

## **Техногенный кризис и некоторые пути его преодоления. Повышение надежности контактных соединений**

Н. Н. Дзекцер, А. Б. Николаев, Г. Ю. Авраменко,  
Е. А. Денисова

ООО “Системы энергоэкологической безопасности”,  
Санкт-Петербург, Россия

*Дефицит квалификации, усталость оборудования за десятилетия эксплуатации приводят к его физическому износу (износ оборудования в среднем достигает 60—70%) и, как следствие, к технической деградации и росту аварийности в энергетике. Решение проблемы повышения пожаробезопасности, надежности и экономичности электроустановок во многом связано с усовершенствованием электрических контактных соединений. Систематический контроль температуры нагрева контактных соединений (тепловизионными методами или различными термоиндикаторами) в сочетании с применением электропроводящей смазки ЭПС-98 обеспечивает нормативные сроки службы контактов и, соответственно, электрооборудования.*

**Ключевые слова:** энергетика, аварийность, контактные соединения, электропроводная смазка, надежность.

В последние двадцать лет август — критический для России месяц: в 1991 г. — путч, в 1998 г. — дефолт, в 2000 г. — подводная лодка “Курск”, в 2008 году в августе на фоне военных действий в Южной Осетии — мировой экономический кризис, август 2009 г. преподнес ряд техногенных катастроф, крупнейшая из которых — авария на Саяно-Шушенской ГЭС.

Катастрофа выявила два фактора: во-первых, созданная в советское время инфраструктура неизбежно стареет. И, во-вторых, энергетика — сложная техносфера, люди, обслуживающие ее агрегаты, должны проходить серьезную подготовку, без которой как нормальная работа с оборудованием, так и его совершенствование невозможны.

Дефицит квалификации, сильная усталость оборудования за десятилетия эксплуатации, моральный и физический износ, который в среднем по России достигает 70%, приводят к технологической деградации и росту аварийности в энергетике.

В наших работах [1, 2] сделан прогноз и проведена оценка экономического и, соответственно, энергетического кризиса. Более того, указано [2], что “важным фактором решения проблемы надежности установок является разработка на энергоснабжающих и энергопотребляющих объектах Технологических регламентов технических осмотров, диагностики энергетического оборудования, систем планово-предупредительных и

капитальных ремонтов”. В настоящее время стройная, комплексная система технического обслуживания и ремонтов оборудования на наших предприятиях практически отсутствует.

В период экономического кризиса, следствием которого явилось практически повсеместное секвестирование бюджетов предприятий всех масштабов и форм собственности, строке “капитальные вложения” грозит полное исчезновение, а это влечет за собой неумолимый рост числа аварийных ситуаций. Смягчить удар может только разработка и реализация современных регламентов обслуживания энергетического оборудования.

Особняком в решении проблемы повышения пожаробезопасности, надежности и экономичности электроустановок стоит задача усовершенствования электрических контактов, чему посвящена данная работа.

По данным Института пожарной безопасности, 50% возгораний на промышленных предприятиях и в жилом фонде происходит из-за неисправности электроустановок, при этом 50% пожаров электрооборудования обусловлено авариями электрических контактов.

Надежная и экономичная работа контактов определяется величиной и стабильностью их электрических сопротивлений.

В последние годы вместо термина “средство стабилизации контактного давления” чаще применяют термин “средство стабилизации электрического сопротивления”, имея при этом в виду, прежде всего, защитные металлические покрытия поверхностей контакт-деталей.

Достижения науки и техники в области нанесения металлопокрытия на алюминиевые поверхности открыли перспективы повышения надежности электрических контактов. Оптимальным покрытием является химическое или электрохимическое покрытие никелем или цинком толщиной 6 мкм, а также абразивное (натиркой) покрытие оловянисто-цинковыми припоями. Недостатками последнего способа стабилизации электрического сопротивления являются его дороговизна и достаточно сложная технология, требующая очистных сооружений.

