

УДК 621.3

В.И. Гуменюк, А.М. Гренчук

**ДИАГНОСТИКА И АНАЛИЗ
БОЛЬШИХ ПЕРЕХОДНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ**

V.I. Gumenyuk, A.M. Grenchuk

**DIAGNOSIS AND ANALYSIS OF LARGE CONTACT INTERMEDIATE
RESISTANCES FOR PROVIDING FIRE SAFETY
OF ELECTRICAL CONTACT CONNECTIONS**

Проанализированы особенности применения средств температурного мониторинга для диагностики перегрева электрических контактных соединений. Систематизированы возможности выявления признаков такого пожароопасного процесса, как возникновение больших переходных сопротивлений контактов. Обоснована возможность применения индикаторов перегрева контактных соединений на основе термобиметаллических чувствительных элементов для своевременного выявления указанного дефекта во время профилактических мероприятий по обслуживанию электрооборудования.

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ; СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ; ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ; ПЕРЕХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ; ТЕРМОБИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ.

The article focuses on analysis of application features of means for thermal monitoring for diagnostics of electric contacts overheating. Analysis results are systematized for identifying signs of such a fire-prone process as occurrence of large contact intermediate resistances. It is proved the possibility of application of overheating indicators based on thermo-bimetallic sensitive elements. Thermo-bimetallic indicators are used for the detection of defective electrical contacts during holding preventive measures dedicated to electric service.

FIRE SAFETY; DIAGNOSTICS; ELECTRIC CONTACT CONNECTIONS; INTERMEDIATE RESISTANCE; THERMO-BIMETALLIC INDICATOR.

Развитие энергетики и увеличение энергонасыщенности промышленных, транспортных и военных объектов делает особо актуальными проблемы, связанные с обеспечением пожарной безопасности. Промышленные предприятия несут финансовые потери как из-за повреждения электрооборудования и затрат на восстановление электроснабжения, так и вследствие на-

рушения функционирования основных технологических схем.

Согласно федеральному статистическому наблюдению в период с января по декабрь 2012 года было 40849 пожаров, произошедших вследствие нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов, при этом прямой материаль-

ный ущерб составил 4854288000 руб. [1]. Одна из самых распространенных причин аварийных ситуаций связана с возникновением больших переходных сопротивлений электрических контактных соединений (КС).

Увеличение переходных сопротивлений происходит в относительно малом числе КС, однако из-за большого количества таких соединений оно является одним из самых распространенных пожароопасных режимов работы электрооборудования. Указанные обстоятельства накладывают определенные ограничения на средства диагностики аварийного состояния КС. Использование сложных многокомпонентных средств диагностики с выводом на пульт контроля — приемлемый выход лишь для объектов повышенной опасности. В подавляющем большинстве случаев использование таких средств приведет к необоснованному усложнению и удорожанию производства, монтажа и дальнейшего обслуживания электроустановок.

Средства пожарной сигнализации и пожаротушения призваны снизить, насколько это возможно, ущерб от аварийной ситуации, поскольку действуют в результате уже произошедшего возгорания.

Поэтому организация постоянной, проводимой в рамках системы технического обслуживания и ремонтов работы по обеспечению работоспособности и безопасности электрооборудования с целью предупреждения аварий в электроустановках является не менее значимой.

Цель нашей работы — повышение пожарной безопасности электроустановок за счет уменьшения трудоемкости обслуживания болтовых КС путем разработки и массового внедрения средств визуальной диагностики в систему профилактических осмотров электрооборудования. В статье дан анализ существующих и разрабатываемых средств и методов, подходящих для диагностики больших переходных сопротивлений КС, с точки зрения обоснования возможности их широкого применения. Расчетным путем обоснована работоспособность средств диагностики аварийного состояния КС на основе термометаллических чувствительных элементов.

