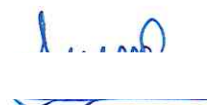


Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Брянский государственный технический университет»

На правах рукописи



Акулов Павел Александрович

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

2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент,
Петрешин Дмитрий Иванович

Брянск – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	7
1. АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ, МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА СОЧЛЕНЕНИЯ–РАСЧЛЕНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПАР ЭС	13
1.1. Устройство и функции ЭС.....	13
1.2. Покрытия контактных поверхностей ЭС	15
1.3. Влияние контактной силы на формирование контактной поверхности.....	16
1.4. Пленки на электрических контактах	19
1.5. Деформация контактирующих поверхностей ЭС	21
1.6. Износ контактных поверхностей ЭС.....	24
1.7. Понятие и расчет силы сочленения и расчленения ЭС	28
1.8. Типы и виды испытаний ЭС.....	35
1.9. Измерение и контроль силы сочленения–расчленения контактных пар ЭС.....	38
1.9.1. Основные методы определения силы сочленения–расчленения контактов и ЭС.....	38
1.9.2. Приспособления и механизмы для контроля силы расчленения контактов с контрольным штырем–калибром	39
1.9.3. Устройства для измерения силы сочленения–расчленения ЭС	44
1.10. Структура систем автоматического контроля.....	49
1.11. Результаты и выводы по первой главе.....	53
2. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОНТРОЛЯ СИЛЫ СОЧЛЕНЕНИЯ–РАСЧЛЕНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПАР ЭС С ИСКЛЮЧЕНИЕМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА .	55
2.1. Общие положения по разработке АСУ ОК ЭС.....	55
2.2. Разработка базовой части	56
2.2.1. Выбор привода и направляющих для базовой части разрабатываемых АСУ ОК ЭС	56
2.2.2. Выбор датчика для измерения силы сочленения–расчленения контактных пар ЭС.....	59

2.2.3. Разработка кинематической схемы базовой части АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС	61
2.2.4. Разработка кинематической схемы базовой части АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС	63
2.3. Разработка измерительной части АСУ ОК ЭС	65
2.4. Разработка структуры системы визуализации и управления	68
2.4.1. Общие положения по разрабатываемым системам.....	68
2.4.2. Разработка структуры АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС	71
2.4.3. Разработка структуры АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС	72
2.5. Разработка сменной технологической оснастки.....	73
2.5.1. Технологическая оснастка для АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС	74
2.5.2. Технологическая оснастка для АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС.....	75
2.6. Результаты и выводы по второй главе	83
3. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО, АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АСУ ОК СИЛЫ СОЧЛЕНЕНИЯ–РАСЧЛЕНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПАР ЭС	84
3.1. Математическое обеспечение АСУ ОК ЭС.....	84
3.2. Общие положения по алгоритмическому обеспечению АСУ ОК ЭС.....	88
3.2.1. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной установки для измерения силы сочленения-расчленения контактов ЭС	92
3.2.2. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС.....	95
3.3. Общие положения по программному обеспечению АСУ ОК ЭС	99
3.3.1. Программное обеспечение автоматизированной установки для измерения силы сочленения-расчленения контактов ЭС	102
3.3.2. Программное обеспечение автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС.....	106

3.4. Результаты и выводы по третьей главе.....	113
4. РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АСУ ОК ЭС.....	115
4.1. Разработка механической части автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения контакта ЭС.....	115
4.1.1. Описание стенда для отработки автоматизированного измерения силы сочленения–расчленения контактов ЭС.....	115
4.1.2. Разработка компенсационного держателя штыря–калибра.....	116
4.1.3. Разработка установки для автоматизированного измерения силы сочленения–расчленения контактов ЭС.....	120
4.2. Разработка механической части автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС.....	124
4.2.1. Определение влияния типа направляющих на точность измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС.....	124
4.2.2. Разработка компенсирующего механизма крепления неподвижной базовой плиты с тензодатчиком.....	132
4.2.3. Разработка установки для автоматизированного измерения силы сочленения и расчленения пар ЭС.....	137
4.2.4. Экспериментальное определение точности АСУ ОК силы сочленения – расчленения пар ЭС.....	141
4.3. Разработка модернизированной установки для автоматизированного измерения силы сочленения и расчленения миниатюрных ЭС.....	143
4.4. Разработка модернизированной установки для проведения испытаний ЭС на механическую износостойкость.....	148
4.5. Результаты и выводы по четвертой главе.....	152
5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРАБОТАННЫХ АСУ.....	154
5.1. Общее представление результатов измерения силы сочленения–расчленения ЭС и их контактов.....	154

5.2. Сравнительный анализ результатов, полученных при ручном и автоматизированном способе контроля силы расчленения контакта ЭС	157
5.3. Определение производительности контрольных операций ЭС при использовании АСУ	162
5.4. Анализ зависимости расстояния смыкания на результаты измерения силы сочленения–расчленения.....	166
5.5. Разработка методики гарантированного сочленения в контрольных операциях	170
5.6. Анализ допустимых отклонений позиционирования контакта относительно штыря–калибра.....	179
5.7. Анализ влияния скорости перемещения на результаты измерения силы сочленения–расчленения.....	184
5.8. Анализ влияния количества циклов сочленения–расчленения на результаты измерения силы сочленения–расчленения	191
5.9. Результаты и выводы по пятой главе	199
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	201
Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы	204
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	206
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	228
Приложение А. Блок-схема алгоритма работы АСУ ОК силы сочленения–расчленения контакта ЭС со штырем–калибром.....	229
Приложение Б. Блок-схема алгоритма работы АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС	231
Приложение В. Блок-схема алгоритма определения силы сочленения по методике гарантированного смыкания контактных пар ЭС.....	236
Приложение Г. Расчет времени контроля сил сочленения–расчленения контактов в автоматизированном режиме на примере ЭС типа СНП388.....	237
Приложение Д. Графики изменения сил сочленения–расчленения контакта ЭС при смещении штыря, закрепленного в разных механизмах наклона.....	239
Приложение Е. Полученные патенты	243

Приложение Ж. Дипломы и сертификаты участия в научных мероприятиях	245
Приложение З. Акт опытно-промышленных испытаний на предприятии АО «Дубненский завод коммутационной техники»	252

Введение

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 [80].

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 [51, 90]. 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. Benjema, E. Carvou, P. V. Dijk, I. Pal, F. Greiner, R. Chadda, J. Adolf, S. Beck, M. Kupnik, J. Lim, H. 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» – приложение 3), 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 (приложение Е).

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.

1. АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ, МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА СОЧЛЕНЕНИЯ–РАСЧЛЕНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПАР ЭС

1.1. Устройство и функции ЭС

Любая современная электронная система состоит из множества компонентов. При этом особые требования по качеству и надежности предъявляются к разъемным элементам передачи электрической энергии, служащей для подачи питающего напряжения, либо передаче электрического управляющего сигнала [6–8, 29, 37, 48, 49, 59, 66, 80, 87, 114, 116, 141, 151, 154, 157, 159, 166, 178]. Такими элементами являются электрические соединители (разъемы), обычно состоящие из вилки и розетки [38, 51, 113, 183].

Для осуществления вышеописанных функций необходимо, чтобы поверхности контактной пары вилки и розетки, а именно гнезда и штыря, прижимались друг к другу с заданной силой в течение заданного срока эксплуатации разъема [2, 10, 26–29, 31, 51, 89, 90, 93, 98, 132, 136, 138, 142, 146, 147, 151, 153, 163, 165, 167, 168, 170, 183, 187, 190]. Помимо контактной группы, в состав ЭС входят изоляторы, корпусные детали, центрирующие и зажимные элементы, совокупность которых образует законченное в конструктивном и технологическом отношении устройство [28, 29, 31, 59, 80, 113, 165, 178, 183].

Контакты разъемов должны быть механически закреплены и электрически изолированы друг от друга. Для этого используются изоляторы различных конструкций, изготовленные из токонепроводящих материалов. Конструктив, качество и точность изготовления данных элементов так же может влиять на величину контактного нажатия и его стабильность в течение заданного срока эксплуатации [29].

В разъемных контактных устройствах взаимное соединение обеспечивается благодаря относительному перемещению контактных пар вилки и розетки, что иногда требует применения дополнительных фиксаторов и ловителей, обеспечивающих необходимые пределы и точность позиционирования [28, 29, 31].

В остальных случаях центрирование может осуществляться благодаря элементам изолятора или корпуса.

Характеристики контактных параметров зависят от состояния поверхностей [36, 37, 51, 110, 133–135, 143, 181]. Однако в окружающей среде может содержаться пыль, газы, что негативно сказывается на свойствах контактов, как и повышенная влажность. В связи с этим ЭС, выполненные с учетом дополнительных требований по защите от воздействия воздействий внешней среды (герметичность, водонепроницаемость, пылезащищенность и т.д.), должны быть снабжены дополнительными защитными или уплотняющими корпусами и кожухами [29, 66].

В зависимости от формы изолятора и конструктивных особенностей разъемные ЭС можно разделить на цилиндрические и прямоугольные (рисунок 1.1) [28, 29, 31, 59].



Рисунок 1.1 – Типы разъемных ЭС в зависимости от формы изолятора:

а) цилиндрические; б) прямоугольные

По способу смыкания, фиксации вилки и розетки в сочлененном положении цилиндрические типы разъемов дополнительно подразделяются на байонетные, врубные, резьбовые и самозапирающиеся [29]. Прямоугольные соединители в своем составе не всегда содержат фиксирующие элементы, а относительная фиксация вилки и розетки в сочлененном состоянии обеспечивается силой трения, создаваемой контактными парами. В связи с чем, задача обеспечения при производстве ЭС требуемой величины контактной силы для таких соединителей стоит наиболее остро [114].

1.2. Покрyтия контактных поверхностей ЭС

В общем виде основные требования, предъявляемые к ЭС, сводятся к снижению затрат при передаче электрической энергии, улучшению качества соединений и повышению параметров надежности. Заданные электрические и механические характеристики контактных пар должны быть стабильными на протяжении всего срока эксплуатации при многократных сочленениях и расчленениях (смыканиях и размыканиях) [165, 167]. Одним из технологических решений, обеспечивающих эту стабильность, является использование при изготовлении контактных пар в качестве основного материала меди и ее сплавов с многослойным внешним гальваническим покрытием [8, 31, 46, 58, 82, 90, 99, 110, 134, 135, 143, 178, 181]. Однако более конкретный выбор материала и покрытий будет зависеть от назначений ЭС и условий их эксплуатации.

Пример поперечного сечения неизношенной контактной поверхности с многослойным покрытием представлен на рисунке 1.2 [181].

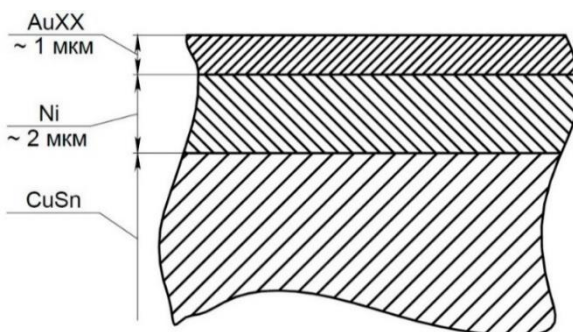


Рисунок 1.2 – Поперечное сечение контактной поверхности с многослойным гальваническим покрытием

В качестве гальванических покрытий меди, подверженной коррозии, и ее сплавов, наиболее широко используются олово, серебро, золото, палладий, никель и другие комбинации этих металлов [94, 181] с возможным добавлением легирующих элементов [178]. Основным свойством таких покрытий является высокая электропроводность [114]. Авторы работы [99] отмечают, что современные тенденции по ужесточению требований надежности

разрабатываемых ЭС приводят к необходимости повышения твердости и износоустойчивости гальванических покрытий контактных пар.

В большинстве случаев материалом для внешнего слоя покрытия контактных пар является серебро толщиной 2-21 мкм или золото в 1-9 мкм [167].

К преимуществам серебряных покрытий относится высокая электро- и теплопроводность, химическая устойчивость, хорошая коррозионная стойкость. Однако в присутствии кислорода и влаги серебро подвержено образованию пленок потускнения, состоящих из сульфида серебра. Кроме того, к недостаткам применения такого гальванического покрытия для контактных поверхностей ЭС можно отнести низкую твердость и износоустойчивость, большую подверженность свариваемости [99, 112, 114].

Золото и его сплавы широко используют при изготовлении слаботочных контактов благодаря хорошей электропроводности, низкому и стабильному контактному сопротивлению, высокой коррозионной и химической стойкости [46, 99]. Основными недостатками золотых покрытий так же является низкая твердость и малая износоустойчивость, чувствительность к загрязнениям [46, 58, 134].

1.3. Влияние контактной силы на формирование контактной поверхности

Контактная сила (в некоторых источниках [129, 135, 142, 147, 167, 170, 183] встречается также обозначение – «нормальная сила») сочлененного гнезда и штыря является доминирующим фактором при обеспечении заданных механических и электрических характеристик разъема в целом. Особенно важно поддерживать данный параметр в допустимом диапазоне в течение всего срока службы изделия, т.к. снижение контактной силы в период эксплуатации ЭС может привести к увеличению электрического сопротивления [29, 36, 37, 49, 60, 64, 87, 89, 129, 134, 138–141, 147, 150, 154, 168, 181, 185, 190], вплоть до его перегрева и выхода из работоспособного состояния, а в случае использования разъема в электрической цепи системы управления это может привести к увеличению риска пропадания сигнала или наоборот – ложному срабатыванию элементов логики. Иными

словами, для каждой конструкции контактной пары существует предел минимальной контактной силы, обеспечивающей надежное функционирование узла [51, 143]. Завышенное значение контактной силы приведет к увеличению износа и снижению ресурса ЭС [129, 146, 166, 185]. Кроме того, нормальная сила не остается постоянной в течение всего срока службы контакта [183]. Следовательно, в начале срока службы соединителя ее значение должно быть увеличено, чтобы оставаться в пределах допустимого значения в конце периода эксплуатации. Также снижение нормальной силы нужно учитывать при обеспечении необходимого прогиба пружинящих элементов гнезда с минимальным износом рабочих поверхностей контакта. Таким образом, определение оптимального значения нормальной силы является важным этапом при проектировании ЭС [29, 49, 135, 136, 164, 167].

Контактные пары ЭС в процессе эксплуатации могут находиться в двух устойчивых (разомкнутом и замкнутом) и двух переходных состояниях (момент замыкания и размыкания) [113]. При этом процесс замыкания состоит из этапа сближения контактирующих поверхностей и этапа увеличения площади соприкосновения контактирующих поверхностей до прекращения движения одной поверхности относительно другой [143].

Контактирующие поверхности реальных даже тщательно пригнанных друг к другу тел имеют некоторый волнистый профиль, образованный макро- и микронеровностями, а также шероховатостью поверхности (рисунок 1.3) [28, 49, 55, 57, 58, 67, 82, 88, 97, 112, 116, 141, 143, 150, 154, 164–166, 183]. Первыми в контакт вступают противостоящие друг другу на сопряженных поверхностях выступы с наибольшей суммой высот. Фактические площадки контакта имеют малую по размеру величину, поэтому даже при небольшой нагрузке в местах касания они воспринимают удельные давления, в результате чего предел текучести контактирующих материалов может быть превышен. При сжатии контактов вершины неровностей, по которым они соприкасаются, сминаются, образуя небольшие площадки касания. Увеличение сжимающей силы приводит к еще большему смятию неровностей, сближению контактов и возникновению новых

дополнительных площадок касания. Деформация неровностей вызывает сближение поверхностей контактов [58, 88, 93, 133].

Сближение контактирующих поверхностей происходит до тех пор, пока сумма реакций упруго деформированных выступов не будет равна силе нажатия N [58, 88]:

$$N = \sum_{i=1}^{n_k} N_i, \quad (1.1)$$

где N – сила нажатия (Н); n_k – количество выступающих контактных выступов; N_i – реакция выступа (Н), деформированного на величину Δ_i (м).

Иными словами, данный процесс продолжается до тех пор, пока площадь контакта не станет достаточной, чтобы воспринимать внешнюю нагрузку.

Величина эффективной контактной поверхности при этом равна [28, 29, 58, 88, 183]:

$$A_{\text{эфф.}} = \sum_{i=1}^{n_k} \Pi r \Delta_i, \quad (1.2)$$

где $A_{\text{эфф.}}$ – эффективная контактная поверхность (м^2); r – средний радиус выступов (м).

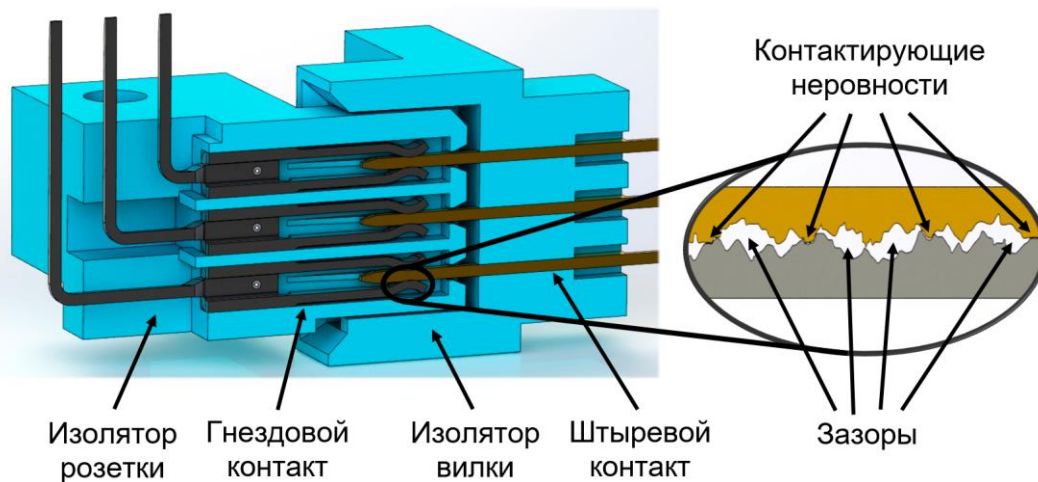


Рисунок 1.3 – Внешний вид (в разрезе) вилки и розетки в сочлененном состоянии

Зависимость между величиной эффективной контактной поверхности и контактным давлением для случая контактирования по линии (например, контакт между образующей цилиндра и плоскостью) можно представить в виде [88]:

$$A_{\text{эфф.}} = \left(\frac{2,2 \Pi r^{\frac{2}{3}}}{E h_m^{\frac{1}{3}}} \right) \times N^{\frac{6}{7}} n_0^{\frac{1}{7}}, \quad (1.3)$$

где E – модуль Юнга (Па); h_m – максимальная высота выступов (м); n_0 – общее количество выступов на «кажущейся» контактной поверхности.

Для случая контактирования по плоскости [88]:

$$A_{\text{эфф.}} = \frac{2,2 \Pi r^{0,5} N}{E h_m^{0,5}}, \quad (1.4)$$

Реальная область контакта образована небольшими участками, называемыми «а-пятнами». Кажущаяся контактная поверхность, по которой теоретически планируется соприкосновение контактов, будет отличаться от фактической контактной поверхности, воспринимающей контактную силу [54, 55, 57, 67, 93, 110, 178, 183]. Фактическая площадь контакта составляет 0,01–10 % от кажущейся контактной поверхности и возрастает с увеличением нагрузки, а также при уменьшении шероховатости контактирующих поверхностей [90].

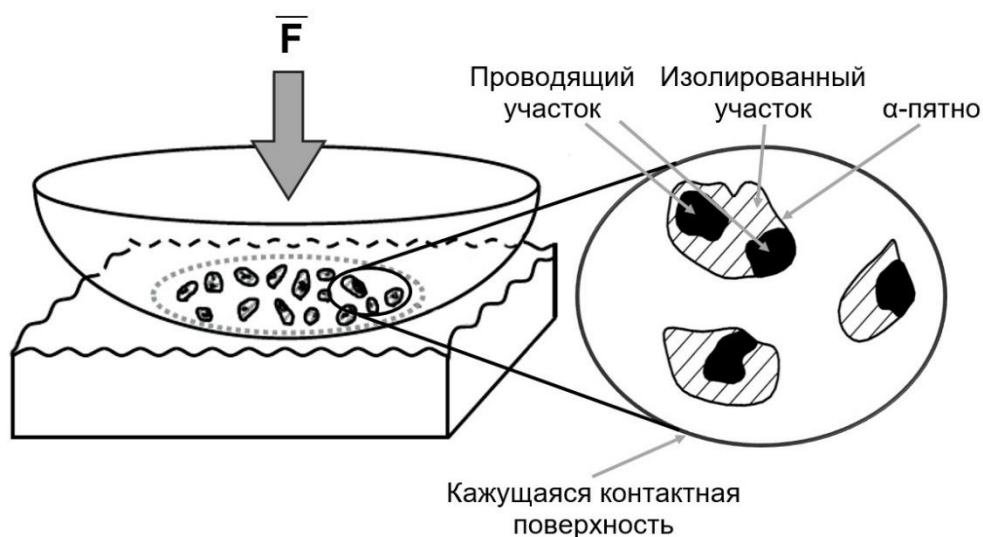


Рисунок 1.4 – Схема контактирования двух поверхностей

В связи с тем, что рабочие поверхности контактов покрыты слоем серебра или золота, которые являются относительно мягкими материалами, то во время эксплуатации ЭС контактная поверхность существенно меняется [51, 87, 112].

1.4. Пленки на электрических контактах

Эффективная площадь механического контакта в случае чистых металлических поверхностей совпадает с эффективной площадью электрического

контакта. Однако понятие чистых металлических поверхностей весьма условно, т.к. на практике на них обязательно в той или иной мере присутствуют различного рода пленки [29, 64, 82, 88, 93, 94, 97, 110, 116, 141, 143, 166, 183].

Фактическая контактная поверхность в реальности покрыта пленкой, затрудняющей прохождению электрического тока при замыкании ЭС. Скорость образования пленки окисла на поверхности металла исчисляется долями секунды и с увеличением толщины замедляется. Толщина такого слоя на различных металлах может составлять от 2 до 10 нм [94].

В целом на контактах ЭС могут образовываться следующие типы пленок [88]:

- пленки потускнения (окисные или сульфидные);
- адгезионные;
- пассивирующие;
- граничные смазывающие пленки и др.

Следует выделить пленки первого типа, которые являются полупроводниками с большим удельным сопротивлением. Так, в работе [94] приводится пример расчетных данных, показывающий, что отношение между сопротивлениями контактной поверхности, покрытой пленкой, и без нее может составлять 10^7 . Таким образом, изоляция, создаваемая пленками потускнения, значительно затрудняет работу электрических контактов [94].

Неповрежденные пленки оказывают значительное влияние на состояние и рабочие характеристики контакта ЭС. В связи с этим так же и в процессе эксплуатации ЭС необходимо поддержание заданного уровня контактной силы, способной разрушить данные пленки. Разрывы протекают тем легче, чем выше среднее давление в контактной паре и чем мягче металл.

В работе [93] отмечается, что для получения воспроизводимой величины сопротивления при небольших контактных силах для контактной пары, находившейся определенное время в разомкнутом положении, необходимо предварительно подвергнуть контакты небольшой вибрации и выдержать в покое

в течение продолжительного времени. Это позволит механически разрушить окисные пленки и обеспечить возникновение контактных «а-пятен».

1.5. Деформация контактирующих поверхностей ЭС

Под действием нормальной силы в контактной группе ЭС возникают механические напряжения. В том случае если, значение действующего напряжения меньше предела текучести материала деформируемого тела, то можно считать, что деформация является полностью упругой. Это также означает, что геометрия контакта после снятия внешнего воздействия будет идентична той, которая была в исходном состоянии. Однако если значения напряжений превысят предел текучести материала, то деформация будет иметь пластический характер, что повлечет за собой изменение в геометрии контакта [30, 139, 150].

В связи с тем, что реальные контактирующие поверхности тел не являются абсолютно твердыми, то в точках контакта под действием давления всегда возникают упругие и пластические деформации [56, 57, 67, 87, 89, 116, 183, 185]. Особенно актуально это свойство для контактных пар ЭС, на поверхность которых нанесено довольно мягкое покрытие гальваническим способом. Поэтому контакт в них должен рассматриваться как упругопластический или пластический [93, 112, 139, 140, 150, 154].

Фактическое давление, при котором в контактах начинается пластическая деформация, зависит от начальной формы контактирующих поверхностей. Поэтому весьма затруднительно вывести общие формулы, описывающие зависимость размеров контактной поверхности от прикладываемой силы. Но для частных случаев можно получить зависимости, позволяющие вести расчеты, дающие некоторый общий ориентир при проектировании контактных групп [93].

При абсолютно упругом характере деформаций контактирующих поверхностей соотношение между возникающими напряжениями и величиной деформации линейно. Это отношение определяется законом Гука.

Современная классическая теория контактной механики двух упругих тел основана на модели Генриха Герца и позволяет определить размер пятна контактной поверхности в зависимости от нормальной силы с учетом характеристик материала. При этом сделаны следующие допущения [44, 54, 130, 178]:

1. Контакт происходит между двумя упругими изотропными телами, которые можно рассматривать как бесконечно большие полушария.
2. Радиус контакта мал в сравнении с размерами соприкасающихся тел.
3. Тела сжимаются под действием силы, направленной по нормали к поверхностям, и проходящей через точку начального контактирования.
4. Поверхности тел считаются полностью гладкими.
5. Трение и адгезия между телами игнорируются.

На рисунке 1.5 [30, 44, 54, 133, 135, 151, 178] представлена схема точечного контакта двух нагруженных упругих полушфер по модели Герца. На данном рисунке F_n – нормальная сила (Н); r – радиус упругой полушферы (м); a – радиус контактной поверхности (м); E – модуль упругости полушферы (Па).

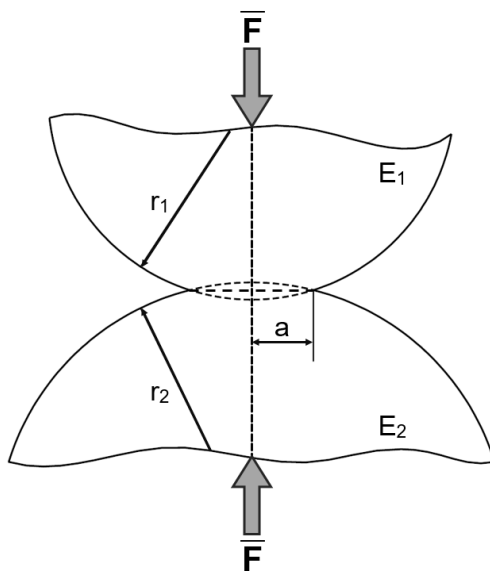


Рисунок 1.5 – Схема точечного контакта двух нагруженных упругих полушфер по модели Герца

Как видно из данной схемы, площади соприкосновения будут иметь круглый вид, что применимо для большинства конструкций контактных пар прямоугольных

ЭС. Радиус контактной поверхности при этом будет определяться уравнением [29, 44, 56, 64, 93, 98, 150]:

$$a = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \cdot P \cdot \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^{-1}}, \quad (1.5)$$

Эпюра распределения напряжений в данном случае имеет параболическую форму с максимальным значением, равным [133]:

$$\sigma_{max} = \frac{\sqrt[3]{\frac{3}{4} \cdot P \cdot E_1 \cdot E_2 / \left(\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^{-2} \cdot (1-\nu_1) \cdot (1-\nu_2) \right)}}{\pi}, \quad (1.6)$$

где a – радиус контактной поверхности (мм); σ_{max} – максимальное контактное напряжение (напряжение Герца) (МПа); P – нормальная сила (Н); E_1 и E_2 – модуль упругости 1-й и 2-й поверхности (МПа); r_1 и r_2 – радиусы двух сфер (мм); ν_1 и ν_2 – коэффициенты Пуассона (≈ 0.3).

Однако реальная схема взаимодействия контактов ЭС будет иметь более сложный вид, по форме схожий с прямоугольной, а возникающие при этом напряжения будут на порядок выше из-за большей длины распределения напряжений. При этом контактное давление будет неравномерным по всей длине [130, 133].

В случае упругой деформации контактной пары, образованной полусферой и плоскостью, радиус контактной площадки можно вычислить по формуле (для материала, у которого $\nu = 0.3$, что приблизительно соответствует коэффициентам Пуассона меди, никеля, бронзы и латуни [89, 93]):

$$r = 2,8 \sqrt[3]{\frac{P_{ki}R}{E}}, \quad (1.7)$$

где P_{ki} – сила нажатия на контакт, отнесенная к рассматриваемой площадке (кгс); R – радиус полусферы (см); E – модуль упругости (кгс/см).

Представленные формулы приведены для абсолютно упругого характера деформации, однако практика показывает, что прогиб упругих элементов зависит от многих факторов, которые отклоняют его от закона прямой линии. К данным факторам можно отнести температуру окружающей среды, время воздействия нагрузки, свойств материала и качества поверхности, наличия и вида покрытия и

т.д. [98]. Процесс деформации контактов очень сложен, т.к. пластический материал течет не только в стороны, но и деформируется в глубь контакта, при этом происходит укрепление кристаллической решетки и предел текучести также увеличивается с увеличением нагрузки.

При явно выраженном преобладании пластической деформации оценка размеров площади механического контакта основана на соотношении между приложенной силой нажатия и твердостью контактной поверхности [89]:

$$F = P_{ki}/H_k, \quad (1.8)$$

где F – фактическая площадь механического контакта (см^2); P_{ki} – приложенная сила контактного нажатия (кгс); H_k – контактная твердость материала контакта (кгс/ см^2).

Если фактическую площадь представить в виде эквивалентной площади, имеющей форму круга радиусом r , то расчетная величина этого радиуса будет равна [89]:

$$r = \sqrt{\frac{P_{ki}}{\pi H_k}}, \quad (1.9)$$

Согласно исследованиям, контактная твердость, используемая в формулах 1.8, 1.9 с некоторым допущением может быть принята равной твердости материала контакта, измеренной по Виккерсу [89].

1.6. Износ контактных поверхностей ЭС

Обеспечение высокой надежности заявленных технических характеристик соединителей в процессе длительной эксплуатации напрямую зависит от явлений трения и износа [112, 166], возникающих при сочленении и расчленении. При анализе особенностей функционирования разъемных соединителей необходимо учитывать трибологические явления, происходящие как в начале эксплуатации ЭС, так и на протяжении всего жизненного цикла изделия [55, 56, 59, 62, 67, 88, 90, 96, 97, 110, 134, 164, 178, 183].

При трении взаимодействие контактных поверхностей имеет двойственную молекулярно-химическую природу [90, 164]. Первая из которых проявляется во

взаимном внедрении и зацеплении микронеровностей с упругопластическим деформированием при относительном перемещении. Молекулярное взаимодействие проявляется в адгезии и схватывании [168].

Процесс трения может рассматриваться как процесс непрерывного формирования и разрушения фрикционных связей при приложении касательной нагрузки [44, 89].

Согласно модели трения скольжения Бюдена-Тейбора неровности более твердой поверхности пропахивают более мягкую, образуя дорожку трения (рисунок 1.6 а). Сопротивление пропахиванию вызывает возникновение силы, дающей вклад в силу трения и часто называемой пропахивающей составляющей силы трения. Пропахивание почти всегда сопровождается адгезией (рисунок 1.6 б) и при определенных условиях оно может приводить к микрорезанию (рисунок 1.6 в). Переход от пропахивания к микрорезанию приводит к повышению износа поверхности материала [56, 96, 97, 165, 168, 183].

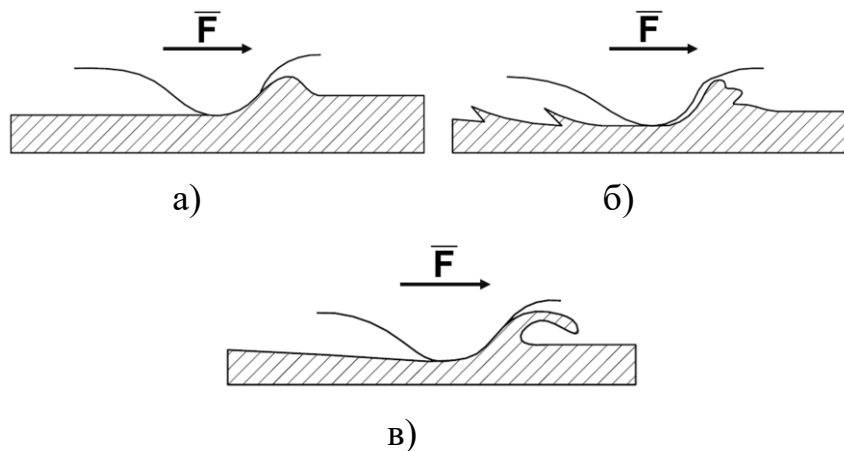


Рисунок 1.6 – Деформационная составляющая трения: а) пропахивание; б) пропахивание с адгезией; в) микрорезание

Результатом изнашивания материала является износ, который может быть выражен в единицах объема, массы или длины [82, 96, 168]. Размеры продуктов изнашивания могут составлять от нескольких сотых до нескольких десятых долей миллиметра [181].

При механическом износе контактных поверхностей могут возникать следующие виды разрушений: микрорезание, царапание, глубинное вырывание [57, 67, 82, 96, 97].

Процесс износа характеризуется тремя стадиями (рисунок 1.7): приработка, установившийся износ, катастрофический износ [28, 59, 67, 88, 97].

