

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НЕПАЯНЫХ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ОМИЧЕСКОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ

Ф. В. Васильев, С. В. Ванцов, А. М. Медведев,  
М. А. Степанова, О. В. Хомутская

Соединение *штырь-отверстие* образуется за счет впresseвывания специальной формы штыря в металлизированное отверстие, как показано на рис. 1. Устойчивость такого непаяного соединения гарантируется упругим напряжением в зоне контактирования. Оно создается пружи-нящей пуклевкой на штыре, имеющей размер больший, чем диаметр отверстия. Тем самым обра-зуется сочленение с натягом. Пуклевка обеспечивает компенсацию погрешностей размеров эле-ментов сочленения и ползучести материала диэлектрической основы вокруг металлизированных отверстий, удерживая систему в напряженном состоянии [1–5].

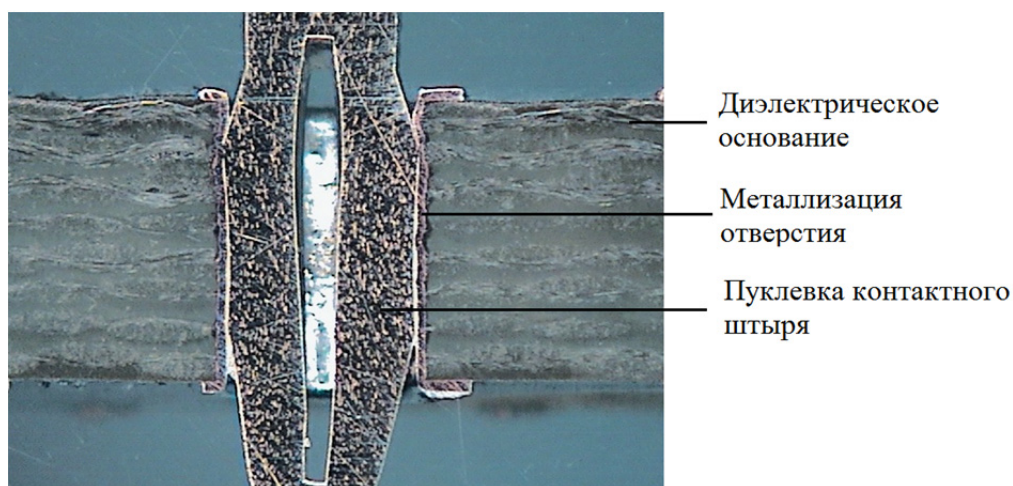


Рис. 1. Микрошлиф сечения соединения штырь-отверстие

Электрическое соединение штыря и металла в отверстии реально осуществляется через контактные пятна, возникающие за счет неровностей контактирующих поверхностей. Эти пятна и являются токонесящими элементами электрической цепи. Радиус такого пятна при сочленении твердых поверхностей обычно составляет порядка 10 мкм (рис. 2). В результате пластической деформации, возникающей при впresseвывании штыря и за счет его пружинящих свойств, площадь контактных пятен увеличивается. Тем не менее усилия сочленения контактирующих поверхно-стей концентрируются на небольшой площади микроскопических контактов (рис. 3) [6].