Разработано множество средств и методов диагностики, позволяющих осуществлять тем-

пературный мониторинг электроустановок. Одним из самых распространенных является **тепловизионный контроль** состояния электрооборудования. Это комплексный метод, позволяющий производить поэлементную, а также общую оценку технического состояния электрооборудования в процессе его работы [2]. Он позволяет выявлять многие дефекты на ранней стадии их развития, а также определять приемлемые эксплуатационные ограничения, препятствующие развитию дефектов. Однако, несмотря на высокую точность диагностики, хорошую методическую оснащенность и прочие достоинства с точки зрения диагностирования перегрева КС, тепловизионный контроль имеет особенности, ограничивающие его использование. Применение данного вида мониторинга на многих электроэнергетических объектах затруднительно, так как во время регламентных работ необходимо обеспечивать штатные токовые нагрузки на все КС. А во время штатной работы электрооборудования доступ в его полость часто запрещен, в том числе из соображений техники безопасности.

Контактные датчики (термопары, термометры сопротивления, термометры) широко распространены в силу малой стоимости, но для диагностирования состояния КС требуют специальных схем подключения к устройству сбора и обработки данных [3]. Для использования этих средств в электроэнергетических системах требуются обеспечение электроизоляции, разработка креплений этих средств на контактах, а также специальная сеть проводов для их подключения к щитам. Такая сеть сама по себе может быть потенциальным источником коротких замыканий, так как введение множества дополнительных проводников в зону, потенциально подверженную дуговым разрядам, негативно сказывается на пожарной безопасности оборудования.

Химические термоиндикаторы однократного и многократного действия нашли довольно широкое применение при исследовании тепловых процессов. По принципу действия они делятся на композиции, изменяющие цвет при определенной температуре (специальные покрытия, включающие термочувствительные пигменты) и композиции с калиброванными точками плав-

ления (карандаши, лаки, таблетки и т. п., содержат компоненты, становящиеся прозрачными при плавлении). Несмотря на простоту и невысокую стоимость, возможности применения термоиндикаторов химического действия с точки зрения диагностики перегрева КС ограничены. Так, использование термоиндикаторов, выполненных в виде термочувствительных красок и карандашей, требует проведения дополнительных малярных работ в полости электрооборудования как при первоначальном нанесении, так и в ходе дальнейшего использования. Кроме того, многие нормативные документы, например ПЭЭК [4], запрещают окрашивать электрические контакты. Индикаторы, выполненные в виде температурных наклеек, широко используются в медицине для контроля температуры при хранении и транспортировке донорских органов и различных препаратов. Их критические температуры изменения цвета могут находиться на уровне, приемлемом для диагностирования КС. Однако используемые в этих термоиндикаторах относительно нестабильные химические соединения имеют ограниченный срок эксплуатации (обычно он составляет около 24 месяцев). Это усложняет процесс эксплуатации электрооборудования, так как необходима регулярная замена температурных наклеек (примерно раз в год).

Для непрерывного контроля температуры КС открытых и закрытых распределительных устройств могут применяться **указатели перегрева КС однократного действия с легкоплавким припоем** [5]. Принцип их действия заключается в следующем: две части указателя, способные перемещаться одна относительно другой, спаиваются легкоплавким припоем, температуру плавления которого выбирают с учетом допускаемого нагрева контакта рабочим током и током короткого замыкания. При нагреве контакта до температуры, превышающей температуру плавления припоя, одна из частей указателя под действием силы тяжести или пружины отпадает или поворачивается в заданном направлении. Для приведения индикаторов в рабочее положение в случае срабатывания необходимо заново припаивать отпадающий или поворотный элемент, что сопряжено с определенными трудностями. Кроме того, при использовании таких индикаторов возможно разбрызгивание припоя

в случае короткого замыкания, что может спровоцировать возникновение электрической дуги в электрощитах и загрязнять полость электрооборудования.

Действие **индикаторов перегрева из сплавов с памятью формы** основано на том, что аустенитный никель-титановый или медно-цинк-никель-алюминиевый сплав, деформированный при температуре ниже мартенситного перехода, принимает исходную форму после нагрева, указывая на аварийное состояние КС [3]. Такие средства диагностики требуют самостоятельной разработки ввиду отсутствия задела в части их ресурсных параметров, а также обоснования возможности реализации ими технических требований (например, температура срабатывания может изменяться вследствие механической обработки). Кроме того, сплавы с памятью формы являются довольно экзотичными материалами с точки зрения серийной поставки.

