

На правах рукописи

АКУЛОВ ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
КОНТРОЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ
ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Специальность: 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Брянск – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Петрешин Дмитрий Иванович**,
доктор технических наук, доцент,
директор Учебно-научного технологического
института
ФГБОУ ВО «Брянский государственный
технический университет»

Официальные
оппоненты: **Еременко Владимир Тарасович**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры Информационной
безопасности
ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева»

Милостная Наталья Анатольевна,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник кафедры
Вычислительная техника
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный
университет»

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет» (г. Белгород)

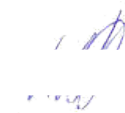
Защита состоится «27» октября 2023 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета 99.0.033.02, по адресу: 241035, г. Брянск, ул. Харьковская, д. 10-Б, учебный корп. № 4, ауд. Б101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» и на сайте: <https://www.tu-bryansk.ru/mainpage/dissertatsii/akulov-pavel-aleksandrovich>

Отзывы на автореферат высылать по адресу: 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет».

Автореферат разослан «___» _____ 2023г.

Ученый секретарь диссертационного
совета 99.0.033.02
кандидат технических наук, доцент



В.А. Хандожко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В составе практически любого современного электронного устройства имеется электрический соединитель (ЭС). По оценкам специалистов, на сегодняшний день до 50 % отказов электроаппаратуры происходит из-за недостаточного качества ЭС. В связи с этим по всему миру идет борьба за качество ЭС в условиях расширения функций и усложнения структуры аппаратуры.

Неотъемлемой частью технологического процесса изготовления ЭС (разъемов) являются операции контроля, некоторых из них, а именно контроль сил сочленения и расчленения разъемов и их контактов, являются наиболее ответственными и трудоемкими. Данные операции проводятся вручную при помощи специализированных приспособлений и устройств. При этом для всей партии разъемов контролируется сила расчленения каждого контакта ЭС. Для отдельной выборки, определяемой категорией проводимых испытаний, измеряется сила сочленения и расчленения пар ЭС.

Можно однозначно заявить об отсутствии объективных результатов контрольных операций, проводимых вручную, за счет человеческого фактора, и неспособности гарантированно выдерживать требования, сформулированные в ГОСТ.

Автоматизация операций контроля сил сочленения–расчленения контактных пар ЭС позволит минимизировать данные недостатки. Кроме того, она позволяет обеспечить выдачу высокоточных результатов проводимых испытаний, вводить корректировку в технологический процесс производства с возможностью ведения статистических данных. В связи с этим тема диссертации является актуальной научной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Большой вклад в развитие теоретических исследований измерения сил сочленения–расчленения ЭС внесли отечественные и зарубежные исследователи: А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов, И. А. Макаров, А. Д. Катунин, Л. И. Лебедева, Y. L. Hsu, Y. C. Hsu, M. S. Hsu, E. W. Degg, J. Horn, B. Egenolf, J. Song, C. Koch, L. Wang, Y. Li, F. Zhu, Y. Chen, K. Duan, K. Tang, S. Liu, S. Ling, L. Xu, G. Zhai, W. Yu, Z. Zeng, B. Peng, S. Yan, Y. Huang, J. Ni, L. Han, J. Pan, J. Zheng, Y. Shi, Z. Cui, J. Cai, Y. Y. Luo, L. Zhang, F. Meng, J. Hao, J. Y. Yang, X. W. Liu, X. N. Li, Y. Ren, Y. Zhang, W. Li, P. Jun, F. Jin, W. Chen, P. Qian, R. Jackson, W. R. Ashurst, G. T. Flowers, M. Bozack, I. Heile, R. Huske, Quoc K. E. T., M. Gedeon, K. Meredith, J. Moran, M. Sweetland, P. Suh, R. S. Mroczkowski, R. Yuan, H. Li, Q. Wang, N. A. Stennet, D. Price и др.

Экспериментальным исследованиям проводимых испытаний посвящено не так много работ. Разработкой систем контроля и измерения сил сочленения–расчленения контактных пар занимались: Г. И. Уткин, В. М. Рябиков, Г. Н. Фомичев, Е. С. Бобков, А. Е. Лисунов, М. З. Левин, А. Г. Давидчук, Е. А. Солодухин, Н. Е. Obame, R. Abdi, N. Benjemaa, E. Carvou, P. V. Dijk, I. Pal, F. Greiner, R. Chadda, J. Adolf, S. Beck, M. Kupnik, J. Lim,

Н. Kim, J. K. Kim, S. J. Park, T. H. Lee, S. W. Yoon, N. A. Stennet, компании «Термопро», «ImetTest», «Interpower», «Mechmesin».

Имеющиеся в данной области научные достижения требуют дальнейшего развития. В частности, не решены вопросы, связанные с методикой измерения силы сочленения контакта ЭС с контрольным штырем–калибром, разработкой структуры и алгоритмов работы автоматизированных систем, позволяющих выполнять контроль сил сочленения–расчленения с требуемыми параметрами перемещения, а также возможностью протоколирования полученных данных.

Цель диссертационной работы: разработка методов и средств автоматизации для повышения производительности при выполнении контрольных операций в технологическом процессе изготовления электрических соединителей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Выполнить анализ физических процессов, характеризующих контактную силу ЭС, существующих методов реализации контрольных операций в технологическом процессе изготовления ЭС и средств измерения.
2. Разработать технические решения, обеспечивающие перемещение подвижных узлов автоматизированных систем управления операциями контроля (АСУ ОК) сил сочленения–расчленения контактных пар ЭС на заданное расстояние с установленной скоростью и ускорением, с фиксацией действительных значений сил сочленения–расчленения, исключая человеческий фактор с увеличением производительности.
3. Разработать специальное математическое обеспечение, алгоритмическое обеспечение и пакет прикладных программ для АСУ ОК сил сочленения и расчленения контактных пар ЭС.
4. Выполнить реализацию технических решений для разработанных АСУ ОК ЭС и определить их точностные характеристики.
5. Провести экспериментальные исследования изменения сил сочленения–расчленения контактных пар ЭС с использованием разработанных АСУ.

Объектом исследования являются операции контроля сил сочленения и расчленения контактных пар ЭС в технологическом процессе их изготовления.

Предметом исследования являются методы и средства, используемые при проведении контрольных операций в технологическом процессе изготовления ЭС.

Научную новизну работы определяют:

– предложенный метод автоматизированного контроля силы сочленения и силы расчленения гнездовых контактов многоконтактного ЭС (п. 2 паспорта научной специальности – *«Автоматизация контроля и*

испытаний», п. 3 паспорта научной специальности – «Методология, научные основы, средства и технологии построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т.д.»);

- предложенный метод автоматизированного измерения силы сочленения и силы расчленения пар ЭС (п. 2, 3 паспорта научной специальности);

- методика определения гарантированного смыкания контактных пар ЭС с анализом возникающих сил сочленения и расчленения (п. 2, 3 паспорта научной специальности).

