

УДК 621.371

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

Люминарская Екатерина Станиславовна,

к.т.н., доцент кафедры ФН7 МГТУ им. Н.Э. Баумана,

e-mail: lyuminarskaja.caterina@yandex.ru

Аннотация

Обеспечение надежности функционирования контактов является одной из ключевых проблем при разработке современных радиотехнических устройств. В представленной статье описаны наиболее распространенные типы контактных соединений, выделены их сильные стороны и ограничения

Ключевые слова: контактное соединение, электрический контакт, микропереключатели.

ELECTRIC CONTACTS

Lyuminarskaya Ekaterina Stanislavovna,

Ph.D., Associate Professor of the Department of FN7 at the Bauman Moscow State Technical University,

e-mail: lyuminarskaja.caterina@yandex.ru

ABSTRACT

Ensuring the reliability of contact operation is one of the key challenges in the development of modern radio engineering devices. This article describes the most common types of contact connections and highlights their strengths and limitations.

Keywords: contact connection, electrical contact, microswitches.

С развитием техники роль электрических контактов значительно возросла. Современные комплексы радиоэлектронной аппаратуры могут иметь сотни тысяч электрических контактов. Поэтому повышение надежности контактов является важнейшей задачей при проектировании радиотехнических устройств.

При своей относительной простоте электрические контакты имеют низкое сопротивление, могут коммутировать переменные и постоянные токи в широком диапазоне от мкА до МА и передавать большие мощности на единицу объема [1-3].

Контактные соединения, применяемые в электронных устройствах, по принципу работы можно разделить на следующие группы:

разъемное контактное соединение – контактное соединение, которое может быть разомкнуто (замкнуто) без разборки (сборки);

разборное контактное соединение – контактное соединение, разъединяемое путем разборки без его разрушения;

неразборное контактное соединение – контактное соединение, которое не может быть разъединено без его разрушения;

скользящие контакты – контакты, которые работают без разрыва электрической цепи за счет изменения своего положения;

разрывные контакты – контакты, с помощью которых происходит размыкание и замыкание электрической цепи, находящейся под током.

скользящие контакты – контакты, в которых контактирующие части скользят друг по другу без отрыва.

К неразборным контактам относятся контакты, в которых соединения проводников выполняется с помощью пайки и сварки. Эти соединения обладают небольшим переходным сопротивлением, являются устойчивыми к внешним воздействиям. При выполнении соединения площадь спаиваемой или свариваемой поверхности должна превышать поперечное сечение проводника в 4-6 раз. В противном случае падение напряжения на участке контакта будет превышать падение напряжения на участке проводника той же длины, что может приводить к перегреву и разрушению контакта [1].

Неразборные контакты между проводниками выполняют также опрессовкой на специальном оборудовании (рис. 1). Обжатие проводов выполняется пресс-клещами с губками, которые сдавливают втулку со всех сторон с одинаковым усилием. Встроенный механизм ограничивает усилие обжима, чтобы не пережать проводочки. При этом силы сжатия обеспечивают холодную сварку проводников и соединительной втулки. Сила обжатия проводов должна обеспечивать достаточную прочность соединения и заданное переходное электрическое сопротивление. При слишком сильном обжатии провода и втулка получают пластические деформации, которые могут привести к снижению прочности соединения. Материалы проводников и втулки должны иметь близкие значения коэффициентов теплового расширения. В противном случае нагрев соединения током может привести к уменьшению контактного давления и, следовательно, увеличению активного сопротивления проводов.



Рис. 1. Обжимные соединения

Основными причинами отказа обжимных соединений являются коррозия, ползучесть металла и фреттинг. Фреттинг происходит при незначительном перемещении двух поверхностей друг относительно друга под воздействием температурных расширений. В результате трения оголяются слои металла, которые окисляются и вызывают увеличение переходного сопротивления [2].

Клееные контакты относятся также к неразборным контактам. Этот вид контактов применяют, например, при использовании органических подложек. Для склеивания используют эпоксидные или фенольные смолы.

Разборные электрические контакты (разборные электрические контактные соединения) выполняют с помощью болтового и винтового соединений.

Болтовые соединения широко используются при соединении алюминиевых и медных проводников. На рис. 1, а показано соединение проводников с плоскими выводами

без применения средств стабилизации контактного давления. Для стабилизации переходного сопротивления используют тарельчатые пружины (рис. 2).