Датчики контактной нагрузки. Усилие контактного нажатия имеет огромное значение в обеспечении надежности КС. Для мониторинга могут быть использованы специальные болты с встроенным устройством контроля усилия затяжки, которое выполнено в виде тензодатчика, установленного в отверстии внутри болта. Изменение момента затяжки этих болтов контролируется с центрального пульта. Однако использование датчиков контактной нагрузки требует дополнительных проводников в щитах, недопустимость введения которых отмечена выше при рассмотрении контактных датчиков.

Несмотря на многообразие разработанных средств и методов температурного мониторинга электроустановок, по различным техническим причинам они не нашли широкого применения на практике. На сегодняшний день самыми распространенными методами являются визуальный контроль КС по наличию почернения и обгорания изоляции и ручная обтяжка всех без исключения КС во время регламентного обслуживания электроустановок.

Визуальный контроль [6] характеризуется запоздалым выявлением дефекта, когда деградация КС переходит в опасную стадию. Ручная обтяжка КС [4] не предъявляет специальных требований к квалификации обслуживающего персонала. Ее трудоемкость применительно к одному КС невысока, однако, учитывая боль-

шое количество таких соединений, она может занимать до 30 % трудоемкости регламентных работ по обслуживанию электрооборудования. Вероятность возникновения больших переходных сопротивлений для отдельно взятого КС невысока, поэтому обслуживание всех без исключения КС представляется неэффективным, и электротехнический персонал, как правило, пренебрегает этой операцией, что может привести к аварийным ситуациям.

По результатам проведенного анализа существующих средств и методов диагностики КС разработано техническое решение на основе термобиметаллических чувствительных элементов, лишенное описанных выше недостатков.

Термобиметаллы получают путем неразъемного, с помощью сварки или пайки, соединения двух пластин из материалов, коэффициенты линейного температурного расширения (КЛТР) которых резко различаются. Различия при температурном расширении активного (с большим КЛТР) и пассивного (с меньшим КЛТР) слоев при изменении температуры приводят к изгибу такого материала в сторону пассивного слоя. Таким образом, при нагреве возникает усилие, посредством которого возможно выполнение механической работы. Простота конструкции, надежность и невысокая стоимость обеспечили широкое применение термобиметаллических элементов в различных приборах и устройствах, в которых изменение температуры преобразуются в перемещение. Указанные свойства термобиметаллов использовались в ходе разработки средств визуальной диагностики аварийного состояния КС — индикаторов перегрева контактов [7, 8]. Термобиметаллический чувствительный элемент индикаторов нагревается за счет теплообмена с КС (при этом электрический ток через индикатор не проходит) и переходит в ава-

рийное положение, которое фиксируется при осмотре электрооборудования. Далее представлены два варианта исполнения: индикатор, совмещенный с гайкой КС, [7] (рис. 1) и индикатор, совмещенный с токоведущим наконечником, [8] (рис. 3).

Индикатор монтируют на диагностируемом КС токоведущих шин *1* электрооборудования. В рабочем положении, до момента перегрева КС сверх допустимого предела, термобиметаллическая пластина *2* находится в зацеплении с упором *3*, что и регистрируется при визуальной диагностике как рабочее положение индикатора, характеризующее удовлетворительное состояние КС токоведущих шин *1*, не требующее обслуживания.

При дальнейшей эксплуатации КС после ослабления усилия контактного нажатия сверх допустимой нормы и соответствующего перегрева контакта токоведущих шин *1* индикаторная термобиметаллическая пластина *2* деформируется настолько, что ее конец выходит из зацепления с упором *3*, что при визуальном осмотре КС во время проведения регламентных работ регистрируется как аварийное состояние.

Для обоснования работоспособности индикатора требуется вычислить величину температурных перемещений термобиметаллического чувствительного элемента, необходимых для срабатывания устройства. В свою очередь, температурные деформации определяются маркой термобиметалла по ГОСТ 10533–86 [9], температурой нагрева КС и геометрическими параметрами чувствительных элементов.