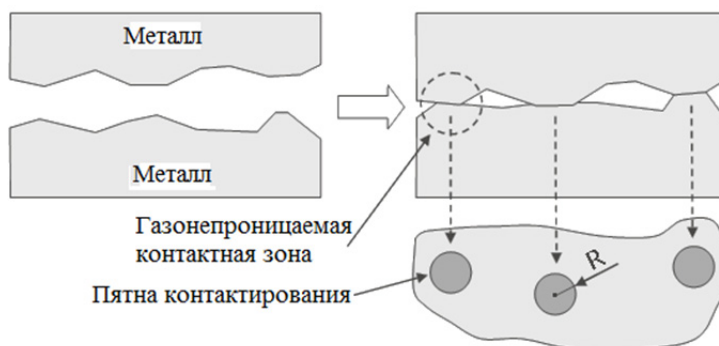


Рис. 2. Механизм контактирования соприкасающихся поверхностей

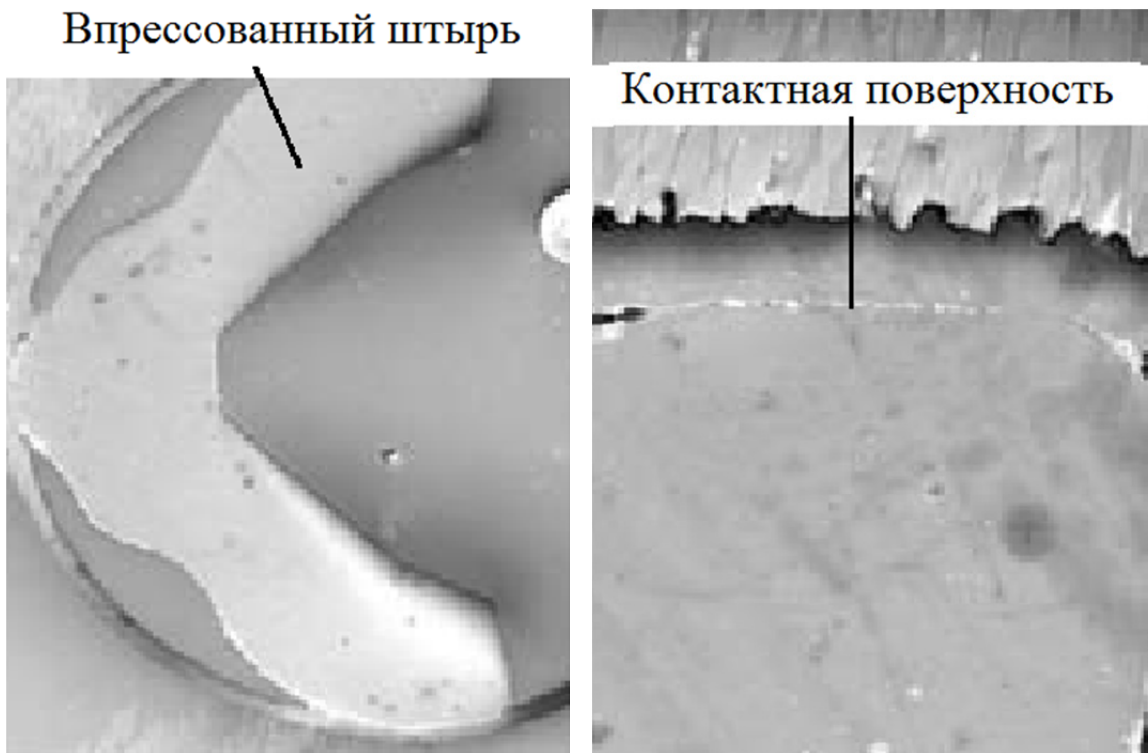


Рис. 3. Микрощлифы сечения сочленения контактного штыря с металлизированным отверстием

Пластическая деформация пятен контактирования создает условия для холодной сварки за счет очищения от окислов и загрязнений контактирующих поверхностей при вдвигании штыря в отверстие и эффекта взаимодиффузии соприкасающихся металлов [6, 7]. Поскольку диффузия в данных условиях протекает медленно, то процесс сварки завершается через несколько часов, что подтверждается увеличением усилия изъятия штыря из отверстия.

Это свойство прессового соединения *штырь-отверстие* выгодно отличает его от других систем контактирования, в которых неизбежно присутствуют поверхностные пленки коррозии, окисления, жира и т.п. Такие пленки толщиной до 100 нм продавливаются усилием 2 Н и прожигаются при напряжении больше 20 мВ и поэтому не обеспечивают нормальную работу слаботочной аппаратуры [4].

Работоспособность новых конструкций элементов прессовых соединений обычно оценивают омическим контактным сопротивлением, как показано на рис. 4.

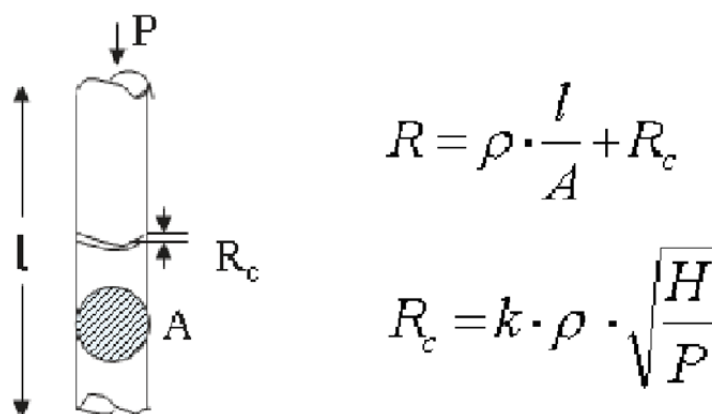


Рис. 4. Оценка качества соединения по контактному сопротивлению  $R_c$ :