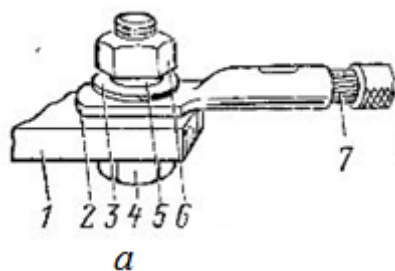


Рис.1. Болтовое электрическое контактное соединение:

1 – вывод, 2 – наконечник, 3 – шайба, 4 – болт, 5 – шайба пружинная, 6 – гайка, 7 – жила.

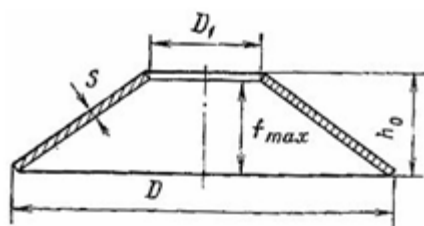


Рис.2. Тарельчатая пружина для стабилизации контакта

В болтовом соединении металлические неровности на поверхностях контакта пластически деформируются, образуя пятна контакта [4,5]. На пятнах контакта под давлением часть окисных, сульфидных и пылевых пленок разрушается, образуя участки чистых металлических поверхностей. На пятнах контакта с неразрушенными пленками ток может протекать через тонкие пленки. В этом случае контакт называют квазиметаллическим. Переходное сопротивление складывается из сопротивления стягивания и сопротивления пленки. Основным требованием к болтовым соединениям является создание определенного давления сжатия, которое зависит от материала соединяемых проводников и состояния их поверхности.

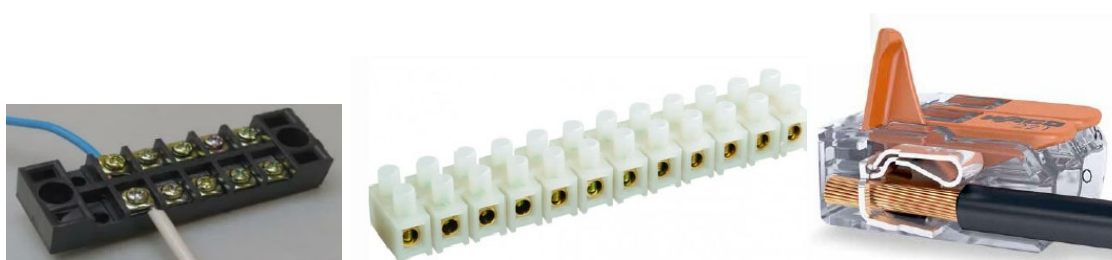
Винтовые соединения контактов широко используются в электрических сетях. Провод обертывается на три четверти оборота по часовой стрелке вокруг винта и затягивается (рис. 3, а).

Винтовые зажимы (рис. 3, б) применяют повсеместно. Их удобно использовать в распределительных коробках. Обычно они объединены в колодке, от которой можно отрезать нужное количество зажимов.

Для разборного соединения проводов используются также рычажные клеммники (рис. 3, в), в которых провода фиксируются с помощью пружинного элемента. Ослабление пружинного зажима при разъединении проводов выполняется поднятием рычажка.

Основными причинами отказов зажимных соединений являются коррозия, фреттинг и ползучесть металла. Если контакты работают в загрязненных условиях при повышенной температуре, то их надежность определяется коррозией. Наиболее эффективным методом снижения коррозии является использование специальных смазок[3].

В винтовых соединениях обычно используются алюминиевые или медные провода. Контактные пластинки изготавливают из латуни или бронзы, винты – из стали. Использование материалов контактов с разными значениями коэффициентов теплового расширения может приводить к фреттингу. Повышение температуры в зоне контакта вызывает разное расширение элементов контакта, что приводит к окислению участков с разрушенной под давлением поверхностной пленкой и, следовательно, к снижению эффективной площади контакта.



а б в

Рис.3. Разборные электрические контакты:

а – винтовой контакт с обертыванием проводов; б – колодка с винтовыми зажимами; в – рычажный клеммник

Для снижения влияния фреттинга используют контактные материалы с небольшим различием коэффициентов теплового расширения и малыми значениями коэффициентов трения.

Для обеспечения надежной работы зажимных контактов необходимо правильно зачистить контактные поверхности, при зажиме обеспечить эффективное контактное давление, применить защитную смазку или состав от коррозии.

