

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОЕДИНИТЕЛЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

П.А. Акулов, Д.И. Петрешин (ФГБОУ ВО «БГУ»),  
А.Д. Сырых (ООО «КОНСТРУКТОР»)

*Представлена автоматизированная установка для испытания электрического соединителя на износостойкость. Применение данной установки позволит получать, анализировать и протоколировать данные о динамике изменения сил сочленения и расчленения разъемов во время проведения контрольной операции с обеспечением требуемых скоростных режимов.*

*Ключевые слова: соединители, методы испытания, износостойкость, сила сочленения, сила расчленения.*

### Введение

Характеристики надежности электрических цепей передачи питающих и информационных сигналов во многом определяются характеристиками электрических соединителей. Функционирование и обеспечение высокой надежности заявленных технических характеристик соединителей в процессе длительной эксплуатации напрямую зависят от явлений трения и износа [1], возникающих при сочленении/расчленении. При анализе особенностей функционирования разъемных соединителей необходимо учитывать трибологические явления, происходящие как в начале эксплуатации электрических соединителей, так и на протяжении всего их жизненного цикла [2].

В процессе эксплуатации поверхность контактов существенно меняется, так как рабочие поверхности контактов электрических соединителей покрывают слоем мягкого материала (серебра или золота) для обеспечения хорошего электрического контакта при небольшой силе сочленения. Даже после одного сочленения/расчленения поверхность контакта меняется, в связи с чем меняется и переходное сопротивление контактной пары [2]. Важной характеристикой электрических соединителей является допустимое число сочленений/расчленений. При сочленении/расчленении контактов на рабочих поверхностях происходит постепенное разрушение материала покрытия, изменение формы контактов [3]. Разработка методики контроля электрических соединителей с учетом износа позволит решить одну из основных проблем надежности – прогнозирование изменения работоспособности электрических соединителей в процессе эксплуатации.

Цель работы – разработка специализированной автоматизированной установки испытания на износостойкость электрических соединителей с возможностью измерения силы сочленения и расчленения.

### Проведение испытаний на износостойкость соединителей

В процессе производства электрический соединитель проходит ряд испытаний, в том числе и испытание на износостойкость. Данная процедура регламентируется соответствующими нормативными документами<sup>1</sup>.

Износостойкость контролируют путем осуществления циклического сочленения/расчленения соединителей с частотой  $\leq 30$  сочленений/мин. В процессе проведения испытаний при необходимости допускается производить перерывы для остывания и чистки испытуемых соединителей. Число сочленений/расчленений регламентируется соответствующими техническими условиями на конкретный тип соединителя. При этом данная продукция должна обеспечивать сохранность всех заявленных на нее характеристик в пределах нормы, то есть после выполнения принудительного смыкания/размыкания электрических соединителей выполняются другие операции контроля: внешнего вида и разборчивости маркировки; нижнего предела силы расчленения контактов, силы расчленения/сочленения соединителей или момент вращения накидной гайки (байонетной обоймы), сопротивление изоляции, электрическая прочность изоляции, сопротивление контактов, сопротивление стыков токопроводящих сопрягаемых корпусных деталей, эффективность экранирования, герметичность, водонепроницаемость, коэффициент стоячей волны по напряжению. Каждая из приведенных контрольных операций подразумевает применение отдельных узлов и агрегатов.

Процессам износа и деградации параметров электрических соединителей посвящено множество работ, например [4, 5].

### Постановка задачи

При испытаниях на износостойкость электрических соединителей было бы крайне полезным измерять силу сочленения/расчленения. Это позволит анализировать состояние соединителя в процессе проведения испытаний в режиме «реального времени» с возможностью автоматической остановки процедуры при превышении регистрируемой силы либо по истечению определенного числа циклов с последующей чисткой и промывкой разъема. Кроме того, зафиксированный во время испытания характер изменения силы сочленения/расчленения позволит проводить более тщательный анализ конкретного типа электрического соединителя на надежность и износостойкость.

<sup>1</sup> ГОСТ 23784. Соединители низкочастотные низковольтные и комбинированные. Технические условия. М.: Изд. стандартов. 1998. 24 с.