Практическая значимость диссертационной работы заключается в:

- новых технических решениях, обеспечивающих перемещение подвижных узлов АСУ ОК сил сочленения–расчленения контактных пар ЭС на заданное расстояние с установленной скоростью и ускорением, с фиксацией действительных значений сил сочленения–расчленения, исключая влияние человеческого фактора с увеличением производительности;

- разработанной конструкции компенсационного крепления штыря–калибра относительно испытываемого гнезда ЭС, обеспечивающей максимально допустимое отклонение по позиционированию $\pm 0,2$ мм (на примере испытаний разъемов типа РП10 и РП14);

- разработанной конструкции крепления тензометрического датчика к неподвижной плите, снижающей погрешность измерения с 18 % (в случае «жесткого» крепления) до 1 %;

- разработанном высокоскоростном модуле обработки сигнала тензодатчика, который дополнительно может осуществлять управление подвижной линейной осью АСУ ОК ЭС по USB-шине;

- разработанных алгоритмах и пакетах прикладных программ, обеспечивающих функционирование, настройку, визуализацию и протоколирование процессов измерения сил сочленения–расчленения контактных пар ЭС;

- экспериментально установленной необходимости ожидания завершения релаксации контактных поверхностей между сериями исследований изменения сил сочленения–расчленения при последовательных смыканиях и размыканиях ЭС.

Методология и методы исследования. При теоретических исследованиях использовались основные положения теории автоматического управления, теоретической механики, математического и компьютерного моделирования, автоматизированного проектирования, теории измерений, программирования на языках высокого уровня, планирования эксперимента, статистической обработки информации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методы повышения производительности при выполнении контрольных операций в технологическом процессе изготовления ЭС.
2. Технические решения по созданию АСУ ОК ЭС.

3. Специальное математическое обеспечение, разработанные алгоритмы и прикладное программное обеспечение АСУ ОК ЭС.

4. Новая методика определения гарантированного смыкания контактных пар ЭС с анализом возникающих сил сочленения и расчленения.

5. Результаты экспериментальных исследований изменения сил сочленения–расчленения контактных пар ЭС с использованием разработанных АСУ.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность основных научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертации, подтверждается результатами проведенных экспериментальных исследований с использованием разработанных АСУ, полученными патентами РФ, результатами испытаний АСУ в условиях освоения опытных конструкций разъемов и выпуска серийной продукции, (акт опытно-промышленных испытаний на предприятии АО «Дубненский завод коммутационной техники»), а также публикациями автора в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и участием в конференциях различного уровня.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях: II Региональной научно-практической конференции «Инновации 2016. Современное состояние и перспективы развития инновационной экономики» (Брянск, 2016), IX Международной научно-практической конференции «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке и образовании» (Брянск, 2017), Всероссийской научно-методической конференции «Проектирование машин, роботов и мехатронных систем» (Орел, 2017), Региональных конференциях по итогам конкурса на лучшую научную работу аспирантов и молодых ученых по естественным, техническим и гуманитарным наукам, проводимого департаментом образования и науки Брянской области (г. Брянск, 2017–2018), Международной научно-технической конференции «Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения» (Севастополь, 2018), II Международной научно-практической конференции «САПР и моделирование в современной электронике» (Брянск, 2018), III Международной научно-практической конференции «МЕХАТРОНИКА, АВТОМАТИКА И РОБОТОТЕХНИКА» (Новокузнецк, 2019), II Международной научной конференции «Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство» (Казань, 2019), VI Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию БГТУ «Новые горизонты» (Брянск, 2019), 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых, посвященной 55-летию ЮЗГУ «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: ШАГ К УСПЕХУ» (Курск, 2019), III Международной научно-практической конференции «САПР и моделирование в современной электронике» (Брянск, 2019), Международной конференции «Авиастроение и транспорт» (Иркутск, 2019), Международной научно-технической конференции «Обеспечение

и повышение качества изделий машиностроения и авиакосмической техники» (Брянск 2020).

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 25 печатных работах (11 научных статей опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, и 1 статья в издании, индексируемом в международных базах данных Scopus). Получены: патент на полезную модель, патент на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, оформленного в виде основных результатов и выводов, а также рекомендаций и перспектив дальнейшей разработки темы, списка литературы и приложений. Работа изложена на 227 страницах машинописного текста, включающего 16 таблиц, 112 рисунков, списка литературы из 190 наименований и приложений на 25 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведено обоснование актуальности решаемой проблемы, цель, задачи, научная новизна и практическая значимость исследования, положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены составляющие и функции ЭС. Проведен обзор покрытий контактов ЭС и образующихся на них пленок. Рассмотрены особенности деформации и износа контактирующих поверхностей ЭС.

Определено, что контактная сила является ключевым параметром при обеспечении заданных механических и электрических характеристик разъемов. Процесс фактического контроля величины контактной силы затруднен ввиду малых размеров контактов ЭС и высокой плотности их расположения в изоляторе. На практике он заменен косвенным методом проверки силы расчленения – силы, необходимой для полного расчленения контактов и ЭС с ответной частью.

Рассмотрены способы одиночного и группового контроля силы расчленения контакта ЭС штырем–калибром. Анализ применяемых средств контроля силы расчленения контакта со штырем–калибром показал отсутствие устройств, альтернативных грузикам с калибрами. При этом возникают проблемы, связанные с человеческим фактором при ручном способе проведения испытаний, а также отсутствует возможность фиксации действующего значения силы. В работе обоснована целесообразность разработки автоматизированных систем, способных измерять не только силу расчленения контакта с контрольным штырем–калибром, но и силу сочленения.

В процессе производства для пар ЭС проводится контроль силы сочленения и силы расчленения. Проведенный анализ применяемых средств контроля/измерения сил сочленения и расчленения пар ЭС выявил отсутствие устройств, полностью удовлетворяющим требованиям, предъявляемым к данной контрольной операции согласно ГОСТ 23784-98.

Проанализированы существующие структуры систем автоматического и автоматизированного контроля.

Вторая глава посвящена разработке технических решений для повышения производительности операций контроля сил сочленения–расчленения контактных пар ЭС с исключением человеческого фактора. Предлагается разработка двух отдельных АСУ ОК ЭС: первая выполняет операции контроля сил сочленения–расчленения для отдельных контактов ЭС со штырем–калибром, а вторая – для пары вилка-розетка.

Данные АСУ должны реализовывать следующие общие функции:

- 1) обеспечение и поддержание необходимых параметров перемещения подвижных узлов во время проведения испытаний: расстояние, скорость, ускорение;
- 2) проведение испытаний различных типов ЭС на одной установке;
- 3) осуществление локальной визуализации процесса с возможностью оперативного ввода, редактирования параметров измерения, и хранения заданных значений в энергонезависимой памяти;
- 4) автоматическое регистрирование, обработка, протоколирование и представление действительных значений параметров во время проведения испытания.