Разъемные электрические контакты состоят из штыря и гнезда. Электрический контакт выполняется путем соединения штыря и гнезда под давлением, создаваемым пружинными элементами. Штыревые разъемы позволяют быстро выполнять работы без трудоемких операций скручивания проводов или пайки и применения специальных инструментов. Соединения получаются надежными и прочными. Штыревые соединения используются при подключении различных бытовых приборов, промышленного, лабораторного и другого оборудования. Штыревые разъемы состоят из рабочей части, воспринимающей рабочее давление и полимерного корпуса, на котором крепятся контакты. Для соединения проводов используются разнообразные конструкции штыревых контактов.

Для соединения двух проводов используются клеммы, которые являются контактными точками. Обжимные клеммы (рис. 4) представляют собой специальные наконечники, которые закрепляются на проводах путём механического сжатия. Такой метод соединения позволяет обеспечить хороший контакт проводов и защиту проводов от механических повреждений. Обжимные клеммы широко используются в автомобильной проводке.

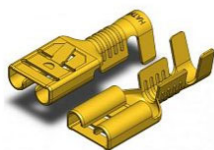


Рис.4. Штыревой контакт с обжатием проводов

Для соединения нескольких проводов используются штыревые разъемы. Штыревые разъемы позволяют без особого труда монтировать и демонтировать соединения проводов. Промышленные разъемы (рис. 5) применяют при сборке и монтаже производственного оборудования, при прокладке энергосети на предприятиях промышленности, а также для организации временных сетей при строительстве, аварийных работах, на различных мероприятиях и др. Использование промышленных разъемов значительно повышает безопасность и позволяет проводить быструю замену различных участков цепи. Промышленные разъемы обладают высокой механической прочностью, низким сопротивлением контакта, надежным креплением соединения и защищенностью от воздействия влаги и пыли.



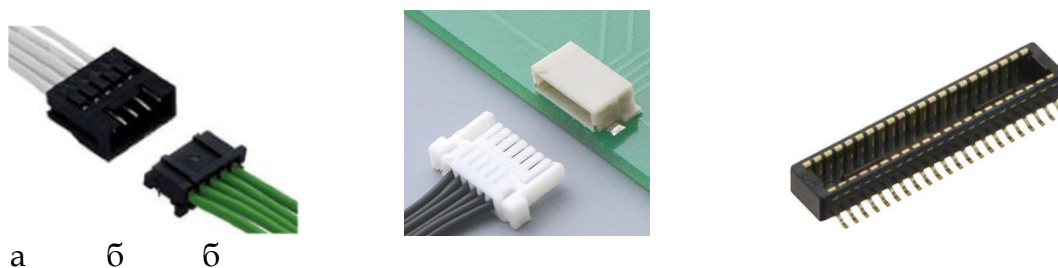
Рис.5. Промышленные электрические вилка и розетка фирмы «Зубр»

Разъемы электронных устройств бывают разных форм в зависимости от их применения. По типу соединения различают разъемы «провод-провод», «провод-плата» и «плата-плата».

Соединители «провод-провод» используют для соединения двух или нескольких проводов.

Разъемы «провод-плата» применяют для подключения внешней проводки к печатным платам. Эти разъемы подсоединяют к печатной плате внешних устройств: блока питания, датчиков и других периферийных устройств. Они обеспечивают безопасное, надежное соединение, выдерживающее механическое напряжение и воздействие окружающей среды.

Разъемы «плата-плата» обеспечивают прямое соединение между двумя печатными платами, облегчая обмен данными и питанием. Эти разъемы позволяют выполнять оптимизацию пространства и высокоскоростную передачу данных.



а б б

Рис.5. Разъемы электронных устройств:

а – разъем «провод-провод»; б – разъем «провод-плата»; в – разъем «плата-провод»

Пайка является основным способом соединения электронных компонентов. В настоящее время с повышением плотности контактов на единицу объема возросли требования к свойствам таких соединений.

Важнейшими причинами отказов штыревых контактов и разъемов электронных устройств являются [1]: загрязнения штифтов пылью, остатками флюса, окисление штифтовых контактов; деформация и ослабление штифтов разъема, возникающие при монтаже контактов.

Разрывные контакты широко применяются для коммутации электрических цепей в различных аппаратах. Эти контакты обычно работают в сложных условиях замыкания. При замыкании контактов происходят искровые заряды, ведущие к разрушению материалов контактных поверхностей. Основными видами разрушения разрывных контактов и сбоев в их работе являются:

- эрозия поверхностей за счет переноса металла с контакта на контакт;
- коррозия, возникающая вследствие появления искры;
- износ поверхностей в результате трения контактов;
- попадание в межконтактное пространство пыли и др. загрязнений;
- ослабления прижатия контактов из-за поломки упругих элементов.