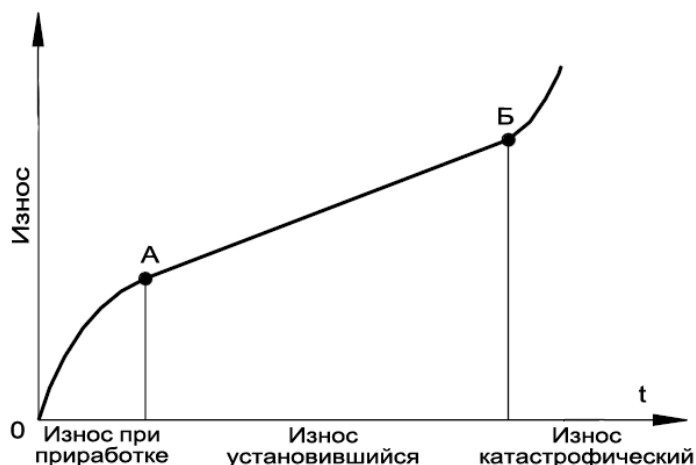


Рисунок 1.7 – Стадии износа контактных поверхностей

В период приработки контактов (участок OA) происходит полное или частичное разрушение поверхностных неровностей, полученных при механической обработке с образованием новых неровностей. При этом изменяются форма, размеры и направленность неровностей, а также физическое состояние поверхностных слоев металла покрытия и основного металла контакта. После приработки неровности на поверхностях контактов оказываются направленными в сторону движения скольжения при трении. Обычно данная стадия составляет не более 5–10 % от общего ресурса работы соединителей [88].

Вторая стадия (участок AB) характеризуется равномерным износом относительно низкой интенсивности и занимает наибольшую часть от общего ресурса работы ЭС (90–95 %) [88, 96].

При наступлении стадии катастрофического износа дальнейшая эксплуатация изделия становится нецелесообразной. Это связано с тем, что на данной фазе при последующих сочленениях–расчленениях происходит резкое увеличение вероятности слипания металлических контактируемых поверхностей с

вырыванием отдельных небольших фрагментов неровностей, и в процессе износа начинают участвовать не только поверхностные слои гальванического покрытия, но и основной металл, из которого изготовлены контакты ЭС [88].

Важной характеристикой ЭС является допустимое число сочленений и расчленений (смыканий–размыканий). При сочленении и расчленении контактов на рабочих поверхностях происходит постепенное разрушение материала покрытия, изменение формы контактов. Разработка методики контроля ЭС с учетом износа позволит решить одну из основных проблем надежности — прогнозирование изменения работоспособности разъемов в процессе эксплуатации.

Еще одним из основных механизмов разрушения контактов ЭС является фреттинг-коррозия. Она характеризуется накоплением продуктов окисления и порошков, содержащих металлические частицы, в месте контакта и вызвана микроперемещениями сочлененной контактной пары из-за многократных тепловых расширений и вибраций [96, 97, 131, 132, 134, 135, 143, 152, 154, 159, 165, 181, 183]. Для возбуждения фреттинг-коррозии в контактной паре металл-металл достаточного перемещения поверхностей относительно друг друга с амплитудой 0,025 мкм.

При сочленении–расчленении ЭС в процессе эксплуатации предусматривается проведение определенных регламентных работ, в том числе и удаление продуктов износа с рабочих поверхностей контактов. А процесс фреттинг-коррозии протекает в неконтролируемом режиме, в связи с чем, данный тип износа считается одной из серьезных проблем, влияющих на срок службы разъема [36, 82, 93, 96, 97, 131, 132, 152, 181].

Для обеспечения наибольшей износоустойчивости разъемных контактов необходимо обеспечить: минимальное контактное давление, наименьшие высоты выступов и волн с максимальным шагом на контактных поверхностях, направление следов механической обработки по направлению сочленения и расчленения контактной пары [134]. Для борьбы с фреттинг-коррозией следует уменьшить микроперемещения и снизить силы трения [37, 97, 131, 132].

1.7. Понятие и расчет силы сочленения и расчленения ЭС

Следует еще раз отметить, что одними из наиболее важных параметров, характеризующих функционирование ЭС в процессе эксплуатации является контактная сила и сила сочленения–расчленения [187].

Сила сочленения/расчленения ЭС – сила, необходимая для полного сочленения/расчленения частей ЭС между собой или частей соединителя с печатной платой [38]. Часто эти два параметра объединяют в один: сила сочленения–расчленения. При этом следует понимать, что каждая из них по отдельности определяется по-разному [18].

Теоретически рассчитываемая сила сочленения–расчленения ЭС определяется суммой сил сочленения–расчленения отдельных контактных пар, а также сил, создаваемых центрирующими, направляющими, фиксирующими, кодирующими и другими элементами конструкции разъема с учетом погрешностей их расположения [1, 90, 163]. Т.е. сила сочленения–расчленения ЭС равна:

$$F_{\text{сочл.-расчл.соед.}} = (\sum_{i=1}^l F_{\text{сочл.-расчл.конт.пары}} + \sum_{i=1}^m F_{\text{ц.эл.}} + \sum_{i=1}^n F_{\text{ф.эл.}} + \sum_{i=1}^o F_{\text{код.эл.}} + \sum_{i=1}^p F_{\text{пр.эл.}})K, \quad (1.10)$$

где $F_{\text{сочл.-расчл.конт.пары}}$ – сила сочленения–расчленения отдельной контактной пары (Н); $F_{\text{ц.эл.}}$ – сила, создаваемая центрирующим и направляющим элементом (Н); $F_{\text{ф.эл.}}$ – сила, создаваемая фиксирующим элементом (Н); $F_{\text{код.эл.}}$ – сила, создаваемая кодирующим элементом (Н); $F_{\text{пр.эл.}}$ – сила, создаваемая дополнительными элементами (Н); l, m, n, o, p – количество соответствующих элементов в ЭС; K – коэффициент, учитывающий точность, сложность и погрешность установки и совместного расположения всех элементов конструкции ЭС [90].

Однако представленная формула позволяет определять ожидаемое значение расчетной величины, закладываемое на начальных этапах разработки конструкции ЭС. Кроме того, при определении поправочного коэффициента на расположение

элементов в соединителе необходимо проведение фактических измерений для каждой отдельной конструкции разъема.

Контактная сила, возникающая при смыкании гнездового контакта со штырем, в большей степени зависит от структуры и геометрии ЭС [163, 186]. Укрупненно процесс сочленения контактов представлен на рисунке 1.8. Данный процесс можно разделить на три фазы [62, 113, 167, 186]:

А) Начальная фаза контакта штыря с наклонными заходными элементами гнезда, при которой процесс упругой деформации отсутствует;

Б) Конечная фаза контакта штыря с наклонными заходными элементами гнезда, характеризующаяся наличием упругой деформации;

В) Фаза контакта линейной поверхности штыря с гнездом.

Иными словами, фазы сочленения и расчленения контактов можно разделить на две составляющие: начальное отклонение контактных пружин и относительное скольжение.

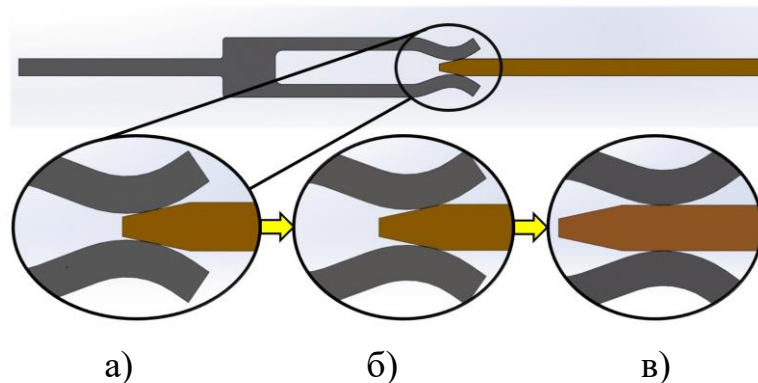


Рисунок 1.8 – Фазы сочленения штыря с гнездовым контактом ЭС

В процессе сочленения между контактными поверхностями ЭС возникает сила, состоящая из двух частей (рисунок 1.9): тангенциальной составляющей – F_t (Н), которая является силой трения, и нормальной контактной силой – F_n (Н) [98, 129, 136, 142, 146, 147, 151, 166].

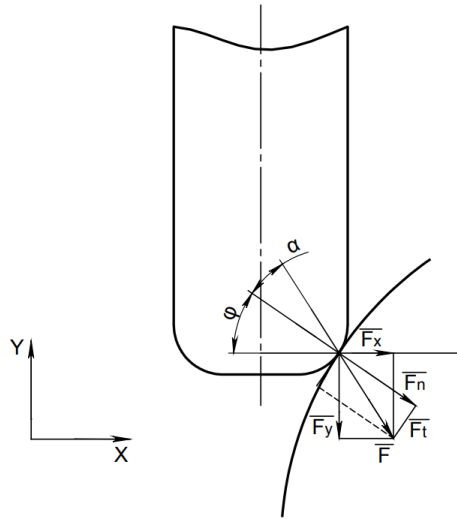


Рисунок 1.9 – Схема векторов сил, действующих при сочленении контактов ЭС

При этом зависимость между этими двумя составляющими будет определяться как [28, 50, 53, 98, 136, 146, 147, 167, 173]:

$$F_t = \mu \cdot F_n, \quad (1.11)$$

где μ – коэффициент трения.

Согласно закону Амонтона-Кулона, при расчете силы сочленения–расчленения необходимо учитывать молекулярное сцепление контактирующих материалов. В этом случае формула для расчета силы трения будет иметь вид [82, 90, 98]:

$$F_t = F_0 + \mu \cdot F_n, \quad (1.12)$$

где F_0 – составляющая силы сочленения–расчленения, не зависящая от контактной силы (Н).

Однако на практике обычно применяется упрощенная формула (1.11), по которой так же определяется сила расчленения контактной пары [90].

По идее фактический контроль контактной силы должен быть обусловлен измерением силы воздействия пружинящего элемента ЭС на рабочей элемент контрольного прибора. Однако, учитывая малые размеры контактов и их высокую плотность расположения в изоляторе, реализация подобного метода является весьма сложной задачей. На практике для упрощения решения подобной задачи применяют косвенный метод проверки контактной силы, который заключается в

контроле силы расчленения контактов ЭС контрольным штырем–калибром (рисунок 1.10) [2, 51, 90, 98, 112, 164, 167, 168]. Более подробное описание данного метода будет представлено в следующих параграфах.

Сила расчленения контакта ЭС – сила, необходимая для расчленения контакта ЭС с контрольным калибром [38].

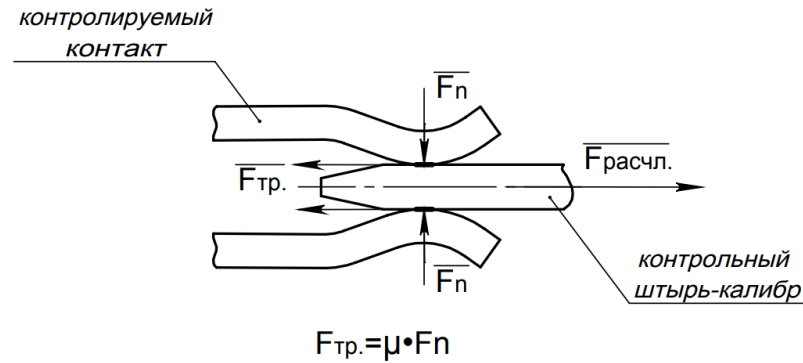


Рисунок 1.10 – Схема контроля силы расчленения контакта ЭС

Сила сочленения зависит от геометрии контактов, а именно от угла между контактирующими поверхностями (угла давления) [147, 151, 170, 173, 186]. Во время сочленения штырь отклоняет упругие пружинящие элементы гнездового контакта. В том случае, если эти упругие пружинящие элементы отклонены и касаются только плоской контактной поверхности (рисунок 1.8 в), то возникающая при этом нормальная сила будет перпендикулярна направлению оси сочленения. Сила сочленения в этом случае равна произведению нормальной силы и коэффициента трения скольжения. Однако до достижения устойчивого состояния сила сочленения проявляет довольно сложное поведение. При этом сила сочленения в момент смыкания всегда будет больше, чем значение в устойчивом состоянии, и обычно больше значения нормальной силы. Для упрощения вычислений вводят некоторое допущение: предполагают, что контакты вилки и розетки соединены в строго горизонтальном/вертикальном направлении, направление сочленения является так же горизонтальным/вертикальным.

Схема процесса сочленения контактов со скругленной заходной частью представлена на рисунке 1.11 [151, 186].

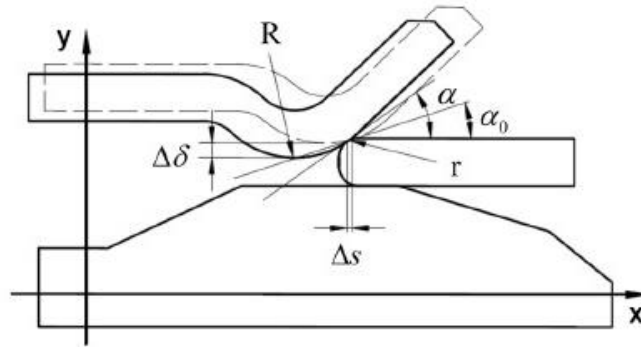


Рисунок 1.11 – Схема сочленения контактов ЭС

Таким образом, соотношение между нормальной силой и силой сочленения при перемещении будет описываться следующим уравнением [136, 146, 151, 167, 173, 186]:

$$F_{\text{сочл.}} = F_n \frac{\tan\alpha + \mu}{1 - \mu \tan\alpha}, \quad (1.13)$$

где α – угол между упругими элементами гнезда и штырем ($^\circ$).

Для геометрии контактов, подобно той, которая представлена на рисунке 1.11, начальный угол отклонения можно рассчитать по следующей формуле [151]:

$$\alpha_0 = \arccos \frac{R+r-\delta}{R+r}, \quad (1.14)$$

где R и r – радиусы заходной части гнезда и штыря соответственно (мм); δ – величина деформации в направлении Y (мм).

Последующее изменение угла наклона при перемещении будет определяться как [151]:

$$\alpha = \arcsin\left(\sin\alpha_0 - \frac{s}{R+r}\right), \quad (1.15)$$

где s – расстояние сочленения (мм).

Величину прогиба можно вычислить как [151]:

$$\delta = \begin{cases} (R+r)(\cos\alpha - \cos\alpha_0) & 0 < s < (R+r)\sin\alpha_0 \\ (R+r)(1 - \cos\alpha_0) & s \geq (R+r)\sin\alpha_0 \end{cases}, \quad (1.16)$$

В уравнении 1.16, определяющем силу сочленения, угол контакта и нормальная сила изменяются по мере сочленения контактов: угол контакта будет максимальным при начальном положении контактирования, уменьшаясь до 0° в сомкнутом состоянии. Нормальная сила будет увеличиваться от нуля до

определенной величины при смыкании контактов. Таким образом, комбинация изменения угла контактирования и изменения нормальной силы ведет к образованию пиковой силы сочленения, которая больше значения в сочлененном состоянии [136, 167, 173].

В представленных ранее формулах 1.11, 1.13 видно, что на величину силы сочленения–расчленения оказывает влияние коэффициент трения, который, в свою очередь, зависит от множества факторов [50, 55–57, 60, 67, 98, 112, 136, 142, 163]: конструкции контактов, формы и размеров фактической площади контактирования, величины контактного давления, времени между последовательными сочленениями, температуры, наличия между трущимися поверхностями частиц, окислов, пленок и т.д. В реальных контактных парах ЭС коэффициент трения может изменяться в широких пределах даже для одной и той же конструкции.

Решение задачи определения фактической зависимости всех параметров, влияющих на изменение коэффициента трения, чаще всего, не представляется возможным. По этой причине коэффициент трения целесообразно экспериментально определять для каждой разрабатываемой конструкции контактной пары с учетом конкретных условий эксплуатации [90].

На рисунке 1.12 а представлен график зависимости силы, возникающей при сочленении, относительно расстояния перемещения штыря–калибра/ответной части соединителя, где участок «I» соответствует фазе нагрузки, а участок «II» – фазе относительного скольжения контактов [132, 135, 136, 146, 147, 154, 166, 167, 170]. На рисунке 1.12 б показан график силы, регистрируемой при расчленении штыря/ответной части соединителя.

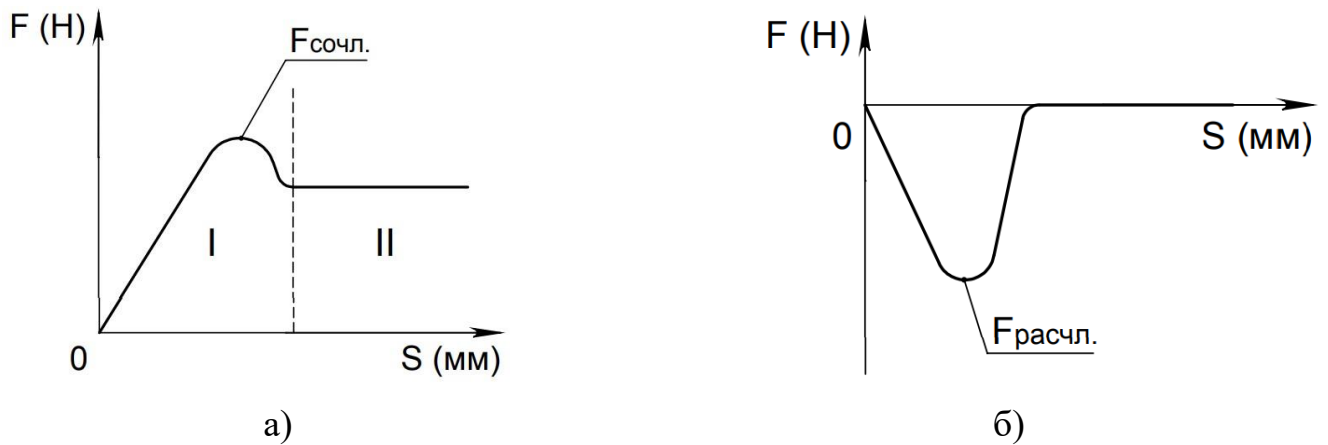


Рисунок 1.12 – Зависимость силы сочленения–расчленения от расстояния относительного перемещения контактных пар ЭС

На рисунке 1.13 представлен внешний вид графика зависимости силы сочленения–расчленения от времени проводимого испытания с соответствующим перемещением в направлении смыкания и размыкания, фактически полученный на механизированной установке с ручным приводом [14].

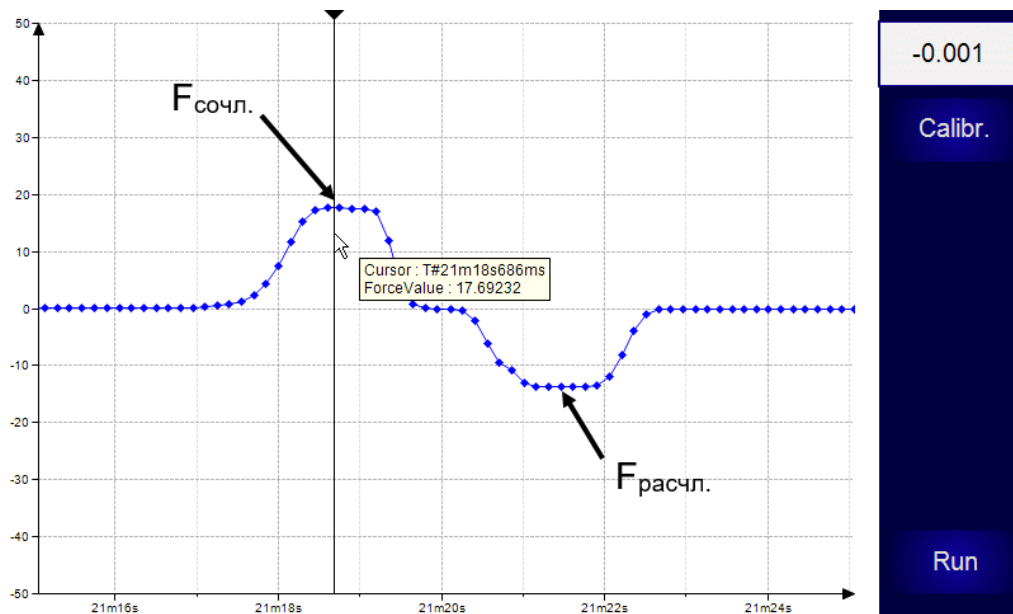


Рисунок 1.13 – Пример данных, полученных при испытании пары ЭС на механизированной установке с ручным приводом

Внешний вид получаемых данных отражает концептуальную корреляцию данных по изменению сил, возникающих при сочленении–расчленении, описанных в [132, 135, 136, 146, 147, 154, 166, 167, 170] с фактическими.

1.8. Типы и виды испытаний ЭС

Отказы в работе любого компонента обуславливаются нарушением его заданных характеристик и свойств. Первоочередной задачей испытаний изделий является выявление или подтверждение заданного уровня качества, а также предотвращение выпуска дефектных изделий в поставках серийного производства.

Проверяемые показатели, а также методика проводимых испытаний и контроля указываются в соответствующих нормативных документах: ГОСТ и технических условиях (ТУ) на изделие. Объем испытаний характеризуется количеством отдельных видов испытаний, числом контролируемых параметров, размером выборки и временем проведения [28, 61, 66, 87, 91, 113].

Испытания, проводимые на ЭС, делятся на три типа: конструктивные, приемосдаточные, периодические (таблица 1.1) [28, 39]. Помимо этого, контроль качества выпускаемого изделия по отдельным параметрам может осуществляться между технологическими операциями при изготовлении и сборке.

Зачастую при анализе результатов проведенных испытаний применяются статистические методы контроля качества, позволяющие определить оптимальный размер выборки, по параметрам которой косвенно выявляется соответствие всей партии изделий заданному уровню качества.

Таблица 1.1 – Объем и состав испытаний ЭС

Виды испытаний	Контролируемые параметры	Категория и состав испытаний		
		Конструктивные	Приемосдаточные	Периодические
I. Проверка конструкции веса и габаритов	1. Внешний вид и покрытие	+	+	–
	2. Взаимозаменяемость	+	+	–
	3. Посадочные, присоединительные размеры	+	+	–
	4. Вес и габариты	+	+	+

Виды испытаний	Контролируемые параметры	Категория и состав испытаний		
		Конструктивные	Приемосдаточные	Периодические
	5. Маркировка и упаковка	+	+	-
II. Электрические испытания в нормальных условиях	1. Контактное сопротивление 2. Сопротивление изоляции 3. Электрическая прочность изоляции 4. Емкость между контактами 5. Сопротивление контактов экрана и корпусов 6. Минимальные рабочие токи и напряжения 7. Статическая нестабильность переходного сопротивления контактов	+	+	-
III. Механические испытания	1. Сила расчленения отдельных гнезд с калибрами	+	+	+
1. Проверка механических параметров в нормальных условиях	2. Сила сочленения и расчленения изделий 3. Сила вырыва контактов 4. Прочность контактных лепестков на изгиб 5. Контактное давление 6. Момент вращения резьбовых соединений 7. Прочность крепления изоляторов 8. Износоустойчивость 9. Герметичность	+	+	-
2. Виброустойчивость	1. Внешний вид 2. Динамическая нестабильность переходного сопротивления контакта 3. Наличие электрического контакта	+	-	+
3. Виброустойчивость при длительном воздействии	1. Внешний вид и конструкция 2. Герметичность в нормальных условиях 3. Контактное сопротивление 4. Сила сочленения	+	-	+
		+	-	-
		+	-	-
		+	-	-
		+	-	-

Виды испытаний	Контролируемые параметры	Категория и состав испытаний		
		Конструктивные	Приемосдаточные	Периодические
4. Виброустойчивость при кратковременном воздействии	Внешний вид и конструкция	+	–	+
5. Ударная прочность	1. Контактное сопротивление	+	–	+
	2. Сила расчленения	+	–	+
6. Ударная устойчивость	1. Наличие электрического контакта	+	–	+
	2. Сила расчленения	+	–	+
	3. Контактное сопротивление	+	–	–
7. Устойчивость к воздействию с большим ускорением	Наличие электрического контакта	+	–	+
8. Воздействие одиночных ударов с большим ускорением и т.д.	1. Сила расчленения	+	–	+
	2. Контактное сопротивление	+	–	+

Из представленной выше таблицы видно, что в процессе испытаний регулярно проверяются основные параметры ЭС, определяющие надежность изделий в целом. Одним из таких параметров является сила расчленения контактов и сила сочленения–расчленения пар разъемов [1, 4, 18, 20, 51, 61, 87, 91, 113, 187].

1.9. Измерение и контроль силы сочленения–расчленения контактных пар ЭС

1.9.1. Основные методы определения силы сочленения–расчленения контактов и ЭС

На сегодняшний день для определения силы сочленения–расчленения контактов и соединителей используются следующие методы [18]:

- 1) Расчетно-аналитический;
- 2) Моделирование при помощи средств САПР (системы автоматизированного проектирования);
- 3) Экспериментальный (с фактическим измерением/контролем).

Выбор того или иного метода определяется конкретным этапом жизненного цикла ЭС в рамках поставленной задачи.

Особенность первого метода определения силы сочленения–расчленения заключается в использовании соответствующих математических зависимостей и вычислений на их основе [28, 89, 90, 98]. На практике он обычно применяется на этапе конструкторской проработки контактной группы в целях обеспечения оптимальных механических и электрических параметров, и служит для определения допустимого диапазона геометрических параметров с учетом технологического допуска на изготовление, подборе материалов, покрытий и т.д. Основным недостатком данного метода является использование физической идеализированной модели, применяемой при расчете, зачастую не учитывающей ряд факторов, таких как: фактическое значение коэффициента трения исследуемой контактной пары, температуру, чистоту и шероховатость поверхности, а также изменение механических свойств в структуре материала [18].

Второй метод основывается на моделировании сочленения и расчленения в САПР. Примерами таких систем могут быть: SolidWorks, ANSYS, Abaqus и т.д. В [60, 95, 125, 151, 153, 154, 157–160, 187, 190] приводятся алгоритмы и примеры исследования рассматриваемых процессов. Так, например для моделирования механического взаимодействия в модуле SolidWorks Motion (COSMOSMotion)

необходимо знать [180]: геометрию и пространственные взаимосвязи исследуемых объектов, материал, расчетные значения статистического и динамического коэффициентов трения, коэффициент жесткости, значение степенного показателя, максимальное демпфирование, расстояние проникновения. Однако следует отметить тот факт, что даже после определения необходимых исходных параметров, их фактические значения могут лежать в довольно широком диапазоне. Т.е. использование метода моделирования сил сочленения–расчленения в САПР без соответствующих экспериментальных корректировок может привести к значительным погрешностям [60, 98]. Зачастую процесс моделирования выполняют без принудительного задания перекосов, отклонений от формы и расположения сопрягаемых поверхностей, обусловленных качеством изготовления, а также особенностей конструкции изделия. Таким образом, данный метод определения силы сочленения и расчленения контактной группы (аналогично первому) применяется на практике при проектировании и модернизации конструкции ЭС [18].

1.9.2. Приспособления и механизмы для контроля силы расчленения контактов с контрольным штырем–калибром

В процессе производства и контроля качества ЭС применяется экспериментальный метод, основанный на способности упругих элементов удерживать силой трения контрольный штырь–калибр. В настоящее время выполнение данной операции производится вручную при помощи грузиков калиброванной массы в соответствии с ГОСТ 27277-87 [40] двумя способами: одиночным и групповым. Применяемые контрольные штыри–калибры должны соответствовать требованиям, указанным в ТУ на ЭС, а именно – должны быть изготовлены из углеродистой легированной стали [51], иметь повышенную твердость (более 52 HRC), допуск на отклонение основных «рабочих» поверхностей обычно не должен превышать 5–8 мкм с шероховатостью Ra 0,32–0,08 [41], направление шероховатости должно соответствовать

направлению оси сочленения–расчленения. Обычно такие калибры рассчитываются на несколько десятков тысяч сочленений–расчленений, в связи с чем гальванически покрываются хромом и прецизионно доводятся вручную. Для большей наглядности пример чертежа на контрольный штырь–калибр одного из соединителей представлен на рисунке 1.14.

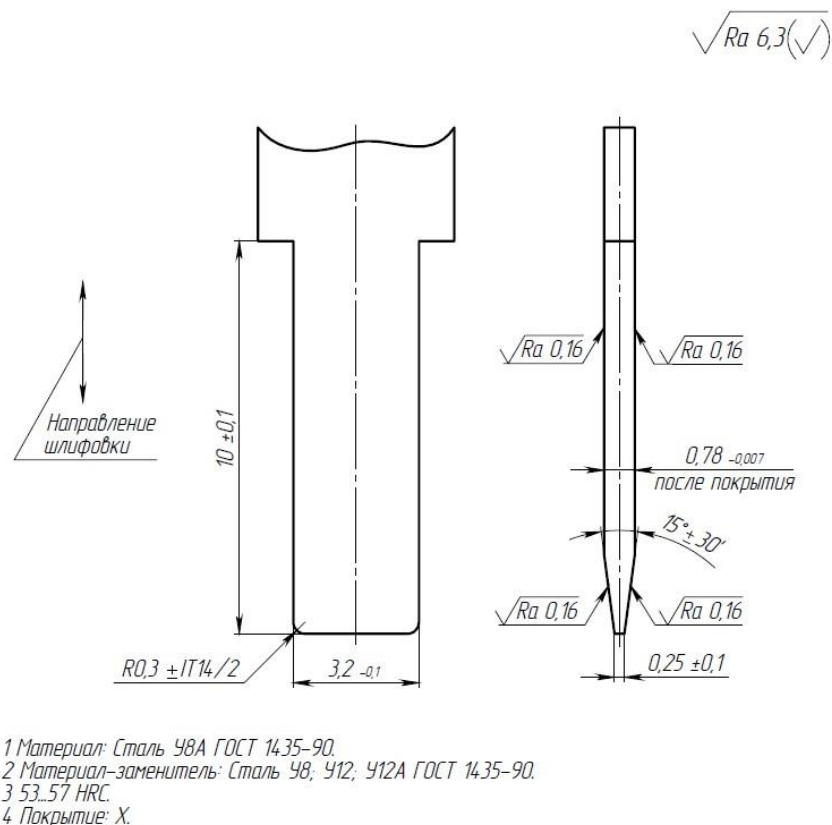


Рисунок 1.14 – Контрольный штырь–калибр

Наиболее часто применяется способ одиночного контроля, заключающийся в следующем: штырь–калибр соединяется с грузом, сочленяется вручную с гнездом соединителя и поднимается на некоторое расстояние. Если сила тяжести груза меньше силы трения в контактной паре, то штырь–калибр удерживается в гнезде. Если же сила тяжести превышает силу трения, то контрольный штырь выпадает [2, 3, 7, 13, 18, 28, 38, 51].

Наиболее часто в КД на изделие задается диапазон допустимых значений силы расчленения. Т.е. сила расчленения контролируемого гнездового контакта должна находиться в диапазоне:

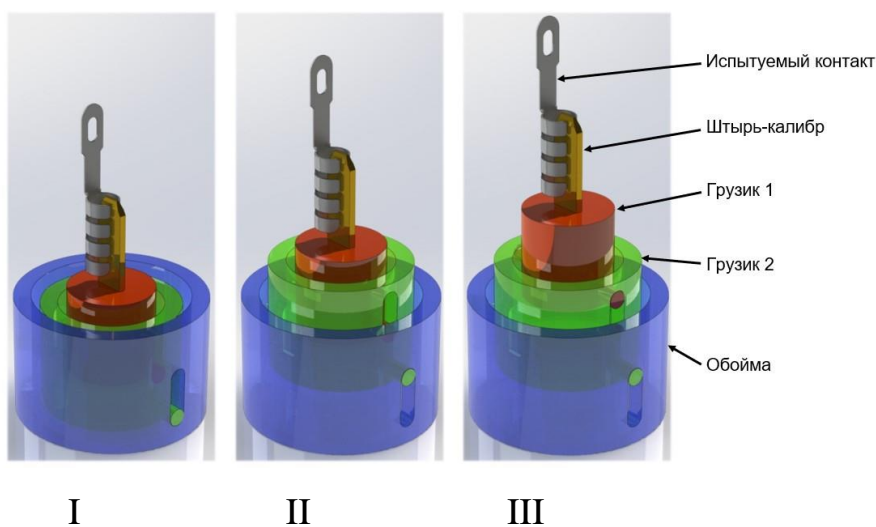
$$F_{\text{расчл.}}(\text{MIN}) < F_{\text{расчл.текущ.}} < F_{\text{расчл.}}(\text{MAX}), \quad (1.17)$$

Для проверки данного неравенства используют либо два конструктивно связанных друг с другом, либо два отдельных грузика.

На рисунке 1.15 а представлен внешний вид конструкции гирь, соединенных между собой и обеспечивающих проведение контрольной операции за одно сочленение–расчленение. В таком случае сила тяжести, развиваемая грузом массой m_1 , должна соответствовать $F_{\text{расчл.}(MIN)}$, а сила тяжести, развиваемая обоими грузиками, суммарной массой (m_1+m_2) должна быть равна $F_{\text{расчл.}(MAX)}$. Т.е. годный контакт, сочлененный со штырем–калибром (этап «I» на рисунке 1.15 а), должен удерживать груз, массой m_1 (этап «II» на рисунке 1.15 а). Процесс проведения ручного испытания с грузиками и контрольным штырем–калибром представлен на рисунках 1.15 б, в [2, 7, 18].