В состав разрабатываемых систем входят: базовая механическая часть с управляемыми электроприводами, сменная технологическая оснастка, система визуализации и управления, измерительная часть.

В результате проведенного анализа существующих технических средств, используемых в разрабатываемых системах, в качестве приводных элементов базовой механической части выбраны шаговый двигатель (ШД), шарико-винтовая передача (ШВП), линейные направляющие качения. В качестве устройства, обеспечивающего измерение силы, прилагаемой во время проведения испытаний, выбраны резистивные тензометрические датчики силы типа «Single Point».

Установлено, что для измерения силы с дискретностью перемещения подвижного узла не менее чем 0,2 мм при скорости 10 мм/с требуется специализированный измерительный модуль с временем регистрации и обработки сигнала тензодатчика не более 20 мс. Проведенный анализ подобных устройств, представленных на отечественном рынке, показал отсутствие готовых решений. В связи с чем совместно с ООО «КОНСТРУКТОР» (г. Брянск) был разработан и изготовлен специализированный модуль обработки сигнала тензодатчика с отдельным источником питания, квази-гальванически изолированной шиной обмена и АЦП AD7730. Примененные схемотехнические решения позволяют минимизировать влияние импульсных цепей на результаты обработки АЦП измерительного модуля. Время обработки сигнала, в зависимости от настроек, составляет 1,44–15 мс.

Автоматизированная установка контроля силы сочленения и расчленения контакта ЭС обеспечивает последовательную вставку штыря–

калибра во все гнезда разъема с одновременным измерением силы его ввода–вывода. К примеру, ЭС типа СНП388 имеет в своем составе 120 контактов. Механическая часть данной АСУ состоит из трех линейных осей, где: перемещение по оси X обеспечивает переход от одного контакта ЭС к другому в одном ряду; перемещение по оси Y осуществляет переход между рядами; перемещение по оси Z – непосредственное измерение силы, которую необходимо приложить для ввода и вывода штыря–калибра в контакт контролируемого разъема.

Автоматизированная установка для измерения силы сочленения и расчленения пар ЭС состоит из одной линейной оси, на которой расположены подвижная и неподвижная плита с общими направляющими. На подвижной плите через оснастку установлен испытуемый ЭС, на неподвижной плите, соединенной с тензодатчиком, через оснастку установлена ответная часть ЭС.

Система визуализации и управления двух разрабатываемых АСУ ОК ЭС включает в себя:

- 1) модуль управления приводом в виде контроллера ШД;
- 2) модуль исходного положения, состоящий из датчиков, определяющих исходное положение подвижной плиты линейной оси установки;
- 3) модуль индикации в виде сенсорного панельного контроллера (СПК), обеспечивающего ввод и редактирование параметров с отображением состояния процесса и результата проведения испытания;
- 4) модуль управления установкой в виде микропроцессорной системы, осуществляющей управление по заданному алгоритму.

В автоматизированной установке для измерения силы сочленения–расчленения контакта ЭС управление контроллером ШД оси Z осуществляется отдельным процессором модуля обработки сигнала тензодатчика по шине USB. Управление контроллерами ШД линейных осей X и Y осуществляется по шине RS-485 и протоколу Modbus RTU командами от модуля управления и индикации в виде СПК. Структурная схема такой АСУ представлена на рисунке 1 а.

В общем виде АСУ ОК силы сочленения и расчленения пар ЭС аналогична представленной ранее. Управление контроллером ШД подвижной оси осуществляется по RS-485 от СПК. Структурная схема такой системы управления представлена на рисунке 1 б.

В математическом виде скорость сочленения, расчленения гнездовых контактов ЭС с контрольным штырем–калибром и пар разъемов на разработанных АСУ определяется как:

$$V_{\text{сочл.}} = \begin{cases} V_{\text{зад.}}, & L_{\text{T}} < L_{\text{max}} \\ 0, & L_{\text{T}} = L_{\text{max}} \end{cases}, \quad (1)$$

$$V_{\text{расчл.}} = \begin{cases} V_{\text{зад.}}, & L_{\text{T}} > 0 \\ 0, & L_{\text{T}} = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где $V_{\text{сочл.}}$ – скорость сочленения (мм/с); $V_{\text{расчл.}}$ – скорость расчленения (мм/с); $V_{\text{зад.}}$ – заданная скорость перемещения подвижного узла (мм/с); L_{T} – текущая

координата подвижного узла (мм); L_{max} – заданное расстояние перемещения подвижного узла (мм).

Признак переключения направления движения будет иметь вид:

$$\delta = \begin{cases} 0, & L_T < L_{max} - \text{фаза сочленения} \\ 1, & L_T = L_{max} - \text{фаза расчленения} \end{cases} \quad (3)$$

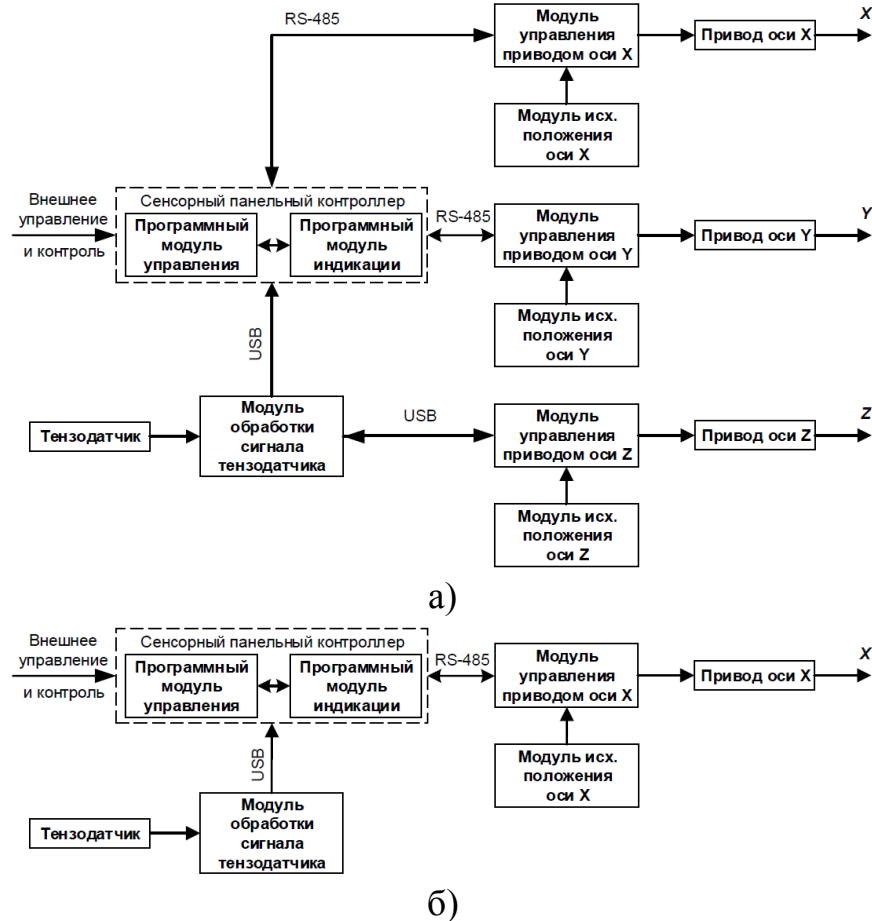


Рисунок 1 – Структурная схема АСУ ОК сил сочленения–расчленения:
а) гнездовых контактов ЭС; б) пар ЭС

В АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС испытуемый разъем устанавливается в сменную технологическую оснастку на подвижную плиту оси Y контактными выводами вверх. Позиционирование обеспечивается пазами оснастки по контуру изолятора с поджимом.