$R$  – сопротивление элемента цепи длиной  $l$ ;  $\rho$  – удельное сопротивление металла цепи;  
 $A$  – площадь поперечного сечения проводника цепи;  $k$  – коэффициент, характеризующий свойства поверхностей контактирования;  $R_c$  – контактное сопротивление;  
 $H$  – твердость контактирующих поверхностей;  $P$  – усилие контактирования

Измерение сопротивления цепи с прессовыми контактами можно проводить по схеме, приведенной на рис. 5. При токе в цепи 1 А падение напряжения в нормальных условиях составляет 1,3 мВ, что означает, что сопротивление цепи между парой контактов должно составлять по теоретическим расчетам по крайней мере 1,3 мОм. Схему рис. 5 удобно использовать для оценки надежности цепи с прессовыми контактами в процессе воздействий термоциклов, повышенных температур, вибрации и т.п.

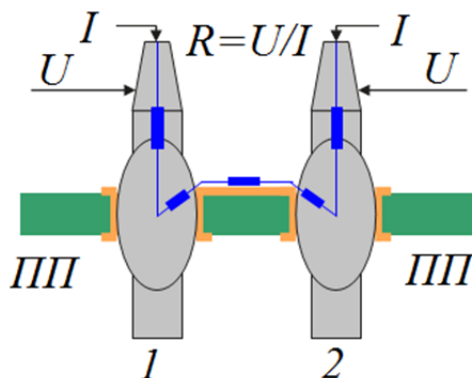


Рис. 5. Схема измерения контактного сопротивления штырей с металлизированными отверстиями:  $I$  – ток в измеряемой цепи;  $U$  – падение напряжения на сопротивлении измеряемой цепочки между штырями 1 и 2, ПП – печатная плата. Ток в цепи – 1 А, падение напряжения в нормальных условиях – 1,3 мВ, что означает, что сопротивление пары контактов, по крайней мере – 1,3 мОм

На рис. 6 показана зависимость сопротивления измеряемой цепочки от температуры при термоциклировании. В нормальных температурных условиях наблюдается возврат сопротивления к исходному значению.

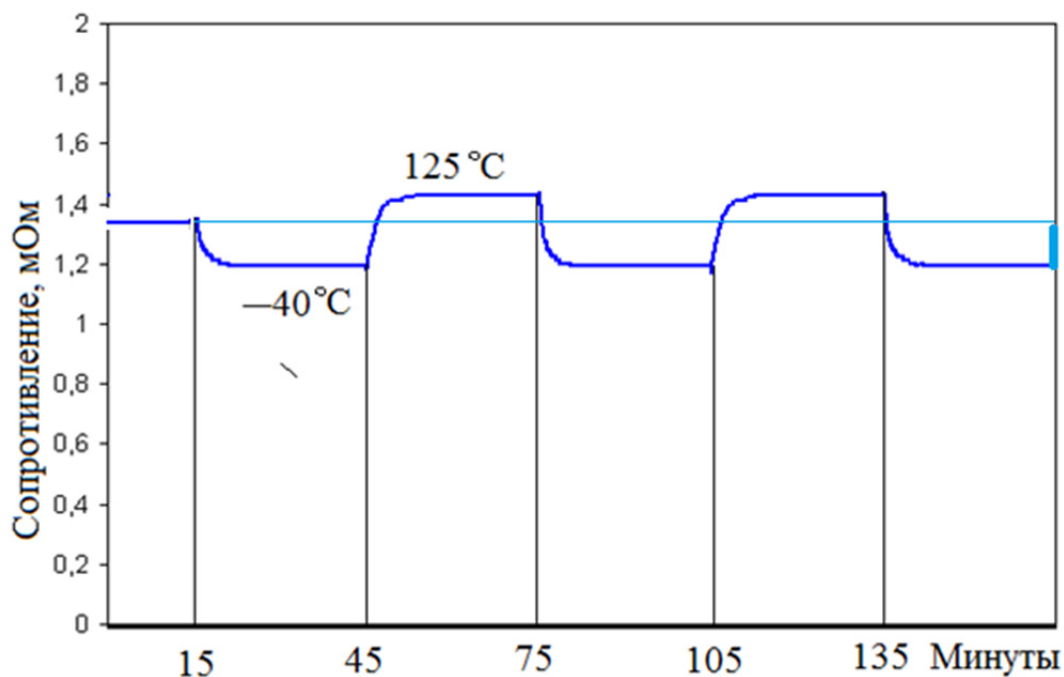


Рис. 6. Изменение сопротивления цепочки при термоциклировании (всего 10 термоциклов)

Испытания на вибропрочность при ускорении 25g в диапазоне частот от 5 до 200 Гц в течение 10 ч показали неизменность значения сопротивления цепочки во всем цикле испытаний [8–10].