В случае использования двух отдельных грузов единственным отличием является то, что контакт при прохождении контрольной операции сочленяется дважды: сначала с контрольным штырем–калибром и грузом, сила тяжести которых соответствует $F_{\text{расчл.}(MIN)}$, затем – $F_{\text{расчл.}(MAX)}$.

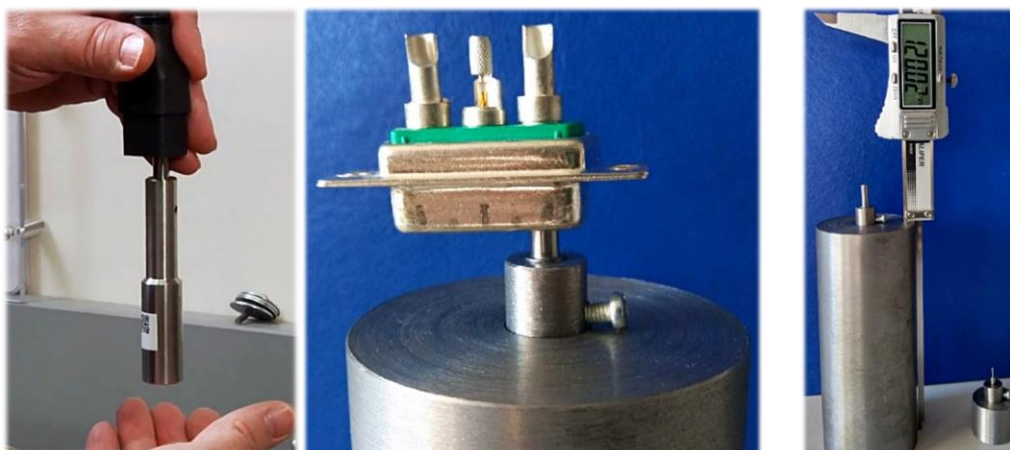
Обычно сила расчленения контактов с контрольным штырем–калибром в зависимости от типа испытуемого ЭС может составлять 0,294–1,47 Н (30–150 гс). Однако, встречаются и такие соединители, сила расчленения контактов которых может достигать 9,8 Н (1 кгс) (рисунок 1.15 г, д).



а)



б)



в)

г)

д)

Рисунок 1.15 – Методика фактического контроля силы расчленения контакта ЭС штырем–калибром: а) конструкция контрольных гирь со штырем; б) процесс контроля силы расчленения многоконтактного ЭС; в) контроль силы расчленения контактов розетки С13 [149]; г) пример штыря–калибра с массой груза 1 кг; д) внешний вид груза массой 1 кг на фоне груза массой 0,1 кг

Основным недостатком описанной методики проведения испытаний является то, что при этом не производится фактическое измерение регистрируемой силы расчленения, а производится контрольная отбраковка контактов по принципу «проход – не проход». Данный подход оправдан в производственном процессе серийно выпускаемой продукции с отлаженным технологическим процессом. Однако при освоении выпуска новой продукции более подходит методика, позволяющая проводить фактическое измерение, а не контроль. Так, в литературе [77, 78] описаны конструкция и принцип работы динамометров для контроля сил расчленения контактов. Однако предлагаемые устройства является лишь

модернизированной версией груза со штырем–калибром, способном отображать зафиксированное значение силы расчленения.

Групповой способ заключается в использовании устройства с множеством калибров и связанных с ними грузов. Каждому гнездовому контакту соответствует свой груз и калибр. Данный способ с одной стороны позволяет сократить время на проведение испытаний, с другой – требует большого количества дорогостоящих высокоточных штырей–калибров. В случае различного расположения контактов в разъемах (в рамках как одного типа конструкции, так и разных) необходимо применение отдельной конфигурации испытательной установки. С учетом современной тенденции к миниатюризации ЭС [48, 92, 170, 190] и уменьшения расстояния между контактами, применение данного метода становится весьма затруднительным [90] как с конструкторско-технологической, так и с экономической стороны.

Пример конструкции устройства для проверки минимально допустимой силы расчленения контакта многоконтактного разъема по групповому способу описан в [73] и представлен на рисунке 1.16. Процесс проведения испытаний на нем заключается в следующем: в держатель (8) вставляют испытываемую розетку (5), которая сочленяется при помощи рычага (7) с набором испытательных калибров (3), соединенных с грузами (4). После перемещения эксцентрика (10) нижний упор грузов (9) опускается, что обеспечивает свободное повисание калибров с грузами под испытываемыми гнездовыми контактами. Через высвобождение (11) производят визуальную оценку удержания контактами испытательных калибров с грузами. Образец считается прошедшим испытание, если многоконтактный разъем удерживает все калибры с грузами [73].

Следует отметить, что последовательный способ контроля силы расчленения контакта ЭС с одиночным контрольным штырем–калибром, несмотря на низкую производительность, обеспечивает наиболее высокую точность проведения испытаний благодаря применению одних и тех же штырей. Это приводит к исключению погрешности, связанной с «разбросом» геометрических и физических параметров разных калибров [90].

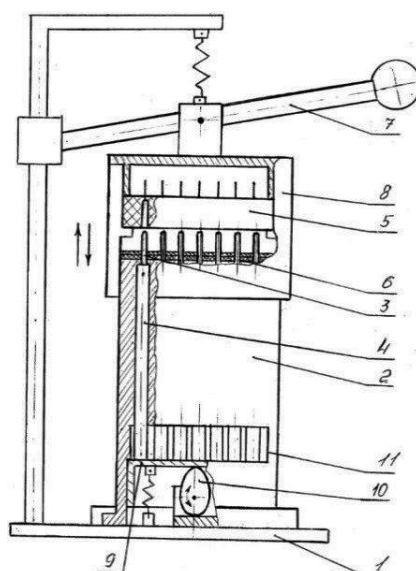


Рисунок 1.16 – Механизированное устройство для проверки силы расчленения контакта многоконтактного разъема [73]

1.9.3. Устройства для измерения силы сочленения–расчленения ЭС

Фактические измерения значений сил сочленения и расчленения выпускаемых электрических разъемов производят при помощи любых устройств, обеспечивающих измерение силы, направленной вдоль оси смыкания и размыкания, по методике, указанной в ГОСТ 23784-98 [39]. Перед проведением данной операции должен быть осуществлен полный контроль сил расчленения всех контактов соединителя при помощи штырей–калибров [90]. Скорость относительного перемещения вилок/розеток должна быть равной 10 мм/с без рывков и ускорений. За величину силы сочленения и расчленения ЭС следует принимать среднеарифметическое значение пяти результатов последовательных измерений [39].

На сегодняшний день на многих отечественных предприятиях, выпускающих прямоугольные ЭС для измерения силы сочленения и расчленения, используются специализированные установки с ручным приводом и динамометром (рисунок 1.17) [1, 9, 11, 14, 20, 122].

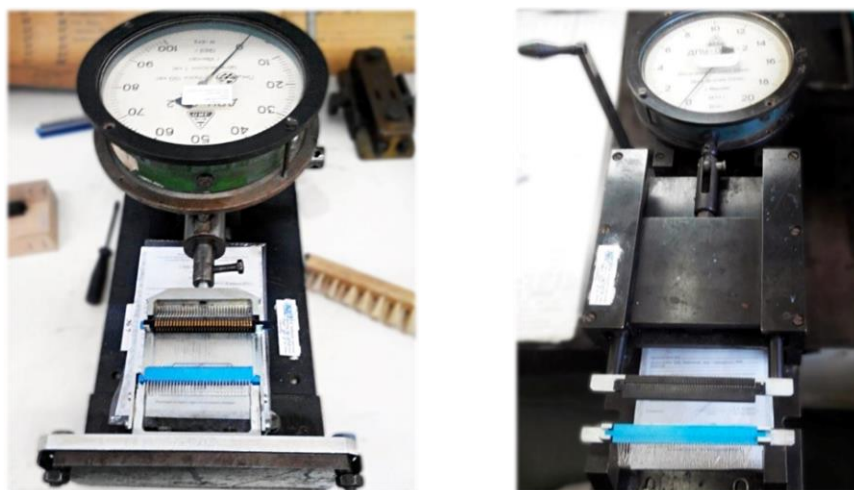


Рисунок 1.17 – Установки для измерения сил сочленения и расчленения разъема с ручным приводом и динамометром

Алгоритм проведения испытаний ЭС с использованием таких установок заключается в следующем: испытуемые соединители помещаются в соответствующие сменные посадочные места (оснастку), конструкция которых зависит от типа испытуемых разъемов. После чего оператор при помощи рукоятки осуществляет ручное сочленение и расчленение испытуемой пары, визуально контролируя показания стрелочного динамометра, отображающего значение приложенной силы [1, 20]. Однако данный динамометр общего назначения [109] имеет несколько недостатков:

- является однонаправленным, т.е. способен изменять приложенную силу только в одном направлении. Благодаря этому необходимо применение двух типов установок, отдельно фиксирующих силу сочленения и расчленения ЭС;
- отсутствует возможность протоколирования полученных результатов измерения. Оператор имеет возможность регистрации силы только в конкретный момент времени.

В работе [76] описана модернизированная версия данной установки (рисунок 1.18), которая позволяет проводить измерения только силы расчленения ЭС с отображением регистрируемых параметров на дисплее индикатора без возможности накопления информации о проводимом измерении.

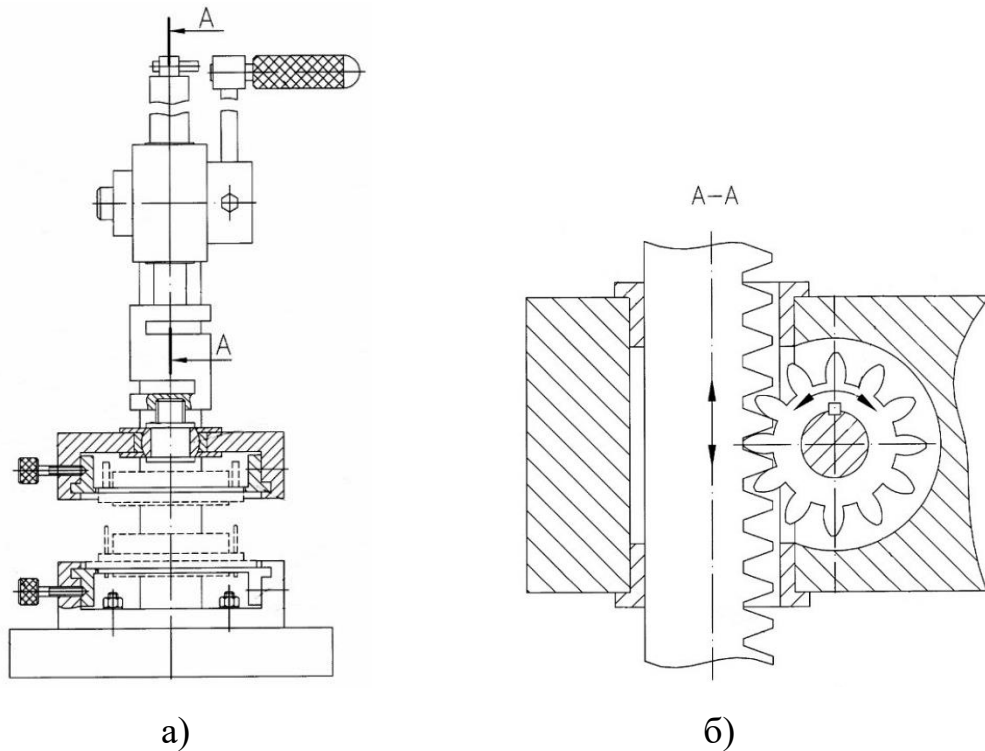
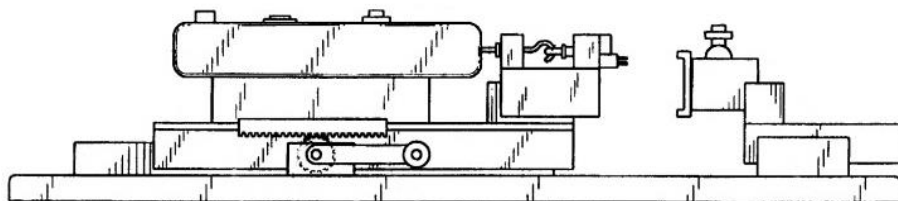
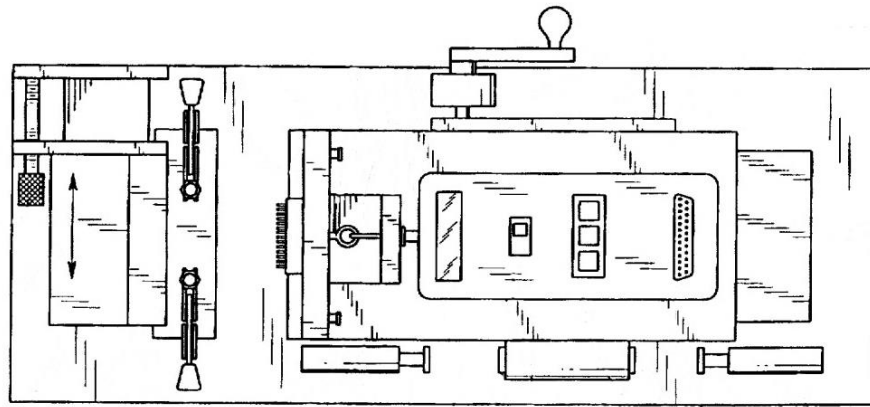


Рисунок 1.18 – Установка для измерения силы сочленения–расчленения разъемов с тензометрическим датчиком: а) общая компоновка; б) реечная передача приводного механизма [76]

В литературе [171] описана конструкция установки, обеспечивающая возможность ручной регулировки положения испытуемого соединителя и его ответной части по двум направляющим во взаимно перпендикулярных плоскостях, с фиксацией конечных положений при помощи механических упоров (рисунок 1.19). Однако концептуально недостатки описываемой конструкции остались неизменными: сочленение и расчленения испытуемых соединителей осуществляется вручную; измерительный узел (тензодатчик) способен регистрировать лишь силу расчленения ЭС.



а)



б)

Рисунок 1.19 – Установка контроля силы расчленения разъема: а) главный вид;
б) вид сверху [171]

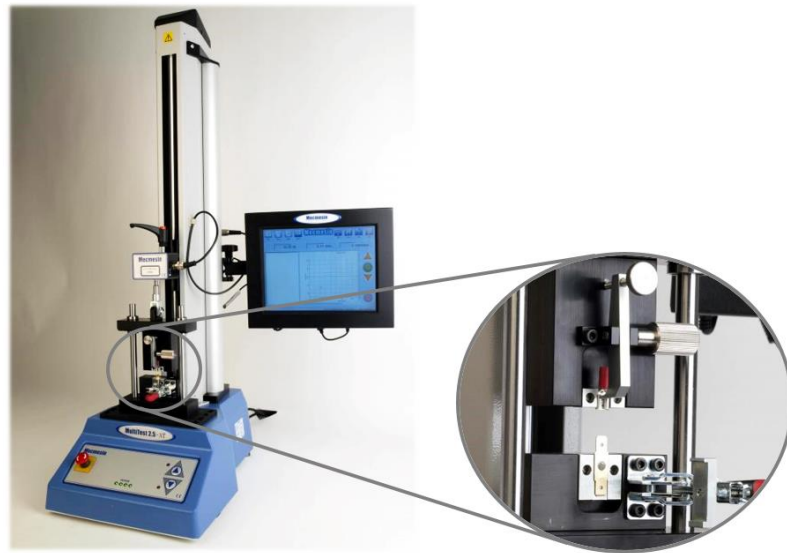
В конструкции установки для измерения сил сочленения и расчленения, представленной компанией «Dongguan Lmet Technology» (КНР) [148], имеется автоматизированный привод подвижной части с кривошипно-шатунным механизмом, не обеспечивающим постоянную скорость смыкания и размыкания испытуемых разъемов, и требующим ручной механической корректировки конечных положений (рисунок 1.20).



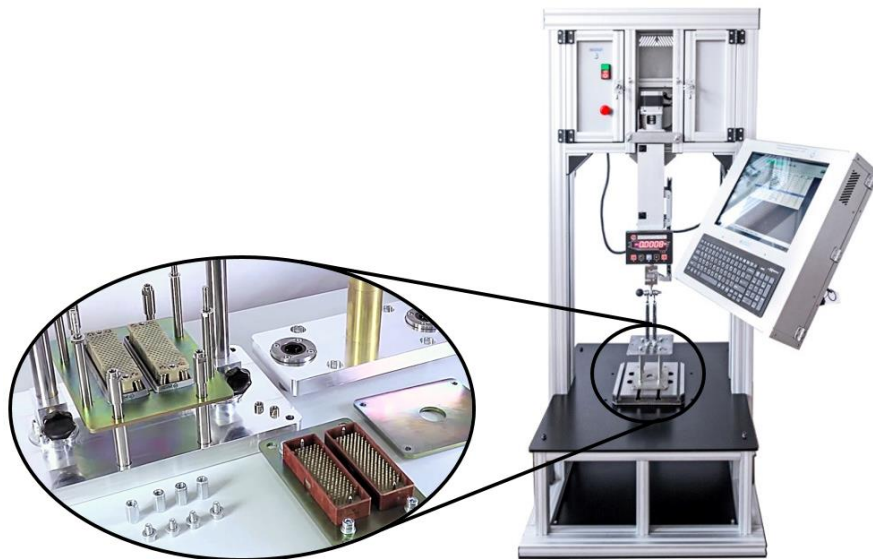
Рисунок 1.20 – Установка LT-8615C фирмы «Dongguan Lmet Technology» [148]

Установки для измерения силы сочленения и расчленения ЭС компании «Mechmesin» (Великобритания) [161] (рисунок 1.21 а) и «Термопро» (РФ) [108] (рисунок 1.21 б) имеют компоновку, схожую с классической конструкцией измерительной разрывной машины с автоматизированным приводом, особенность

которой заключается в вертикальном расположении оси сочленения–расчленения. Однако в этом случае требуется наличие отдельных элементов/узлов для позиционирования и фиксации разъемов во время проведения испытания, что приводит к усложнению как конструкции технологической оснастки, так и самого процесса позиционирования соединителей, а также к увеличению затрат на испытательную установку.



а)



б)

Рисунок 1.21 – Установки с автоматизированным приводом и вертикальной осью сочленения–расчленения: а) MultiTest 2.5-xt фирмы «Mechmesin» [161];
б) измерительная установка фирмы «Термопро» [108]

В то время как горизонтальная компоновка зачастую позволяет избежать необходимости закрепления ЭС с обеспечением самоцентрирования при смыкании соединителей благодаря зазору в технологической оснастке и заходным фаскам на элементах разъемов.

1.10. Структура систем автоматического контроля

В общем виде система автоматического контроля (САК) предназначена для автоматического контроля различных технологических параметров на производственном объекте автоматизации и, в конечном счете, для непосредственного измерения и регистрации этих параметров. Эта система решает следующие задачи [45, 85]:

- 1) получение и предоставление информации о свойствах, техническом состоянии и пространственном расположении контролируемых объектов, а также о состоянии технологической среды и производственных условий;
- 2) сравнение фактических значений параметров с заданными;
- 3) передача информации о расхождениях с параметрами моделей производственного процесса для принятия решений на различных уровнях управления производством;
- 4) получение и предоставление информации об исполнении заданных функций.

САК должна обеспечивать автоматическую перенастройку средств контроля в пределах заданной номенклатуры контролируемых объектов, полноту и достоверность контроля, а также надежность средств контроля. Динамические характеристики САК должны соответствовать динамическим свойствам контролируемых объектов [45, 85].

Также такие системы могут называть и измерительными системами. Такая система (рисунок 1.22) включает датчик, усилитель, принимающий сигнал от датчика и передающий его после усиления на преобразователь, который реализует заключительную операцию автоматического контроля – представление

контролируемой величины в форме, удобной для наблюдения или регистрации [45, 85]. Кроме указанных элементов в САК могут входить стабилизаторы, источники питания, распределители и т.д.

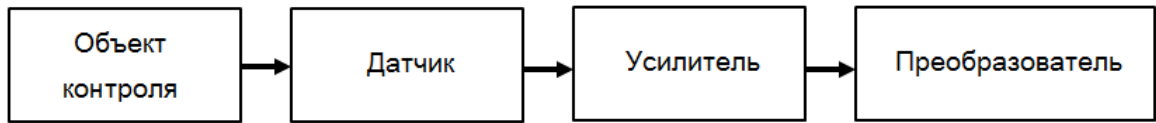


Рисунок 1.22 – Структура системы автоматического контроля

Независимо от количества элементов САК являются разомкнутыми, и сигнал в них проходит только в одном направлении – от объекта контроля к исполнительному элементу.

В зависимости от вида измерительного устройства автоматические измерительные системы делятся на две группы:

1. Небалансные (некомпенсационные, неуравновешенные) системы.
2. Балансные (компенсационные, уравновешенные) системы.

Небалансные системы – это системы прямого измерения. Они просты по своей структуре и конструкции, но имеют существенный недостаток, т.к. обладают погрешностью измерения, возникающей под действием различных внешних условий, таких как, изменение окружающей температуры, нестабильность величины напряжения источника питания, а также погрешностью, обусловленной изменением внутренних параметров входящих в систему элементов. Структурно измерительные устройства таких систем состоят из датчика (Д), преобразующего неэлектрическую величину в электрический сигнал, измерительной схемы (ИС) и, как правило, усилителя (У) (рисунок 1.23), т.е. представляют собой последовательное соединение нескольких элементов, изменение по какой-либо причине выходного параметра одного из них сказывается на изменении результирующей выходной величины [45, 85].

Балансные системы основаны на автоматическом уравновешивании (балансировании) выходной величины датчика, поступающей на измерительную

схему, с помощью равной ей величины такого же рода, пропорциональной изменению выходной величины датчика (x_1).

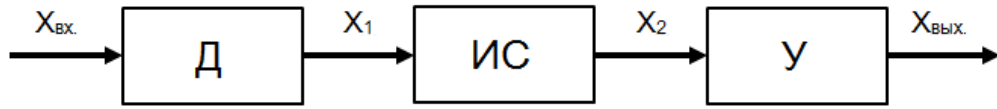


Рисунок 1.23 – Структурная схема измерительного устройства (системы прямого измерения)

Представленная структурная схема измерительной системы непрерывного балансирования (рисунок 1.24), чаще всего используемая на практике. В таких системах, как видно из схемы, имеется жесткая обратная связь, т.е. такие системы – замкнутые, и в них вводятся дополнительные звенья, значительно усложняющие структуру в целом.

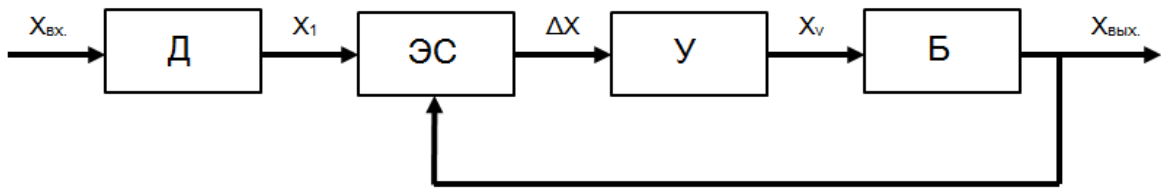


Рисунок 1.24 – Структурная схема балансной измерительной системы

В этой схеме используется, прежде всего, элемент сравнения (ЭС), выполняющий функции «нуль-органа» и работающий на установление нулевого выходного сигнала $\Delta x = 0$, поступающего на вход усилителя (У). В качестве нуль-органа в балансных системах используются уравновешенные измерительные схемы, такие как, мостовые, дифференциальные или компенсационные. Другое дополнительное звено балансирующий орган (Б), который своей выходной величиной соответствующим образом воздействует на элемент сравнения. В качестве этого элемента обычно используется электродвигатель с редуктором, который по цепи обратной связи, как правило, механической, уравнивает применяемую измерительную схему, устанавливая таким образом на ее выходе нулевой сигнал. При выполнении условия $\Delta x = 0$ выходной сигнал усилителя также отсутствует ($x_у = 0$). При этом балансирующий орган не работает, не оказывая

никакого воздействия на элемент сравнения, и вся система находится в состоянии покоя. Малейшее изменение измеряемого параметра $x_{вх.}$ вызывает на выходе элемента сравнения появление сигнала рассогласования Δx , отличного от нуля, причем определенной полярности или фазы. Этот сигнал, увеличенный количественно с помощью усилителя, поступает на обмотку управления используемого электродвигателя. При этом двигатель приходит в движение и в соответствии со знаком (или фазой) управляющего сигнала x_y через редуктор перемещает движок регулирующего элемента измерительной схемы в требуемом направлении, уравнивая ее снова, т.е. добиваясь равенства нулю выходного сигнала измерительной схемы, а, следовательно, и x_y , при котором двигатель вновь останавливается до следующего изменения измеряемого параметра [45, 85].

Дискретная форма представления результатов измерения более точна и удобна как для визуального наблюдения и регистрации, так и для передачи на расстоянии. В цифровых измерительных системах, кроме этого, полностью исключается и субъективная составляющая погрешности.

Структура цифровой измерительной системы (рисунок 1.25) состоит из входного устройства (ВУ), в состав которого входят датчики с соответствующими схемами их включения и усилителями, аналогово–цифрового преобразователя (АЦП), созданного на основе современной микроэлектроники, цифрового отсчетного устройства (ЦОУ) и устройства управления (УУ) [45, 85].

Входное устройство предназначено для масштабного преобразования (усиления) входной измеряемой величины ($x_{вх.}$) и, кроме этого, отделения от неё возможных помех.

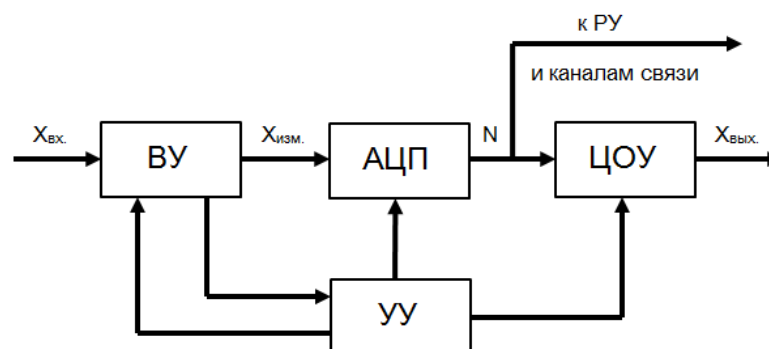


Рисунок 1.25 – Структурная схема цифровой измерительной системы

Аналогово–цифровой преобразователь преобразует измеряемую величину ($x_{\text{изм.}}$) в цифровой код (N), который поступает на цифровое отсчетное устройство (ЦОУ), где измеряемая величина индицируется в виде ряда цифр на соответствующем цифровом табло. Кроме этого, цифровой код может использоваться для его фиксации на регистрирующем устройстве (РУ) и для передачи его по каналам связи в системах телеизмерения и телемеханики.

Устройство управления в зависимости от входного сигнала вырабатывает определенную последовательность командных сигналов во все функциональные узлы цифровой измерительной системы, обеспечивая их четкую и надежную работу.

Обобщенно структура САК включает в себя аппаратную и программную часть (рисунок 1.26).

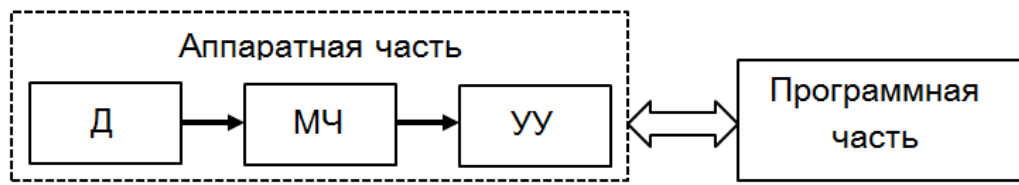


Рисунок 1.26 – Обобщенная структура САК

При этом аппаратная часть включает в себя датчики (Д), механическую часть (МЧ), состоящую из исполнительных устройств, элементов перемещения, различных механических элементов конструкции, устройств управления (УУ), включающих в себя различные преобразователи (АЦП, ЦАП, ЧРП), контроллеры, драйверы, средства отображения информации и другие электронные компоненты системы [45, 85].

1.11. Результаты и выводы по первой главе

1. Разъемный ЭС является важным высокотехнологичным элементом системы передачи электрической энергии. При этом контактная сила сочлененного гнезда и штыря относится к основному параметру, обеспечивающему стабильную работу разъемов в течение заданного периода эксплуатации.

2. Ввиду технологических и конструкционных сложностей фактического контроля контактной силы на практике используется метод контроля силы расчленения контактов ЭС с штырем–калибром. При производстве все контакты без исключения проходят процедуру ручного контроля силы расчленения зачастую одиночным способом.

3. Для выборки из партии собранных ЭС дополнительно проводят испытания по фактическому измерению сил сочленения и расчленения с ответной частью. При этом скорость относительного перемещения пары должна быть равной 10 мм/с без рывков и ускорений.

4. Анализ применяемых средств контроля силы расчленения контакта с 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. Это обеспечивает дополнительную актуализацию разработки автоматизированных систем, способных измерять не только силу расчленения контакта с контрольным штырем–калибром, но и силу сочленения.

5. Анализ применяемых средств измерения сил сочленения и расчленения показал отсутствие устройств, полностью удовлетворяющим требованиям, предъявляемым к данной контрольной операции.

2. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОНТРОЛЯ СИЛЫ СОЧЛЕНЕНИЯ–РАСЧЛЕНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПАР ЭС С ИСКЛЮЧЕНИЕМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

2.1. Общие положения по разработке АСУ ОК ЭС

Проведенный в 1 главе анализ показал, что в настоящий момент на отечественном рынке отсутствуют АСУ ОК силы сочленения–расчленения ЭС и их контактных пар, полностью удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к данным типам испытаний, а также исключающие ошибки человеческого фактора. В связи с этим, для повышения эффективности контрольных операций необходимо разработать две отдельные АСУ: первая из них выполняет операции контроля сил сочленения–расчленения для отдельных контактов ЭС со штырем–калибром, а вторая – для пары вилка-розетка. Разрабатываемые АСУ должны реализовывать следующие общие функции [4, 7, 10, 13, 74, 75, 122]:

- 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.

Исходя из реализуемых функций, АСУ ОК должны содержать следующие элементы: базовую механическую часть с управляемыми электроприводами, сменную технологическую оснастку, систему визуализации и управления, измерительную часть.

2.2. Разработка базовой части

2.2.1. Выбор привода и направляющих для базовой части разрабатываемых АСУ ОКЭС

Базовая механическая часть разрабатываемых АСУ ОКЭС должна обеспечивать заданное поступательное перемещение подвижных частей с необходимой скоростью перемещения. Для автоматического перемещения подвижных частей установок необходимо применение электропривода с элементами, обеспечивающими поступательное перемещение.

В настоящее время в промышленной автоматизации широко используется три вида приводов: пневматический, гидравлический, электромеханический. Для решения задач точного позиционирования и перемещения подвижных элементов чаще применяют электромеханический привод [72, 79, 111, 179]. На рисунке 2.1 представлены основные типы электромеханических приводов, используемых в системах точного позиционирования и перемещения.



Рисунок 2.1 – Электроприводы систем точного позиционирования и перемещения

Анализ [72, 79, 111] представленных типов электромеханического привода показывает, что наиболее оптимальным вариантом по экономическому критерию и критерию обеспечения требуемого точного перемещения подвижных элементов АСУ является применение шагового (ШД) или вентильного двигателей. В технической литературе вместо названия «вентильный электродвигатель» часто используют название «серводвигатель». Выбор шагового или серводвигателя будет зависеть от требуемых скоростей перемещения и необходимого крутящего

момента, наличия обратной связи в системе. Однако в одном и другом случае принцип управления идентичен.

Для получения поступательного движения необходимо применение дополнительного устройства преобразования вращательного движения вала двигателя в линейное поступательное. Наиболее распространенными механизмами преобразования вращательного движения в линейное являются: кривошипно–шатунный [43]; реечный [182]; эксцентриковый; кулисный [25]; винтовой [35] и т.д.

Анализ схем построения измерительного, испытательного и другого технологического оборудования показывает, что наиболее часто для получения поступательного движения используют винтовую передачу, а именно шарико–винтовую передачу (ШВП) [144, 145].

Также основным элементом базовой механической части разрабатываемых АСУ ОК ЭС являются направляющие. Они должны обеспечивать точное направление перемещения подвижных элементов установки. От точности направляющих будет зависеть точность всей механической части [17, 86] АСУ.

Существующие типы линейных направляющих представлены в таблице 2.1, а их основные характеристики в таблице 2.2 [17].

Таблица 2.1 – Типы линейных направляющих

Типы направляющих	Контакт	Схема	Принцип работы
Направляющие качения	Шариковая направляющая		Между подвижными и неподвижными частями механизма находятся шарики.
	Роликовая направляющая		Между подвижными и неподвижными частями механизма находятся ролики.
	Направляющая на кулачковых роликах		Между подвижными и неподвижными частями механизма находятся кулачковые ролики с опорой на шариковые подшипники.
Гидродинамич. направляющие скольжения	Металл / металл		Обе части механизма соприкасаются друг с другом во время простоя. В начале перемещения происходит постепенное образование смазочной пленки между подвижными и неподвижными частями станка. Смазочная пленка

Типы направляющих	Контакт	Схема	Принцип работы
			обеспечивает полное отделение подвижных частей от неподвижных только на высоких скоростях скольжения.
	Металл / пластик		Такой же принцип, как и для металл / металл. Комбинация металла и пластикового материала обеспечивает снижение трения в начале перемещения до образования полной смазочной пленки.
Жидкостно-статические направляющие скольжения	Гидростатич. направляющая		Насос подает смазочную жидкость к направляющей. Подвижная часть при этом поднимается. Между подвижной и неподвижной частями образуется смазочная пленка под давлением.
	Аэростатическая направляющая		Компрессор подает к направляющей сжатый воздух, который отделяет подвижную часть от неподвижной.
Магнитные направляющие			Разделение подвижной и неподвижной частей станка происходит под воздействием магнитного усиления. Подвижная часть «плавает». Поэтому направляющая часть является бесконтактной.