В настоящее время испытания на износостойкость электрических соединителей проводятся при помощи механизированных установок с приводом от кулачкового механизма.

Конструкция этой механизированной установки не способна обеспечить точную регулировку параметров перемещения подвижного элемента с закрепленной на нем вилкой (или розеткой) электрического соединителя и не имеет возможности измерения сил, возникающих во время проведения испытаний. При этом неконтролируемое наступление фазы катастрофического износа приводит к физическому разрушению испытуемого электрического соединителя без возможности своевременной остановки процесса проведения испытаний и установления причины чрезмерного износа с отсутствием информации о динамике процесса [1].

В [6] описана экспериментальная установка для исследования надежности разъемных электрических соединителей. Предложенная структура испытательной установки не позволяет выдерживать постоянную скорость смыкания/размыкания электрических соединителей за счет применения кривошипно-шатунного механизма перемещения подвижного ползуна с приводом от электродвигателя постоянного тока. Кроме того, для изменения расстояния перемещения ползуна требуется ручная регулировка приводного узла. Величина изнашивания материала зависит от внешних факторов: температуры, окружающей среды, давления, скорости относительного перемещения поверхностей (без рывков), вида трения и т.д. [7]. Поэтому при испытаниях на износостойчивость крайне важно обеспечение требуемых скоростных режимов при сочленении/расчленении электрических соединителей с возможностью автоматического изменения расстояния перемещения подвижной плиты.

#### Решение задачи

В [8] описана автоматизированная установка для проведения испытаний контроля силы сочленения/расчленения электрических соединителей. Установка является базовой, то есть универсальной для испытуемых соединителей. Иными словами, для испытания конкретного типа разъема необходимо установить на

базовые плиты соответствующую испытательную оснастку (обоймы).

Данная установка содержит все узлы, необходимые для испытания на износостойкость со следующими функциями:

а) однозначное позиционирование испытуемых электрических соединителей в специализированных обоймах с обеспечением их точного взаимного перемещения при сочленении/расчленении;

б) установка и поддержание параметров перемещения при проведении испытаний: скорость, разгон и торможение, расстояние перемещения и т.д.;

в) измерение силы, возникающей в сочленяемой паре испытуемого соединителя в каждом цикле сочленения/расчленения с возможностью аварийной остановки процесса перемещения при превышении максимально допустимого значения силы, предварительно установленного пользователем.

На рис. 1 показаны результаты, полученные при помощи установки [8] с эмуляцией режима испытания на износостойкость электрического соединителя ГРПМШ-1 (рис. 1а) с числом циклов сочленения/расчленения – 500 ед., и испытанием соединителя СНП260 (рис. 1б) с числом циклов сочленения/расчленения – 300 ед. На данных рисунках силы сочленения обозначены как  $F_{\text{сочл}}$ , а расчленения –  $F_{\text{расчл}}$ .

Как видно из данных графиков, в процессе последовательного сочленения/расчленения испытуемых соединителей  $N$ -раз наблюдается рост регистрируемой силы. Поэтому конструкция установки для испытания на износостойкость электрического соединителя должна обеспечивать стабильную работу при больших нагрузках. С этой точки зрения «слабым» местом установки для автоматического контроля силы сочленения/расчленения [8] являются цилиндрические направляющие.

В работе [9] описаны особенности различных типов линейных направляющих и возникающих в них сил трения. В конструкции установки для автоматического контроля силы сочленения/расчленения электрических соединителей в качестве направляющих применяются прецизионные валы, обладающие наименьшим трением, создаваемым при перемеще-