Для непосредственного измерения контактного сопротивления до и после воздействий можно использовать метод «трех точек», показанный на рис. 7.

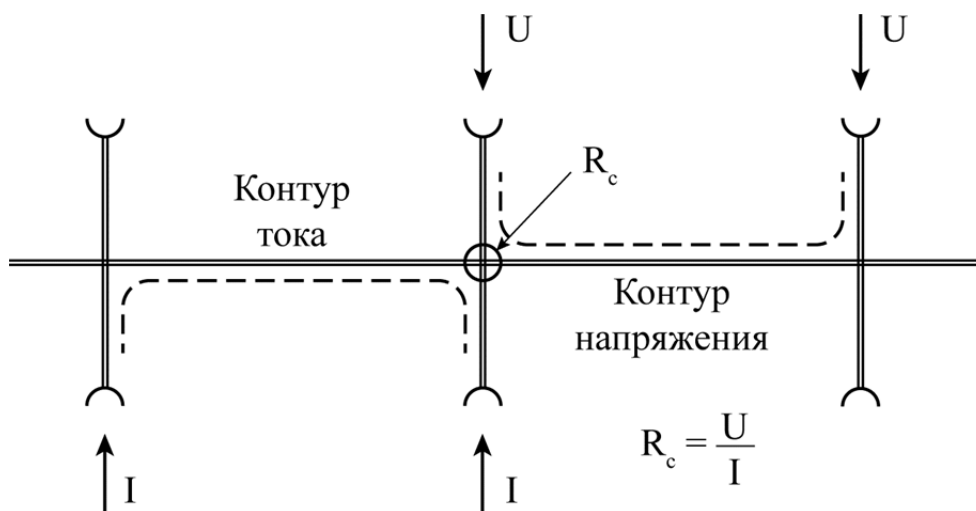


Рис. 7. Схема измерения контактного сопротивления методом «трех точек»

Проведенные по этой схеме измерения показали, что контактное сопротивление соединения штырь-отверстие не превышает значения 0,05 мОм. Такое низкое значение контактного сопротивления этого непаяного соединения свидетельствует о его надежности и возможности использования в силовых цепях.

Испытания на термостойкость при температуре 125°C показали изменение контактного сопротивления в меньшую сторону, что указывает на увеличение площади контактных пятен, следствием чего и является уменьшение омического сопротивления тестируемых цепей (рис. 8).

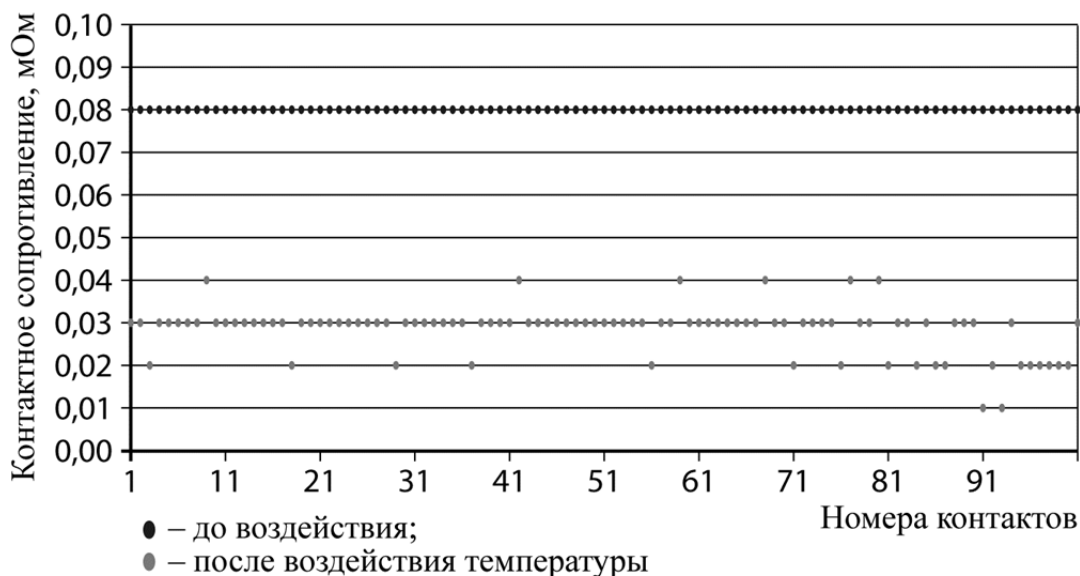


Рис. 8. Результаты измерения контактных сопротивлений до и после воздействия повышенных температур 125 °С в течение 200 ч