Таблица 2.2 – Характеристики линейных направляющих

Характеристики	Направляющие качения			Гидродинамические направляющие скольжения		Жидкостно-статические направляющие скольжения		Магнитные направляющие
	Шариковые	Роликовые	На кулачковых роликах	Металл / металл	Металл / пластик	Гидростатические	Аэростатические	Магнитная подвеска
Грузоподъемность	+++	+++	++	+++	+++	+++	О	+++
Жесткость	++	+++	+	+++	++	+++	О	+
Характеристики трения	++	++	++	+	+	+++	+++	+++

Скорость	+++	+++	+++	+	+	+++	+++	+++
Характеристики демпфирования	+	+	+	+++	+++	+++	+++	+++
Эксплуатационная надежность	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+
Стандартизация	+++	+++	+++	+	+	О	О	О
Срок службы	++	++	++	++	++	+++	+++	+++
Затраты	++	++	++	+++	+++	+	+	О
+++ Очень хорошо; ++ Хорошо; + Удовлетворительно; О Приемлемо								

Таким образом, по данным, приведенным в таблице 2.2 можно сделать вывод, что направляющие качения имеют наилучшие показатели для большинства необходимых характеристик. Кроме того, оптимальное соотношение цены и качества делает данный вид направляющих незаменимым компонентом при создании современного автоматизированного оборудования во многих отраслях [17].

2.2.2. Выбор датчика для измерения силы сочленения–расчленения контактных пар ЭС

Одной из основных задач при проведении операций контроля ЭС является измерение силы, которая возникает при сочленении и расчленении отдельных контактов со штырем или пары соединителей между собой. От выбранного измерительного устройства будет зависеть точность и достоверность автоматизированного контроля ЭС.

Для измерения величины силы, механических напряжений и деформаций применяют следующие типы датчиков: резистивные тензодатчики, магнитные тензометрические датчики, емкостные, пьезорезонансные, пьезоэлектрические.

Безусловно, приведенные датчики обладают своими достоинствами и недостатками, которые отмечены в ряде работ [21, 65, 115, 118, 120, 121]. Однако резистивные тензометрические датчики нашли наиболее широкое распространение в связи с большим интервалом воспринимаемых сил (от 0 Н до 5 МН), высокой линейностью выходного сигнала, низкой погрешностью измерения (0,02–3 % от

номинального значения максимально воспринимаемой силы), возможностью измерения статической и динамической деформации, а также относительно небольшой стоимостью.

Учитывая габаритные размеры, точность измерения и максимальную величину измеряемой силы для разрабатываемых АСУ ОК ЭС выбраны тензодатчики типа «Single Point». Так, для измерения силы сочленения–расчленения контакта ЭС контрольным штырем–калибром была выбрана серия «L6B» [188], а для измерения силы сочленения–расчленения пары соединителей – серия «L6N» [189]. Внешний вид данных датчиков представлен на рисунке 2.2, а их технические характеристики – в таблице 2.3 [188, 189].



Рисунок 2.2 – Тензометрические датчики «Single Point»:

а) серия L6B; б) серия L6N

Таблица 2.3 – Технические характеристики применяемых тензодатчиков

Модель тензодатчика	L6B	L6N
Номинальное значение максимально воспринимаемой силы (по конфигурациям), Н	2,94; 5,88; 11,76; 29,4	29,4; 49; 78,4; 98; 147; 196; 294; 490; 735; 980
Класс точности	C3	
Номинальная чувствительность, мВ/В	0,9±0,1	2±0,2
Общая ошибка, % FS	0,02	
Нелинейность, % FS	0,02	0,017
Гистерезис, % FS	0,01	0,02
Ползучесть, % FS/30мин	0,02	
Температурное отклонение чувствительности, % FS/10°C	0,03	0,014
Диапазон напряжения питания, В (DC)	5–12	

Предельно воспринимаемая сила, % FS	150
Разрушающая сила, % FS	300

Примечание:

% FS – процентное соотношение от номинального значения максимально воспринимаемой силы.

Анализ представленных в таблице 2.3 данных показывает, что выбранные тензодатчики имеют высокие точностные характеристики с различным диапазоном измеряемых сил, что позволяет в случае необходимости изменения максимального значения воспринимаемой силы проводить оперативную замену без изменения конструкции АСУ ОК ЭС.

2.2.3. Разработка кинематической схемы базовой части АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС

В общем виде АСУ ОК силы сочленения и расчленения контакта ЭС должна обеспечивать последовательную вставку штыря–калибра во все гнезда разъема и при этом измерять силу его ввода и вывода (сочленения и расчленения). Измерение осуществляется тензометрическим датчиком, на котором закрепляется штырь–калибр, соответствующий типу испытуемого ЭС. Для проверки всех гнезд разъема необходимо обеспечить перемещение и позиционирование штыря относительно испытуемого ЭС. Так как у разъемов может быть несколько рядов гнезд, то необходимо обеспечить позиционирование штыря–калибра по двум координатам.

Таким образом, базовая механическая часть разрабатываемой АСУ ОК силы сочленения–расчленения контакта разъема должна состоять из трех подвижных линейных осей, где [2, 3, 7, 10, 13]:

- 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.

Кинематическая схема базовой части такой автоматизированной установки представлена на рисунке 2.3.

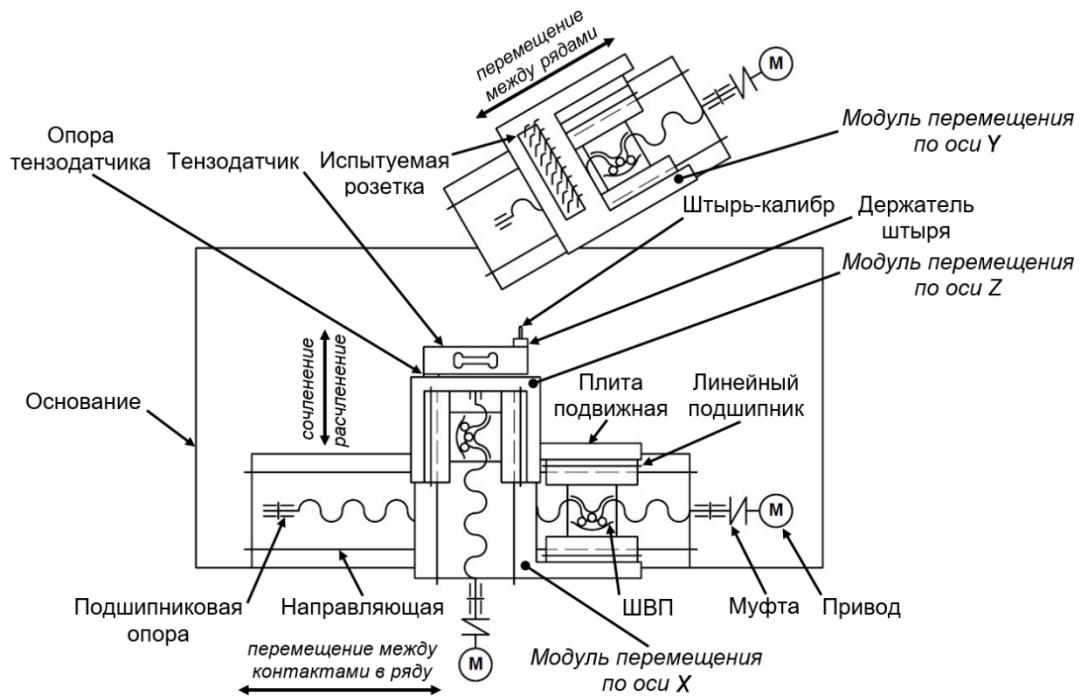


Рисунок 2.3 – Кинематическая схема автоматизированной установки для контроля силы сочленения–расчленения контактов ЭС штырем–калибром

При испытании различных типов ЭС необходимо осуществлять их перемещение в автоматизированном режиме на разные расстояния. Для контроля разных типов ЭС не обязательно изготавливать отдельную установку. Более того, в случае необходимости оперативного проведения серии испытаний одного типа разъема, можно распараллелить процесс на нескольких АСУ ОК одновременно. Такой подход позволит оптимизировать количество испытательных установок.

Для проведения контроля силы сочленения–расчленения контактов различных типов ЭС при помощи одной установки в конструкции базовой механической части необходимо предусмотреть возможность удобной смены калибров в универсальной посадочной части [2, 3, 7].

Алгоритм работы, предлагаемой АСУ будет включать следующие действия:

- 1) ручная установка на базовую плиту соответствующей технологической оснастки для конкретного типа испытуемого ЭС;
- 2) фиксация в держателе штыря–калибра;
- 3) установка и базирование разъема в оснастке;
- 4) автоматическое позиционирование испытуемого контакта ЭС относительно штыря–калибра;
- 5) вертикальное перемещение штыря–калибра с регистрацией сил сочленения–расчленения;
- 6) в случае завершения испытания всех контактов разъема осуществляется последовательное перемещение линейных осей установки в исходное положение;
- 7) выдача зарегистрированных данных о годности отдельных контактов ЭС;
- 8) ручной съем испытанного разъема.

2.2.4. Разработка кинематической схемы базовой части АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС

Для проведения испытаний пар ЭС с целью определения силы сочленения и расчленения необходимо обеспечить поступательное перемещение вилки относительно розетки, либо наоборот. Соответствующая ответная часть должна быть неподвижна. Поэтому данная автоматизированная установка должна иметь только одну подвижную ось.

Измерение силы сочленения и расчленения пары вилка-розетка осуществляется тензометрическим датчиком, установленном на неподвижной части автоматизированной установки [4, 9, 74, 75].

Кинематическая схема АСУ силы сочленения–расчленения пар ЭС представлена на рисунке 2.4.

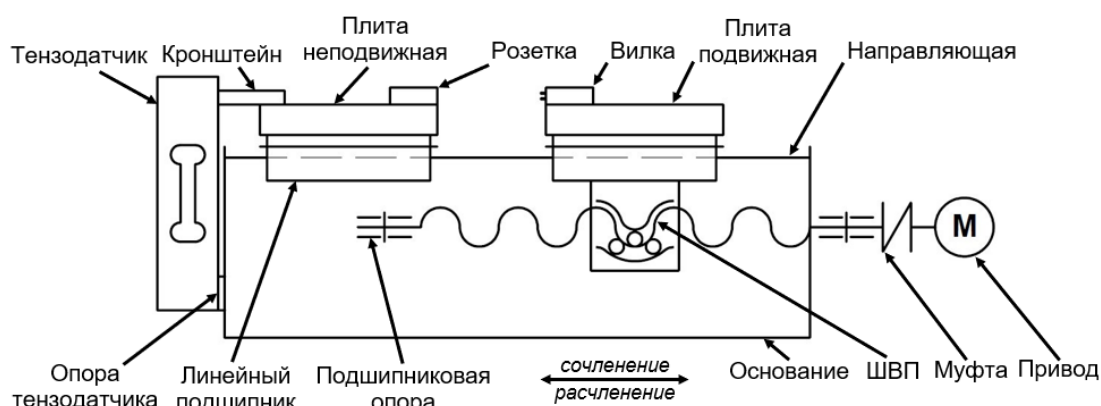


Рисунок 2.4 – Кинематическая схема автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения пары ЭС

Для обеспечения соосного расположения плит друг относительно друга (рисунок 2.4), их установка должна осуществляться через общие направляющие.

Принцип работы АСУ силы сочленения–расчленения пары вилка-розетка следующий. Оператор устанавливает на базовые плиты соответствующую технологическую оснастку для испытуемой пары. После этого вручную вставляет вилку и розетку в технологическую оснастку. Далее происходит процесс автоматизированного измерения силы сочленения–расчленения, который запускает оператор. В процессе измерения подвижная плита с установленной на ней вилкой (к примеру) перемещается приводом к неподвижной плите, на которой установлена ответная часть (розетка). Происходит процесс сочленения ЭС. Сила сочленения, передаваемая подвижной плитой неподвижной плите, фиксируется тензодатчиком. После полного смыкания пары ЭС, автоматически осуществляется отвод подвижной плиты и, соответственно, размыкание разъемов. Сила расчленения также регистрируется тензодатчиком. После этого подвижная плита перемещается в исходное положение. В случае успешно проведенного измерения полученные данные обрабатываются и анализируются информационной системой, и оператору выводится заключение о годности испытуемой пары ЭС. Для проведения испытаний других типов ЭС, оператор должен установить соответствующую технологическую оснастку [1, 4, 9, 11, 20, 74, 75, 122].

2.3. Разработка измерительной части АСУ ОК ЭС

Для обработки сигнала, снимаемого с тензометрического датчика, требуются специализированные преобразователи. В разрабатываемых АСУ ОК ЭС скорость обработки сигнала тензодатчика имеет принципиальное значение, т.к. выполнение последующего шага при перемещении штыря–калибра или испытываемого разъема непосредственно зависит от того, не превысит ли прогнозируемое значение силы максимально допустимое для установки. Длительное выполнение процесса измерения с неизбежностью приводит к недопустимым задержкам, что ставит под вопрос всю процедуру проведения испытаний в автоматизированном режиме с требуемыми параметрами перемещения [9, 19, 21, 22, 122].

Время, необходимое для регистрации и обработки сигнала с тензодатчика должно удовлетворять условию:

$$t_{\text{ТД}} \leq P/V, \quad (2.1)$$

где $t_{\text{ТД}}$ – время регистрации и обновления сигнала ТД (с); P – шаг регистрации данных при перемещении подвижного узла АСУ (мм); V – скорость перемещения подвижного узла АСУ (мм/с).

Требуется производить измерение силы с дискретностью перемещения подвижного узла не менее, чем в 0,2 мм. Тогда максимально допустимое расчетное время равно:

$$t_{\text{ТД}} \leq \frac{0,2}{10} = 0,02 \text{ (с)}, \quad (2.2)$$

Анализ готовых решений, представленных на отечественном рынке электронных компонентов [33, 69, 162, 172] показывает, что время обновления данных о величине регистрируемой силы таких модулей составляет, в лучшем случае, 0,1 с. В связи с этим необходимость быстросействующей обработки сигнала тензодатчика в условиях возможных помех от сторонних устройств и внешней сети привела к разработке специализированного измерительного модуля.

Следует отметить, что все работы, связанные с разработкой и изготовлением данного модуля, проводились совместно с ООО «КОНСТРУКТОР» (г. Брянск).

Наиболее удовлетворительные результаты получены при использовании АЦП типа AD7730 (Analog Devices) [124]. Данное устройство содержит [9, 19, 21, 22]:

- АЦП, адаптированный для обработки сигналов малых значений датчиков с мостовым подключением;
- полнофункциональную реализацию двухкаскадной цифровой фильтрации;
- встроенную систему управления со знакопеременным питанием датчика, что позволяет устранить влияние термо-ЭДС на результаты измерения.

Макетирование работы модуля на основе такого АЦП показало, что даже без применения специальных мер по уменьшению помех сигнала за счет оптимизации разводки и взаимного расположения элементов, обработка сигнала тензодатчика выполняется с шумами, не превышающими ± 4 разряда АЦП при максимальном диапазоне сигнала более ± 32000 отсчетов. Осциллограмма данных шумов представлена на рисунке 2.5.

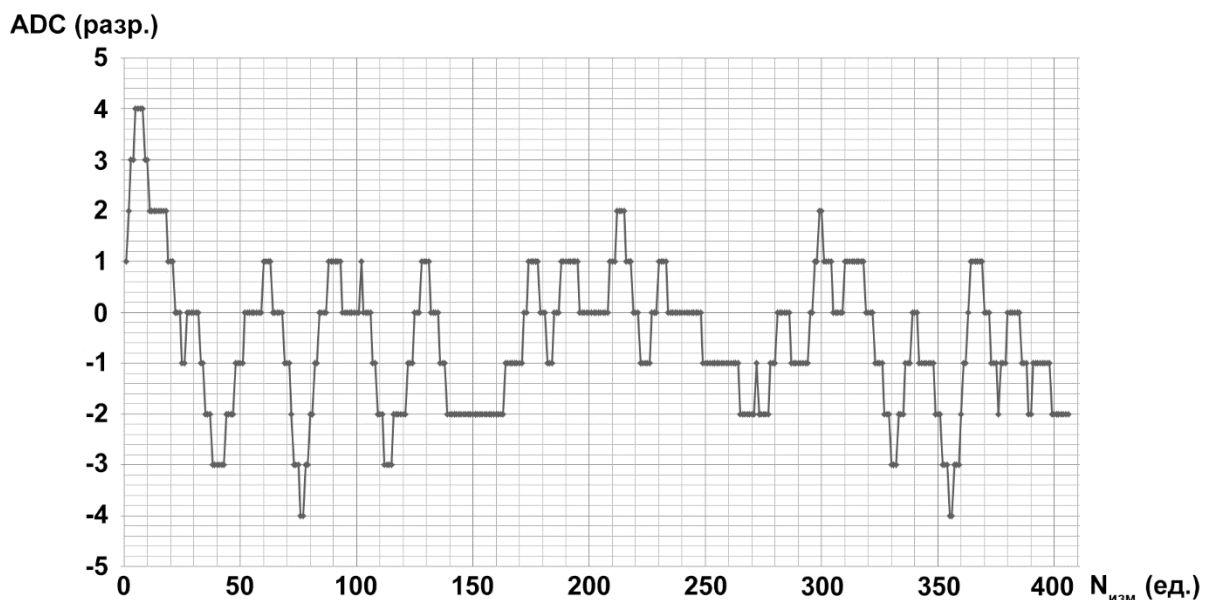


Рисунок 2.5 – Осциллограмма зарегистрированных шумов при работе разработанного модуля обработки сигнала тензодатчика

В применяемом АЦП [124] имеется возможность изменения на программном уровне параметров работы, влияющих на производительность и фильтрацию

помех. При этом изначально по критерию выбора оптимальной помехозащищенности выбран коэффициент, обеспечивающий обработку сигнала тензодатчика со скоростью 66,6 изм./с. Максимально допустимый уровень помех будет зависеть от конкретных условий эксплуатации измерительной системы, а также от выбранного типа тензодатчика. Более подробно вопрос оптимизации параметров работы будет освещен в параграфе 5.5.

Отличительной особенностью реализации разрабатываемого модуля является использование АЦП, отдельного источника питания и квази-гальванически изолированной шины обмена. Такой схемотехнический подход позволяет минимизировать влияние импульсных цепей на результаты обработки сигнала. Внешний вид платы разработанного модуля обработки сигнала тензодатчика представлен на рисунке 2.6 [21, 22].

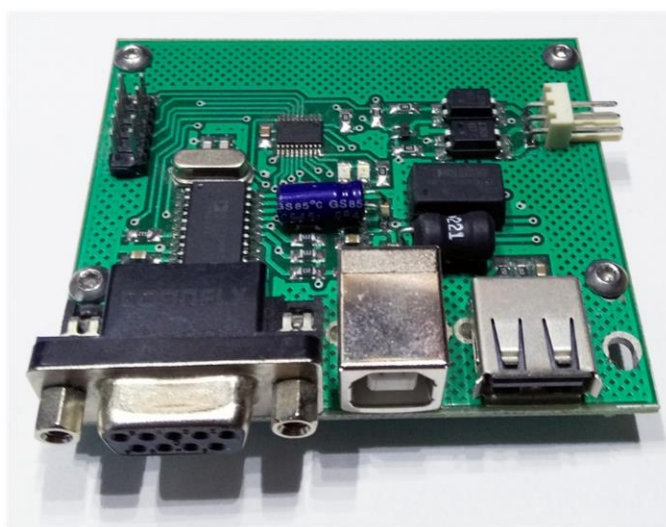


Рисунок 2.6 – Внешний вид разработанного модуля обработки сигнала тензодатчика

Для анализа работоспособности измерительного модуля проведен эксперимент по перемещению подвижной плиты в упор с неподвижной для АСУ ОК сил сочленения–расчленения пар ЭС. Перемещение осуществлялось в «микрошаговом» режиме с последующим возвратом в исходное положение в режиме «полный шаг». При этом было установлено программное ограничение нагрузки до 15000 отсчетов АЦП, что в случае применения датчика

L6N-C3-50kg-3B6 соответствует 225 Н. Полученные при этом результаты представлены на рисунке 2.7.

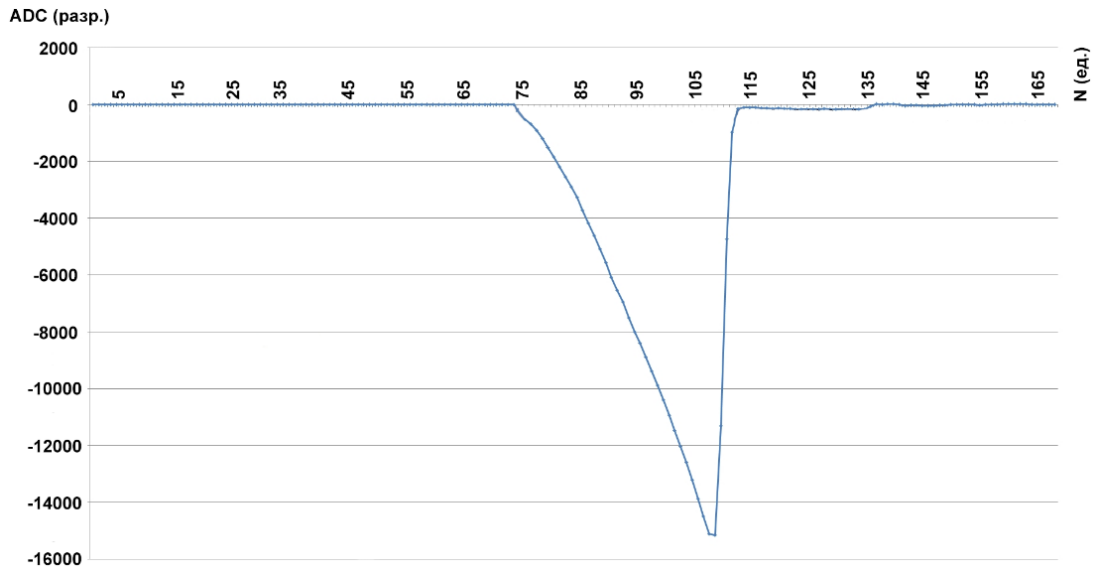


Рисунок 2.7 – Отработка работы измерительного модуля на АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС

Таким образом, разработанный модуль обработки сигналов тензометрического датчика позволяют проводить динамическое измерение сил, возникающих при сочленения–расчленения контактных пар ЭС [9, 21, 22].

2.4. Разработка структуры системы визуализации и управления

2.4.1. Общие положения по разрабатываемым системам

Система визуализации и управления двух разрабатываемых АСУ ОК ЭС включает в себя [1, 2, 4, 7, 9–11, 19, 122]:

- 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 сенсорной панели, обеспечивающей 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.

При выборе типа устройства, осуществляющего управление приводами в рассматриваемых системах по командам от модуля управления установкой, в отличие от драйверов, работающих по сигналам «STEP/DIR/ENABLE» от внешнего источника высокочастотных импульсов, большее предпочтение отдавалось специализированным контроллерам ШД. Основным отличием таких устройств является отсутствие необходимости использования внешнего контроллера с «быстрыми выходами», возможность изменения параметров и управления приводом в режиме реального времени по промышленным протоколам обмена: Modbus, PROFIBUS, CANopen, EtherCAT и т.д. Такие контроллеры самостоятельно обеспечивают работу ШД по командам типа: «бесконечное движение в заданном направлении», «движение в заданном направлении N-шагов», «движение в заданном направлении до срабатывания датчика, подключенного ко входу контроллера». Некоторые из таких устройств обеспечивают передачу информации о состоянии параметров контроллера: состояние входов, число шагов до завершения команды, счетчик текущей позиции и т.д. Кроме того, они позволяют программно изменять параметры работы ШД: величину тока в обмотках привода, время перехода и спад тока в «спящем режиме», коэффициент делителя шага, число шагов перемещения, начальную и конечную скорость, ускорение, замедление и т.д. [1, 2, 4, 7, 9, 11, 74, 75].

В связи с этим в качестве модуля управления приводом был выбран контроллер ШД отечественной фирмы ONITEX модели OSM-42RA [9, 169]. Данное устройство способно работать как в автоматическом режиме с установкой скорости двигателя от аналогового сигнала, так и в режиме драйвера или контроллера. Последний режим обеспечивает работу в программном режиме по командам от внешнего модуля управления, подключенного по интерфейсу RS-232 или RS-485, с протоколом обмена Modbus RTU или Modbus ASCII. Открытая архитектура с описанием встроенных регистров обеспечивает адаптивное

управление приводом по программе, написанной в любой среде программирования, поддерживающей языки из стандарта МЭК 61131-3 [42].

Модуль исходного положения необходим для определения исходного положения подвижной плиты линейной оси измерительной установки. Более подробное описание компонентов этой части АСУ будет представлено в последующих параграфах.

Ввод, редактирование параметров перемещения и измерения силы сочленения–расчленения, индикация текущих режимов и результатов проводимых испытаний осуществляется при помощи сенсорного панельного контроллера типа СПК с человеко-машинным интерфейсом (Human–Machine Interface) отечественной фирмы ОВЕН [70, 101]. В разрабатываемых АСУ данный контроллер обеспечивает общее управление. Альтернативная структура системы управления с использованием сенсорной панели оператора и ПЛК (программируемый логический контроллер), как отдельных устройств, приводит к избыточности аппаратного обеспечения АСУ за счет большого количества незадействованных точек ввода/вывода, что ведет к увеличению стоимости разрабатываемых систем. В связи с этим наиболее целесообразен выбор решения, сочетающего в себе основные функции панели оператора и ПЛК в одном корпусе, т.е. сенсорного панельного контроллера. Таким образом, в разрабатываемых АСУ ОК ЭС модуль индикации и модуль управления объединены в одном устройстве (СПК).

Поддерживаемая возможность работы СПК [70, 101] с SD-картой позволяет реализовывать запись и хранение результатов проведенных испытаний отдельных типов разъемов. Для удобства дальнейшей обработки и визуализации полученных графиков зависимости регистрируемой силы от перемещения подвижной плиты или времени проводимого испытания запись отдельного измерения на съемную карту производится отдельным файлом. В качестве имени файла используется уникальный идентификатор, сформированный 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 испытания поможет легко найти данные по

конкретному интересующему измерению. В качестве формата протокола фиксации результатов испытаний выбран формат JSON [2, 11].

Следует отдельно отметить, что реализация разработанного модуля обработки сигнала тензодатчика способна обеспечить динамическое управление ШД «ответственной оси» измерительной установки через соответствующий контроллер, не нагружая при этом СПК. Т.е. возможность подключения к системе визуализации и управления позволяет по-иному посмотреть на реализацию измерительного блока разрабатываемых АСУ ОК ЭС. При этом системе визуализации и управления могут быть отведены задачи общего управления, связи с внешними системами контроля и управления, локальной визуализации процесса измерения. А обработку сигнала тензодатчика можно выделить в отдельный процесс реального времени, который выполняется другим процессором. Подобное решение обеспечивает быстрое взаимодействие между измерительным модулем и приводом линейной оси при параллельном анализе аварийных ситуаций, а также осуществляет взаимодействие с системой визуализации и управления по шине USB в режиме Full Speed, позволяющей передавать данные со скоростью до 12 Мбит/с [1, 2, 4, 7, 9, 11, 122]. Оперативный пошаговый контроль регистрируемой силы в данном случае используется для недопущения поломки измерительной части АСУ в случае испытания бракованных разъемов или попадания в зону проведения измерений инородных предметов.

2.4.2. Разработка структуры АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС

В предыдущем параграфе было упомянуто о возможности передачи управления контроллером ШД наиболее «ответственной» оси установки отдельному процессору модуля обработки сигнала тензодатчика. В случае АСУ ОК сил сочленения и расчленения контактов ЭС такой осью является ось вертикального перемещения штыря–калибра (ось Z). Обмен данными между

контроллером привода оси Z и модулем обработки сигнала тензодатчика обеспечивается по шине USB.

Управление контроллерами ШД линейных осей, обеспечивающих относительное позиционирование штыря–калибра и испытуемого контакта (ось X, Y), осуществляется по шине RS-485 командами, поступающими от СПК (модуль управления и индикации).

Структурная схема АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС будет выглядеть так, как представлено на рисунке 2.8 [2, 7, 10].

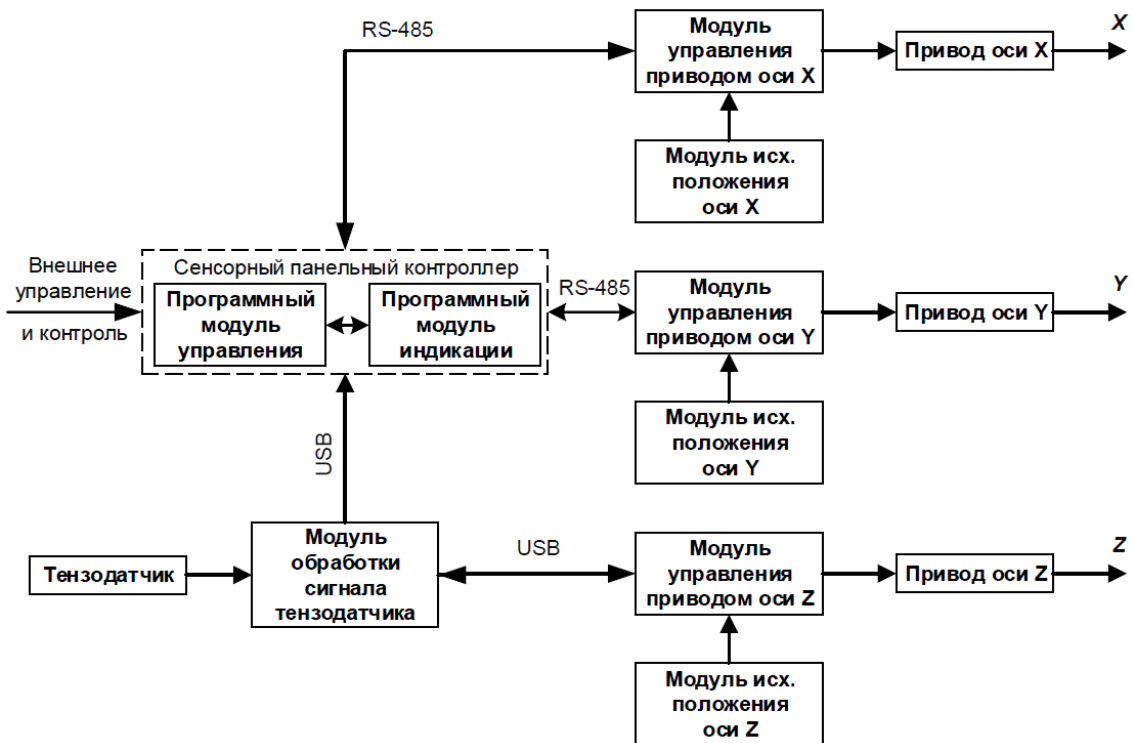


Рисунок 2.8 – Структурная схема АСУ ОК сил сочленения и расчленения гнездовых контактов ЭС

2.4.3. Разработка структуры АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС

В общем виде АСУ ОК силы сочленения и расчленения пар ЭС аналогична той, которая используется в предлагаемой автоматизированной установке для измерения силы сочленения–расчленения отдельных контактов разъема. Управление контроллером ШД подвижной оси осуществляется по RS-485 от СПК.

Структурная схема такой системы управления представлена на рисунке 2.9 [1, 4, 9, 11, 19, 22, 122].

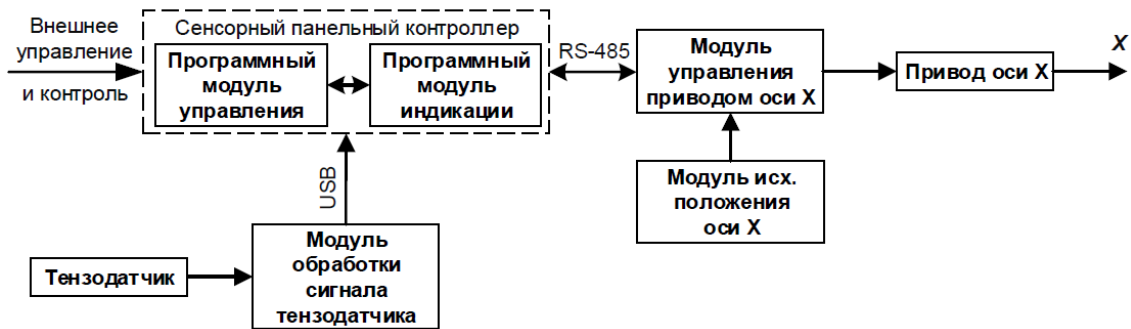


Рисунок 2.9 – Структурная схема АСУ ОК сил сочленения–расчленения пар ЭС

2.5. Разработка сменной технологической оснастки

Сменная технологическая оснастка должна осуществлять заданное позиционирование и, в случае необходимости, фиксацию испытуемых ЭС на базовой части АСУ. Данная оснастка должна быть изготовлена с высокой точностью, т.к. в конечном счете от этого будет зависеть точность проводимых испытаний ЭС.