Для определения температурных перемещений чувствительного элемента индикатора, совмещенного с гайкой КС, биметаллическая пластина представляется в виде доли витка плоской спиральной пружины известного радиуса *R*, за-

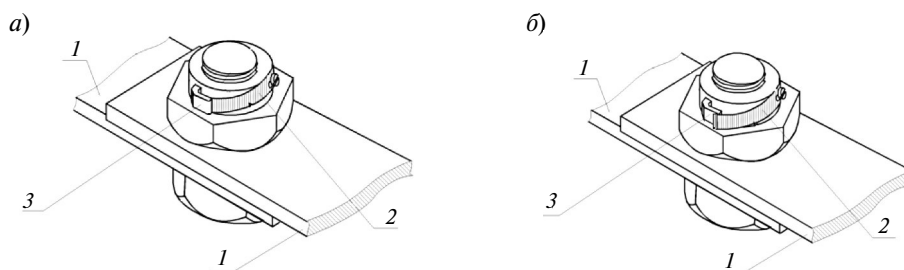


Рис. 1. Индикатор, совмещенный с гайкой КС: а) в рабочем положении; б) в аварийном положении

деланного одним концом. Изменение кривизны ΔK_z термобиметалла в случае равномерного нагрева описывается известным выражением [10]

$$\Delta K_z = \frac{6(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T}{\frac{(E_1 h_1^2 - E_2 h_2^2)^2}{E_1 E_2 h_1 h_2 (h_1 + h_2)} + 4(h_1 + h_2)},$$

где α_1, α_2 — КЛТР активного и пассивного слоев соответственно; ΔT — изменение температуры; E_1, E_2 — модули упругости активного и пассивного слоев; h_1, h_2 — толщины активного и пассивного слоев.

Зная ΔK_z , перемещение свободного конца биметаллической пластины при нагреве на температуру ΔT можно определить с помощью теоремы Кастильяно [11]. Расчетная схема представлена на рис. 2.

Перемещения конца пластины определяются по следующим формулам:

$$U = \int_l \varepsilon_0^T \frac{\partial N}{\partial F_d} dl + \int_l \Delta K_z \frac{\partial M_z}{\partial F_d} dl;$$

$$U_{\text{верт}} = -\frac{6(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T}{\frac{(E_1 h_1^2 - E_2 h_2^2)^2}{E_1 E_2 h_1 h_2 (h_1 + h_2)} + 4(h_1 + h_2)} (\varphi - \sin \varphi);$$

$$U_{\text{гор}} = \left\{ \frac{6R^2(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T}{\frac{(E_1 h_1^2 - E_2 h_2^2)^2}{E_1 E_2 h_1 h_2 (h_1 + h_2)} + 4(h_1 + h_2)} + \frac{R(\alpha_1 h_2 + \alpha_2 h_1)\Delta T}{h_1 + h_2} \right\} (1 - \cos \varphi),$$

где U — перемещение конца термобиметаллической пластины в общем виде в направлении

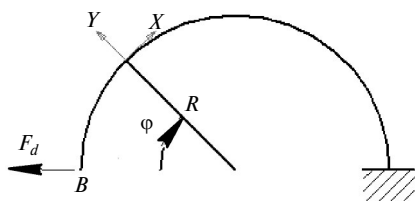


Рис.2. К определению перемещений термобиметаллической пластины в виде доли витка плоской спиральной пружины при ее равномерном нагреве

обобщенной силы F_d ; $U_{\text{гор}}$ и $U_{\text{верт}}$ — перемещения конца пластины в горизонтальном и вертикальном направлении, соответственно; φ — угол охвата, определяющий долю витка плоской спиральной пружины.

Согласно расчетной оценке температурные перемещения для индикаторов, совмещенных с гайкой КС для резьбовых соединений от М12 до М20, при перегреве на 40–60 °С составляют 5–7 мм. Такие величины достаточны для перехода чувствительного элемента в аварийное положение, что также было подтверждено экспериментально при испытаниях опытных образцов. Однако для малых типоразмеров резьбовых соединений в такой конструкции требуется прецизионность настройки индикаторов на нужную температуру срабатывания.