Газонепроницаемость контактных зон гарантирует его долговременную устойчивость в агрессивных внешних средах. Тем не менее термоциклирование и вибрации могут приводить к сдвигу контактного штыря относительно стенок отверстия, тем самым могут нарушаться условия герметизации и устойчивости соединения. Установлено, что критическим является сдвиг на 10 мкм, когда нарушается герметизация контактной зоны, а сила трения, удерживающая контакт в отверстии, уменьшается за счет перехода из состояния покоя в состояние скольжения. Контактное сопротивление от начального значения 0,05 мОм увеличивается до 5 Ом. Что явно неприемлемо для нормальной работоспособности аппаратуры. Зависимость изменения контактного сопротивления от величины сдвига штыря в отверстии показана на рис. 9.

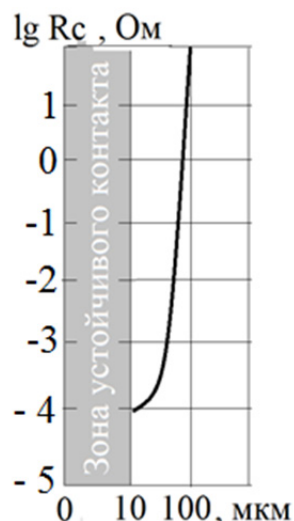


Рис. 9. Зависимость контактного сопротивления (Ом) прессового соединения от сдвига контактного штыря (мкм) относительно стенок отверстия

Испытания, проведенные по ограниченной программе, показали состоятельность использования измерений по схемам рис. 5 и 7 для оценки надежности непаяного прессового соединения *штырь-отверстие*.

### Заключение

Получено подтверждение состоятельности методики оценки надежности непаяных соединений типа *штырь-отверстие* по омическому сопротивлению.

Предварительные испытания непаяных соединений в условиях, имитирующих экстремальные внешние воздействия, свойственные авионике, показали их устойчивость к этим воздействиям.

### Список литературы

1. Медведев, А. М. Соединения типа Press-Fit. Непаянные методы соединения супермногослойных печатных плат / А. М. Медведев // Компоненты и технологии. – 2006. – № 8. – С. 178–181.
2. Медведев, А. М. Непаянные методы неразъемных соединений: накрутка / А. М. Медведев // Технологии в электронной промышленности. – 2006. – № 3.
3. Степанова, М. А. Соединения типа press-fit (аналитический обзор) / М. А. Степанова // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. – № 8. – С. 15–20.
4. Stolze, T. Reliability of PressFIT connections / T. Stolze, M. Thoben, M. Koch, R. Severin // Infineon Technologies AG. – 2008. – P. 1–6.
5. Holm, R. Electric Contacts – Theory and application / R. Holm. – Berlin : Springer Verlag, 2000.
6. Corman, N. Friction Behavior of Press-Fit Applications: Test Apparatus and Methodology / N. Corman, C. C. Marjorie Myers // Proc. 49th IEEE Holm Conf. Electr. Contacts. – 2003. – P. 57–62.
7. Ванцов, С. В. Надежность входного контроля / С. В. Ванцов, А. М. Медведев // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 4(12). – С. 91–100.
8. Жаднов, В. В. Автоматизированная система расчета показателей долговечности электронных средств / В. В. Жаднов, В. Н. Кулыгин // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 3(11). – С. 3–38.
9. Жаднов, В. В. Учет влияния внешних воздействующих факторов при прогнозировании характеристик безотказности и долговечности электронной компонентной базы / В. В. Жаднов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – № 1. – С. 13–18.