Предполагается, что все элементы, входящие в состав технологической оснастки, поставляются отдельным комплектом в зависимости от типа испытуемых разъемов.

В связи с тем, что в главе 1 была отдельно обозначена наибольшая актуальность обеспечения заданных характеристик ЭС прямоугольного типа, то далее в работе будут рассмотрены примеры оснастки для соответствующих разъемов. Однако это не означает, что в разрабатываемых АСУ нельзя проводить испытания цилиндрических типов ЭС.

2.5.1. Технологическая оснастка для АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС

В предлагаемой компоновке базовой части АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС испытуемый разъем устанавливается через технологическую оснастку на подвижную плиту линейной оси Y контактными выводами вверх. Особенности такой реализации будут пояснены в главе 4. Благодаря этому в целом возможна реализация оснастки, состоящей из одной базирующей планки и пневмоприжима.

Состав рассматриваемой технологической оснастки представлен на рисунке 2.10. При этом испытуемый разъем (12) позиционируется в планке (1) относительно габаритных размеров, т.е. вставляется в профиль (I), выполненный с обеспечением технологического зазора по длине изолятора или корпуса, и прижимается к стенке (III) при помощи пневмоцилиндра (5) через вилку (8). В зависимости от конструкции ЭС тот, в свою очередь, может базироваться в планке относительно выборки (II). Уступ планки (IV) при установке на базовую плиту (2) через позиционирующие штифты (10) и винты (11) обеспечивает совпадение нижней плоскости самой планки и базовой плиты. Это необходимо для исключения возможности задевания при вертикальном перемещении штыря–калибра (13) держателем о плиту.

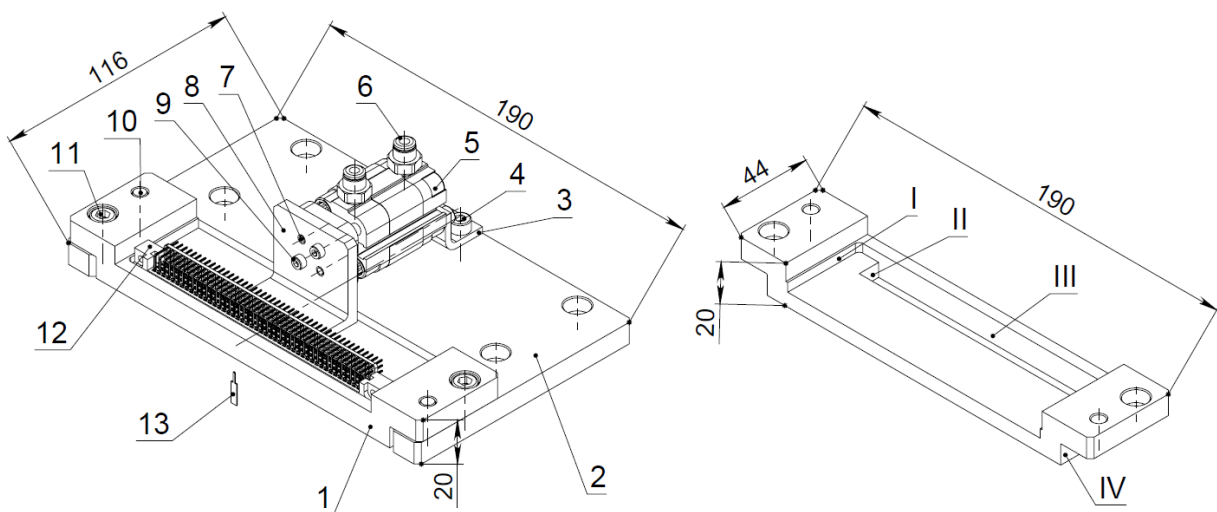


Рисунок 2.10 – Состав технологической оснастки для АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС

Вилка прижима базируется относительно подвижной площадки пневмоцилиндра при помощи штифтов (7) и винтов (9). Сам пневмоцилиндр, подвод воздуха к которому осуществляется через цанговые фитинги (6), устанавливается на базовой плите при помощи кронштейна (3) и винтов (4). В зависимости от типа испытуемых ЭС размеры прижимной вилки могут быть различны.

2.5.2. Технологическая оснастка для АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС

В отличие от предыдущей конструкции оснастки, технологическая оснастка для АСУ ОК силы сочленения–расчленения пары вилка-розетка будет иметь более сложный вид.

В целом конструкция такой технологической оснастки зависит от конкретного типа испытуемого ЭС. В отдельных случаях бывает, что при проектировании технологической оснастки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС необходим индивидуальный подход с точки зрения конструирования. Однако в целом можно сказать, что все типы электрических прямоугольных соединителей можно разделить на 4 группы [23]:

- 1) с «ушами» на корпусе или изоляторе разъема (рисунок 2.11 а);
- 2) без «ушей», но с отверстиями в корпусе или изоляторе, которые могут быть использованы для крепления на технологической оснастке (рисунок 2.11 б);
- 3) без явных элементов базирования (рисунок 2.11 в);
- 4) разъемы с элементами фиксации в сочлененном состоянии (рисунок 2.11 г).

Особенностью сочленения и расчленения ЭС в горизонтальной плоскости является отсутствие необходимости применения в технологической оснастке дополнительных прижимов и центрирующих устройств, кроме тех случаев, когда без них выполнить смыкание или размыкание физически невозможно.

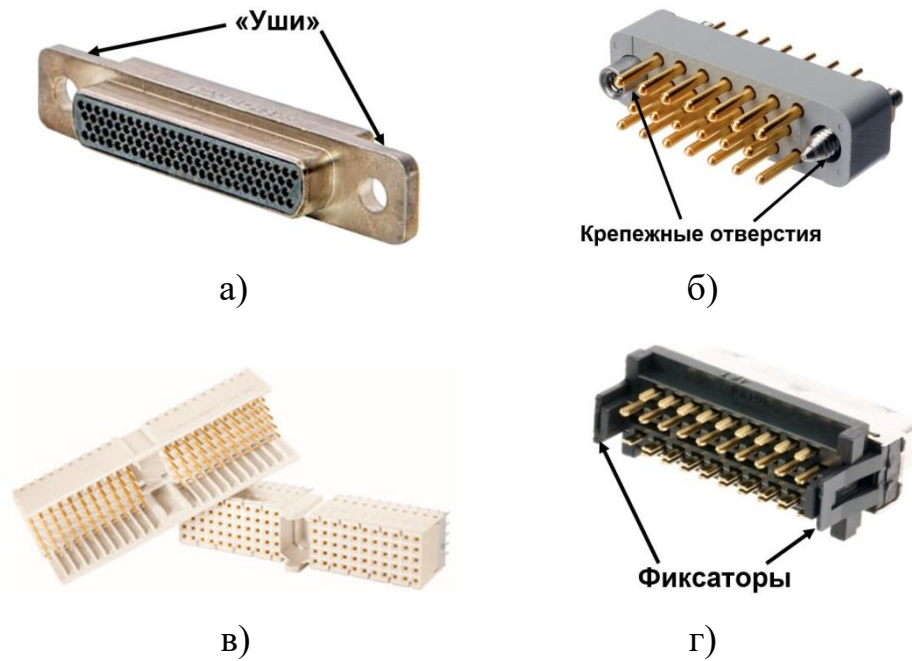


Рисунок 2.11 – Предлагаемая классификация электрических прямоугольных соединителей в зависимости от конструкции

Состав технологической оснастки для наиболее распространенной группы ЭС с «ушами» показан на рисунке 2.12 [23]. В основную обойму (I) устанавливается разъем. Размеры профиля обоймы (1) должны быть такими, чтобы обеспечить свободное самоцентрирование ЭС при его сочленении с учетом поля допуска на изолятор или корпус испытуемого разъема. ЭС должен вставляться в обойму свободно и иметь гарантированный зазор по основным базовым поверхностям, обеспечивающим самоцентрирование по заходным фаскам на изоляторах, центрирующих элементах, контактах и т.д. В противном случае, при автоматизированном смыкании может произойти заклинивание испытуемой вилки или розетки. Бурт обоймы (2) воспринимает основные нагрузки при сочленении ЭС. В паз (3) вставляется упорная гребенка (описание данного элемента будет представлено ниже). Выборка (4) предусмотрена для ручного съема испытанных ЭС. Вставки (II) обеспечивают упор при размыкании испытуемых ЭС. Фиксация технологической оснастки на базовой плите осуществляется при помощи винтов (III), а центрирование – благодаря штифтам (IV). Винты (V) обеспечивают крепление вставок к основной обойме [23].

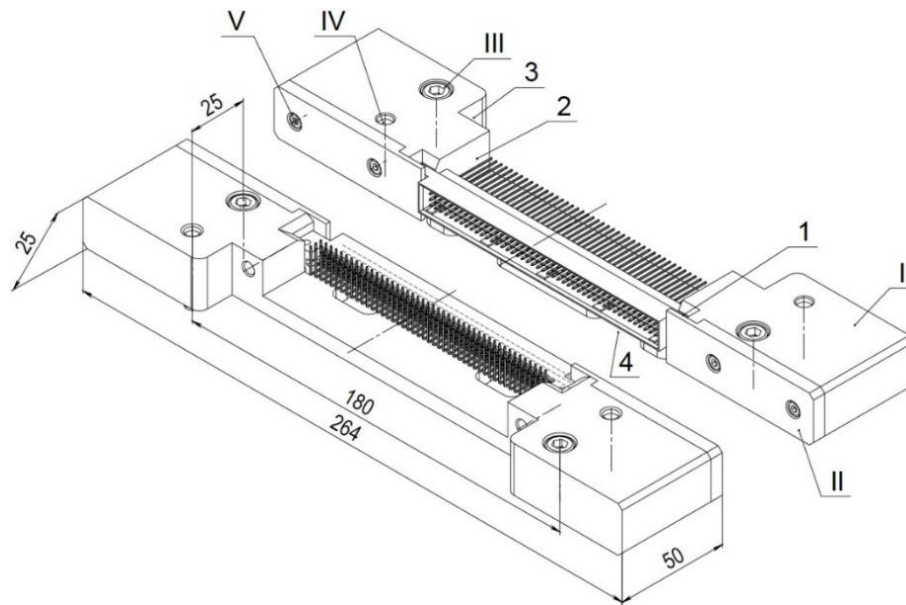
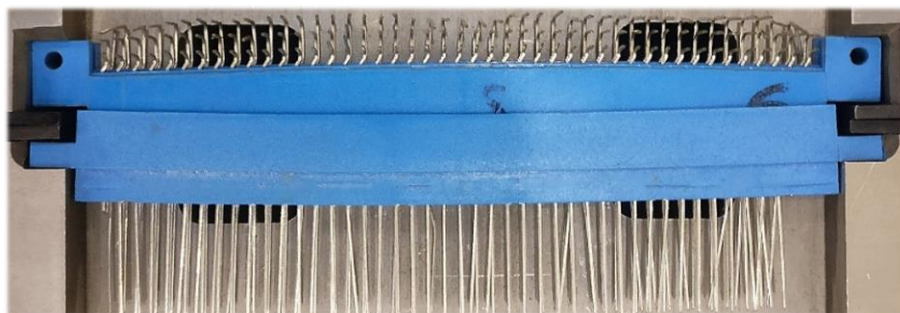
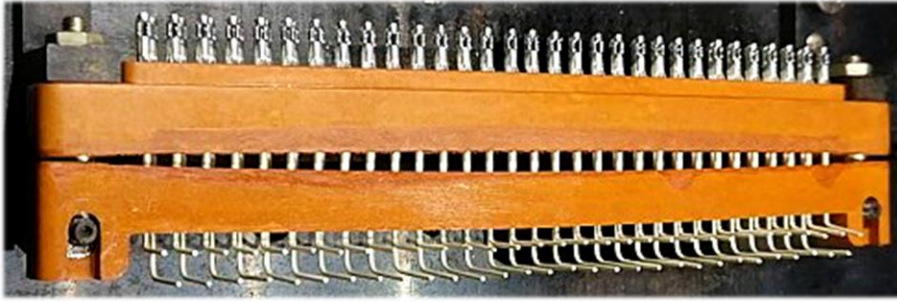


Рисунок 2.12 – Состав технологической оснастки для измерения силы сочленения–расчленения ЭС с «ушами»

При разработке оснастки для некоторых типов ЭС следует учитывать, что во время сочленения–расчленения могут возникать прогибы изолятора или корпуса. В таком случае полное и равномерное смыкание разъемов не будет обеспечено, что негативно скажется на точности проводимых испытаний. Так, на примере испытаний разъемов СНП260-135 и ГРПМШ1-61 можно увидеть, как прогибаются изоляторы в случае отсутствия дополнительного упора со стороны хвостовой части контактов (рисунок 2.13). Величина прогиба изолятора при сочленении и расчленении для соединителя СНП260-135 была определена при помощи моделирования в САПР SolidWorks, результаты которого представлены на рисунке 2.14. Для наглядности отображения характера деформации перемещение точек изоляторов специально показано утрированно [23].

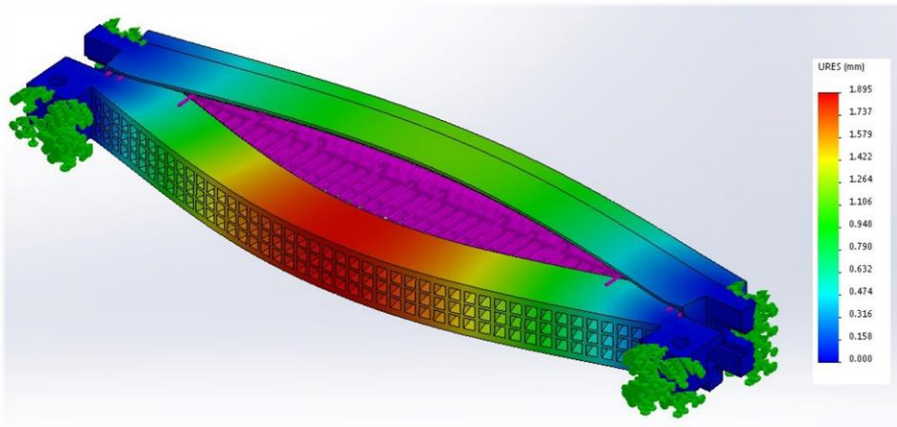


а)

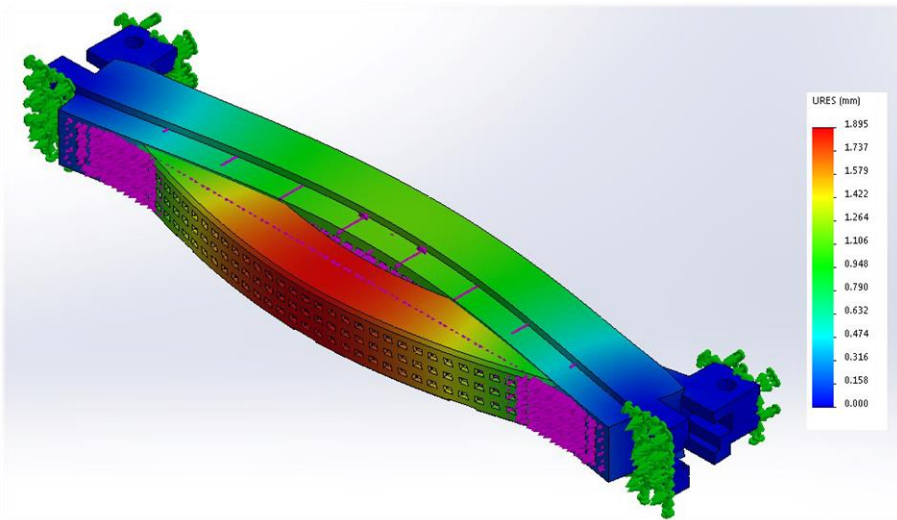


б)

Рисунок 2.13 – Внешний вид ЭС с прогибом:
а) на примере СНП260-135; б) на примере ГРПМШ1-61



а)



б)

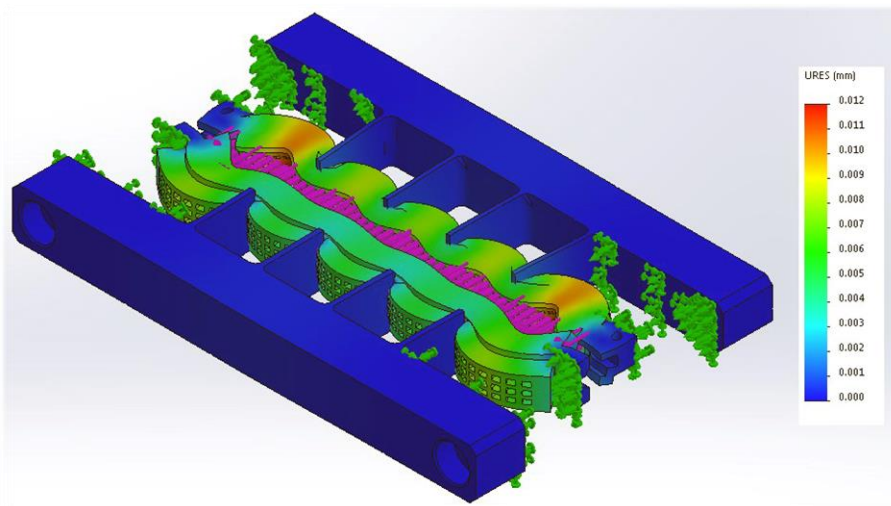
Рисунок 2.14 – Результаты моделирования ЭС СНП260:
а) при сочленении; б) при расчленении

В результате установлено, что при прикладывании к изоляторам в направлении сочленения и расчленения силы величиной 245 Н, максимальный прогиб для вилки составил 1,895 мм, а для розетки – 1,106 мм.

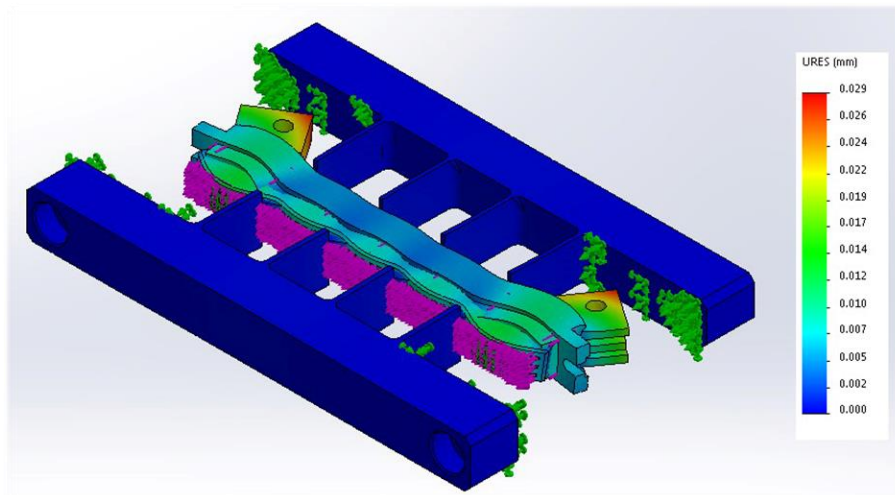
Таким образом, при возможной фиксации сил, приводящих к значительным прогибам, необходимо в конструкции технологической оснастки предусматривать наличие упорной гребенки, способной компенсировать величину возникающего прогиба изоляторов или корпусов. Данная гребенка может быть съемной, т.е. может присоединяться и отсоединяться к основной обойме.

Для анализа целесообразности применения упорной гребенки был смоделирован процесс сочленения и расчленения ЭС (рисунок 2.15). В данном случае величина максимального прогиба изоляторов снизилась до 0,005 мм для розетки, и до 0,012 мм для вилки [23].

Отличительной характеристикой ЭС 2 группы (рисунок 2.11 б), является наличие посадочных отверстий по краям изолятора и отсутствие «ушей». В таком случае установка испытуемых соединителей в оснастке будет осуществляться при помощи технологических осей и кронштейнов. Внешний вид оснастки представлен на рисунке 2.16.



a)



б)

Рисунок 2.15 – Результаты моделирования ЭС СНП260 с применением упорной гребенки: а) при сочленении; б) при расчленении

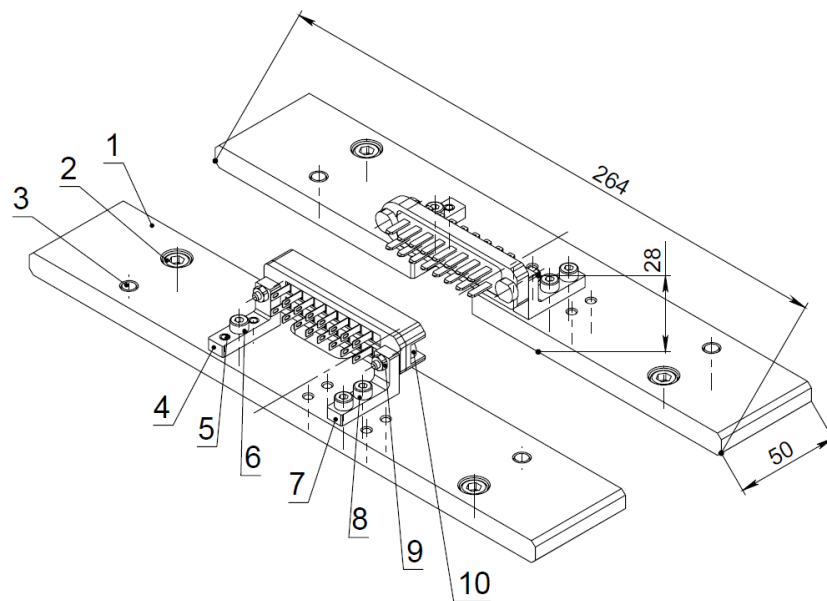


Рисунок 2.16 – Оснастка для испытания ЭС 2 группы
(на примере разъема типа РП14)

Как и в предыдущем случае, установка технологической оснастки на базовых плитах АСУ ОК осуществляется при помощи штифтов (3) и винтов (2). Процедура установки ЭС в оснастку заключается в следующем: сначала на основную плиту (1) устанавливается при помощи штифтов (5) и винта (6) базовый уголок (4). Далее в зависимости от исполнения испытуемый разъем фиксируется винтами (8) на

регулируемом уголке (7). К данным уголкам прикрепляются через технологические оси (10) и гайки (9) испытываемая вилка и розетка. При этом необходимо, чтобы обеспечивался технологический зазор между отверстием в изоляторе ЭС и крепежной оси таким образом, чтобы разъемы имели свободный ход, позволяющий самоцентрироваться при автоматизированном сочленении. В случае невозможности обеспечения свободного хода в оснастке необходимо сначала зафиксировать на соответствующих уголках испытываемую вилку. Затем на уголках ответной части предварительно устанавливается розетка. Далее, подвижная плита с установленной на ней вилкой подводится к розетке, регулировка положения которой производится таким образом, чтобы обеспечивалось свободное сочленение испытываемой пары ЭС без перекосов и заеданий. Изменение положения подвижной плиты может осуществляться как вручную путем поворота рукоятки, закрепленной на обратной стороне вала ШД, связанного с ШВП [174], перемещающей плиту, либо в автоматизированном режиме при помощи СПК. После этого производится жесткая фиксация розетки на уголках. В случае необходимости следует предусмотреть в конструкции технологической оснастки упорные гребенки, минимизирующие величину прогиба при сочленении–расчленении [23].

На практике при выполнении контрольной операции определения силы сочленения и расчленения ЭС 3 группы, представленной на рисунке 2.11 в, применяют оснастку, не обеспечивающую полное взаимное смыкание. Что вносит погрешности при проведении испытаний. Для обеспечения полного смыкания таких разъемов предлагается использовать оснастку с пневмоприжимом. Внешний вид такой оснастки представлен на рисунке 2.17 [23].

Алгоритм контроля силы сочленения–расчленения ЭС 3 группы заключается в следующем: на подвижную и неподвижную базовые плиты при помощи штифтов (4) и винтов (2) устанавливаются плиты (3) с пазами (1), обеспечивающими позиционирование испытываемых разъемов. Во время автоматизированного смыкания испытываемые ЭС не закреплены. При условии корректной установки разъемов в пазах во время автоматизированного сочленения происходит их самоцентрирование. После полного сочленения осуществляется

размыкание плит с отдельной фиксацией испытуемой вилки и розетки упором (6) при помощи пневмоцилиндра (9), закрепленного винтами (11) к планке (7). Планка, в свою очередь, опирается на стойки (5) и фиксируется винтами (8). Подвод воздуха к пневмоцилиндру осуществляется через цанговые фитинги (10). Сила прижима регулируется пневморедуктором и должна быть подобрана таким образом, чтобы размыкание ЭС осуществлялось без заклинивания и деформаций элементов разъемов [23].

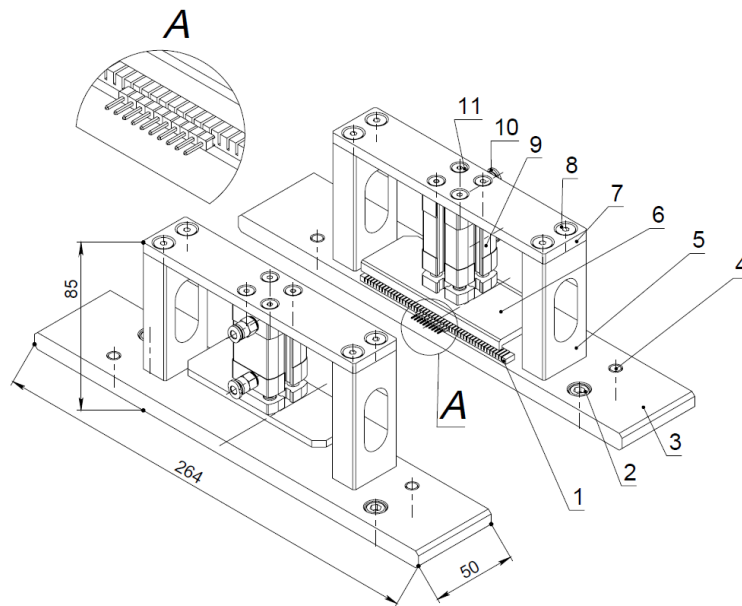


Рисунок 2.17 – Пример оснастки для испытания ЭС 3 группы
(на примере ЭС СНП383)

Что касается оснастки, необходимой для испытания 4 группы ЭС (рисунок 2.11 г), то в данном случае весьма затруднительно представить однозначную схему, которая применялась бы для всех разъемов, попадающих под эту группу. Как уже отмечалось ранее, разработка технологической оснастки в отдельных случаях требует индивидуального конструкторского подхода. При испытании таких ЭС не исключается применение ручных приспособлений для осуществления съема элементов фиксации испытуемой пары между собой в сочлененном состоянии [23].

2.6. Результаты и выводы по второй главе

1. Разработаны новые технические решения, обеспечивающие 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.

2. Установлено, что для измерения силы с дискретностью перемещения подвижного узла не менее, чем 0,2 мм, требуется специализированный измерительный модуль с временем регистрации и обработки сигнала тензодатчика не более 0,02 с.

3. Разработаны оригинальные (запатентованные) структурные схемы АСУ ОК сил сочленения и расчленения гнездовых контактов ЭС и отдельных пар разъемов, отличающиеся друг от друга количеством управляемых координат.

4. Установлено, что конструкция технологической оснастки для автоматизированной установки измерения силы сочленения–расчленения пары вилка–розетка будет зависеть от конкретного типа испытуемого ЭС.

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

3. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО, АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АСУ ОК СИЛЫ СОЧЛЕНЕНИЯ–РАСЧЛЕНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПАР ЭС

3.1. Математическое обеспечение АСУ ОК ЭС

Ранее было отмечено, что для определения сил сочленения–расчленения пар ЭС и их отдельных контактов необходимо в процессе измерения находить максимальные и минимальные значения регистрируемых сил.

Существует три основных метода определения экстремума [32, 100, 106]:

1. Аналитические методы – применяются, когда возможно продифференцировать целевую функцию и искать экстремум исходя из условия равенства нулю производных.

2. Численные (поисковые) методы – для применения данных методов необходимо, чтобы целевая функция была вычислимой. Иными словами, должен быть известен алгоритм, по которому можно рассчитать значение критерия оптимальности при заданных значениях факторов.

3. Экспериментальные методы – применяются в случаях, когда целевая функция невычислима, т.е. вид функции неизвестен. В таких случаях эксперимент планируется и реализуется так, чтобы в результате был достигнут район оптимума.

В рассматриваемом случае определения сил сочленения–расчленения разъемов и контактов целевая функция не известна, поэтому можно сказать об однозначной неприменимости аналитических методов нахождения экстремумов. Однако известно значение целевой функции в конкретный момент времени, исходя из этого остановимся на численных методах определения экстремума.

Численные методы применяются, когда [52]:

- в точке экстремума отсутствуют производные (например, изменение целевой функции носит дискретный характер);
- целевая функция в точке экстремума дифференцируема, но она задана таким образом, что продифференцировать ее в общем виде не удастся, т.к. функция

задана не формулой, а алгоритмом вычисления при заданных значениях аргументов;

– имеется принципиальная возможность записать и продифференцировать целевую функцию, но соответствующие вычисления громоздки.

Методы, использующие только значения функции и не требующие вычисления ее производных, называются прямыми методами оптимизации. Большим достоинством прямых методов является то, что от целевой функции не требуется дифференцируемости, и, более того, она может быть не задана в аналитическом виде. Единственное, на чем основаны алгоритмы прямых таких методов, это возможность определения значений $F(x)$ в заданных точках.

Рассмотрим основные способы нахождения экстремумов функции некоторыми наиболее распространенными численными методами [32, 107].

Метод перебора или равномерного поиска является простейшим из прямых методов. При этом представим, что данные получаемые на каждом этапе проведения испытания являются элементами одномерного массива. В общем виде алгоритм поиска максимального/минимального элемента массива представлен следующим образом: сначала делается предположение, что первый элемент массива является максимальным/минимальным, затем остальные элементы массива последовательно сравниваются с этим элементом. Если во время очередной проверки обнаруживается, что проверяемый элемент больше/меньше принятого за максимальный/минимальный, то этот элемент ставится максимальным/минимальным и проверка оставшихся элементов массива продолжается [100].

При этом погрешность определения точки максимума/минимума X_{\max}/X_{\min} функции $F(x)$ на отрезке $[A, B]$ при его делении на n равных частей не превосходит величины:

$$\varepsilon \frac{B-A}{n}, \quad (3.1)$$

где A – начало рассматриваемого отрезка; B – конец отрезка; n – количество делимых частей.

Метод дихотомии применяется для нахождения экстремума одномерных унимодальных целевых функций. Суть метода состоит в следующем. Пусть целевая функция $F(x)$ задана на интервале $A \leq x \leq B$. Отрезок на каждом этапе делится пополам. За первые две поисковые точки принимаются:

$$x_1 = \frac{A+B}{2} - \varepsilon, \quad (3.2)$$

$$x_2 = \frac{A+B}{2} + \varepsilon, \quad (3.3)$$

где ε – величина, меньшая половины требуемой абсолютной погрешности решения.

Вычисляя значения целевой функции $F(x)$ в точках x_1, x_2 , уточняется направление поиска. Если отыскивается экстремум функции (к примеру, минимум: $F(x_1) < F(x_2)$), то смещается правая граница первоначального интервала неопределенности $[B-A]$, т.е. полагается $B = x_2$, если $F(x_1) > F(x_2)$, то смещается левая граница $A = x_1$. Если новый интервал неопределенности $[B-A]$ больше заданной погрешности решения ε , то деление пополам продолжается. Если $B-A \leq \varepsilon$, то решение получено [100].

Метод Фибоначчи. Метод дихотомии, позволяя последовательно сокращать интервал неопределенности, требует вычисления двух значений сложной целевой функции или постановки двух поисковых экспериментов при оптимизации идентификационной модели. Этот недостаток отсутствует в поиске Фибоначчи. Метод Фибоначчи основан на использовании последовательности чисел Фибоначчи для формирования уменьшающихся интервалов неопределенности, в пределах которых находится решение. При этом последовательность чисел Фибоначчи задается формулой:

$$N_n = N_{n-1} + N_{n-2}, \quad (3.4)$$

Первоначальный интервал неопределенности $[B-A]$ принимается пропорциональным некоторому числу Фибоначчи F_n , определенному в

зависимости от требуемой абсолютной погрешности решения ε как первое число Фибоначчи, большее $(B-A) / \varepsilon$, т.е.:

$$N_n > \frac{B-A}{\varepsilon}, \quad (3.5)$$

Координаты первых двух поисковых точек x_1, x_2 делят отрезок $[B-A]$ на участки, пропорциональные N_{n-2} и N_{n-1} , т.е.:

$$x_1 = A + \frac{N_{n-2}}{N_n} (B - A), \quad (3.6)$$

$$x_2 = A + \frac{N_{n-1}}{N_n} (B + A), \quad (3.7)$$

Если измеренное или вычисленное значение целевой функции $F(x_1) < F(x_2)$ при необходимости отыскания экстремума (минимума), то смещается правая граница первоначального интервала неопределенности, т.е. $B = x_2$. Если $F(x_1) > F(x_2)$, то смещается левая граница $A = x_1$. Тогда длина нового интервала неопределенности становится пропорциональной N_{n-1} , то есть равной $\frac{F_{n-1}}{F_n}$ части первоначального интервала неопределенности. После k -ой итерации длина k -го интервала неопределенности становится равной $\frac{N_{n-k}}{N_n}$ части первоначального интервала неопределенности, а поисковые точки в нем, будут иметь координаты:

$$x_1(k) = A + \frac{N_{n-k-2}}{N_{n-k}} (B - A), \quad (3.8)$$

$$x_2(k) = A + \frac{N_{n-k-1}}{N_{n-k}} (B + A), \quad (3.9)$$

Число итераций m необходимых для получения решения с заданной абсолютной погрешности ε известно заранее и равно $n-2$, т.к. $N_1=N_2=1$.