Конструкция оснастки АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС имеет более сложный вид и зависит от типа испытуемых разъемов. В работе определены основные преимущества смыкания–размыкания ЭС в горизонтальной плоскости. Проведенная классификация типов прямоугольных ЭС выявила 4 группы технологической оснастки, отличающиеся между собой конструкцией. Данная классификация позволяет упростить процесс проектирования оснастки.

В ходе моделирования и экспериментальных исследований установлено, что при сочленении и расчленении пар ЭС возникает деформация изолятора, приводящая к неравномерности смыкания ЭС. Для компенсации величины возникающего прогиба изоляторов необходимо предусматривать упорную гребенку в конструкции соответствующей технологической оснастки.

В третьей главе проводится анализ математических методов определения экстремумов в контексте поиска максимальных и минимальных значений регистрируемых сил во время проведения испытаний (сил сочленения и расчленения). В результате выбран численный метод перебора, позволяющий производить необходимые вычислительные и сравнительные операции на этапе регистрации силы в текущий момент.

Изложены основные подходы по реализации алгоритмического и программного обеспечения. В разработанных автоматизированных установках применяется несколько общих алгоритмов. Контроль аппаратных ошибок диагностирует АСУ на наличие сбоев работы. Процедура поиска исходной позиции обеспечивает перемещение подвижных элементов осей в начальное положение перед испытанием. Процедура калибровки нуля тензодатчика обнуляет значение силы, регистрируемой тензодатчиком перед испытанием. Калибровка шкалы измерения применяется для вычисления коэффициента, необходимого для преобразования сигнала, фиксируемого АЦП, в фактическое значение силы, приложенной к тензодатчику (формула 4). В процессе данной процедуры тензодатчик должен быть нагружен грузом известной массы, величина которой вводится в АСУ, после чего рассчитывается коэффициент пропорциональности (формула 5).

$$F = (ADC_{\text{текущ.}} - ADC_{\text{нуля}}) \cdot R, \quad (4)$$

$$R = \frac{m \cdot g}{ADC_{\text{гири}} - ADC_{\text{нуля}}}, \quad (5)$$

где F – регистрируемая тензодатчиком сила (Н); $ADC_{\text{текущ.}}$ – текущее значение кода АЦП модуля преобразования сигнала тензодатчика; $ADC_{\text{нуля}}$ – значение кода АЦП после корректировки «нуля» тензодатчика; R – коэффициент пропорциональности сигнала тензодатчика (Н); m – масса калибровочной гири (кг); g – ускорение свободного падения (м/с^2); $ADC_{\text{гири}}$ – значение кода АЦП при нагружении тензодатчика калибровочной гирей.

На рисунке 2 а представлен общий граф состояний для двух разрабатываемых АСУ, в котором: А – контроль аппаратных ошибок; В – поиск исходной позиции; С, I_1 , L_1 – вывод на экран СПК сообщения об ошибке; C_1 – перезагрузка системы; D – задание параметров перемещения и измерения; E – перемещение к целевой позиции; F – запуск цикла измерения; G – сочленение контактной пары; H, K – контроль максимально допустимой силы; I, L – аварийный останов; J – расчленение контактной пары; M – вывод на экран СПК результатов испытаний. Условия перехода: 1 – ошибок не обнаружено; 2 – ошибки обнаружены; 3 – сообщение выведено; 4 – кнопка уведомления об ошибке нажата; 5 – система перезагружена; 6 – осуществляется поиск исходной позиции; 7 – ошибка поиска исходной позиции; 8 – окончание поиска исходной позиции; 9 – выполняется задание параметров; 10 – задание параметров завершено; 11 – выполняется перемещение к целевой позиции; 12 – перемещение к целевой позиции завершено; 13 – ожидание запуска цикла измерения; 14 – цикл измерения запущен; 15 – выполняется смыкание контактной пары; 16, 22 – произошло превышение по максимально допустимой силе; 17, 23 – осуществлен

аварийный останов; 18, 24 – сообщение об ошибке выведено; 19 – лимит по силе не превышен; 20 – смыкание завершено; 21 – выполняется размыкание контактной пары; 25 – размыкание завершено; 26 – цикл измерения завершён; 27 – кнопка уведомления о результатах измерения нажата.

В связи с тем, что в установке контроля пар ЭС дополнительно применяется алгоритм поиска точки смыкания базовых плит, то в граф для такой системы будет добавлен блок, представленный на рисунке 2 б. Состояние N – определение точки смыкания плит, а соответствующие условия перехода будут иметь вид: 28 – выполняется определение точки смыкания плит; 29 – обнаружена ошибка определения точки смыкания плит; 30 – точка смыкания плит определена.

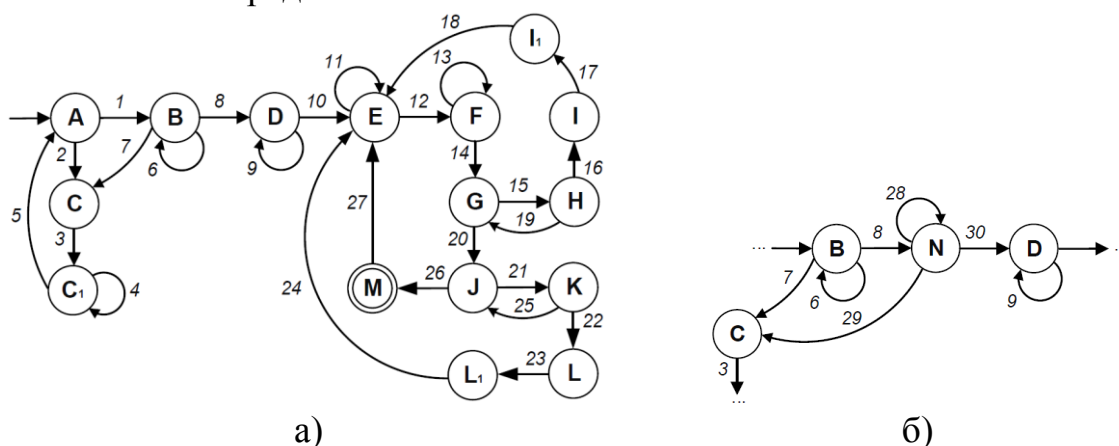


Рисунок 2 – Граф состояний АСУ ОК сил сочленения–расчленения:

а) гнездовых контактов ЭС; б) дополнение для установки контроля пар ЭС

Программирование применяемых СПК осуществляется в среде программирования CoDeSys V3.