Широкое распространение в промышленном и медицинском оборудовании, бытовой технике, подъемных устройствах, запорных устройствах и т.п. нашли

микропереключатели. Микропереключатель – это электрический переключатель, который срабатывает от действия небольшой силы. В них обычно используется механизм мгновенного действия (хлопок), при котором упругая система переходит из одного устойчивого состояния в другое. Микропереключатели используются в системах, в которых необходимо быстрое и надежное срабатывание.

На рис. 6 представлен микропереключатель МП9. Основными его элементами являются: упругая тонкая пластина 5, неподвижные контакты 1 и 2, толкатель 3, распорная пружина 4. На конце упругой пластины расположена бобышка 6 (подвижный контакт). Различные конструкции микропереключателей со стержневыми упругими элементами различаются характером соединения пластины подвижного контакта и распорной пружины. В свободном состоянии толкатель находится в верхнем положении и упирается в нижний ограничитель. В этом положении подвижный контакт 6 прижат к неподвижному контакту 2. При перемещении толкателя вниз (прямой ход) уменьшается сила прижатия контактов 2,6. В момент, когда эта сила станет равной нулю, упругая система будет находиться в положении неустойчивого равновесия. При дальнейшем сколь угодно малом увеличении управляющей силы, действующей на толкатель, происходит перескок бобышки в нижнее положение и происходит срабатывание механизма мгновенного действия (хлопок).

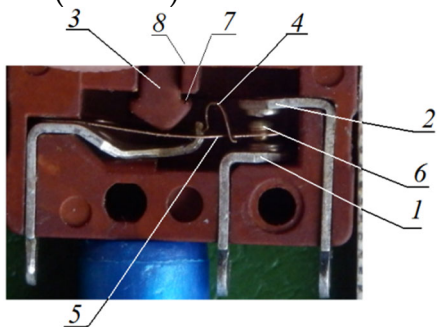


Рис.6 Микропереключатель МП9

В автоматических системах управления широко применяются контактные устройства релейного типа, пропускающие обычно токи, не превышающие 5А. Реле является выключателем (включателем) с электрическим управлением. Обычно в реле для управления используется электромагнит. Для замыкания и размыкания электрической цепи используются пластинчатые пружинные контакты (рис. 7). Контактные колодки 1 устанавливаются на токоведущих пластинчатых пружинах 2, которые являются контактодержателями. Стальные пружины 3 обеспечивают необходимую силу нажатия на контакт. Размыкание осуществляется с помощью подвижного якоря 4.

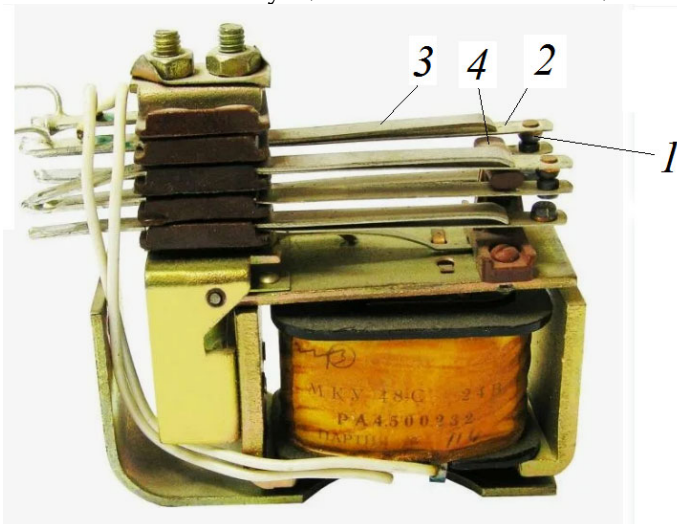


Рис.7 Электромагнитное реле МКУ-48с

Надежность разрывных контактов во многом определяется силой прижатия контактов. Большое контактное давление разрушает поверхностные пленки и, следовательно, уменьшает переходное сопротивление. Однако значительное увеличение контактного давления приводит к усложнению конструкции контактного устройства из-за возможности появления вибраций.