При каждой итерации в качестве одной из поисковых точек всегда оказывается одна из поисковых точек предыдущей итерации, значение целевой функции для которой уже вычислено или измерено. Следовательно, поиск Фибоначчи вдвое сокращает число поисковых экспериментов или вычислений целевой функции [100].

В данном случае при реализации метода дихотомии или Фибоначчи необходимо постоянное сохранение полученных значений сил во время проведения испытания в оперативную память СПК, и только после сохранения

данных необходимо производить поиск максимума и минимума, соответствующего силе сочленения и расчленения. В связи с этим данные методы являются менее производительными по сравнению с методом перебора, который позволяет производить необходимые вычислительные и сравнительные операции на этапе регистрации силы в текущий момент. При этом данные функции являются весьма простыми и не требуют значительного машинного времени на их выполнение.

3.2. Общие положения по алгоритмическому обеспечению АСУ ОК ЭС

Перед началом процедуры проведения испытаний ЭС необходимо выполнить ряд мероприятий: визуально осмотреть установку с целью недопущения попадания посторонних предметов в подвижные части; проверить подключение соединительных кабелей; на каждую из базовых плит установить соответствующую технологическую оснастку; включить установку; убедиться в том, что на экране сенсорной панели отсутствует сообщение об обнаружении ошибок функционирования отдельных модулей установки. Эти процедуры обязательны для работы на двух установках: установке для измерения силы сочленения–расчленения отдельных контактов ЭС и установке для измерения силы сочленения–расчленения соединителей между собой.

Последующие технологические операции выполняются оператором с использованием сенсорного панельного контроллера [70].

В каждой из установок применяется несколько общих алгоритмов: контроль аппаратных ошибок, процедура поиска исходной позиции, калибровки нуля и шкалы тензодатчика. Опишем каждый из них.

После включения установок в питающую сеть автоматически запускается процесс контроля аппаратных ошибок. В случае сбоя элементов логики или отсутствия связи модуля управления и индикации (СПК) с контроллером ШД и измерительным блоком на сенсорном экране появляется сообщение о возникшей ошибке, и система производит перезапуск. Если все внутренние проверки

завершились успешно и периферийные устройства функционируют нормально, то через 30 секунд на экране появляется стартовое окно [11].

Исходной позицией называется положение («Home position» или «Нулевая точка установки»), при котором подвижные плиты осей установки находятся в контакте с датчиками начальных положений [4, 11, 122]. Процесс поиска данного положения реализуется разветвленным алгоритмом (рисунок 3.1).

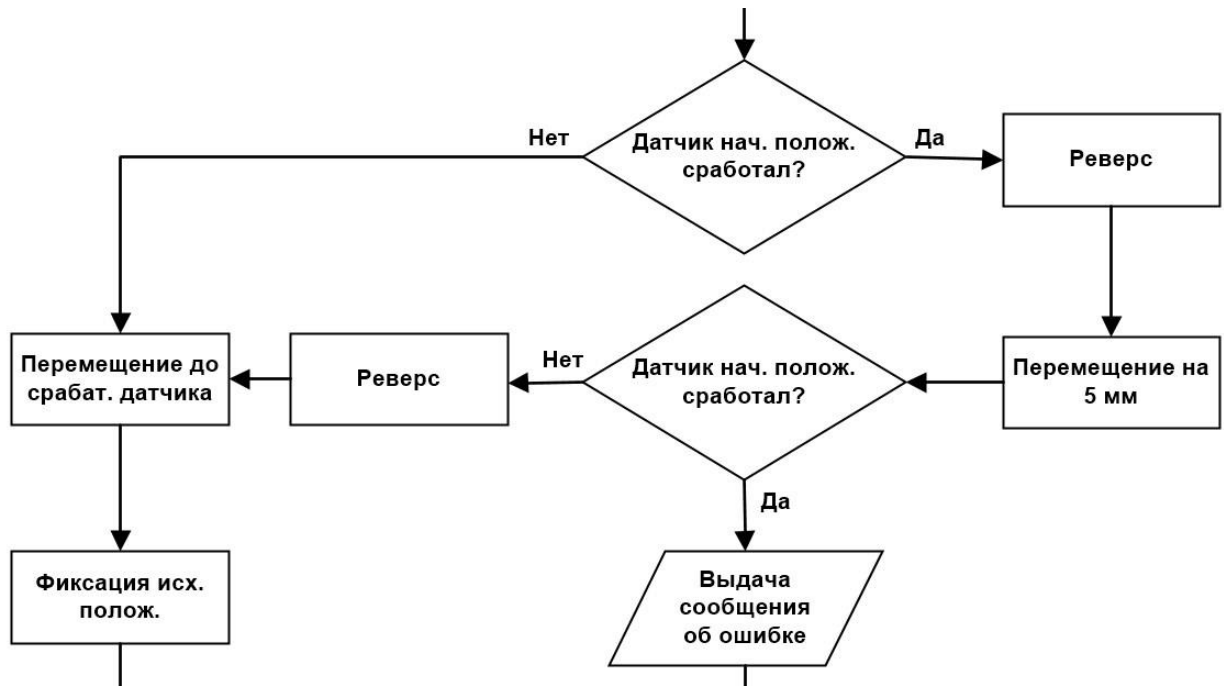


Рисунок 3.1 – Фрагмент алгоритма поиска исходной позиции подвижной плиты

В том случае, если при запуске процедуры от сенсорной панели датчик начального положения не активен, то на контроллер ШД подается команда движения в сторону расположения датчика до его срабатывания. Следует отметить, что если в подвижной оси установки используется механический датчик касания, то неактивное состояние будет характеризоваться отсутствием касания подвижной плиты, если же применяется индуктивный датчик, то плита будет находиться вне зоны срабатывания. Если при запуске процедуры поиска начальных положений установка фиксирует активное состояние датчика, то контроллер ШД формирует команды, по которым сначала подвижная плита отъезжает от датчика на установленное расстояние, проверяет переход датчика в неактивное состояние, и уже после этого снова формирует команды движения плиты к датчику до его

срабатывания. После успешного завершения процедуры на экране сенсорной панели открывается диалоговое окно с предложением зафиксировать данное положение в качестве «исходного». После получения подтверждения от пользователя установка запоминает текущее положение подвижных плит осей в качестве «исходного положения» и использует его для последующих перемещений в процессе проведения измерений.

После включения установок, а также при изменении температуры окружающей среды или временном дрейфе параметров ненагруженного тензодатчика величина регистрируемой силы может колебаться, отклоняясь от нулевого значения. К этим колебаниям не относится постоянное изменение показаний, связанное с точностью измерительной системы. Вышеописанные случаи могут вызывать более значительные отклонения нулевых показаний. Тогда необходимо периодически проводить процедуру калибровки нуля, при которой установка осуществляет 100 последовательных измерений с последующим арифметическим усреднением (формула 3.10). Полученное значение используется как «нулевое» значение силы, фиксируемое тензодатчиком, т.е. все последующие измерения аддитивно сдвигаются на это значение [4, 11, 122].

$$F_{\text{нуля}} = \frac{\sum_{i=1}^{100} F_i}{100}, \quad (3.10)$$

Калибровка шкалы измерения применяется в тех случаях, когда требуется калибровка коэффициента, необходимого для преобразования сигнала тензодатчика, фиксируемого АЦП, в фактическое значение силы, приложенной к датчику (формула 3.11). Данная процедура подразумевает, что тензодатчик должен быть нагружен грузом (гирей) известной массы. Т.е. предполагается, что перед этим была измерена масса гири на прецизионных весах. После этого осуществляется автоматическая калибровка нуля. Далее пользователю необходимо ввести на экране СПК [70] значение массы калиброванной гири, на основании которого рассчитывается коэффициент (формула 3.12). Следует отметить, что чем точнее будет введено значение массы, тем точнее будет проведена калибровка. Кроме того, наибольшая точность будет обеспечена при использовании гири, масса

которой приближена к номинальному значению воспринимаемой тензодатчиком нагрузки [4, 11, 122].

$$F = (ADC_{\text{текущ.}} - ADC_{\text{нуля}}) \cdot R, \quad (3.11)$$

$$R = \frac{m \cdot g}{ADC_{\text{гири}} - ADC_{\text{нуля}}}, \quad (3.12)$$

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 ($9,82 \text{ м/с}^2$); $ADC_{\text{гири}}$ – значение кода АЦП при нагружении тензодатчика калибровочной гирей.

При успешном завершении данной операции у пользователя запрашивается значение пароля доступа, т.к. значение вычисленного коэффициента преобразования будет использоваться для последующих процессов измерения и тестирования до проведения последующей процедуры калибровки полной шкалы преобразования. При корректном вводе пароля доступа, вычисленное значение коэффициента сохраняется в энергонезависимой памяти установки. Так же фиксируется штамп даты/времени момента проведения калибровки. Повторение процедуры калибровки полной шкалы преобразователя следует обязательно проводить в случае замены датчика силы и при периодических проверках измерительной установки.

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

$$V_{\text{сочл.}} = \begin{cases} V_{\text{зад.}}, & L_{\text{T}} < L_{\text{max}} \\ 0, & L_{\text{T}} = L_{\text{max}} \end{cases}, \quad (3.13)$$

$$V_{\text{расчл.}} = \begin{cases} V_{\text{зад.}}, & L_{\text{T}} > 0 \\ 0, & L_{\text{T}} = 0 \end{cases}, \quad (3.14)$$

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:

$$\delta = \begin{cases} 0, & L_T < L_{max} - \text{фаза сочленения} \\ 1, & L_T = L_{max} - \text{фаза расчленения} \end{cases} \quad (3.15)$$

3.2.1. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной установки для измерения силы сочленения-расчленения контактов ЭС

В установке для измерения силы сочленения и расчленения отдельных контактов разъема, перемещение штыря–калибра и тестируемого ЭС осуществляется по трем осям. Система управления такой установки должна обеспечивать ручной или автоматический ввод расстояний перемещения при помощи электронной идентификации технологической оснастки для испытуемых соединителей.

В связи с тем, что расстояние между контактами и рядами для различных типов ЭС может быть разным, то отдельный контакт разъема имеет собственные координаты. Тогда при измерении сил сочленения и расчленения контактов ЭС контрольным штырем–калибром необходимо знать координаты всех контактов. Общий вид системы координат контактов ЭС представлен на рисунке 3.2 [10].

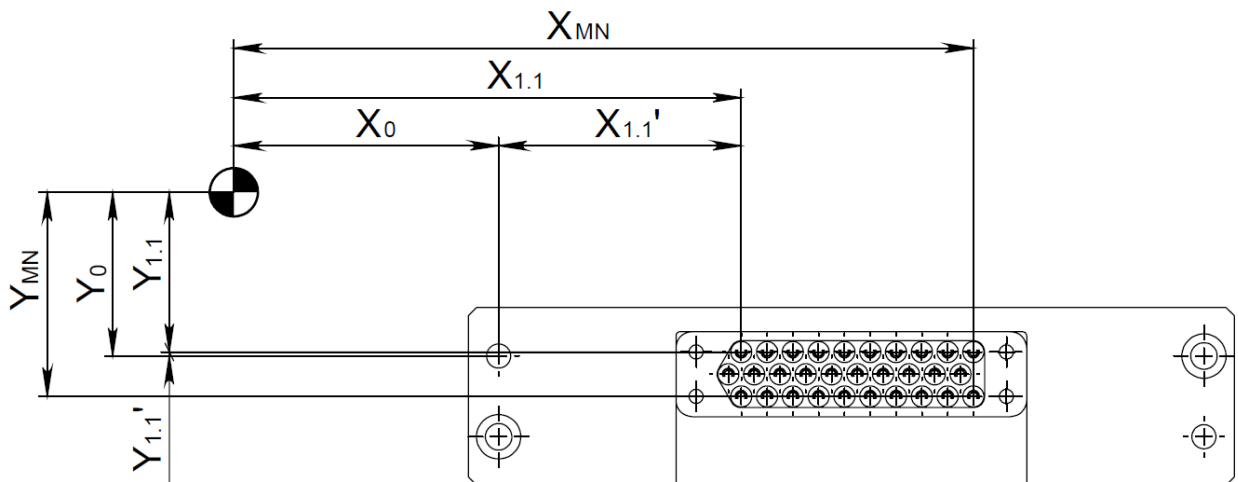


Рисунок 3.2 – Общий вид системы координат контактов ЭС при проведении испытания

В качестве начала системы координат принимается нулевая точка измерительной установки, в которой все три оси измерительной установки находятся в исходном положении. В общем виде координата М-го контакта в N-ом ряду разъема будет определяться координатами X_{MN} и Y_{MN} [10]:

$$X_{MN} = X_0 + X_{MN}', \quad (3.16)$$

$$Y_{MN} = Y_0 \pm Y_{MN}', \quad (3.17)$$

где X_0 и Y_0 – координаты, определяемые конструктивом технологической оснастки и измерительной установкой (мм); X_{MN}' и Y_{MN}' – определяются, исходя из конструкции испытуемого ЭС (мм).

Из формулы 3.17 видно, что в зависимости от конструкции технологической оснастки значение Y_{MN}' может быть положительным или отрицательным.

Блок–схема полного алгоритма работы установки представлена в приложении А. На рисунке 3.3 представлен общий граф состояний для двух разрабатываемых АСУ, в котором: А – контроль аппаратных ошибок; В – поиск исходной позиции; С, I₁, L₁ – вывод на экран СПК сообщения об ошибке; С₁ – 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 – об ошибке сообщение 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.

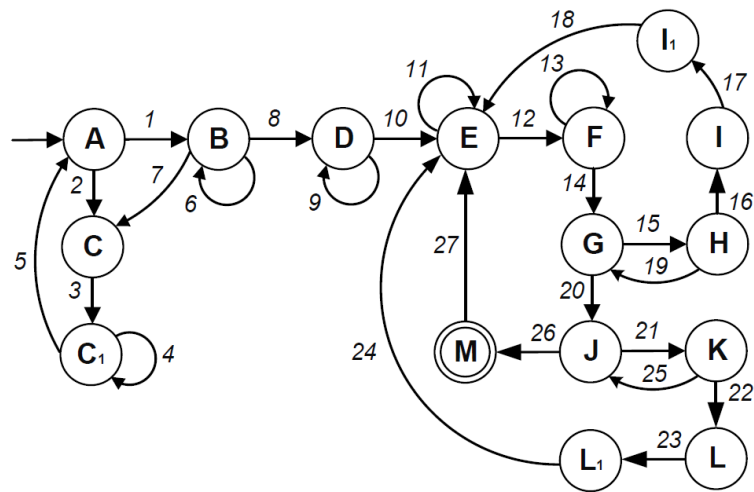


Рисунок 3.3 – Граф состояний АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС

После включения и успешного завершения диагностики АСУ необходимо осуществить процедуру поиска исходной позиции, особенность которой была описана в предыдущем параграфе. В первую очередь возвращается в исходное нижнее положение ось Z, затем ось X, и только потом перемещается в исходное положение ось Y. Иными словами, сначала перемещается тензодатчик с контрольным штырем–калибром, потом удаляется из рабочей зоны оснастка с установленным ЭС. После чего на экране автоматически появляется окно, которое предлагает пользователю обновить координату исходного положения.

В случае необходимости перед началом работы следует задать или скорректировать параметры перемещения подвижных осей: ток в обмотках ШД, начальную и конечную скорости перемещения, блокировку в паузе, величину микрошага, количество шагов на полный оборот ШД, шаг ШВП, ускорение, торможение, ток в паузе, задержку паузы [2, 10]. Более подробно описание данных параметров будет представлено в следующих параграфах.

Далее следует установить параметры, характеризующие процесс измерения: выполнить калибровку нуля тензодатчика, задать величину максимально допустимой силы, дистанцию и количество циклов измерения. Если в процессе проведения измерения произойдет превышение введенной максимальной силы, то

перемещение штыря–калибра аварийно прекращается, и на экране появляется сообщение о возникшей ситуации. Выполнение операций управления, ввод, редактирование режимов и параметров перемещения и измерения осуществляется при помощи СПК [2, 10, 70].

Затем необходимо осуществить перемещение испытуемого соединителя относительно контрольного штыря–калибра по координатам X_{MN} и Y_{MN} .

После закрепления испытуемого ЭС в соответствующей технологической оснастке необходимо запустить процесс измерения, который заключается в вертикальном перемещении штыря–калибра на заданное расстояние с одновременной фиксацией и анализом сил. Число выполняемых итераций измерения задается отдельным окном. Аварийную остановку перемещения осей установки можно осуществить путем нажатия на соответствующее окно на экране (см. рисунок 3.10), либо на механическую кнопку, расположенную на передней части панели управления [10].

При завершении испытания на экране СПК выводятся максимальное значение силы сочленения ($F_{\text{сочл.МАХ}}$) и расчленения ($F_{\text{расчл.МАХ}}$) при N последовательных смыканиях и размыканиях, а также средние арифметические значения ($F_{\text{сочл.средн.}}$ и $F_{\text{расчл.средн.}}$ соответственно) [2, 10].

3.2.2. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС

После включения АСУ силы сочленения–расчленения пар ЭС в питающую сеть на начальном экране доступна кнопка запуска процедуры подготовки к измерениям. Без выполнения этой подготовительной операции приступить к испытаниям ЭС нельзя. Данная процедура состоит из нескольких операций, выполняющихся последовательно: сначала выполняется поиск исходного положения подвижной плиты, затем осуществляется автоматическое определение точки смыкания базовых плит измерительной установки и проверяется функционирование тензометрического датчика [11, 122].

Алгоритм автоматического поиска точки смыкания базовых плит, прежде всего, основан на факте линейной зависимости силы, фиксируемой тензодатчиком, и его механической деформации. Для корректного проведения данной операции предварительно автоматически выполняется калибровка нуля датчика силы. После этого установка осуществляет пошаговое перемещение подвижной базовой плиты в направлении смыкания с неподвижной плитой при одновременном контроле силы, фиксируемой тензодатчиком на каждом шаге. При механическом контактировании плит фиксируемая сила на каждом следующем шаге увеличивается по линейной зависимости. Далее установка фиксирует положение плиты, при котором регистрируемая сила больше или равна $1/10$ и $2/3$ от номинального диапазона тензодатчика [4, 11, 122]. После этого по зафиксированным значениям силы в этих положениях и при известном расстоянии между точками установка вычисляет положение, при котором сила будет равна нулю, и формирует команду контроллеру ШД обеспечить перемещение подвижной базовой плиты в это положение. Величина шагов, расчленения рассчитывается по следующей формуле:

$$Stp = \left\lfloor \frac{F_2}{F_2 - F_1} \cdot (Step_1 - Step_2) \right\rfloor + 1, \quad (3.18)$$

где $Step_1$ – зафиксированный номер шага от «Home Position» при $F_1 \geq 1/10 \cdot F_{\max\text{ТД}}$ ($F_{\max\text{ТД}}$ – значение максимально воспринимаемой силы ТД, Н);

$Step_2$ – зафиксированный номер шага от «Home Position» при $F_2 \geq 2/3 \cdot F_{\max\text{ТД}}$;

F_1 – зарегистрированное значение силы при $F_1 \geq 1/10 \cdot F_{\max\text{ТД}}$ (Н);

F_2 – зарегистрированное значение силы при $F_2 \geq 2/3 \cdot F_{\max\text{ТД}}$ (Н).

Величина зависимости деформации тензодатчика от прилагаемой силы в должна быть линейной (рисунок 3.4), фактическое отклонение от линейности в условиях применения тензодатчиков для разрабатываемых АСУ будет представлено в следующих главах.

При успешном завершении вышеописанных процедур на экране появляется диалоговое окно, предлагающее пользователю подтвердить корректное нахождение точки смыкания плит в автоматическом режиме по нулевому значению

силы, фиксируемой тензодатчиком. В обратном случае – необходимо повторить процедуру и вручную (из соответствующего экрана) скорректировать положение подвижной базовой плиты путем перемещения ее по шагам в сторону смыкания или размыкания до того момента, когда тензодатчик перестанет фиксировать силу. После этого необходимо запомнить текущее положение, как «Точку смыкания». Данное положение используется для последующих перемещений плиты при проведении процедуры измерения сил сочленения и расчленения испытуемых ЭС.

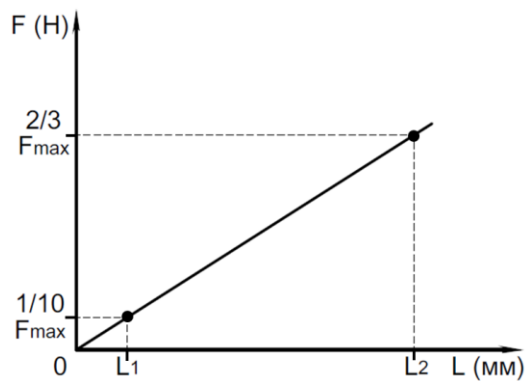


Рисунок 3.4 – Зависимость величины деформации тензодатчика от прилагаемой силы

Для обеспечения большей точности процедуру поиска начального положения следует производить с включенной опцией «Блокировка в паузе». Данная опция обеспечивает отсутствие возможности неконтролируемого перемещения подвижной базовой плиты без соответствующих команд контроллера ШД на перемещение.

В том случае, если заданная сила (F_1 и F_2) достигается не более, чем за определенное количество шагов, заданных в программе, то происходит фиксация нормального функционирования тензодатчика, и установка переходит к выполнению процедуры возврата подвижной плиты в исходное положение («Home Position»), после чего на экране сенсорной панели выводится сообщение о готовности к проведению измерений (см. рисунок 3.13). В противном случае, на экране появляется диалоговое окно с указанием на то, что была обнаружена ошибка функционирования, и дальнейшие измерения блокируются до устранения причин аварии [11].

Процедура измерения силы сочленения и расчленения пар разъемов заключается в том, что пользователю необходимо установить испытуемые ЭС в соответствующую технологическую оснастку, проконтролировать правильность установки параметров перемещения и измерения, и запустить процесс нажатием на соответствующее окно на экране сенсорной панели. После этого базовая подвижная плита перемещается из исходного положения в зону проведения измерений с заданными параметрами перемещения на определенное расстояние. Скорость перемещения различна на этом участке, который в свою очередь можно разделить на несколько зон (рисунок 3.5). Сначала подвижная плита с установленным ЭС перемещается из точки А (исходного положения плиты) до точки В со скоростью холостого хода. После чего перемещение осуществляется с необходимой во время измерения скоростью до точки С. Подвижная плита перемещается к неподвижной плите не до полного смыкания (не до «точки смыкания плит» - точки D), а на определенное расстояние, при котором обеспечивался бы технологический зазор между плитами. Величина зазора будет определяться конструкцией технологической оснастки и испытуемыми ЭС.

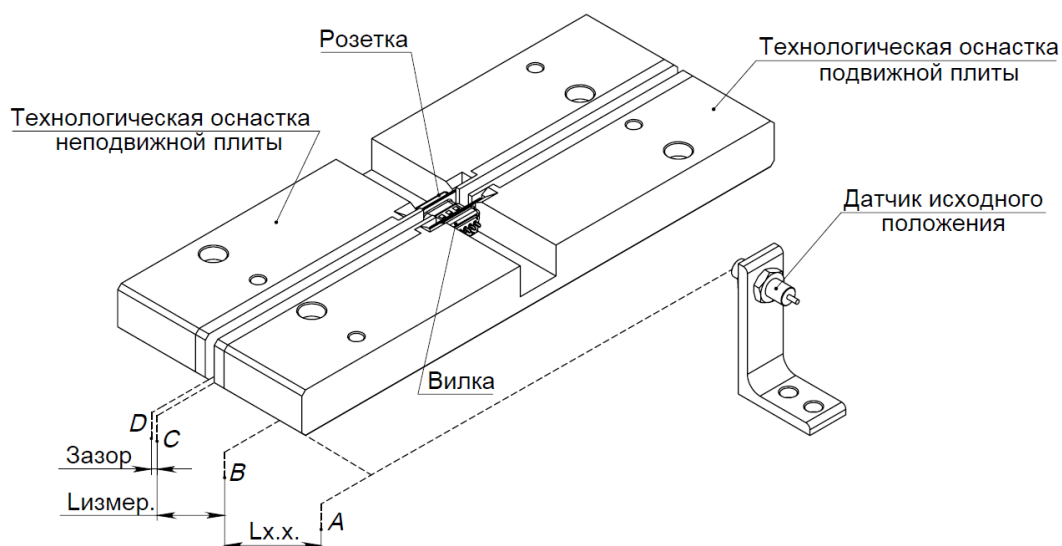


Рисунок 3.5 – Схема перемещений подвижной плиты

Высокоскоростная регистрация силы от тензодатчика осуществляется только на отрезке ВС. Количество циклов сочленения и расчленения ЭС во время проведения испытаний задается в отдельном окне на экране СПК [70].

Вывод результатов испытаний, аналогичен тому, как это реализовано в установке для измерения сил сочленения–расчленения контактов ЭС контрольным штырем–калибром: выводятся максимальные и средние значения силы сочленения–расчленения при N последовательных смыканиях и размыканиях.

Полный алгоритм данной АСУ представлен в приложении Б. Граф состояний АСУ ОК сил сочленения–расчленения пар ЭС (рисунок 3.6) в отличие от ранее представленного дополнительно будет содержать 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. Остальное см. рисунок 3.3.

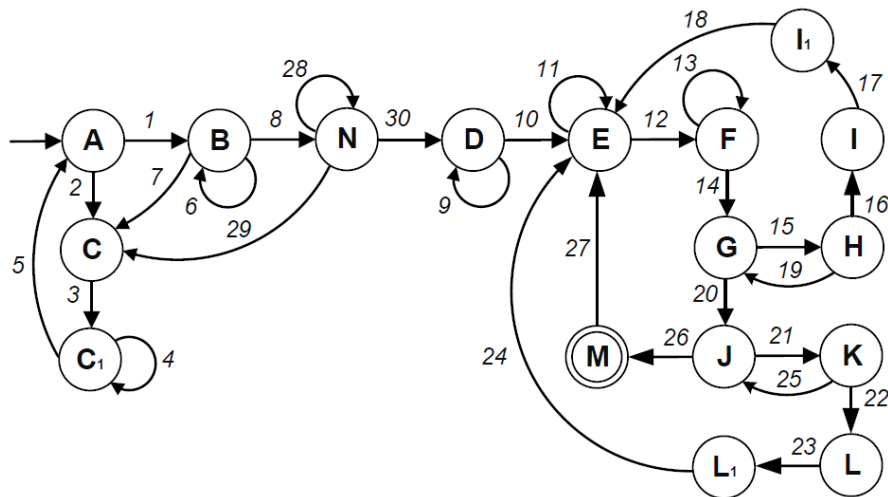


Рисунок 3.6 – Граф состояний АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС

3.3. Общие положения по программному обеспечению АСУ ОК ЭС

Программирование применяемых в описанных установках СПК [70, 101] осуществляется в аппаратно-независимой среде программирования CoDeSys V3 [9, 19, 34, 122], которая поддерживает все языки стандарта МЭК 61131-3 [42], а также допускает применение СИ-процедур.

Подключение периферийного оборудования может осуществляться через стандартные функции протокола Modbus, реализованные через соответствующие библиотеки, имеющиеся в открытом доступе [71, 83]. Однако для реализации

основных функций работы контроллера ШД OSM-42RA [9, 169] по командам от СПК [70] была разработана собственная библиотека управления в виде функционального блока. При реализации такого функционального блока использовалась библиотека «SysCom» и «Modbus» [71, 83]. Следует отметить, что написанная библиотека не предназначена для функционирования нескольких контроллеров OSM-42RA на одной шине RS-485. Для полноценного управления несколькими устройствами, в таком случае необходимо предусмотреть механизм блокировки шины для того, чтобы команды, предназначенные одному контроллеру, не перехватывались другим контроллером. К примеру, данная особенность применялась при разработке программного обеспечения для АСУ сил сочленения–расчленения контактов ЭС.

В программном обеспечении каждой из установок для настройки режимов перемещения и измерения предусмотрены некоторые общие параметры. К ним можно отнести [11]:

«Делитель шага» – величина коэффициента дробления микрошагового режима работы ШД. В применяемой версии контроллеров допустимы следующие значения делителя: 1, 2, 4, 16. Ввод иных значений игнорируется программой, и выводится сообщение о недопустимом значении параметра.

«Шагов/оборот» – количество полных шагов двигателя, необходимых для полного оборота вала двигателя при делителе шага, равного 1. В том случае, если в конструкции установки применяется ШД с углом поворота, равным $1,8^\circ/\text{шаг}$, то необходимо установить данный параметр, равный 200.

«Шаг ШВП» – величина применяемого в оси измерительной установки шага ШВП (в мм).

«Ток обмотки» – величина тока, подаваемого на обмотки шагового двигателя в режиме перемещения (в мА). Величина данного параметра зависит от типа установленного ШД и ограничивается максимальным значением применяемого контроллера (4200 мА).

«Ток паузы» – величина тока в обмотках двигателя в режиме остановки в процентном значении от установленного параметра «Ток обмотки».

«Время паузы» – время от момента остановки двигателя (в мс) до его перехода в спящий режим и понижения тока в обмотках до величины, установленной параметром «Ток паузы».

«Блокировка в паузе» – свойство, которое определяет поведение контроллера шагового двигателя при остановках. При неактивном состоянии индикатора контроллер полностью отключает генерацию питающего тока в обмотках ШД и его вал можно провернуть вручную. При активном состоянии – наоборот, контроллер ШД продолжает формировать ток в обмотках, что приводит к блокировке свободного вращения. Нажатие на данное поле сенсорного экрана вызывает диалоговое окно с предложением переключить данный режим на противоположный.

«Скорость (нач.)» – величина начальной скорости перемещения подвижной плиты оси измерительной установки (в мм/с).

«Скорость (макс.)» – значение максимальной скорости перемещения подвижной плиты оси измерительной установки (в мм/с).

«Ускорение» – процентное соотношение начальной и максимальной скорости в режиме перемещения (от 0 до 100 %).

«Торможение» – ускорение торможения от текущей скорости перемещения до нуля в процессе остановки двигателя в режиме перемещения (от 0 до 100 %).

«Усилие» – величина силы, регистрируемой тензодатчиком в данный момент времени (опционально для разных версий установок может отображаться в Н, кгс или гс). Нажатие на данное поле сенсорного экрана приводит к вызову операции калибровки нуля тензодатчика.

«Усилие (макс.)» – величина максимально допустимого значения регистрируемой силы (в Н, кгс или гс). При превышении данной величины во время проведения испытаний ЭС происходит аварийная остановка и на экран выводится соответствующее сообщение.

«Текущая позиция (мм)» – текущее относительное положение плиты оси измерительной установки (в мм).

Установленные значения вышеперечисленных параметров хранятся в энергонезависимой памяти установки, т.е. сохраняются при выключении питания.

3.3.1. Программное обеспечение автоматизированной установки для измерения силы сочленения-расчленения контактов ЭС

Как уже отмечалось ранее, после включения установки в питающую сеть запускается процесс контроля аппаратных ошибок. В случае успешного завершения всех проверок на экране появляется начальное окно установки для измерения силы сочленения-расчленения контактов ЭС, представленное на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Визуализация стартового экрана

В верхней левой части визуализации расположено окно отображения текущей силы. При нажатии на это поле запускается процедура калибровки нуля тензодатчика [10].

При нажатии на поле № 1 («Параметры перемещения») происходит переключение визуализации на окно установки параметров перемещения, показанной на рисунке 3.8 [10].



Рисунок 3.8 – Визуализация окна установки параметров перемещения

Активация окна № 13 («Датчик положения – ВКЛ/ВЫКЛ») приводит к запуску процедуры поиска исходной позиции выбранной оси.

Нажатие на поле № 14 («Параметры установки») обеспечивает переключение визуализации на окно «Параметры установки» (рисунок 3.9), а поле № 15 («Выход») приводит к смене визуализации на предыдущий вид. В данном окне расположены основные параметры, используемые при переводе количества шагов двигателя в расстояние перемещения выбранной оси (и наоборот), а также некоторые скоростные характеристики, и параметры работы при паузе. Более подробное их описание представлено в предыдущем параграфе. Кнопка № 16 обеспечивает возврат визуализации окна сенсорной панели на окно «Параметры перемещения» [10].

Активация поля № 2 («Поиск исходной позиции») обеспечивает запуск процедуры поиска исходной позиции последовательно всех трех осей измерительной установки. После чего появляется окно, предлагающее подтвердить обнуление исходной позиции.

Нажатие на кнопку № 3 («Перемещение к цел. позиции») запускает процесс поочередного перемещения осей измерительной установки в положение, заданное окнами № 9 («Целевая позиция (мм)»).

Справа от окна отображения текущей силы расположено поле № 5 («Макс. усилие»), в котором задается максимальное значение регистрируемой силы в неаварийной ситуации. Введенное в данном поле значение должно быть корректным, т.е. удовлетворять условию: $0 < F_{\max} \leq 29,4 \text{ Н (3000 гс)}$. Т.к. в конструкции данной установки используется тензодатчик, регистрирующий силу до 29,4 Н (3000 гс), то, соответственно, максимальная сила не должна быть выше этого значения. Напомним, что в случае превышения в процессе работы введенного значения максимальной силы процесс измерения автоматически прерывается, а на экране появляется предупреждение о причине остановки [10].