Поэтому с целью обеспечения визуальной различимости рабочего и аварийного положений индикаторов для всего типоразмерного ряда резьбовых соединений начиная с М4 разработана конструкция индикатора, совмещенного с кабельным наконечником [8]. В этом исполнении индикатор представляет собой накладную деталь, которая содержит две индикаторные термобиметаллические пластины и монтируется на кабельном наконечнике (рис. 3).

В этом исполнении в рабочем положении (рис. 3, а), до перегрева КС сверх допустимого предела, при котором индикатор переводится в аварийное состояние, индикаторные термобиметаллические пластины 1 находятся во взаимном зацеплении через защелку 2. При визуальном осмотре регистрируют рабочее устойчивое положение индикатора, характеризующее удовлетворительное состояние КС, не требующее его обслуживания.

При перегреве сверх допустимой температуры клеммы с токоведущим наконечником 3 индикаторные термобиметаллические пластины 1 деформируются настолько, что выходят из взаимного зацепления. При отключении электрооборудования (и остывании КС) пластины 1 фиксируются в расцепленном состоянии при помощи защелки 2. Такое состояние при визуальном осмотре регистрируют как аварийное.

В этом случае предположение о равномерности нагрева чувствительного биметаллического

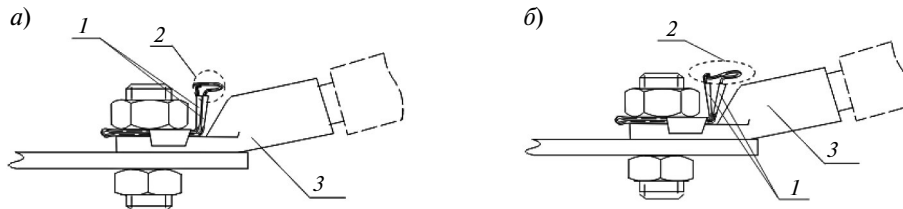


Рис. 3. Индикатор, совмещенный с кабельным наконечником:
а) в рабочем положении; б) в аварийном положении

го элемента неверно, и возникает необходимость учета влияния температуры окружающего воздуха. В связи с этим возникла необходимость в применении численного моделирования неравномерного нагрева биметаллических чувствительных элементов с учетом естественной конвекции с помощью метода конечных элементов.

Чувствительный элемент представляли в виде слоистой оболочки. Каждый конечный элемент такой оболочки задается путем определения последовательных слоев, обладающих соответствующими термомеханическими свойствами. При этом на поверхности сопряжения активного и пассивного слоев терробиметалла ставятся условия кинематической и соматической совместности:

1) кинематическая совместность — непрерывность перемещений $[u] = 0$ или температуры $[T] = 0$ ($[]$ — обозначение скачка функции);

2) соматическая совместность — непрерывность механических напряжений $[\sigma] = 0$ или градиента температуры $[\nabla T] = 0$.

Для определения перемещений чувствительного элемента индикатора при нагреве КС в рамках предложенной методики последовательно решаются задачи теплопроводности и термоупругости (рис.4).

Учитывая особенности деградации КС в процессе эксплуатации [12], численный эксперимент предусматривает использовать решение стационарного уравнения теплопроводности в отсутствие внутренних источников тепла. При этом в узлах конечно-элементной сетки, принадлежащих линии основания, задается температура нагрева КС ΔT (см. рис. 4), а на остальной поверхности — излучение по закону Ньютона (естественная конвекция) $\{q\}^T \{n\} = h_f(T_S - T_B)$, где T_S — температура на поверхности модели; T_B — температура окружающего воздуха; $\{q\}$ — вектор теплового потока; $\{n\}$ — вектор нормали к поверхности модели; h_f — коэффициент теплопроводности перехода.