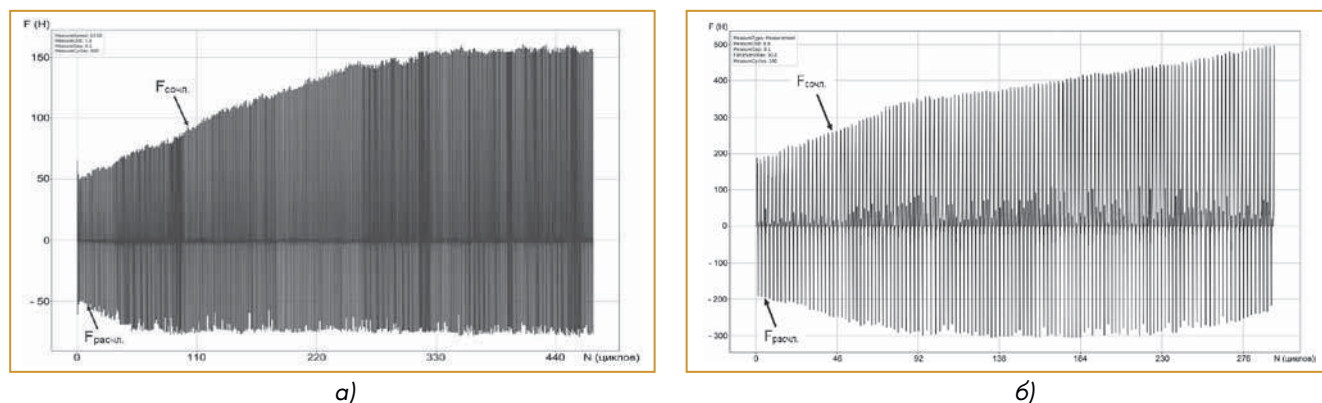


Рис. 1. Результаты испытаний на механический износ с контролем силы: а) электрического соединителя ГРПМШ –1; б) электрического соединителя СНП260

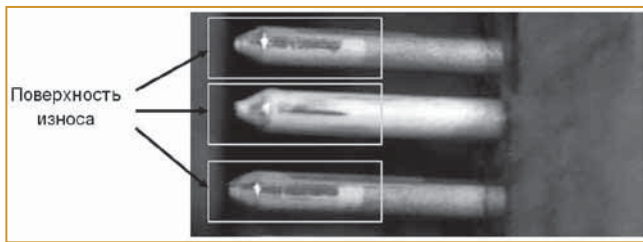


Рис. 2. Изношенные контакты электрического соединителя

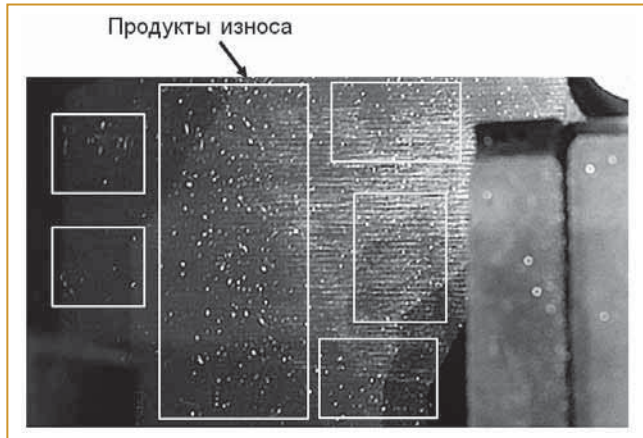


Рис. 3. Продукт механического износа соединителя при многократном сочленении и расчленении

нии подвижной плиты. Это связано с целью обеспечения максимальной точности при измерении сил сочленения/расчленения. В то время как профильные направляющие характеризуются большей величиной трения, чем у валов, они обладают наибольшим ресурсом и более устойчивы к нагрузкам.

В связи с тем, что процесс проведения данного испытания неразрывно связан с образованием продуктов износа контактов и изоляторов соединителей, то, прежде всего, необходимо обеспечить защиту подвижных элементов: направляющих и шарико-винтовой передачи (ШВП), так как попадание частиц износа может снизить точность и сократить ресурс работы устройства.

На рис. 2 представлены участки электрического соединителя, активно подверженные износу в процессе сочленения/расчленения, а на рис. 3 изображен продукт износа – в данном случае это мелкодисперсные частицы серебряного покрытия контакта и материала изолятора.

В конструкции установки для измерения силы сочленения/расчленения электрического соединителя нет возможности защиты направляющих, так как любая защита (типа гофры или т.п.) будет передавать силу на неподвижную базовую плиту, что значительно снизит точность проведения испытания.