Исследования, выполненные с использованием эллипсометрии и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) [3, 4], позволили изучить характер образования и свойства пленок на поверхностях контакт-деталей из алюминия и его сплавов (Al + 0,5% Mg, Al + 0,5% Mg + 0,3% Si и промышленного сплава марки АД31Т). Исследование структуры поверхностей, выполненное методом РСМА на установке Самеса, показало, что:

содержание Mg и Si на поверхности алюминиевых магниевокремниевых сплавов не зависит от характера обработки поверхностей (полированные и неполированные образцы);

температура не влияет на изменение концентрации кремния на поверхности алюминиевого сплава. Концентрация магния растет с температурой: при 300 °С она примерно в 1,5 раза выше первоначальной, при 400 °С — почти в 2 раза, а при 600 °С — в 14 раз. Отжиг при температуре 100 °С не дает заметного для РСМА увеличения концентрации.

Наличие магния вызывает изменение физико-механических свойств контакт-деталей и поверхностных пленок. При нагреве алюминиевых сплавов, легированных магнием, на их поверхности образуются рыхлые пленки типа  $MgAl_2O_4$ , которые разрушаются под воздействием механических напряжений.

Результаты исследований подтверждены лабораторными и опытно-промышленными испытаниями болтовых контактных соединений проводников из алюминия и алюминиевого сплава АДЗ1Т. Испытания выявили высокую стабильность контактов из указанных сплавов, которые по своим свойствам не уступают медным контактам. Однако широкое внедрение алюминиевых сплавов затрудняет их пониженная по сравнению с алюминием проводимость.

В этой связи альтернативным и, на наш взгляд, оптимальным вариантом стабилизации контактных соединений является применение специальных электропроводящих смазок. В 1998 году нами с целью повышения температурной и эксплуатационной стабильности контактов разработана принципиально новая электропроводящая смазка ЭПС-98 (патент 2158976 от 10.11.2000 г.). Указанная смазка представляет собой смесь масла (силиконовое, полиэфирное или минеральное), высокодисперсного металлического порошка (медь или никель), присадки в виде неорганической тиксотропной добавки и стабилизирующих компонентов. Использование металлического порошка позволяет увеличить фактическую площадь касания и повысить термостойкость смазки. В качестве стабилизирующих добавок смазка содержит антиоксиданты и/или ингибиторы коррозии. Применение в электропроводящей смазке неорганической тиксотропной добавки позволяет регулировать ее вязкость, добиваясь получения оптимальной текучести.

Кроме того, масло в сочетании с тиксотропной добавкой и металлическим высокодисперсным порошком существенно расширяет температурный диапазон смазки в целом, повышает ее эксплуатационные свойства, а отсутствие в составе смазки органического связующего увеличивает срок ее хранения. Использование антиоксидантов в составе стабилизирующих добавок препятствует окислению масла, содержащегося в смазке.

Другой компонент, также входящий в состав стабилизирующих добавок, — это ингибитор, который защищает от коррозии металл контактных соединений и металлический наполнитель.

Кроме того, благодаря выбранной композиции смазка приобретает консервирующие свойства.

При использовании смазки ЭПС-98 отпадает необходимость в применении других дефицитных и дорогостоящих средств стабилизации электрического сопротивления: медно-алюминиевых переходных деталей, тарельчатых пружин, металлопокрытий контактирующих поверхностей и т. д.

В настоящее время смазка широко применяется в контактных соединениях электротехнических устройств в России и за рубежом (Канада, Германия, Польша и т. д.).

Наиболее эффективным методом диагностики состояния контактных соединений является визуальный контроль температуры, выполняемый тепловизорами или различными индикаторами [5]. Нами предложено контроль температуры соединений осуществлять с помощью специальных термоиндикаторов. Термоиндикаторы — это сложные вещества, которые при достижении определенной температуры резко изменяют свой цвет за счет химического взаимодействия компонентов. Изготавливаются они в виде наклеек разного (необходимого) размера с диапазоном температур 40—177 °С.