Далее для определения перемещений индикаторной терробиметаллической пластины решается задача термоупругости. В качестве граничных условий в основании пластины заданы

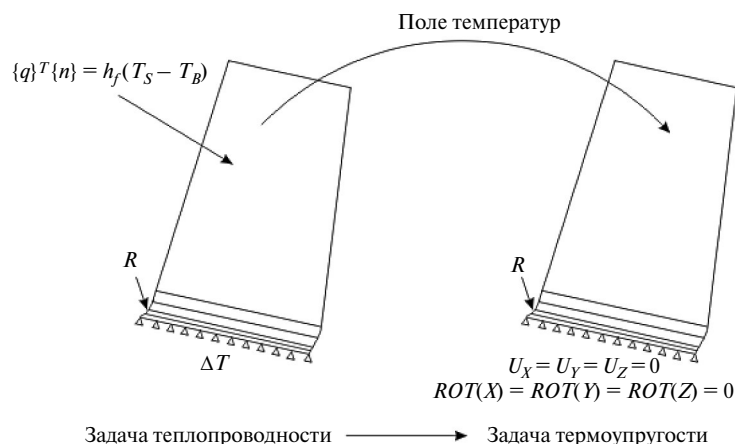


Рис. 4. Модель индикаторной терробиметаллической пластины для численного моделирования нагрева с учетом температуры окружающего воздуха

условия заделки: перемещения $U_X = U_Y = U_Z = 0$ и повороты вокруг координатных осей $ROT(X) = ROT(Y) = ROT(Z) = 0$, а также поле температур, полученное в результате решения задачи теплопроводности (см. рис. 4).

Результаты численного моделирования подтвердили возможность использования биметаллических чувствительных элементов по ГОСТ 10533 для визуального определения локального перегрева резьбовых КС для типоразмерного ряда от М4 до М20. Варьирование параметров чувствительных элементов индикаторов данной конструкции (таких, как марка и толщина термобиметалла, радиус изгиба индикаторной пластины у основания, ее размеры, ребра жесткости) позволяет для стандартных материалов добиться угла раствора индикаторных пластин при нагреве порядка 20° и соответствующего перемещения свободного конца индикаторной пластины от 5 до 20 мм, что является достаточным условием визуальной различимости рабочего и аварийного положений. По результатам расчетных оценок можно сделать вывод о принципиальной работоспособности описанных технических решений. Дальнейшую отработку

конструкции предполагается производить опытным путем.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

Несмотря на то, что проблема возникновения больших переходных сопротивлений давно известна и разработано множество методов температурного мониторинга, до сих пор не существует унифицированных и повсеместно применяемых средств диагностики аварийного состояния КС.

Обоснована работоспособность конструкции индикаторов визуальной диагностики перегрева КС с использованием термобиметаллических чувствительных элементов.

Использование индикаторов перегрева КС предложенной конструкции позволит сократить материальный ущерб от пожаров, возникающих по причине нарушений правил эксплуатации электроустановок, а также существенно снизить трудоемкость регламентного обслуживания электрооборудования.

Результаты проделанной работы целесообразно использовать для разработки автоматизированной системы диагностики больших переходных сопротивлений КС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МЧС России [Электрон. ресурс] http://www.mchs.gov.ru/Stats/Pozhari/2012_god (дата обращения 08.12.2013 г.).
2. **Бажанов С.А.** Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации. М.: Изд-во НТФ Энергопрогресс, 2005. 144 с.
3. **Мышкин Н.К., Кончиц В.В., Браунович М.** Электрические контакты. Долгопрудный: Интеллект, 2008. 558 с.
4. Правила эксплуатации электрооборудования кораблей ВМФ (ПЭЭК-71). М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1972.
5. **Бойченко В.И., Дзекцер Н.Н.** Контактные соединения токоведущих шин. Л.: Энергия, 1978. 144 с.
6. Classification of Visual and Mechanical Defects for Equipment Electronic. Wire and other Defects (Non Electronic) MIL-STD-252V(1Z). 1970.
7. **Патент РФ № 2491687.** МПК H01R 4/00. Устройство для диагностики ослабления затяжки резьбового контактного соединения с токоведущим
- наконечником / А.И. Горшков, А.М. Гренчук и др. Приор. 11.10.2011. Бюл. № 24. 27.08.2013.
8. **Патент РФ № 2493640.** МПК H01R 4/30. Устройство для диагностики ослабления затяжки гайки резьбового контактного соединения токоведущих шин / А.И. Горшков, А.М. Гренчук и др. Приор. 11.10.2011. Бюл. № 26. 20.09.2013.
9. **ГОСТ 10533–86.** Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия. 01.01.1988.
10. **Пономарев Д.П., Андреева Л.Е.** Расчет упругих элементов машин и приборов. М.: Машиностроение, 1980. 326 с.
11. **Павлов П.А. [и др.]**. Сопротивление материалов: учеб. пособие для вузов / Под ред. Б. Е. Мельникова. Изд. 2-е, испр. и доп. СПб.: Лань, 2007. 553 с.
12. **Гренчук А.М., Гуменюк В.И.** О возможности массового применения средств диагностики пожароопасного состояния электрооборудования // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2014. №2(195). С. 21–215.