В автоматизированной установке контроля сил сочленения–расчленения контактов ЭС позиционирование разъема относительно штыря–калибра осуществляется по двум координатам, задаваемым через СПК. В качестве начала системы координат принимается нулевая точка измерительной установки, в которой все три оси измерительной установки находятся в исходном положении.

На начальном экране визуализации АСУ силы сочленения–расчленения контакта ЭС представлены окна для ввода оператором параметров перемещения по трем осям, окно отображения текущего значения силы и окно ввода ограничения по максимальной допустимой силе, регистрируемой в неаварийном режиме работы. Процесс измерения заключается в вертикальном перемещении штыря–калибра на заданное расстояние с одновременной фиксацией и анализом сил. Число циклов задается отдельным окном. При завершении испытания на экране СПК выводятся максимальные и среднеарифметические значения силы сочленения и расчленения при N последовательных циклах (рисунок 3 а). В случае фиксации силы, выходящей за допустимый диапазон значений, установленных пользователем, у соответствующего значения отображается предупредительный флаг.

Для АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар разъемов разработан алгоритм автоматического поиска точки смыкания базовых плит, основанный на факте линейной зависимости силы, фиксируемой тензодатчиком, и его механической деформации. Заключается в автоматическом определении точки касания базовых плит с нулевой силой, иными словами, в определении расстояния между плитами с анализом работоспособности тензодатчика. На начальном экране АСУ расположены кнопки запуска процедуры поиска точки смыкания плит, окно перехода в меню настроек и окна перехода в меню проведения измерения/испытания. Процедура измерения заключается в перемещении подвижной базовой плиты из исходного положения на заданное расстояние с установленной скоростью и ускорением с одновременной фиксацией и анализом регистрируемых тензодатчиком сил. Вид вывода результатов испытаний аналогичен ранее описанному (рисунок 3 б).

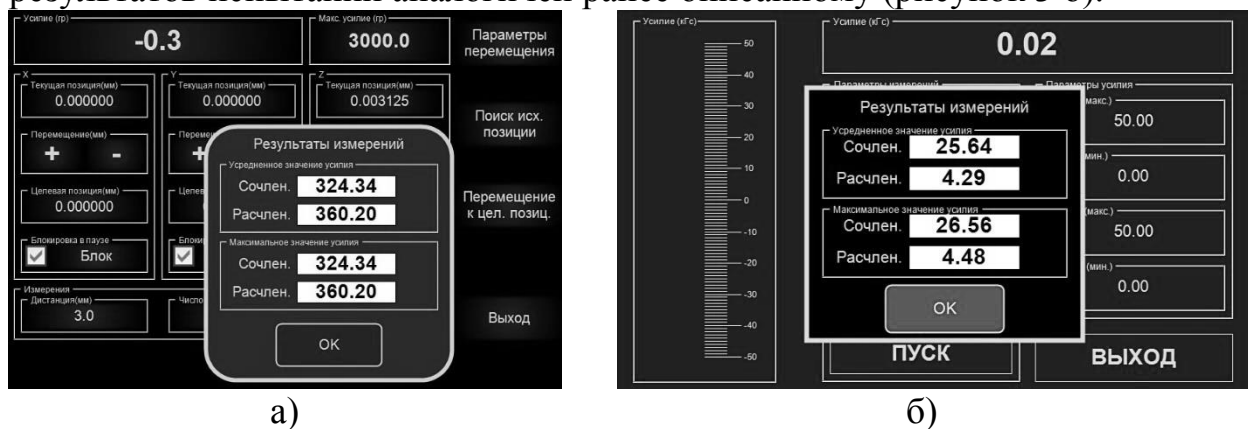


Рисунок 3 – Визуализация окна отображения результатов измерения силы сочленения–расчленения: а) контакта ЭС; б) пар ЭС

Глава 4 посвящена описанию реализации технических решений для АСУ ОК ЭС. Разработан механизм, компенсирующий погрешность расположения контрольного штыря–калибра относительно контакта. Предложена реализация АСУ ОК силы сочленения и расчленения контакта ЭС на базе разработанных модулей линейного перемещения (рисунок 4 а). При сборке и юстировке установки было обеспечено максимальное отклонение взаимного положения осей в пределах $\pm 0,02$ мм, а повторяемость при позиционировании составила $\pm 0,005$ мм.

Разработана запатентованная конструкция автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС в диапазоне измеряемых сил от 0,98 Н до 490 Н (рисунок 4 б). Проведен эксперимент по определению точности перемещения подвижной плиты установки для измерения силы сочленения–расчленения ЭС в нагруженном и ненагруженном состоянии. При этом точность и повторяемость перемещения в ненагруженном состоянии составила $\pm 0,01$ мм и $\pm 0,005$ мм соответственно. Максимальное отклонение положений базовых плит в нагруженном состоянии составило 0,13 мм. Обосновано применение компенсирующего кулисного механизма, снижающего погрешность измерения с 18 % (в случае «жесткого» крепления тензодатчика с неподвижной плитой) до 1 %.