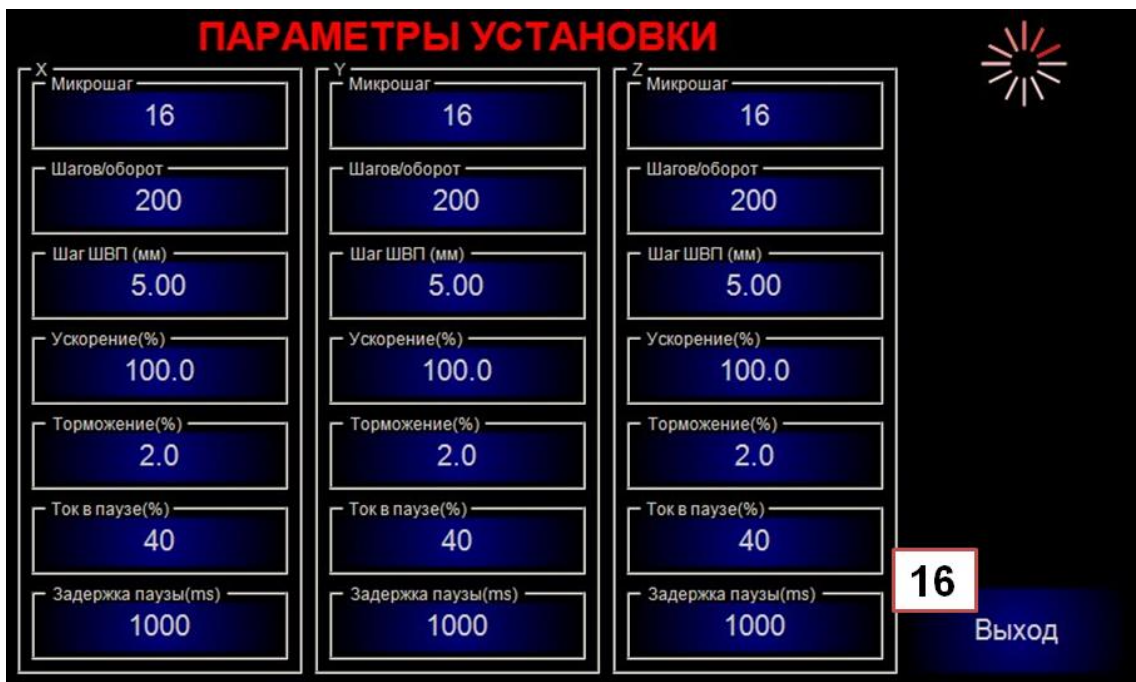


Рисунок 3.9 – Визуализация окна установки параметров установки

Окна № 6 («Текущая позиция (мм)») обеспечивают отображение положения осей измерительной установки. Нажатие на них обеспечивает обнуление отображаемой координаты. Данная функция необходима для того, чтобы при проведении испытаний имелась возможность измерения относительных расстояний перемещения.

Поле перемещения выбранной оси измерительной установки состоит из двух кнопок: № 7 и № 8 («+» и «-» соответственно). При нажатии на эти кнопки появляется окно ввода расстояния перемещения в мм в выбранном направлении. Соответственно, кнопка «+» обеспечивает перемещение выбранной оси в положительном направлении, а «-» – в отрицательном. Данная функция необходима для ручной корректировки положения подвижной плиты выбранной оси между измерениями [10].

Дистанция перемещения штыря–калибра по оси Z во время проведения измерений задается окном № 10 («Дистанция измерения (мм)»), а число циклов – полем № 11 («Число циклов»).

Процедура автоматизированного измерения силы сочленения–расчленения целевого контакта ЭС запускается нажатием на поле № 12 («ПУСК»). После этого, ось Z установки, с закрепленным на ней тензометрическим датчиком и контрольным штырем–калибром, перемещается на расстояние, которое задано параметром «Измерения. Дистанция (мм)» с параметрами перемещения, заданными в опциях группы «Параметры перемещения» с одновременным анализом и контролем силы, фиксируемой тензодатчиком. При этом на экране отображается соответствующее окно, представленное на рисунке 3.10 [10].

При успешном завершении процесса испытаний на экране сенсорной панели отображается всплывающее окно с результатами измерений максимальных и средних значений сил сочленения и расчленения. Пример данного окна показан на рисунке 3.11 [10].



Рисунок 3.10 – Визуализация окна процесса измерения силы сочленения–расчленения контакта контрольным штырем–калибром



Рисунок 3.11 – Визуализация окна отображения результатов измерения

3.3.2. Программное обеспечение автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС

После включения автоматизированной установки для измерения сил сочленения и расчленения пар ЭС, а также после успешной процедуры выполнения самодиагностики на наличие аппаратных ошибок, на сенсорной панели отображается начальный экран, представленный на рисунке 3.12 [11].



Рисунок 3.12 – Визуализация стартового экрана

Графическое поле № 1 «Подготовка измерений» доступно только до проведения процедуры начальной подготовки и самодиагностики. При нажатии на него запускается соответствующая процедура, описанная ранее. После успешного завершения алгоритмов определения точки смыкания плит и калибровки нуля тензодатчика появляется соответствующее информационное окно, представленное на рисунке 3.13.

Нажатие на кнопку № 2 «Настройки» приводит к переключению установки в режим редактирования параметров проведения измерений. В связи с тем, что данный режим позволяет осуществить доступ к тонким настройкам работы, переключение на него осуществляется с запросом пароля, известного лишь персоналу, уполномоченному на проведение данных операций. Визуализация окна ввода пароля показана на рисунке 3.14.

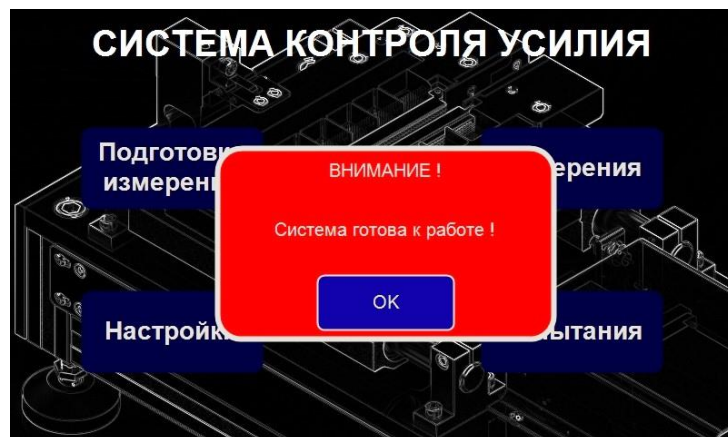


Рисунок 3.13 – Внешний вид окна успешного завершения процедуры подготовки и самодиагностики



Рисунок 3.14 – Внешний вид окна запроса ввода пароля

При вызове технологического окна настроек пользователь имеет возможность редактировать параметры установки, описанные в предыдущем параграфе. Внешний вид такого окна представлен на рисунке 3.15 [11]. Данные параметры отдельно никак не пронумерованы.



Рисунок 3.15 – Внешний вид визуализации окна редактирования параметров

Помимо этого, для отображения и запуска доступны некоторые функции. Так, на экране «Настройки» доступно для отображения значение текущей позиции (в мм) – окно № 5. Изначально отсчет производится от «Начального положения» подвижной плиты измерительной установки.

Для ручной корректировки положения подвижной плиты в меню предусмотрены функции № 6, № 7: «Сдвиг в мм» и «Сдвиг по шагам» соответственно. При нажатии на окно «Сдвиг в мм» на экране появляется диалоговое окно с предложением ввести требуемую дистанцию (в мм) для перемещения подвижной плиты и направление перемещения: «Сочл.» или «Расчл.». Выбор направления «Сочл.» обозначает направление перемещения в сторону смыкания подвижной и неподвижной базовых плит, а выбор «Расчл.» – соответственно – указывает на направление размыкания плит. Выбор функции «Сдвиг по шагам» вызывает диалоговое окно с предложением ввести требуемое

количество шагов для перемещения подвижной плиты и направление, аналогично тому, как это было представлено ранее [11].

Нажатие на поле № 9 («Исходн. положение – Поиск») осуществляет запуск процедуры поиска исходной позиции подвижной плиты измерительной установки.

Активация окна № 10 («Точка смыкания – Поиск») обеспечивает запуск процедуры поиска «нулевой точки». Напомним, что это положение подвижной базовой плиты, при котором происходит беззачерное касание с неподвижной плитой.

При нажатии на кнопку № 11 («Точка смыкания – Фиксация») текущее положение подвижной плиты обнуляется.

Нажатие на сенсорное поле № 12 («ВЫХОД») приводит к переключению экрана в режим стартового выбора режимов и выходу из окна редактирования параметров установки.

Режим «Калибровка», представленный окном № 8, позволяет осуществить калибровку преобразования электрического выходного сигнала тензометрического датчика в соответствующее значение силы. При нажатии на данное поле после подтверждения осуществляется смена визуализации отображаемого экрана (рисунок 3.16). Нажатие на поле № 13 осуществляет запуск процедуры калибровки нуля тензодатчика, на поле № 14 – запуск калибровки шкалы. В окне № 15 отображается дата и время запуска последней калибровки. Нажатие на кнопку № 16 осуществляет возврат в предыдущее меню «Настройки системы» [11].

Нажатие из стартового экрана на поле № 3 («Измерения») приводит к переключению установки в режим проведения измерений с дополнительной фиксацией результатов измерений на внешнюю SD-карту. Внешний вид визуализации окна данного режима представлен на рисунке 3.17 [11].

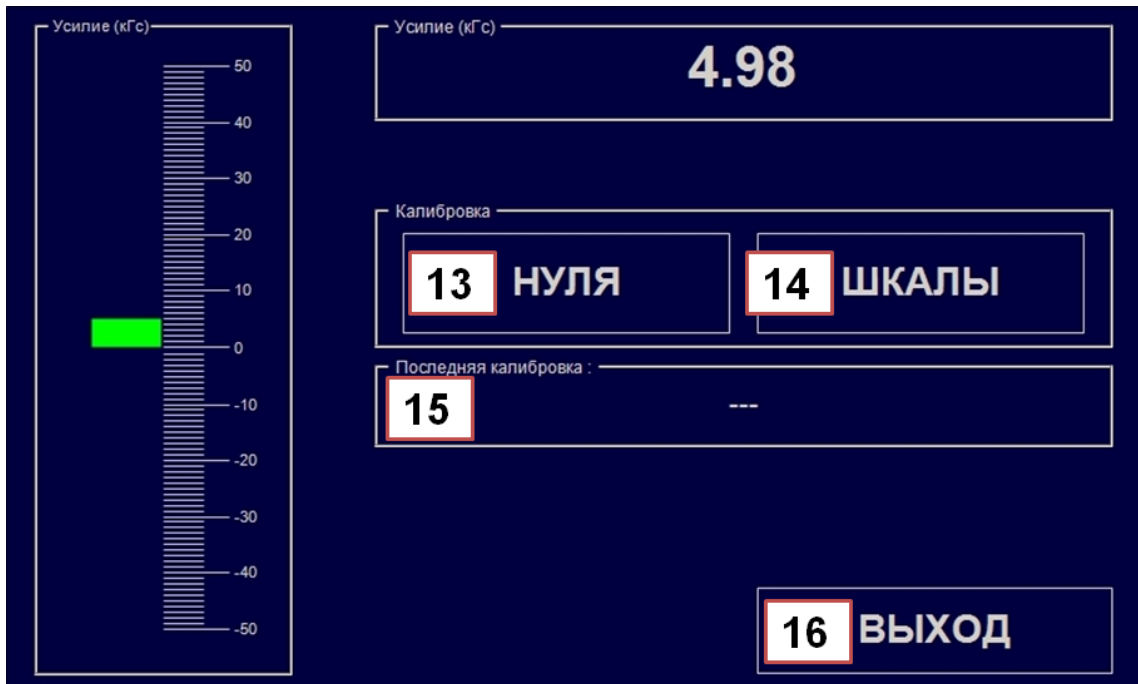


Рисунок 3.16 – Внешний вид окна калибровки

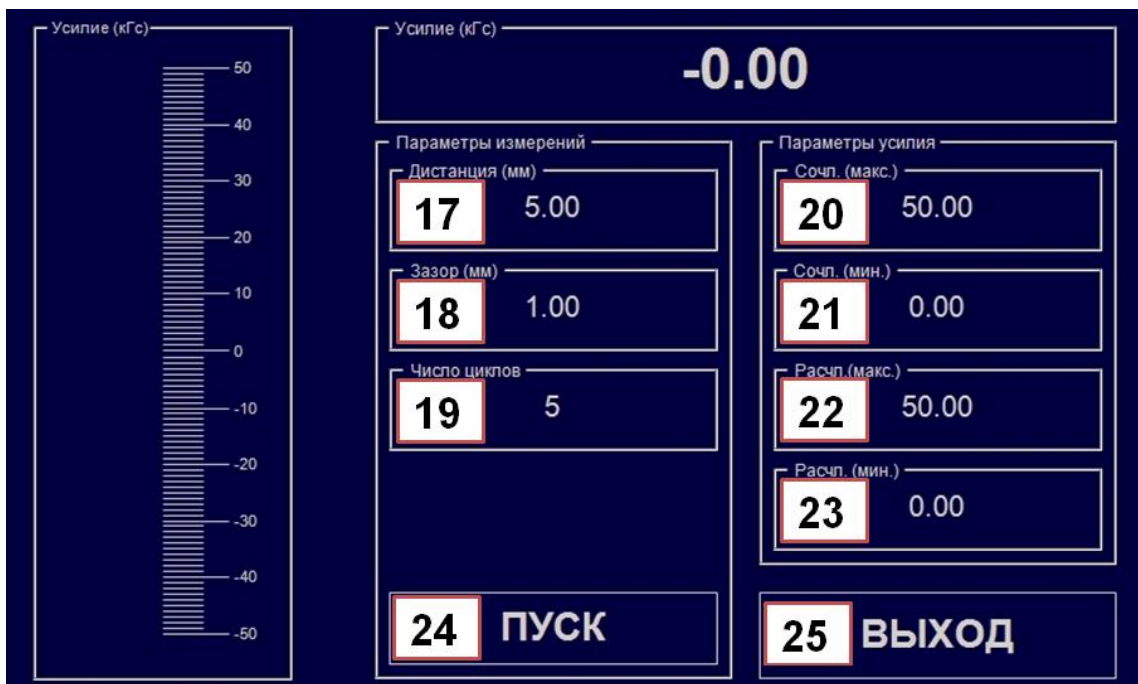


Рисунок 3.17 – Внешний вид окна режима «Измерения»

В верхней и левой части экрана отображается сила, регистрируемая тензометрическим датчиком в данный момент. Другая часть визуализации отведена окнам, нажатие на которые позволяет пользователю изменить параметры проведения измерений.

Одним из таких параметров является «Дистанция измерения», представленная в окне № 17. Как уже отмечалось ранее, это расстояние от полного сочленения до полного расчленения испытуемого ЭС, на котором осуществляется регистрация воспринимаемых тензодатчиком сил.

Параметр, установленный в окне № 18 («Зазор») обеспечивает необходимый технологический зазор между базовыми плитами установки при полном смыкании ЭС между собой во время проведения испытаний.

В окне № 19 («Число циклов») задается число последовательных сочленений и расчленений при измерениях.

Далее представлены параметры, определяющие допустимый диапазон сил сочленения–расчленения для испытуемого ЭС. В сенсорном поле № 20 («Сочл. (макс.)») устанавливается значение максимально допустимой силы сочленения испытуемого ЭС. Если зарегистрированная сила сочленения будет выше этого значения, то появится сообщение: «Сила сочленения выше нормы». В окне № 21 («Сочл. (мин.)») задается минимально допустимое значение силы сочленения. Аналогично, в случае фиксации силы сочленения ниже данного значения, появляется сообщение: «Сила сочленения ниже нормы». В окнах № 22, 23 («Расчл. (макс.)», «Расчл. (мин.)») задаются аналогичный диапазон для анализа воспринимаемой силы расчленения. При фиксации ошибок на экране СПК отображаются соответствующие сообщения.

При нажатии на вышеописанные окна открывается диалоговое окно с предложением ввести новое значение параметра (рисунок 3.18). В том случае, если введено корректное значение, открывается всплывающее диалоговое окно с предложением подтвердить вновь введенное значение, которое заменяет прежнее. В случае ввода некорректного значения появляется соответствующее окно, информирующее о некорректном вводе значения параметра, и изменения в этом случае игнорируются.

Нажатие на кнопку № 24 («ПУСК») запускает процесс автоматизированного измерения силы сочленения и расчленения ЭС с установленными параметрами. При успешном завершении измерений на экране отображается всплывающее окно

с зафиксированными результатами. Как уже отмечалось ранее, отображаются средние и максимальные значения сил сочленения и расчленения. Пример данного окна представлен на рисунке 3.19 [4, 11]. Кроме того, в случае фиксации силы, выходящей за допустимый диапазон значений, установленных пользователем, у соответствующего значения отображается предупредительный флаг красного цвета для привлечения внимания пользователя.

Кнопка № 25 («ВЫХОД») обеспечивает переключение экрана на стартовый и выход установки из режима проведения измерений.



Рисунок 3.18 – Внешний вид диалогового окна ввода параметров

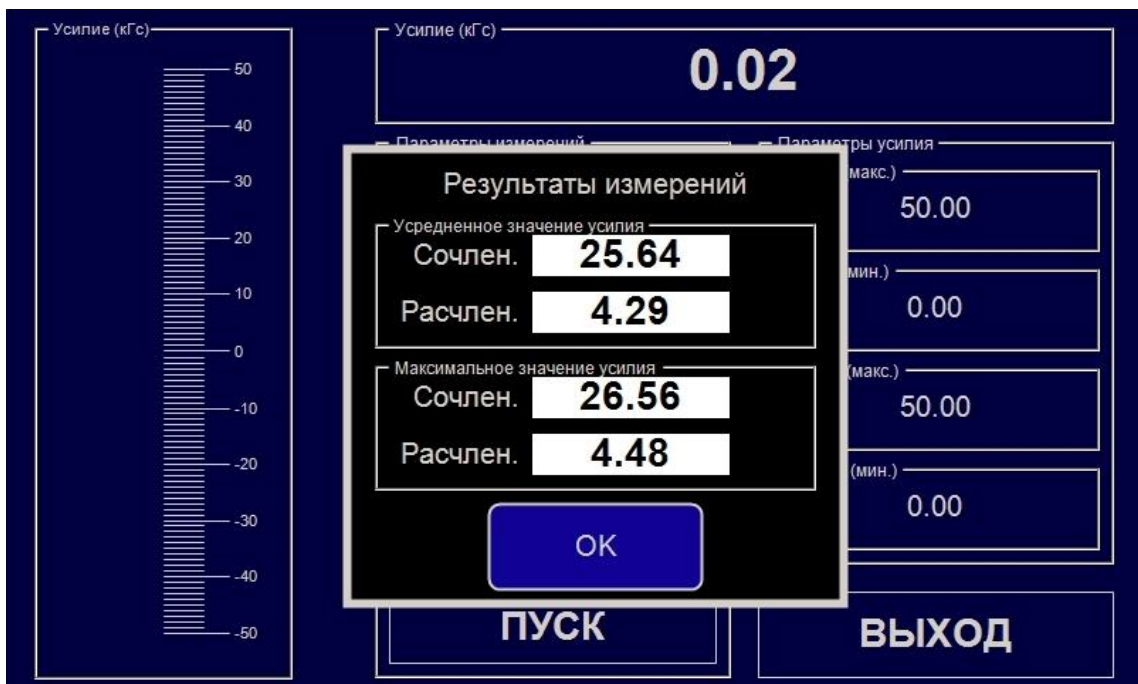


Рисунок 3.19 – Внешний вид окна отображения результатов измерения

Нажатие на сенсорное поле № 4 («Испытания») из начальной визуализации приводит к переключению установки в режим проведения тестирования испытуемых соединителей без фиксации результатов измерений в энергонезависимую память. Данный режим может использоваться в качестве технологической операции при сборке ЭС. Визуализация окна «Испытания» представлена на рисунке 3.20.

Все параметры, отображаемые в данном режиме, аналогичны тем, которые описывались ранее. Исключение составляет лишь кнопка № 26 («Адаптивный режим»). При активации данного режима тестирования ЭС после каждого цикла сочленения и расчленения установка анализирует значения силы и прерывает цикл тестирования в том случае, если сила сочленения и расчленения оказывается в диапазоне допустимых значений, установленных пользователем в окнах № 20–23.

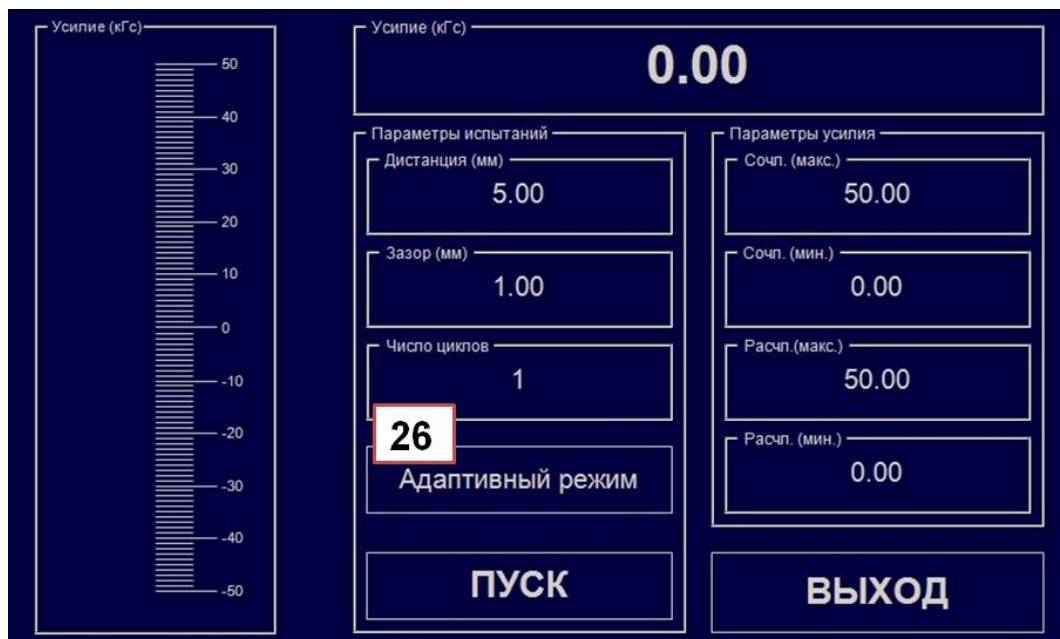


Рисунок 3.20 – Внешний вид окна режима «Испытания»

3.4. Результаты и выводы по третьей главе

1. Разработан алгоритм определения расстояния между базовыми плитами АСУ сил сочленения–расчленения пар ЭС, оригинальность которого заключается в применении факта линейной зависимости, используемой

тензодатчиком, и его механической деформации при вычислении точки смыкания плит с одновременной диагностикой тензодатчика.

2. Разработан алгоритм работы автоматизированной установки для измерения сил сочленения–расчленения контакта ЭС с контрольным штырем–калибром. Оригинальность данного алгоритма заключается в контроле аппаратных ошибок АСУ, поиске исходной позиции подвижных узлов, калибровке нуля и шкалы тензодатчика, а также в обеспечении относительного линейного перемещения контрольного штыря–калибра и испытуемого контакта по трем координатам с заданной скоростью и ускорением.

3. Разработан алгоритм работы автоматизированной установки для измерения сил сочленения–расчленения пар ЭС, оригинальность которого заключается в контроле аппаратных ошибок АСУ, поиске исходной позиции подвижного узла, калибровке нуля и шкалы тензодатчика, а также в обеспечении относительного линейного перемещения испытуемой пары ЭС в оси сочленения–расчленения с заданной скоростью и ускорением.

4. Разработаны графы состояний АСУ ОК сил сочленения–расчленения пар и сил сочленения–расчленения контактов ЭС.

5. Разработано ПО, обеспечивающее функционирование, настройку, визуализацию и протоколирование процесса измерения силы сочленения–расчленения контакта с штырем–калибром в среде CoDeSys V3.

6. Разработано ПО, обеспечивающее функционирование, настройку, визуализацию и протоколирование процесса измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС в среде CoDeSys V3.

4. РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АСУ ОК ЭС

4.1. Разработка механической части автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения контакта ЭС

4.1.1. Описание стенда для отработки автоматизированного измерения силы сочленения–расчленения контактов ЭС

Первичная проверка возможности автоматизации процессов измерения силы сочленения и расчленения контактов ЭС контрольным штырем–калибром, а также отработка режимов проведения испытаний осуществлялась на базе трехкоординатного фрезерно–гравировального станка CNC–2020AL [3, 7].

Как уже отмечалось ранее, на подвижный узел модуля перемещения по оси Z через держатель устанавливается тензометрический датчик. С другой стороны к тензодатчику крепится держатель со штырем–калибром. К подвижному столу из алюминиевого профиля [123] на модуле перемещения по оси Y прикручивается обойма, на которой крепится испытуемая розетка.

Поскольку на подвижной платформе стола отсутствуют элементы, ориентирующие технологическую оснастку испытуемого ЭС относительно осей X и Y в заданном положении, то позиционирование и закрепление осуществлялось после проверки требуемого положения путем обкатки индикатором часового типа базирующих поверхностей оснастки.

Внешний вид стенда для отработки возможности автоматизации измерения силы сочленения и расчленения контактов ЭС контрольным штырем–калибром представлен на рисунке 4.1.

Заранее следует отметить, что в представленном виде стенд для проведения серии испытаний в промышленных условиях не годен. Прежде всего, это связано с компоновкой установки, при которой тензометрический датчик с контрольным штырем–калибром находится в прямом доступе оператора, что может привести к случайному или умышленному вмешательству в процесс проведения испытаний. Кроме того, в используемом фрезерно–гравировальном станке по всем осям применяются цилиндрические валы с линейным подшипником [155] диаметром 10

и 12 мм, а также трапецидальный винт с капролоновой гайкой, что в совокупности снижает точность перемещения и ресурс работы агрегатов установки за счет люфтов передачи винт–гайка и трения в узле.

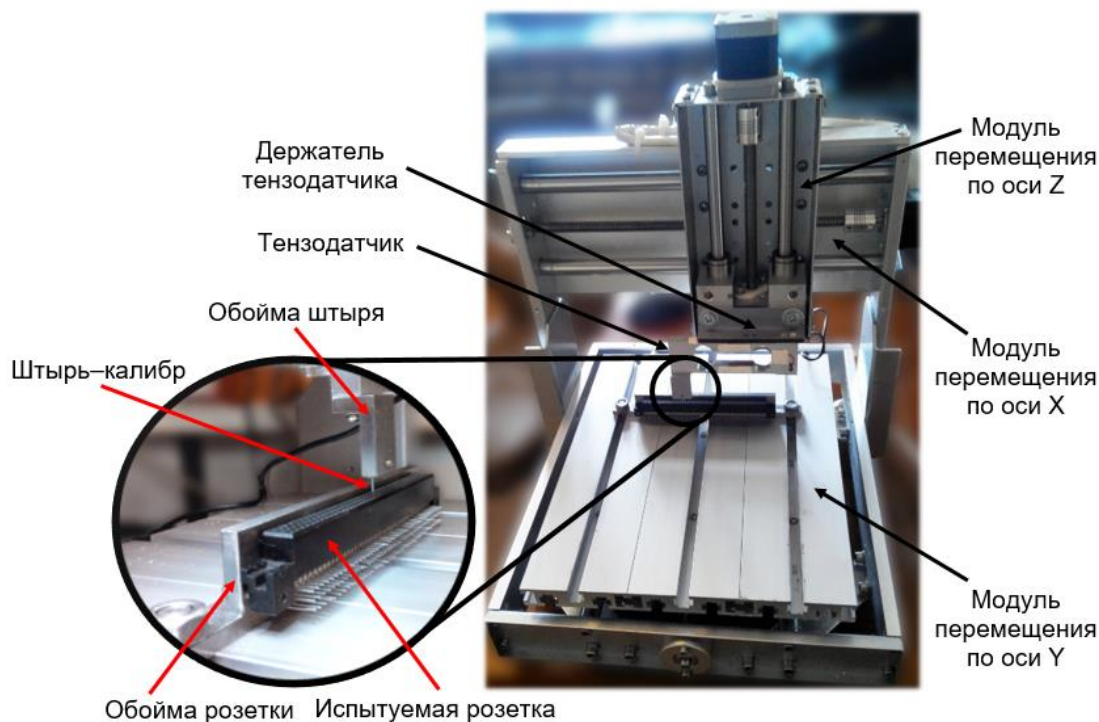


Рисунок 4.1 – Стенд для отработки возможности автоматизации измерения силы сочленения–расчленения контактов ЭС на базе станка CNC–2020AL

Однако, как показали результаты измерений, полученных при помощи данного стенда, автоматизированное измерение силы сочленения и расчленения контактов ЭС контрольным штырем–калибром возможно [3, 7]. Более подробное описание результатов, полученных в том числе на данном стенде, представлено в следующей главе.

4.1.2. Разработка компенсационного держателя штыря–калибра

В процессе изготовления и сборки ЭС неизбежны погрешности, определяющие позиционирование контакта внутри разъема. К ним относятся:

- точность и качество изготовления контакта (несимметричность упругих контактных элементов);

- допуск на положение контакта в изоляторе (наклон относительно оси посадочной поверхности изолятора, в которую установлен контакт);
- допуск на смещение посадочных поверхностей изолятора.

Что касается предпоследнего и последнего пункта, то данные погрешности в зависимости от типа испытываемого разъема, согласно КД, могут быть от 15' до 1°, и от 0,04 до 0,2 мм соответственно.

Исходя из чего, вполне очевидно, что жесткая фиксация измерительного штыря–калибра в держателе может привести к значительным погрешностям измерения силы сочленения–расчленения контактов ЭС.

В конструкции держателя штыря–калибра на стенде была первоначально применена (рисунок 4.1) схема, позволяющая компенсировать угол наклона испытываемого гнездового контакта в одной плоскости (рисунок 4.2 а). На рисунке 4.2 данный угол обозначен углом α , а смещение расположения контакта относительно номинального значения по расположению обозначено δ . В этом случае для сочленения смещенного и наклоненного контакта испытываемый штырь должен повернуться на угол β . Тогда угол между осью испытываемого контакта и калибром будет равен сумме двух углов: $\alpha + \beta$.

В оптимальном случае держатель штыря–калибра должен обеспечивать компенсацию как возникающих смещений, так и наклонов без влияния на результаты проводимых испытаний (рисунок 4.2 б). Это означает, что при самоцентрировании штыря во время сочленения и расчленения с гнездовым контактом не должно возникать дополнительных сил, действующих на излом. Т.е. штырь при перемещении в направлении смыкания–размыкания должен быть соосен контакту. Так же смещение и наклон калибра должны осуществляться свободно без трения и, тем более, заклинивания. Величина результирующего смещения штыря на рисунке 4.2 б обозначена, как X . При этом немаловажна возможность ограничения по максимально допустимому смещению для разных типов испытываемых соединителей. Однако на данном этапе разработки, ввиду технологической сложности, реализация данной конструкции компенсирующего механизма не обеспечена.

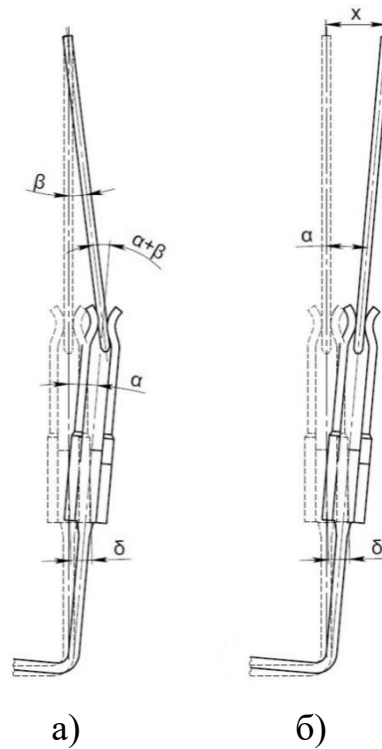


Рисунок 4.2 – Схема компенсации погрешности взаимного положения штыря–калибра и испытуемого контакта ЭС: а) благодаря наклону; б) благодаря наклону и линейному смещению

Реализация схемы из рисунка 4.2 а на стенде для отработки измерения силы сочленения–расчленения контакта ЭС контрольным штырем–калибром представлена на рисунке 4.3. В этом случае регулировка максимального наклона калибра в одной плоскости осуществляется при помощи подпружиненного прижимного винта.