REFERENCES

1. MChS Rossii. [Eletr. resurs] http://www.mchs.gov.ru/Stats/Pozhari/2012_god (data obrashcheniya 08.12.2013 g.). (rus.)
2. **Bazhanov S.A.** Teplovizionnyy kontrol elektrooborudovaniya v ekspluatatsii. M.: Izd-vo NTF Energoproggress, 2005. 144 s. (rus.)
3. **Myshkin N.K., Konchits V.V., Braunovich M.** Elektricheskiye kontakty. Dolgoprudnyy : Intellect, 2008. 558 s. (rus.)
4. Pravila ekspluatatsii elektrooborudovaniya korabley VMF (PEEK-71). M.: Voennoye izdatelstvo ministerstva oborony SSSR, 1972. (rus.)
5. **Boychenko V.I., Dzektser N.N.** Kontaktnyye soyedineniya tokovedushchikh shin L.: Energiya, 1978. 144 s. (rus.)
6. Classification of Visual and Mechanical Defects for Equipment Electronic. Wire and other Defects (Non Electronic) MIL-STD-252V(1Z), 1970. (rus.)
7. **Patent RF № 2491687.** MPK H01R 4/00. Ustroystvo dlya diagnostiki oslableniya zatyazhki rezbovogo kontaktного soyedineniya s tokovedushchim nakonechnikom./ A.I. Gorshkov, A.M. Grenchuk i dr. Prior. 11.10.2011. Byul. № 24. 27.08.2013. (rus.)
8. **Patent RF № 2493640.** MPK H01R 4/30. Ustroystvo dlya diagnostiki oslableniya zatyazhki gayki rezbovogo kontaktного soyedineniya tokovedushchikh shin./ A.I. Gorshkov, A.M. Grenchuk i dr. Prior. 11.10.2011. Byul. № 26, 20.09.2013. (rus.)
9. **GOST 10533–86.** Lenta kholodnokatanaya iz termobimelallov. Tekhnicheskiye usloviya. 01.01.1988. (rus.)
10. **Ponomarev D.P., Andreyeva L.Ye.** Raschet uprugikh elementov mashin i priborov M.: Mashinostroyeniye, 1980. 326 s. (rus.)
11. **Pavlov P.A. [i dr.].** Soprotivleniye materialov : ucheb. posobiye dlya vuzov / Pod red. B. Ye. Melnikova. Izd. 2-ye, ispr. i dop. SPb.: Lan, 2007. 553 s. (rus.)
12. **Grenchuk A.M., Gumenyuk V.I.** O vozmozhnosti massovogo primeneniya sredstv diagnostiki pozharoопасного sostoyaniya elektrooborudovaniya. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2014. №2(195). S. 210–215. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ГУМЕНЮК Василий Иванович — доктор технических наук заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: vasiliy.gumenyuk@mail.ru

ГРЕНЧУК Андрей Михайлович — аспирант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: grenchuk@yandex.ru

AUTHORS

GUMENYUK Vasilii I. — St. Petersburg Polytechnic University. 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: vasiliy.gumenyuk@mail.ru

GRECHUK Andrei M. — St. Petersburg Polytechnic University. 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: grenchuk@yandex.ru