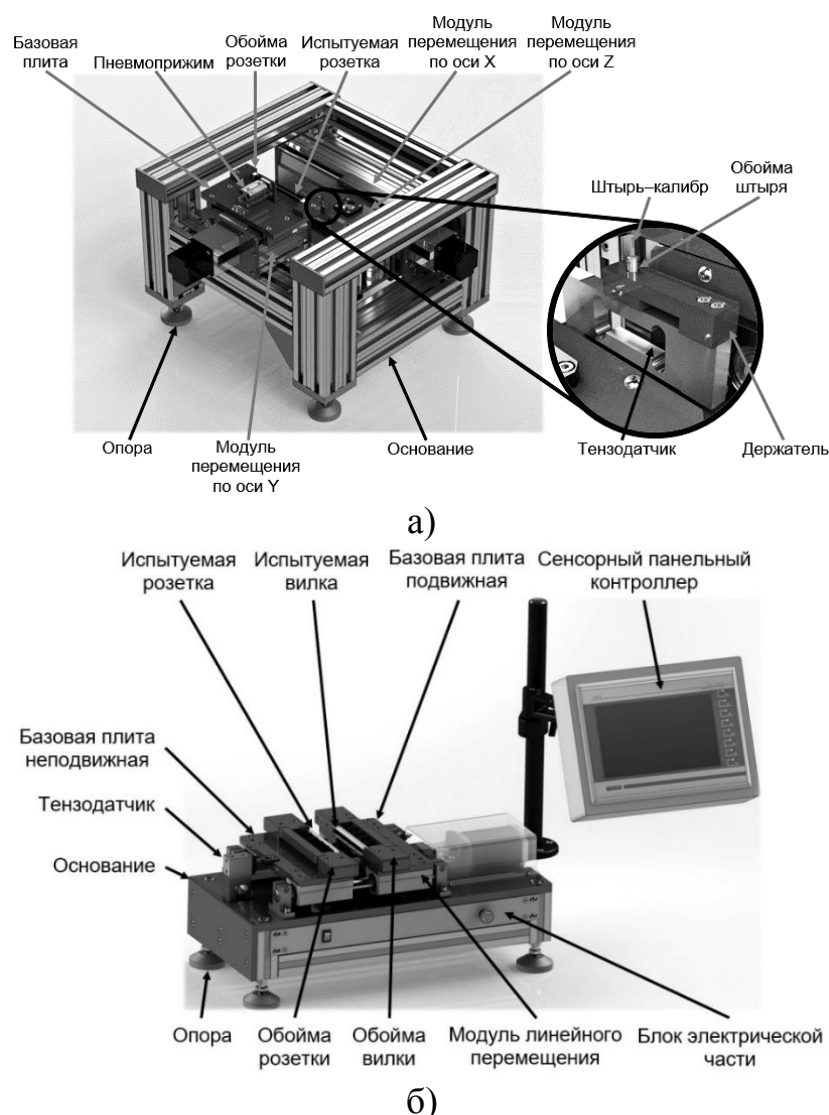


Рисунок 4 – Конструкция автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения: а) контактов; б) пар ЭС

Дополнительно разработаны альтернативные конструкции данной автоматизированной установки для измерения сил сочленения и расчленения пар миниатюрных ЭС, значения которых могут быть меньше, чем 0,98 Н, и отдельной установки для проведения испытаний пар ЭС на механическую износостойкость с одновременной регистрацией сил.

В главе 5 представлены результаты экспериментальных исследований технологических параметров проведения испытаний с использованием разработанных АСУ. Для наглядности представления на ПК данных в виде графиков (рисунок 5), получаемых в результате сочленения–расчленения контактных пар ЭС, был разработан скрипт на языке Python. Данные графики сохраняются на SD-карту СПК с именем файла в формате: «Г-М-Д-Ч-М-С», т.е. год, месяц, день, час, минута, и секунда начала процесса измерения. Такой формат в случае ведения отдельного журнала испытаний позволяет оперативно найти данные по конкретному измерению.

Фаза сочленения происходит на участке I от точки А до точки D. Значение точки В определяет величину силы сочленения. Участок от точки С до точки D определяет силу трения скольжения при сочленении. На участке II

от точки D до точки F происходит фаза расчленения. При этом точка E определяет результирующую силу расчленения. На участке III видны колебания, определяющиеся упругими свойствами тензодатчика.

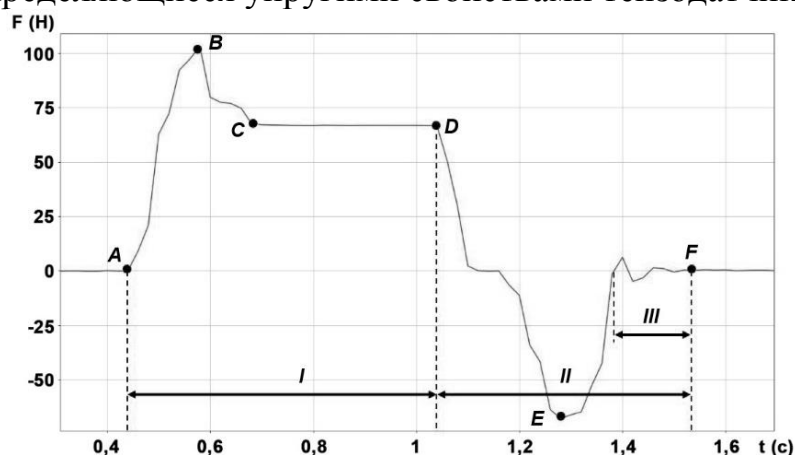


Рисунок 5 – Изменение силы в цикле смыкания и размыкания контакта со штырем–калибром / пары ЭС

Экспериментально была доказана эффективность применения разработанной АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС с контрольным штырем–калибром по сравнению с ручным методом: среднее отклонение от повторяемости данных, полученных в серии 5 циклов, при ручном методе составило 33–56 %, а при автоматизированном – 8–15 %.

Экспериментально подтверждено увеличение производительности выполнения КО ЭС с применением разработанных АСУ по сравнению с ручным способом: на 24 % для отдельных контактов ЭС (на примере ЭС типа СНП388) и на 176 % для пар разъемов.

Определено, что в процессе проведения испытаний при некорректном задании величины относительного перемещения контактной пары во время испытания возникают ситуации, когда испытываемая пара либо недосочленяется, либо пересочленяется, что в одном случае приводит к занижению результатов измерения, а в другом – к завышению. Для устранения данной ошибки была разработана методика гарантированного сочленения, которая заключается в анализе регистрируемой силы и ее первой производной с незначительным пересочленением.

Из графика, представленного на рисунке 6, видно, что при пересочленении значительно увеличивается не только регистрируемая сила, но и порядок изменения скорости нарастания силы. Алгоритм методики, обеспечивающей гарантированное сочленение в процессе проведения испытания, следующий: необходимо обеспечить первоначальный набор данных по скорости изменения силы $tg(F)$ на участке L_{min} . Предполагается, что для каждого типа испытываемого ЭС данное значение будет задаваться с СПК. На этом участке определяется и запоминается максимальное значение скорости изменения силы $tg(F)_{max}$. Скорость изменения регистрируемой силы рассчитывается по формуле:

$$tg(F) = \frac{F_i - F_{i-1}}{X_i - X_{i-1}}, \quad (6)$$

где F_i – сила, определенная на текущем шаге анализа (Н); F_{i-1} – сила, определенная на предыдущем шаге анализа (Н); X_i – номер текущей точки анализа; X_{i-1} – номер предыдущей точки анализа.