Термоиндикаторы могут быть нереверсивные одноразовые или реверсивные многоразовые (температура до 100 °С).

Систематический контроль температуры нагрева (или электрического сопротивления) контактных соединений в сочетании с применением электропроводящей смазки ЭПС-98 обеспечивает требуемую пожаробезопасность, надежность и экономичность контактов.

Несмотря на то, что предложенные в данной работе способы диагностики контактных соединений, уменьшения и стабилизации электрического сопротивления надежны, достаточно просты, доступны и сравнительно малозатратны, необходимого распространения они, к сожалению, не нашли.

Электропроводящая смазка и термоиндикаторы не нуждаются в рекламе, здесь только нужна воля проектировщиков, промышленников, электромонтажников и эксплуатирующего персонала электроустановок.

1. Герасимов Н. Н., Дзекцер Н. Н., Ерофеева Е. В. и др. Горючие сланцы — приоритетное альтернативное топливо // Промышленная энергетика. — 2009. — № 4. — С. 55—57.
2. Дзекцер Н. Н., Ерофеева Е. В. Энергетическая безопасность. Проблемы и подходы к их решению // Вестник Комитета по тарифам Санкт-Петербурга. — 2006. — № 9. — С. 11—13.
3. Дзекцер Н. Н., Гарцман К. Г., Судилова Т. Б. и др. Усовершенствование контактных соединений в электроустановках // Электричество. — 1987. — № 5. — С. 23—26.
4. Braunovic M. Effect of current cycling on contact resistance, force, and temperature of bolted aluminium — to — aluminium connectors of high ampacity // IEEE Transaction on CHMT. — 1981. — 4. — P. 57—69.
5. Дзекцер Н. Н., Авраменко Г. Ю. Современные средства повышения надежности и экономичности контактных соединений // Электрические контакты и электроды. — К.: Ин-т пробл. материаловедения НАН Украины, 2004. — С. 150—157.

### **Техногенний кризис та деякі шляхи його подолання. Підвищення надійності контактних з'єднань**

Н. Н. Дзекцер, А. Б. Ніколаєв, Г. Ю. Авраменко, Е. А. Денисова

*Дефіцит кваліфікації, утома обладнання за десятиліття експлуатації призводять до його фізичного зношування (зношування обладнання в середньому складає 60—70%) і, як слідство, до технічної деградації і зростанню аварійності в енергетиці. Вирішення проблеми підвищення пожежобезпеки, надійності та економічності електроустановок во многом пов'язано з вдосконаленням електричних контактних з'єднань. Систематичний контроль температури їх нагрівання (тепловізійними методами або різноманітними термоіндикаторами) в поєднанні з використанням електропровідної смазки ЕПЗ-98 забезпечує нормативні строки служби контактів і, відповідно, електрообладнання.*

**Ключові слова:** енергетика, аварійність, контактні з'єднання, електропровідна смазка, надійність.

## **Technogenic crisis and some ways of its overcoming. Reliability improvement of contact connections**

N. Dzektsler, A. Nikolaev, G. Avramenko, E. Denisova

*Lack of qualification, the weariness of equipment for decades of operation, which results in its physical deterioration (deterioration of equipment in the former Soviet Union at the average amounts to 60—70%), directly lead to technical degradation and growth of accidents in the energy industry. Solution of the problem of fire safety improvement, reliability and profitability of electrical installations is in many ways related to improvement of electrical contact connections. Systematic monitoring of contact connections heating temperature (by thermal vision methods or various heat indicators) in combination with appliance of the electroconductive greasing EPS-98 provides guideline life of contacts and accordingly electrical equipment.*

**Keywords:** energetics, accident, contact connections, electroconductive greasing, reliability.