Форма и чистота обработки контактных поверхностей также оказывает влияние на работоспособность. Контактные поверхности желательно изготавливать выпуклыми и устанавливать вертикально. В этом случае часть частиц пыли и др. загрязнений не задерживается на контактных поверхностях. Для лучшего разрушения поверхностных пленок притиркой необходимо обеспечивать точечный контакт соединяемых поверхностей. Чистота поверхностей не должна быть большой. Не рекомендуется выполнять полировку контактных поверхностей.

При выборе материала в разрывных контактах придерживаются следующих рекомендаций. Для слаботочных разрывных контактов, применяются драгоценные металлы: серебро, платина, палладий, золото и сплавы на их основе. Если контакты работают при токах, превышающих ток возникновения дуги, то применяются твердые и тугоплавкие металлы и их сплавы: вольфрам, рений, молибден, платина-иридий, палладий-серебро и тому подобные материалы. При больших токах металлы и их сплавы имеют большой износ из-за испарения, разбрызгивания и сваривания. В этом случае используют композиты.

Скользящие контакты [6] в электрических машинах ставят между кольцами или коллекторами и щетками, в электрических приборах приборах – между коллекторами или кольцами и токосъемниками.

По конструкции и назначению скользящие электрические контакты можно разделить на следующие группы: коллекторы, кольца и щётки в электрических машинах; обмотки и ползунки в реостатах и потенциометрах; токоведущие кольца в электрических машинах; токоприёмники во вращающихся механизмах экскаваторов и подъёмных машин.

Коллектор (рис. 1) состоит из набора медных пластин 1, между которыми располагаются изоляционные прокладки 2, предохраняющие пластины от замыкания. Обычно пластины собирают на цилиндрической поверхности.

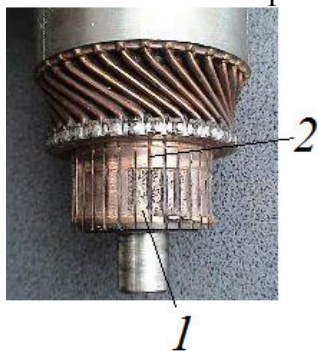


Рис.8 Коллектор электрической машины:

1 – медные пластины; 2 – изолирующие прокладки

Щетки электрических машин (рис. 9) представляют собой электропроводящие детали токосъемного устройства, используемого для подвода и отвода тока на коллекторах. Щетки современных электрических машин – это кубики, спрессованные из угольных, графитных или медных порошков. Конструкция и размеры щеток выбираются из ГОСТ 12232-89.

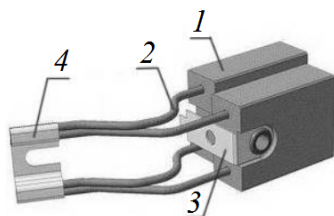


Рис.9 Щетки электрической машины:

1 - щетка; 2 - токоведущий провод; 3 - накладка; 4 - наконечник

Нарушение работоспособности скользящих электрических контактов может быть вызвано механическим износом, истиранием, переносом металла с контакта на контакт, осыпанием и испарением материала во время дуговых процессов. Большое влияние на интенсивность отказов оказывают климатические условия и механические воздействия. Повышенная влажность, загрязнение воздуха дымом и пылью также являются причинами отказов электрических контактов.

Основными путями повышения надежности скользящих контактов являются: применение новых контактных материалов и смазок; усовершенствование конструкции контактов; изменение структуры и состояние поверхностей контактов.

Способы повышения надежности контактов.

В [7] для увеличения коммутационного периода стойкости контактов при стабильном низком переходном сопротивлении предложено использовать композиционные электрические контакты. Контакты предлагается выполнять из материала, содержащего графитовую основу и металлические добавки серебра. Графитовая основа выполнена из мелкозернистого плотного графита с удельным электросопротивлением не более 16 мкОм·м, прочностью на сжатие не менее 60 МПа, зольностью не более 0,3% и объемной пористостью 15-25%. Металлическая добавка распределена во внутреннем объеме графитовой основы в порах в количестве не менее 10% от объема пор. На поверхности графитовой основы частицы металлической добавки образуют несплошное поверхностное покрытие толщиной до 10 мкм.

В [8] композитный электрический контакт предложено выполнять из материала, содержащего углеродную основу и металлические добавки серебра. Углеродная основа выполнена из углеродного волокна, ориентированного в направлении течения тока, а металлические добавки распределены на поверхности углеродного волокна в виде покрытия. Толщина углеродных волокон составляет 10-1000 мкм. Толщина покрытия волокон серебром – 1,0-50 мкм.