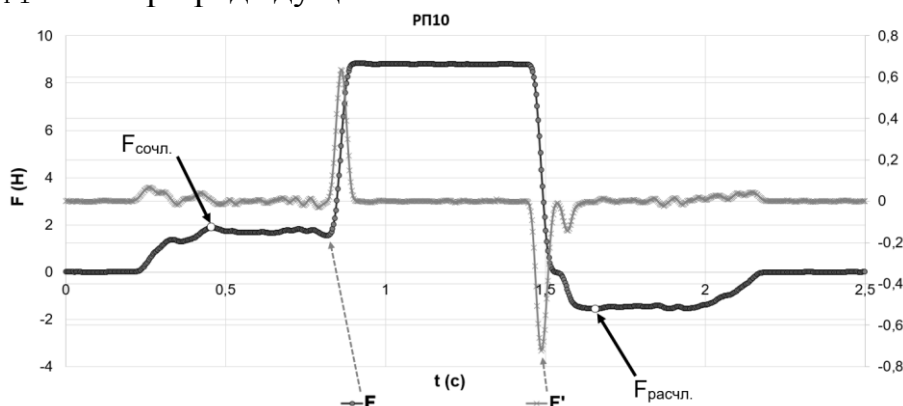


Рисунок 6 – График изменения регистрируемой силы и ее производная

В связи с тем, что на участке пересочленения регистрируемое значение силы может быть больше фактического значения силы сочленения, то в этом случае невозможно производить анализ искомой силы сочленения методом прямого перебора. Для этого необходимо дополнительно сохранять регистрируемое значение в буфер памяти АСУ на каждом шаге считывания показаний тензодатчика. После завершения перемещения на указанное расстояние L_{min} запускается процесс анализа возможного пересочленения. В том случае, если на текущем шаге вычисленное новое значение $tg(F)$ больше утроенного значения $tg(F)_{max}$, то производится поиск максимального значения силы из буфера до точки, где происходит смена знака производной $tg(F)$. Определенное значение будет являться искомой силой сочленения.

На примере разъемов типа РП10 и РП14 проведен анализ допустимых отклонений положения штыря–калибра, закрепленного в разных компенсирующих механизмах, относительно испытываемого гнезда: допустимое смещение для крепления с наклоном в одной плоскости в среднем составило $\pm 0,05$ мм для каждой из осей (X и Y), а для крепления с наклоном в двух плоскостях – $\pm 0,2$ мм соответственно.

Экспериментально определено влияние скорости смыкания–размыкания в диапазоне от 1 мм/с до 20 мм/с на результаты проводимых испытаний: при увеличении скорости увеличивается сила сочленения, сила расчленения изменяется незначительно при изменении скорости и может как увеличиваться, так и уменьшаться.

Определен факт увеличения силы сочленения–расчленения при многократных циклах смыкания и размыкания. Для подтверждения гипотезы увеличения коэффициента трения произведен анализ геометрии контактной части ламельного гнезда и ее температура до и после 500 циклов смыкания–размыкания: расстояние между контактными ламелями после испытаний увеличилось на 0,081 мм, а температура – на $0,4^{\circ}$ С. Проведенный анализ стандартной методики испытаний с пятикратным смыканием и размыканием показывает, что в подавляющем большинстве происходит так же увеличение регистрируемой силы.

Экспериментально установлена необходимость ожидания завершения релаксации контактных поверхностей между сериями исследований изменения сил сочленения–расчленения при последовательных смыканиях и размыканиях ЭС.

В **заключении** приведены основные результаты проведенного диссертационного исследования.

В **рекомендациях и перспективах дальнейшей разработки темы** изложены пункты, касающиеся усовершенствования разработанных систем и заключающиеся в: разработке модернизированного механизма крепления штыря–калибра, применении сервопривода в составе АСУ ОК сил сочленения–расчленения контактов ЭС, применении в составе технологической оснастки электронной идентификации для автоматизации ввода параметров проведения испытаний конкретного типа ЭС, модернизации ПО для разработанных АСУ, обеспечивающей автоматическое перемещение между контактами конкретного типа ЭС без ручного ввода расстояний, поддержку работы в режиме гарантированного смыкания и, в случае необходимости, интеграции в системы автоматизации более высокого уровня – автоматизации формирования и передачи протоколов–отчетов.

В **приложении** приведены блок-схемы алгоритмов работы АСУ, расчетные данные времени контроля сил сочленения–расчленения контактов, графики изменения сил сочленения–расчленения контакта ЭС при смещении штыря, полученные патенты, дипломы и сертификаты, представлен акт внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе решена актуальная научно-производственная задача, заключающаяся в повышении производительности при выполнении контрольных операций в технологическом процессе изготовления электрических соединителей путем применения разработанных АСУ ОК сил сочленения–расчленения ЭС. Полученное решение отличается от имеющихся применением новых методов автоматизированного контроля сил сочленения и расчленения ЭС, технических решений и разработок АСУ, обеспечивающие перемещение подвижных узлов АСУ ОК сил сочленения–расчленения ЭС на заданное расстояние с установленной скоростью и ускорением (в соответствии с требованием ГОСТ 23784-98), с фиксацией действительных значений сил сочленения–расчленения, исключая воздействие человеческого фактора. Это позволило:
 - 1.1. Увеличить производительность при выполнении операций контроля сил сочленения–расчленения для гнездовых контактов ЭС контрольным штырем–калибром на 24 % (на примере ЭС типа СНП388) и на 176 % для пар разъемов.
 - 1.2. Уменьшить среднее отклонение значений регистрируемых сил сочленения–расчленения контактов ЭС до 8–15 % в сравнении с ручным способом контроля (33–56 %).

- 1.3. Обеспечить время обработки сигнала с тензодатчика за 1,44–15 мс с погрешностью измерения 0,01–0,05 % от номинального значения максимально регистрируемой силы, за счет применения разработанного модуля обработки сигнала с тензодатчика.
- 1.4. Снизить погрешность измерения с 18 % (в случае «жесточкого» крепления тензодатчика) до 1 %, за счет применения разработанной конструкции крепления тензометрического датчика к неподвижной плите.
- 1.5. Обеспечить отклонение взаимного положения осей не хуже $\pm 0,02$ мм с повторяемостью перемещения $\pm 0,005$ мм, за счет применения разработанной конструкции автоматизированной установки для измерения сил сочленения и расчленения гнездовых контактов с контрольным штырем–калибром.
- 1.6. Обеспечить допустимое отклонение по позиционированию не хуже $\pm 0,2$ мм (на примере испытаний разъемов типа РП10 и РП14), за счет применения разработанной конструкции компенсационного крепления штыря–калибра относительно испытываемого гнезда ЭС.
- 1.7. Обосновать конструктивные решения в автоматизированной установке для измерения сил сочленения и расчленения пар разъемов между собой, с минимальным регистрируемым значением 0,98 Н, обеспечивая при этом точность перемещения в ненагруженном состоянии $\pm 0,01$ мм с повторяемостью $\pm 0,005$ мм. В нагруженном состоянии максимальное отклонение положений базовых плит составило 0,13 мм.
- 1.8. Установить, что наиболее оптимальными с точки зрения минимальной силы трения и погрешности при измерении силы, обусловленной микровибрациями при перемещении подвижной плиты, являются цилиндрические направляющие Ø20 мм.
- 1.9. Разработать конструкцию автоматизированной установки для измерения сил сочленения и расчленения пар миниатюрных ЭС между собой, значения которых могут быть меньше, чем 0,98 Н.
- 1.10. Разработать конструкцию автоматизированной установки, обеспечивающей измерение сил, возникающих при испытаниях ЭС на механическую износостойкость.
2. Предложен метод автоматизированного контроля силы сочленения и силы расчленения гнездовых контактов многоконтактного ЭС с использованием разработанной АСУ.
3. Предложен метод автоматизированного измерения силы сочленения и силы расчленения пар ЭС с использованием разработанной АСУ.
4. Разработана методика определения гарантированного смыкания контактных пар ЭС с анализом возникающих сил сочленения и расчленения.