#### **Васильев Федор Владимирович**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра технологии приборостроения,  
Московский авиационный институт  
(Национальный исследовательский университет),  
(125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)  
E-mail: fedor@niit.ru

#### **Vasil'ev Fedor Vladimirovich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of avionic technology,  
Moscow Aviation Institute  
(National Research University),  
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

**Ванцов Сергей Васильевич**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра технологии приборостроения,  
Московский авиационный институт  
(Национальный исследовательский университет),  
(125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)  
E-mail: vancov@medpractika.ru

**Медведев Аркадий Максимович**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра технологии приборостроения,  
Президент Гильдии профессиональных технологов  
приборостроения,  
Московский авиационный институт  
(Национальный исследовательский университет),  
(125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)  
E-mail: medvedevam@bk.ru

**Степанова Мария Александровна**

аспирант,  
Московский авиационный институт  
(Национальный исследовательский университет),  
(125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)  
E-mail: bammbuka@mail.ru

**Хомутская Ольга Владиславовна**

аспирант,  
Московский авиационный институт  
(Национальный исследовательский университет),  
(125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)  
E-mail: khomutskauaov@gmail.com

**Аннотация.** В силовых электронных устройствах, в частности в авионике и системах морского базирования, используются печатные платы с высоковольтными цепями. Монтаж выводов компонентов пайкой в таких платах затруднен и в ряде случаев даже невозможен из-за мощного теплоотвода на эти цепи, что не позволяет прогреть соединение до температур пайки. Преодолеть это затруднение позволяет применение непаяных соединений, выполняемых впрессовыванием контактных штырей в металлизированные отверстия (непаяные соединения типа *штырь-отверстие*). В зарубежной терминологии они получили название Press-Fit. Сегодня соединения *штырь-отверстие* получили широкое распространение в телекоммуникациях и автомобильной электронике. Новым направлением использования непаяных соединений такого типа стало их применение в электронных системах ответственного назначения. Это делает актуальным исследование поведения прессовых соединений в силовой электронике в экстремальных условиях эксплуатации и требует проведения испытаний их надежности. Обычно устойчивость соединения *штырь-отверстие* оценивают по усилию изъятия контактного штыря из отверстия. Но поскольку соединение типа *штырь-отверстие* является также электрическим элементом межсоединений, более целесообразно оценивать их устойчивость по изменению

**Vantsov Sergey Vasil'evich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of avionic technology,  
Moscow Aviation Institute  
(National Research University),  
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

**Medvedev Arkadiy Maksimovich**

doctor of technical science, professor,  
sub-department of avionic technology,  
President of Guild of Professional  
Electronics Technologist,  
Moscow Aviation Institute  
(National Research University),  
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

**Stepanova Mariya Aleksandrovna**

postgraduate student,  
Moscow Aviation Institute  
(National Research University),  
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

**Khomutskaya Ol'ga Vladislavovna**

postgraduate student,  
Moscow Aviation Institute  
(National Research University),  
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

**Abstract.** Power electronic devices, particularly in avionics and naval systems, printed circuit boards are used with power circuits. Installation conclusions components soldering in such boards is difficult and in some cases even impossible due to the powerful heat sink on these circuits, which makes it difficult to warm up the connection to soldering. To overcome this difficulty allows application solderless connections, operated by forging contact pins in metallized holes (solderless connection type Press-Fit). Today the connection Press-Fit are widely used in telecommunications and automotive electronics. The new direction of use of solderless compounds of this type was their use in electronic systems responsible destination. This makes the topical research on behavior of pressed joints in power electronics in extreme operating conditions and requires testing their reliability. Normally the connection resistance Press-Fit assess exceptions force the contact pin out of the hole. But because the connection type Press-Fit is also an electric element interconnections, it is more appropriate to assess their resistance to change electrical resistance before and after exposure to climatic and mechanical loads. During the test for reliability is carried out resistance measurement of coherent chain Press-Fit plating-printed Guide-pin hole plating. Received confirmation of viability of this approach to assessing physical security with respect to avionics systems.

электрического сопротивления до и после воздействия климатических и механических нагрузок. В ходе испытания на надежность проводится измерение сопротивления последовательной цепочки *штырь–металлизация отверстия–печатный проводник–металлизация отверстия–штырь*. Получено подтверждение состоятельности использования этого подхода к оценке физической надежности применительно к системам авионики [1–7].

**Ключевые слова:** непаяные соединения, пресовое соединение штырь-отверстие, контактное сопротивление, силовые цепи, авионика.

**Key words:** solderless connections, forging connections Press-Fit, contact resistance, power circuits, avionic.

**УДК 621.3.062**

**Оценка надежности непаяных пресовых соединений по омическому сопротивлению / Ф. В. Васильев, С. В. Ванцов, А. М. Медведев, М. А. Степанова, О. В. Хомутская // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 85–91. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-13.**