В [9] электрический контакт предложено выполнять из композиции серебра и графита с анизотропной структурой, пластинчатые частицы которой расположены перпендикулярно рабочей поверхности контакта. Содержание графита составляет 60-90%, содержание серебра – остальное. Графит и серебро спрессованы слоями, торцовая поверхность которых образует рабочую поверхность контакта.

Заключение

Электрические контакты критичны для надежной работы современной электроники. Их классификация включает разъемные, разборные и неразборные соединения, а также скользящие и болтовые контакты. Отказы возникают из-за коррозии, износа и вибраций. Повышение надежности достигается правильным выбором материалов, защитой от коррозии и регулярным обслуживанием.

Список литературы:

1. Мышкин Н.К. Электрические контакты : [учебно-справочное руководство] / Н. К. Мышкин, В. В. Кончиц, М. Браунович. — Долгопрудный (Московская обл.) : Интеллект, 2008. — 558 с. — ISBN 978-5-91559-003-7
2. Реутт Е.К. Электрические контакты: Элементы теории и практика эксплуатации / Е.К.Реутт, И.Н.Саксонов. — М.: Воениздат, 1971. -160 с.
3. Белоусов А.К. Электрические разъемные контакты в радиоэлектронной аппаратуре / А. К. Белоусов, В. С. Савченко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1975. - 319 с.
4. Левин А.П. Контакты электрических соединителей радиоэлектронной аппаратуры: (Расчет и конструирование)/ А.П.Левин. - Москва : Сов. радио, 1972. - 216 с.
5. Измайлов В. В. Контакт твердых тел и его проводимость монография / В.В. Измайлов, М.В. Новоселова; Федер. агентство по образованию, Твер. гос. техн. ун-т. — Изд. 1-е. — Тверь : Тверской государственный технический университет, 2010. — 110 с. ил.; 21. — ISBN 978-5-7995-0525-7.
6. Белоусов А.К. Электрические разъемные контакты в радиоэлектронной аппаратуре / А. К. Белоусов, В. С. Савченко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1975. - 319 с.
7. Лившиц П.С. Скользящий контакт электрических машин (Свойства, характеристики, эксплуатация). — Москва : Энергия, 1974. — 272 с.
8. Патент RU 2400852 C1. Композиционный электрический контакт и способ его изготовления. Заявитель: Фадеев В.С., Емельянов Е.Н., Конаков А.В. и др.; опубл. 27.09.2010. Бюл. №27.
9. Патент RU 176664 U1. Композиционный электрический контакт. Заявитель: Фадеев В.С., Конаков А.В., Штанов О.В. и др.; опубл. 25.01.2018. Бюл. №3.

References:

1. Levin, A. P. Contacts of Electrical Connectors of Radio-Electronic Equipment: (Calculation and Design)/ A. P. Levin. - Moscow: Sov. Radio, 1972. - 216 p.
2. Myshkin, N. K. Electrical Contacts: [Educational and Reference Guide] / N. K. Myshkin, V. V. Konchits, and M. Braunovich. — Dolgoprudny (Moscow Region): Intellect, 2008. — 558 p. — ISBN 978-5-91559-003-7
3. Reutt E.K. Electric Contacts: Elements of Theory and Practice of Operation / E.K. Reutt, I.N. Saksonov. — Moscow: Military Publishing House, 1971. — 160 p.
4. Izmailov V. V. Contact of solids and its conductivity monograph / V.V. Izmailov, M.V. Novoselova; Feder. Agency for Education, Tver State Technical University un-T. — 1st ed. — Tver : Tver State Technical University, 2010. — 110 p. ill.; 21. — ISBN 978-5-7995-0525-7.
5. Belousov A.K. Electrical connector contacts in radio-electronic equipment / A. K. Belousov, V. S. Savchenko. - 2nd ed., re-worked. and add. - Moscow : Energy, 1975. - 319 p.
6. Livshits P.S. Sliding Contact of Electric Machines
7. Patent RU 2400852 C1. Composite electrical contact and method of its manufacture. Applicant: Fadeev V.S., Emelyanov E.N., Konakov A.V., et al.; publ. 27.09.2010. Bull. No. 27.

8. Patent RU 176664 U1. Composite electrical contact. Applicant: Fadeev V.S., Konakov A.V., Shtanov O.V., et al.; publ. 25.01.2018. Bull. No. 3.
9. Patent RU 2644414 C1. Electric contact. Applicant: Nikolyukin Yu.V., Kurkalov S.M., Kurganov S.V., et al.; publ. 12.02.2018. Bull. No. 5.