5. Разработаны алгоритмы и пакет прикладных программ, обеспечивающих функционирование, настройку, визуализацию и протоколирование процессов измерения сил сочленения–расчленения контактных пар ЭС.
6. По результатам испытаний в условиях освоения опытных конструкций разъемов и выпуска серийной продукции, разработанные АСУ ОК ЭС рекомендованы к внедрению на производстве (акт опытно-промышленных испытаний на предприятии АО «Дубненский завод коммутационной техники»). Для АСУ ОК пар ЭС получены патент на полезную модель (RU 177529), патент на изобретение (RU 2654322 C1).

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК:

1. Акулов, П. А. Автоматизация контрольной операции проверки электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Автоматизация. Современные технологии. – 2019. – Т. 73. – № 6. – С. 257–262.
2. Акулов, П. А. Автоматизированная установка для проведения испытаний миниатюрных электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин, А. Д. Сырых // Автоматизация в промышленности. – 2020. – № 2. – С. 34–37.
3. Акулов, П. А. Автоматизированная установка испытания электрического соединителя на износостойкость / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин, А. Д. Сырых // Автоматизация в промышленности. – 2019. – № 10. – С. 30–33.
4. Акулов, П. А. Автоматизированная установка контроля усилия сочленения и расчленения электрического соединителя / П. А. Акулов, А. Д. Сырых // Автоматизация в промышленности. – 2019. – № 1. – С. 48–51.
5. Акулов, П. А. Алгоритмическое обеспечение установки контроля сил сочленения и расчленения электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2018. – Т. 22. – № 4 (79). – С. 94–103.
6. Акулов, П. А. Модернизация установки измерения сил сочленения и расчленения электрических соединителей с ручным приводом / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Cloud of Science. – 2019. – Т. 6. – № 4. – С. 603–612.
7. Акулов, П. А. Обоснование выбора направляющих для автоматизированного испытательного оборудования / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2019. – № 3. – С. 1–10.
8. Акулов, П. А. Особенности процесса определения силы сочленения–расчленения контакта электрического соединителя / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин, А. Д. Сырых // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2020. – № 4. – С. 23–31.
9. Акулов, П. А. Разработка модуля обработки сигнала с тензометрического датчика силы / П. А. Акулов, А. Д. Сырых // Автоматизация в промышленности. – 2019. – № 3. – С. 35–39.

10. Акулов, П. А. Экспериментальное определение точности измерительной системы автоматизированной установки / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2019. – № 5. – С. 1–8.

11. Акулов, П. А. Автоматизированная установка измерения силы сочленения и расчленения единичного контакта электрического соединителя / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. – № 5. – С. 66–72.

12. Akulov, P. A. Automated Measurement of Engaging and Separating Forces of Electrical Connector Contact / P. A. Akulov, O. N. Fedonin, D. I. Petreshin, V. A. Handozhko // International Conference on Aviaemechanical Engineering and Transport (AviaENT 2019): Advances in Engineering Research. – 2019. – Vol. 188 – P. 277–281.

Патенты:

1. Патент RU 177529. Установка для измерения усилия сочленения и расчленения соединителей / А. Д. Сырых, П. А. Акулов. – заявка 2017130135, 25.08.2017.

2. Патент RU 2654322 C1. Установка для измерения усилия сочленения и расчленения соединителей / А. Д. Сырых, П. А. Акулов П. А. – заявка 2017130138, 25.08.2017.

Публикации в других изданиях:

1. Акулов, П. А. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной установки измерения силы сочленения и расчленения контактов электрического соединителя / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин, А. Д. Сырых // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2021. – № 1 (11). – С. 61–70.

2. Акулов, П. А. Автоматизация испытаний электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин, А. Д. Сырых // Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. – 2018. – № 3. – С. 100–106.

3. Акулов, П. А. Автоматизация процесса измерения силы сочленения и расчленения контактов электрического соединителя / П. А. Акулов, П. Г. Пыриков, Д. И. Петрешин // Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке и образовании: материалы IX Международной научно-практической конференции «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке и образовании». – 2017. – С. 126–130.

4. Акулов, П. А. Автоматизированная система измерения силы сочленения и расчленения электрических разъемов / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // II Международная Научно-практическая конференция «САПР и моделирование в современной электронике». – 2018. – С. 120–123.

5. Акулов, П. А. Автоматизированная система испытания электрических соединителей на износостойкость / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Мехатроника, автоматика и робототехника: Материалы

международной научно-практической конференции. – 2019. – № 3. – С. 151–154.

6. Акулов, П. А. Испытательная установка контроля электрических соединителей на износостойкость / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Новые горизонты: Материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию БГТУ. – 2019. – С. 804–808.

7. Акулов, П. А. Мехатронная система тестирования электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции «Проектирование машин, роботов и мехатронных систем». – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. – 2017. – С. 21–22.

8. Акулов, П. А. Необходимость применения компенсирующего механизма в конструкции установки измерения сил сочленения–расчленения электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Международная Научно-практическая конференция «САПР и моделирование в современной электронике». – 2019. – С. 3–8.

9. Акулов, П. А. Обеспечение проведения испытаний миниатюрных электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Материалы международной научно-технической конференции «Обеспечение и повышение качества изделий машиностроения и авиакосмической техники». – 2020. – С. 303–307.

10. Акулов, П. А. Особенности разработки автоматизированной системы управления для контроля электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. – 2019. – Т. 5. – С. 130–133.

11. Акулов, П. А. Разработка автоматизированного устройства измерения суммарной силы сочленения и расчленения электрических прямоугольных соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Инновации 2016: Материалы II региональной научно-практической конференции «Инновации 2016. Современное состояние и перспективы развития инновационной экономики». – 2016. – С. 95–96.

12. Акулов, П. А. Разработка специализированного измерительного модуля для автоматизированной системы испытаний электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин, А. Д. Сырых // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сборник научных статей международной научной конференции. – 2019. – С. 100–102.

13. Акулов, П. А. Разработка технологической оснастки для автоматизированной установки контроля электрических соединителей / П. А. Акулов, Д. И. Петрешин // Вестник современных исследований. – 2019. – № 8. – С. 1–12.

Подписано в печать 05.06.2023. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Офсетная печать.
Печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № _____. Бесплатно

Брянский государственный технический университет
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
Лаборатория оперативной печати БГТУ, ул. Институтская, 16