#### Разработка специализированной автоматизированной установки

Таким образом возникает необходимость разработки специализированной автоматизированной установки испытания на износостойкость электрического соеди-

нителя, которая в общем виде будет представлять собой модернизированную версию установки автоматического контроля силы сочленения/расчленения электрического соединителя.

Прежде всего, вопросы модернизации касаются: использования более жесткой конструкции; замены типа направляющих; защиты направляющих и ШВП от попадания продуктов износа электрических соединителей; изменения программного обеспечения.

Внешний вид разработанной автоматизированной установки испытания на износостойкость электрического соединителя с контролем силы представлен на рис. 4, 5.

Станина автоматизированной установки состоит из боковин (2, 7) и специализированного конструкционного профиля (8). Дополнительно установка может быть оборудована виброизоляционными опорами либо кронштейнами, крепящимися к профилю при помощи гаек, установленных в пазах (на рисунках не показано). Подвижная (11) и неподвижная (12) базовые плиты скользят по профильным направляющим (9) при помощи кареток (10). Перемещение подвижной базовой плиты обеспечивается ШВП (17), закрепленной в подшипниковых опорах (15), приводом от шагового или сервопривода (1) через муфту (14). Защитная крышка (3) предотвращает попадание продуктов износа электрического соединителя в процессе проведения испытания на подвижные органы установки. Контроль начального положения подвижной плиты обеспечивается при помощи прецизионного концевого выключателя (16). Испытуемые разъемы устанавливаются в соответствующие посадочные места (4, 5). Отметим, что в конструкции разработанного устройства предполагается применение унифицированных посадочных мест для разъемов с установкой [8]. Данное конструктивное решение позволяет минимизировать затраты на разработку и изготовление оснастки для проведения испытаний контроля силы сочленения/расчленения и испытания износостойкости электрических соединителей. Регистрация силы, создаваемой при сочленении/расчленении электрических соединителей, обеспечивается при помощи S-образного тензометрического датчика (13).

В случае необходимости определения величины износа электрических соединителей по массе в конструкции установки могут быть предусмотрены прецизионные весы, при помощи которых определяется разница масс до и после испытания; после чего вычисляется величина износа.

Управление перемещением подвижной базовой плитой осуществляется контроллером шагового двигателя (на рисунке не показан) по командам, поступающим от модуля управления установкой. Модуль управления (6) включает многооборотный поворотный энкодер, позволяющий вводить и редактировать параметры проведения испытаний, жидкокристаллическую панель, обеспечивающую индикацию текущих параметров и режимов испытания, микроконтроллер и специализированный модуль обработки сигнала с тензодатчика.

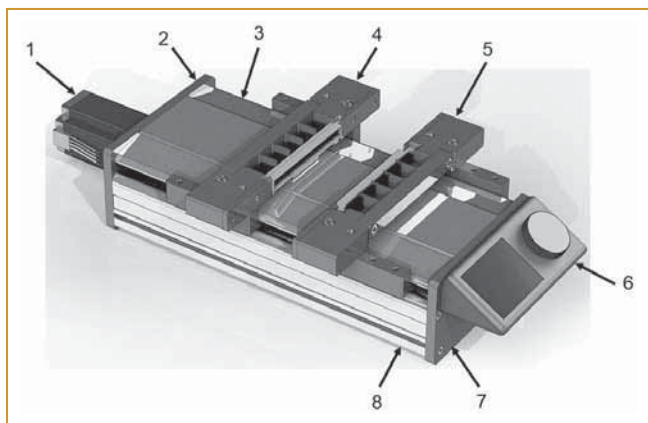


Рис. 4. Общий вид автоматизированной установки испытания на износостойкость электрических соединителей с контролем силы

