”. Ганновер, 2007.
3. **Шалагинов А. А.** Технология повышения надежности работы электрических контактов. – В кн.: Сб. докл. междунар. симпозиума “Экологические и инженерно-экологические аспекты жизнеобеспечения “Евро-Эко-2007”. Ганновер, 2007.
4. **Шалагинов А. А.** Исследование состояния и разработка новых экономичных сильноточных контактных систем электролизеров химической промышленности. – Промышленная энергетика, 2007, № 8.
5. **Экспериментальные** установки для исследования сильноточных контактных систем / В. Л. Беляев, А. М. Сегаль, М. П. Румако, А. А. Шалагинов. – Л.: Ленингр. гос. техн. университет, 1990.
6. **Беляев В. Л., Шалагинов А. А.** Сильноточные контактные системы с использованием электропроводящих смазок. – В кн.: Сб. докл. междунар. симпозиума “Экологические и инженерно-экологические аспекты жизнеобеспечения “Евро-Эко-2007”. Ганновер, 2007.

[rimsinc@mail.ru](mailto:rimsinc@mail.ru)