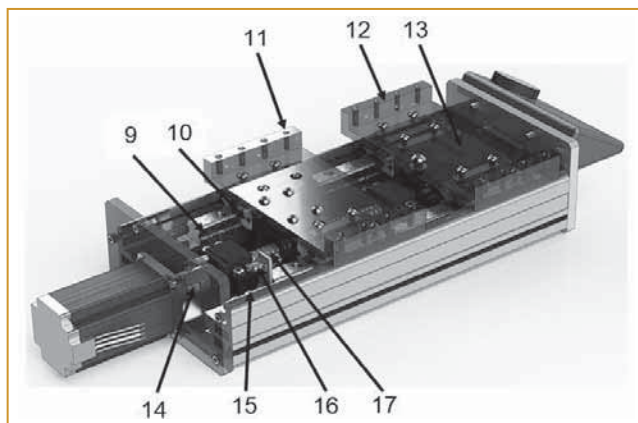


Рис. 5. Конструкция разработанной установки

В модернизированной версии программного обеспечения автоматизированной установки испытания на износостойкость электрического соединителя с контролем силы, согласно ГОСТ 23784, предусматривается функция принудительной остановки процесса для проведения операций прочистки разъема через определенное число циклов, задаваемых пользователем. В связи с тем, что число изменяемых (редактируемых) параметров в этой установке невелико по сравнению с установкой, описанной в [8], была выбрана именно такая упрощенная реализация модуля управления, не предусматривающая использование дорогостоящих электронных компонентов, их сложного взаимодействия по сложным протоколам обмена, что однозначно положительно сказалось на конечной стоимости представленной установки.

#### Вывод

Таким образом, разработана автоматизированная установка испытания на износостойкость электрического соединителя с контролем силы. Предложенная структура позволяет обеспечить:

- 1) перемещение испытуемых разъемов с точностью  $\pm 0,02$  мм;
- 2) реализацию требуемых скоростных режимов при сочленении/расчленении соединителей;
- 3) автоматическое изменение расстояния перемещения подвижной плиты при испытании разных типов разъемов за счет применения ШВП с приводом от шагового двигателя;
- 4) быструю смену и позиционирование испытательной оснастки на базовых плитах;
- 5) анализ и протоколирование измеренных результатов силы сочленения и расчленения в процессе проведения испытания;

- б) возможность прерывания процесса при регистрации максимально допустимой силы.

#### Список литературы

1. Сафонов Л.И., Сафонов А.Л. Трение и износ в контактных парах электрических соединителей // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 3. с. 34-39.
2. Рыбакова Н.В., Марков В.В. Разработка метода входного контроля разъемных электрических соединителей ракетно-космической техники // Качество в производственных и социально-экономических системах. 2017. № 5. с. 277-281.
3. Лярский В.Ф., Мурадян О.Б. Электрические соединители. М: Радио и связь. 1988. 272 с.
4. Jian Song, Christian Koch, Liangliang Wang. Correlation between Wear Resistance and Lifetime of Electrical Contacts//Advances in Tribology. Volume 2012. Article ID 893145. 9 p.
5. Hans Essone Obame, Rochadi El Abdi, Noureddine Benjema, Erwann Carvour. Plug-in connectors aging and in situ diagnostic tool for force measurement implementation//The Romanian Review Precision Mechanics. Optics & Mechatronics. 2016. Issue 49. p. 19-27.
6. Уткин Г.И., Марков В.В. Особенности процесса трения рабочих поверхностей деталей контактной пары разъемного электрического соединителя // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. №2-5(292). с. 95-100.
7. Lyazgin A.O., Shugurov A.R., Panin A.V., Sergeev V.P., Neufeld V.V., Shesterikov E.V. Improvement of the wear resistance of electroplated Au-Ni coatings by Zr ion bombardment of Ni-B sublayer // AIP Conf. Proc. 2015. V. 1683. P. 20130.
8. Акулов П.А., Сырых А.Д. Автоматизированная установка контроля усилия сочленения и расчленения электрического соединителя // Автоматизация в промышленности. 2019. №1. с. 48-51.
9. Акулов П.А., Петрешин Д.И. Обоснование выбора направляющих для автоматизированного испытательного оборудования // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2019. №3. с. 1-10.

Акулов Павел Александрович – аспирант ФГБОУ ВО «БГТУ»,  
Петрешин Дмитрий Иванович – д-р техн. наук, доц., директор УНТИ, ФГБОУ ВО «БГТУ»,  
Сырых Андрей Дмитриевич – генеральный директор ООО «КОНСТРУКТОР».  
E-mail: Akulov.Paul@mail.ru, Andrew@Syrykh.com