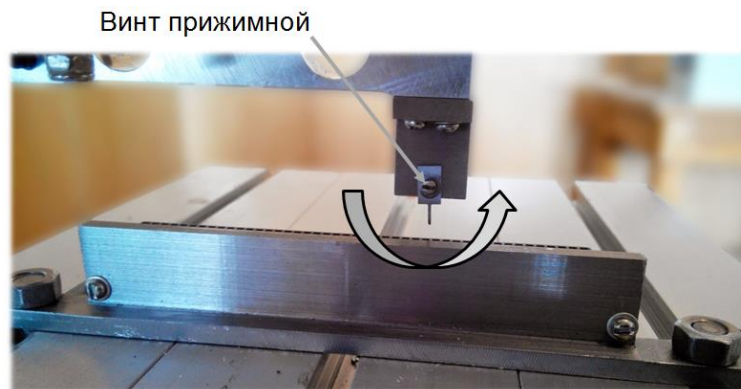
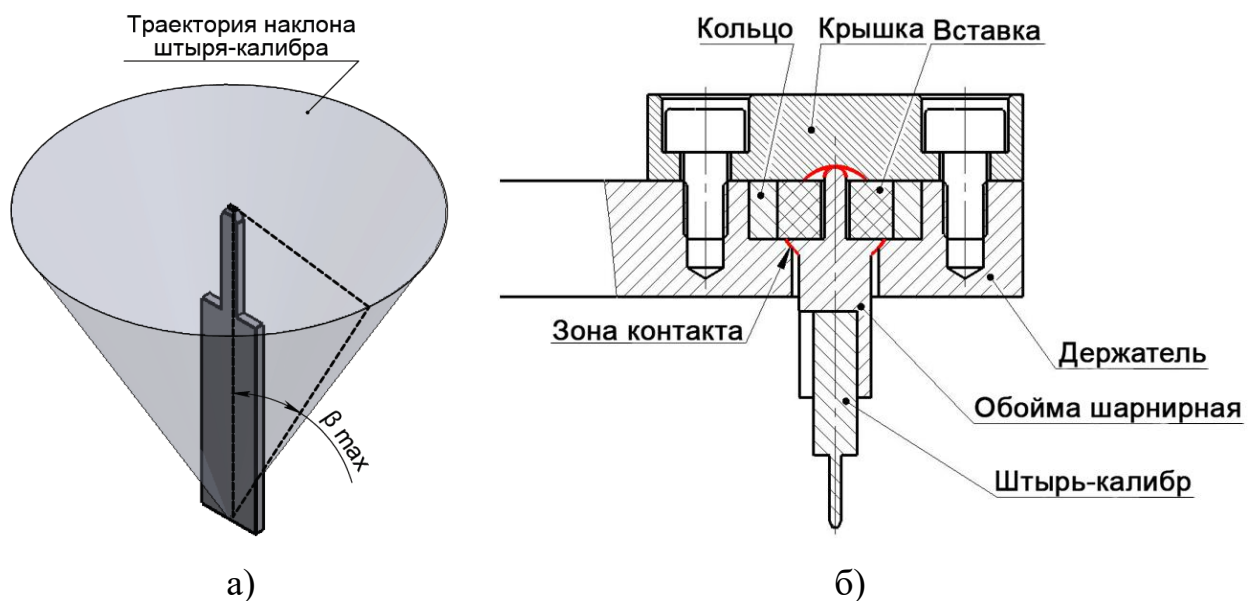


Рисунок 4.3 – Пример реализации схемы компенсирующего механизма по наклону штыря–калибра в одной плоскости

Впоследствии подобная схема компенсирующего механизма держателя штыря была модернизирована. Модернизация заключается в том, что компенсация наклона в этом случае осуществляется по двум плоскостям за счет шарнира, контактные поверхности которого образованы двумя полусферами: по одной из которых держатель штыря–калибра соприкасается с держателем тензодатчика, по другой – с крышкой. Траектория наклона шарнирного держателя калибра имеет конусообразный вид (рисунок 4.4 а).

Устройство разработанного шарнирного держателя штыря–калибра представлено на рисунке 4.4 б. В этом случае максимальный угол наклона будет определяться жесткостью деформируемой вставки, которая изготовлена из резины или материала на силиконовой основе. Вращение штыря–калибра вокруг своей оси исключается благодаря прижиму кольца, соединенного с упругой вставкой, стопорным винтом через держатель. Предполагается, что для плоских и круглых штырей–калибров будут применяться разные компенсирующие держатели, в первом случае штырь устанавливается в паз, во втором – в базирующее отверстие. В двух случаях фиксация так же осуществляется винтом.

Реализованная конструкция данного компенсационного держателя штыря–калибра представлена на рисунке 4.4 в.



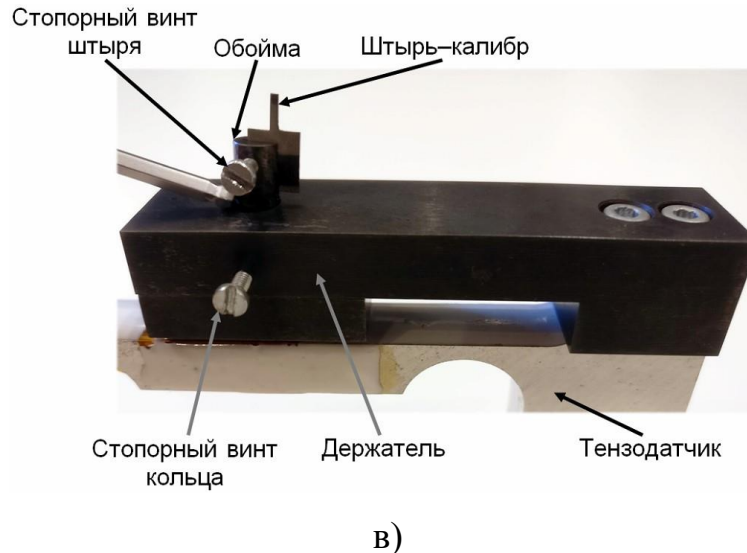


Рисунок 4.4 – Разработанный компенсирующий механизм крепления штыря–калибра: а) траектория наклона; б) устройство; в) реализация

4.1.3. Разработка установки для автоматизированного измерения силы сочленения–расчленения контактов ЭС

После проведения пробных измерений сил сочленения и расчленения контактов ЭС при помощи стенда (рисунок 4.1) возникла необходимость в разработке установки, учитывающей недостатки, описанные в параграфе 4.1.1.

Применение в конструкции модулей линейного перемещения собственной разработки позволяет увеличить точность и жесткость подвижных узлов по сравнению со стендом (рисунок 4.1). Конструкция данного модуля представлена на рисунке 4.5 [2].

На основании из станочного алюминиевого профиля (11) закреплены для большей жесткости две профильные направляющие 15-го типоразмера (4), а также две боковины (10, 12). В качестве привода в данной версии установки используется ШД [177] (1), установленный через стакан (2), однако при необходимости обеспечения перемещений с большей скоростью и наличия обратной связи имеется возможность установки сервопривода. В качестве механизма, преобразующего вращательное движения вала ШД в поступательное движение подвижной плиты (8), применяется ШВП [174] (на рисунке 4.5 винт обозначен позицией 5, а гайка – 7).

Винт ШВП жестко зафиксирован в двух опорах [175] (9, 13), состоящих из корпуса и двух радиально–упорных подшипников, и соединен с валом привода через муфту (14). Также подвижная плита прикреплена к кареткам (6), перемещающимся по направляющим. Для калибровки начального положения подвижной плиты используется концевой датчик (3) [2, 3].

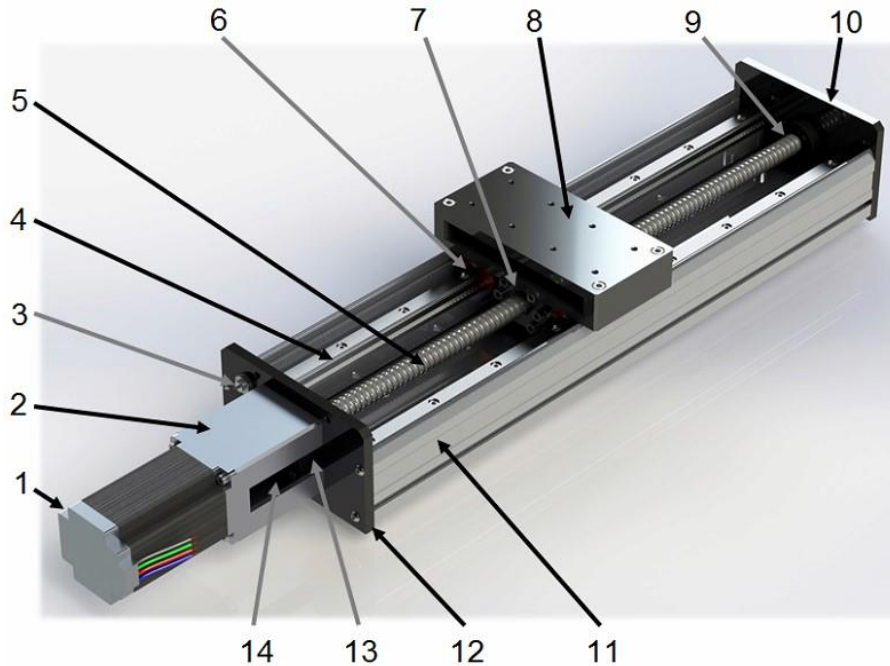


Рисунок 4.5 – Конструкция модуля линейного перемещения, используемого в АСУ силы сочленения–расчленения контактов ЭС

Фиксация исходного положения по осям X и Y в данной АСУ осуществляется при помощи датчиков механического касания с точностью срабатывания $\pm 0,001$ мм. В связи с тем, что на оси Z установлен тензометрический датчик, способный регистрировать аварийные ситуации во время проведения измерений, то в этом случае нет необходимости применения вышеуказанного датчика. Т.к. позиционирование по данной оси существенно не влияет на точность позиционирования испытуемого ЭС, то для фиксации исходного положения применяется цилиндрический индуктивный датчик.

Обеспечение точности установки технологической оснастки с испытуемым ЭС осуществляется за счет применения базовой посадочной плиты с унифицированным штифтовым и винтовым креплением. Тот же принцип

модульности и универсальности конструкции применяется в съемном держателе штыря–калибра.

В разработанной конструкции измерительной установки тензодатчик [188], на котором установлен штырь–калибр, во время проведения испытания осуществляет перемещение под ЭС (рисунок 4.6) [2, 3]. Данная компоновка позволяет изолировать измерительные узлы от зоны механического вмешательства извне. При этом минимизируется возможность влияния, как на результаты проводимых испытаний, так и на работоспособность установки в целом. Кроме того, подобное расположение позволяет в случае необходимости обеспечить интегрирование в общую структуру механизма автоматического извлечения контактов, не прошедших контроль, без изменения конструкции установки. В настоящее время такие контакты извлекаются вручную из изолятора при помощи приспособлений: пинцет, захват, крючок и т.д.

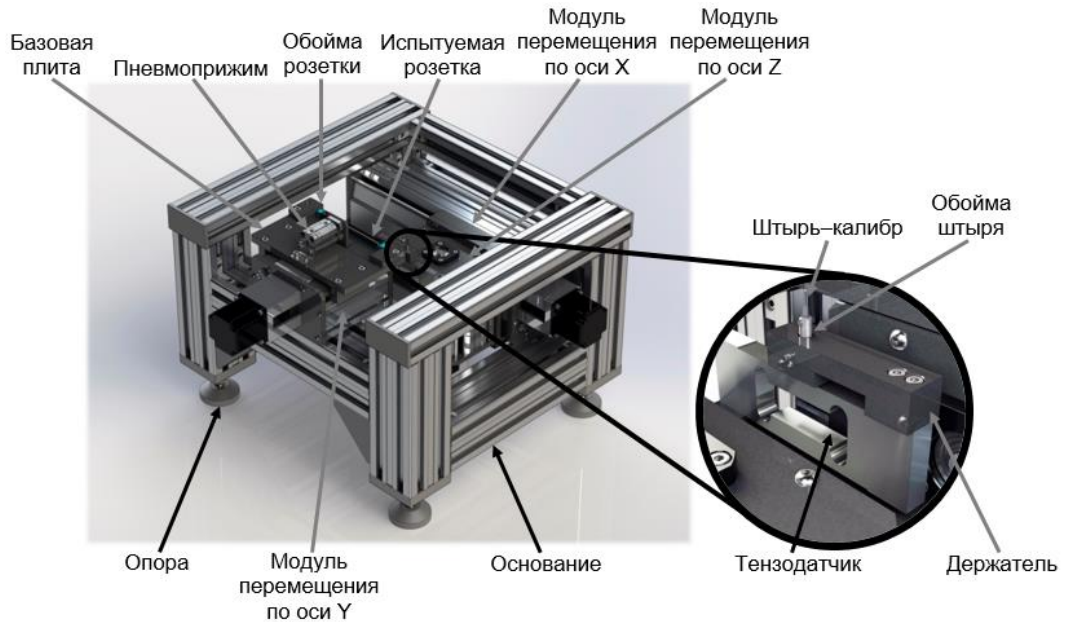


Рисунок 4.6 – Внешний вид расположения измерительных узлов установки

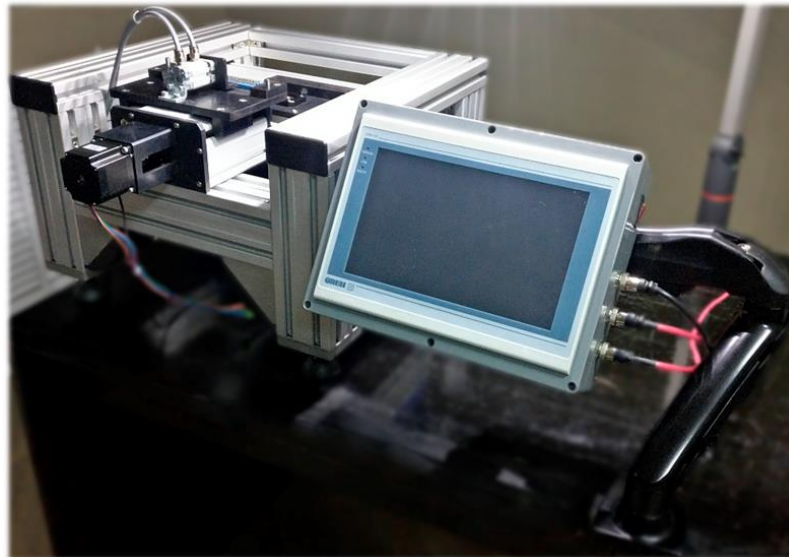
Конструкция разработанной АСУ силы сочленения–расчленения контактов ЭС при помощи штыря–калибра представлена на рисунке 4.7 а, а на рисунке 4.7 б – внешний вид реализованной установки [2].

Установка состоит из отдельных модулей перемещения по осям X, Y и Z, установленных на основании из алюминиевого профиля [123] с опорами. На модуле по оси Y установлена базовая подвижная плита, на которую в свою очередь

устанавливается технологическая оснастка испытуемого ЭС. Также к базовой плите крепится пневмоприжим, состоящий из пневмоцилиндра и прижимной вилки–упора. На модуле перемещения по оси Z через тензодатчик [188] установлен измерительный штырь–калибр, закрепленный в компенсационной обойме, описанной в параграфе 4.1.2.



а)



б)

Рисунок 4.7 – Конструкция АСУ ОК силы сочленения–расчленения контактов ЭС: а) 3D-модель; б) реализация

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 [63, 86, 122].

4.2. Разработка механической части автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС

4.2.1. Определение влияния типа направляющих на точность измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС

Изначально при разработке автоматизированной установки для измерения сил сочленения и расчленения ЭС в качестве направляющих, на которые опираются базовые (подвижная и неподвижная) плиты, выбраны профильные направляющие (рисунок 4.8). Данный тип направляющих наиболее оптимален с точки зрения жесткости, максимально воспринимаемым силам и минимальной деформации под действием нагрузки [84, 128].

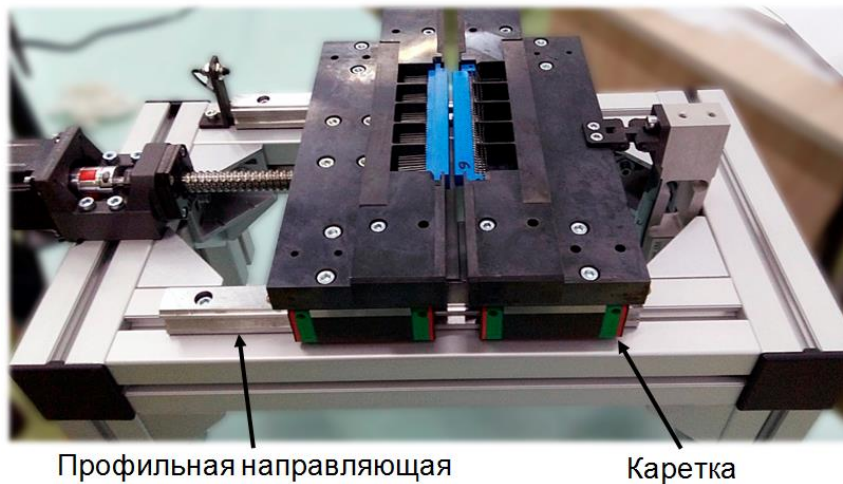


Рисунок 4.8 – Внешний вид установки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС с профильными направляющими

Однако в процессе проведения пробных измерений выяснилось, что при перемещении базовых плит создаются значительные помехи, регистрируемые тензодатчиком [17, 189] и влияющие на точность проводимых испытаний. Данные помехи связаны с силой трения в направляющих и особенностями конструкции

линейных подшипников. Величина возникающей силы трения зависит от многих параметров: нагрузки, предварительного натяга, материала и конструкции уплотнений, скорости перемещения, характеристик смазочного материала, используемой механической схемой расположения узлов, температуры и т.д.

В связи с этим рассматривалась альтернативная конструкция измерительной установки с цилиндрическими направляющими [81, 155, 176], представленная на рисунке 4.9.

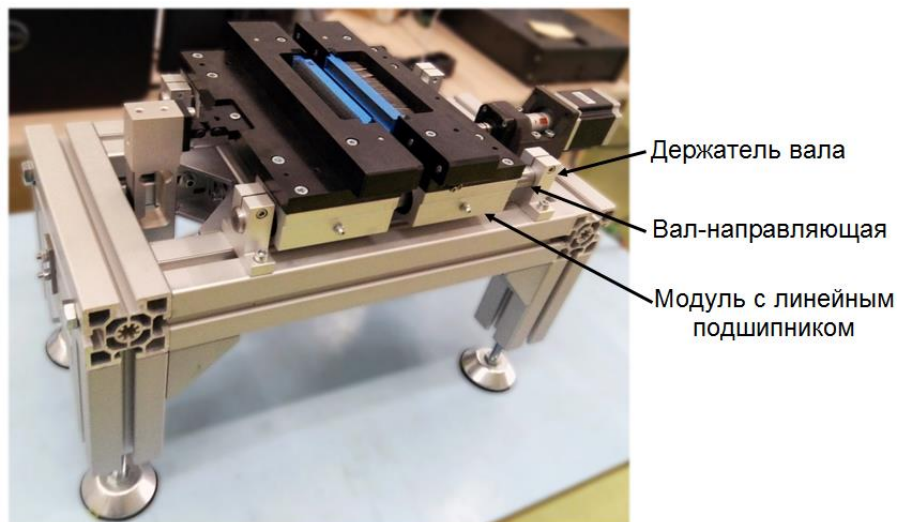


Рисунок 4.9 – Установка для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС с цилиндрическими направляющими

В свою очередь, фактическое определение силы трения в профильных [84] и цилиндрических [81, 155] направляющих осуществлялось при помощи переоборудованной под проведение эксперимента установки для измерения силы сочленения и расчленения пар ЭС (окончательная конструкция которой будет представлена позднее). Кинематическая схема данного стенда представлена на рисунке 4.10 а, конструкция – на рисунке 4.10 б.

Экспериментальная установка состоит из двух подвижных плит (9, 10), соединенных между собой тензометрическим датчиком силы (8) через кронштейн (6), кулисный механизм (7) и уголок (12). Плита перемещается по направляющим (11) при помощи кареток (13). Само движение осуществляется ШД [177] (1), вал которого соединен через муфту (3) с винтом ШВП [174] (5). ШД

крепится к основанию из алюминиевого профиля (14) [123] при помощи держателя (2). Винт ШВП закреплен в подшипниковых опорах [175] (4) [17].

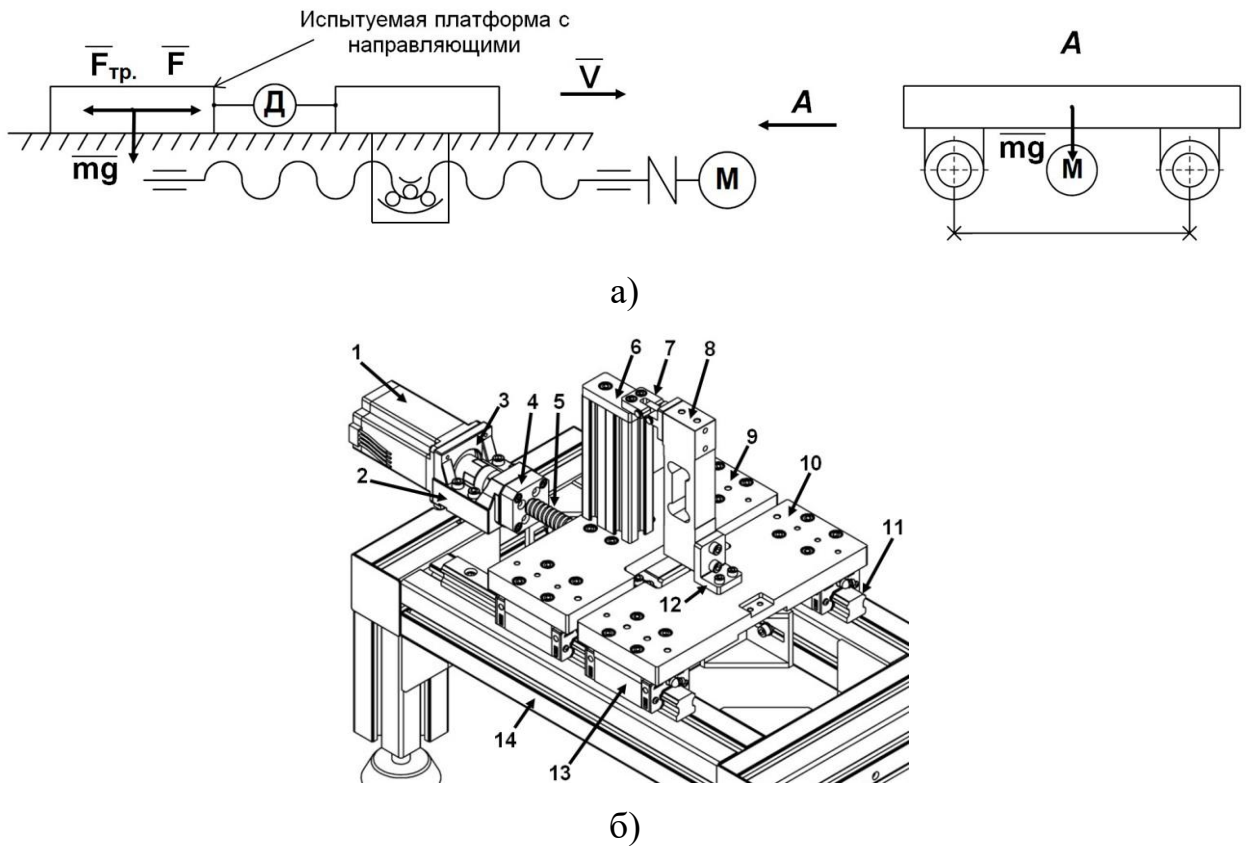
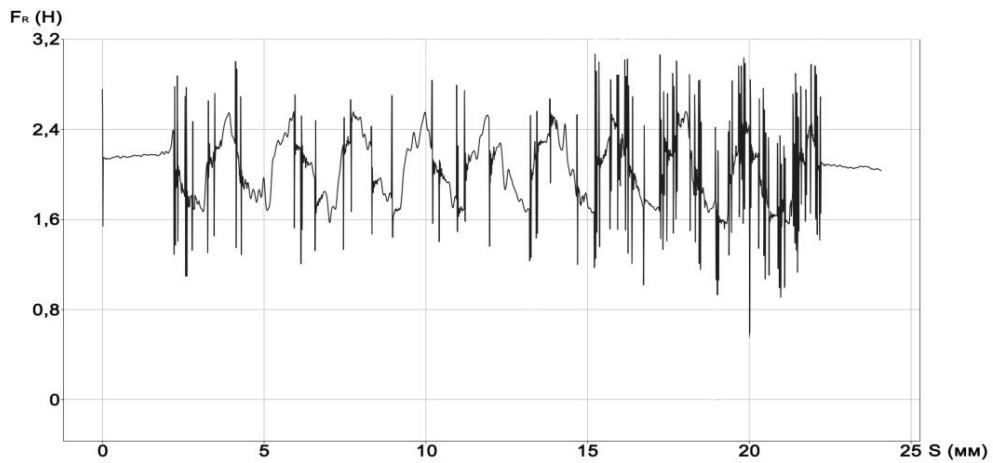
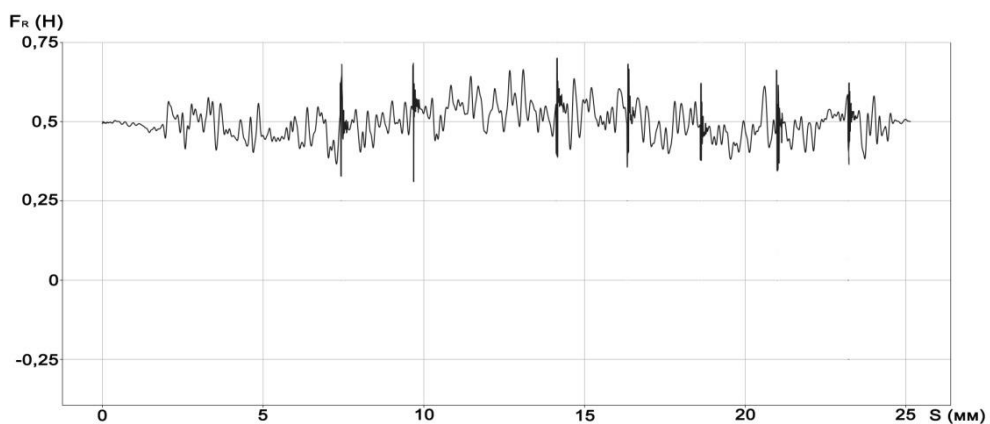


Рисунок 4.10 – Стенд для проведения эксперимента по определению силы трения в линейных направляющих: а) кинематическая схема; б) конструкция

При измерении силы трения подвижная плита равномерно перемещалась со скоростью 10 мм/с без ускорения на расстояние 25 мм. При этом возникающая в направляющих сила трения фиксировалась тензометрическим датчиком. Сигнал тензодатчика обрабатывался специализированным модулем обработки, описанным ранее, и записывался на SD-карту. Полученные данные обрабатывались на внешнем компьютере. Примеры полученных результатов при перемещении по профильным и цилиндрическим направляющим представлены на рисунке 4.11 а и б соответственно. По оси абсцисс откладывалось расстояние перемещения подвижной плиты в мм, а по оси ординат – сила, регистрируемая тензодатчиком в Н [17].



а)



б)

Рисунок 4.11 – Результаты измерения силы трения подвижной плиты:

а) по профильным направляющим; б) по цилиндрическим направляющим

Было установлено, что в процессе перемещения подвижной плиты в линейных направляющих возникают микровибрации, которые могут передаваться на измерительную часть установки. Эти помехи тесно связаны с силой трения и могут, в свою очередь, вносить дополнительную погрешность при высокочувствительном измерении прикладываемой «полезной» силы, кратной величине колебания тензодатчика при перемещении подвижной плиты.

Стенд для определения погрешности при прецизионном измерении силы, связанной с микровибрациями в линейных подшипниках при перемещении шариков внутри каретки в общем виде, состоит из модуля линейного перемещения и измерительного блока. Кинематическая схема стенда в этом случае представлена на рисунке 4.12 а, а устройство – на рисунке 4.12 б [17].

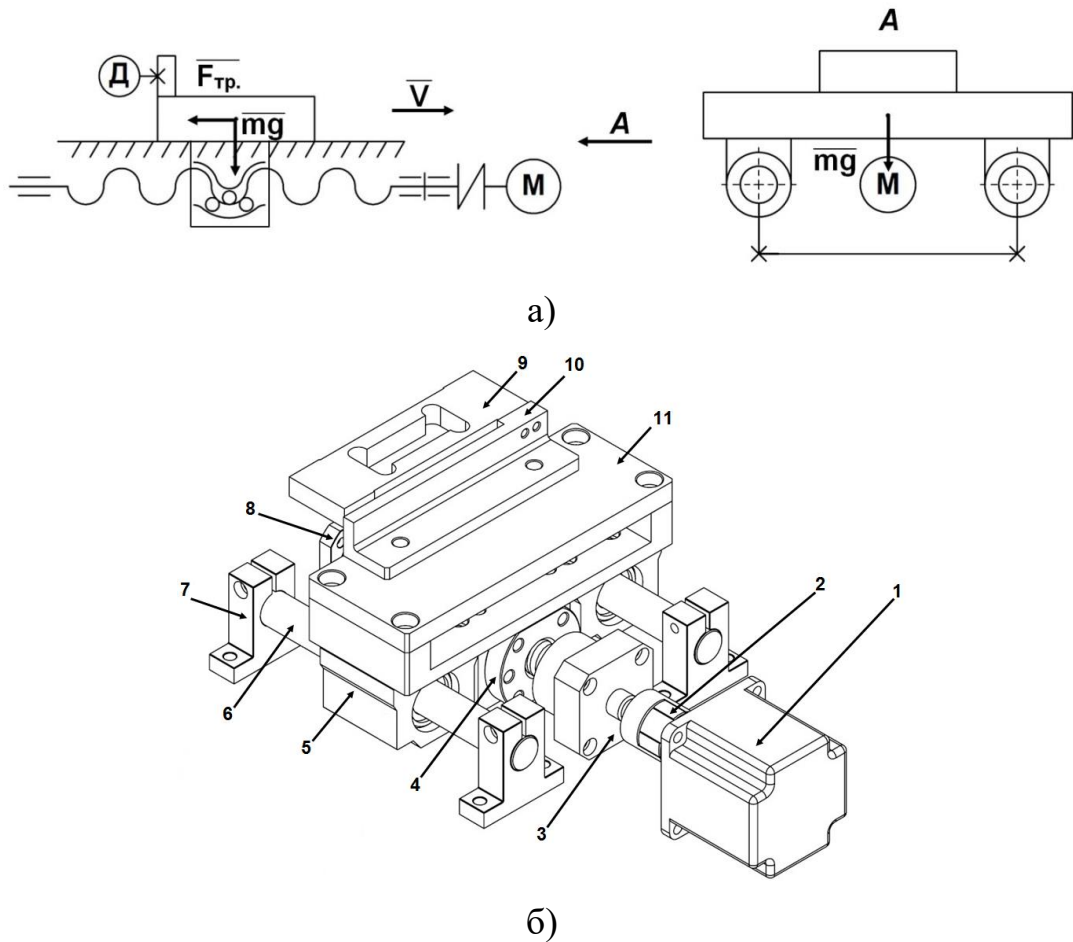
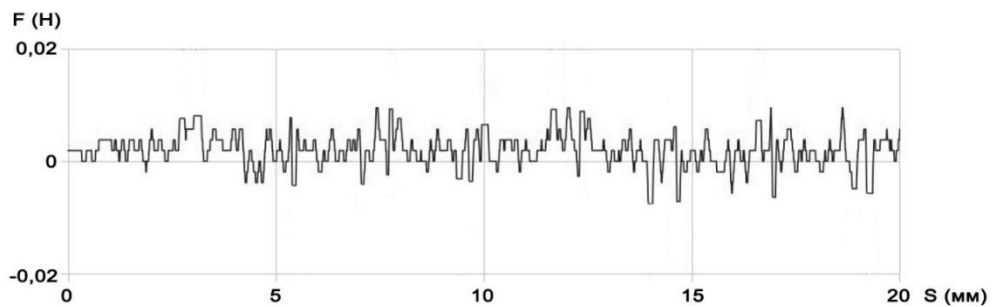


Рисунок 4.12 – Стенд для определения силы от микровибраций при перемещении шариков внутри каретки: а) кинематическая схема; б) конструкция

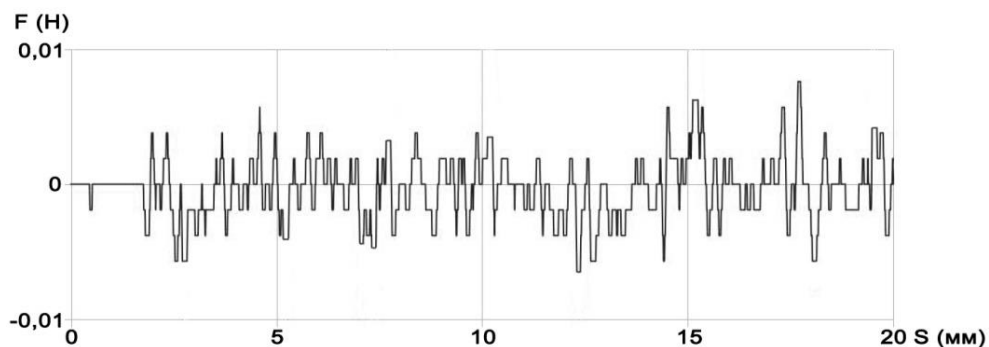
Модуль линейного перемещения состоит из подвижной плиты (11), ШД (1), муфты (2), ШВП [174] (4), подшипниковых опор винта [175] (3, 8), модулей с линейным подшипником (5), направляющих (6) и в случае применения цилиндрических валов – держателей направляющих (7). Тензодатчик (9) [188] крепится к подвижной плите при помощи кронштейна (10) [17].

Экспериментальные исследования по определению силы от микровибраций проводились для различных модулей линейного перемещения: модулей с цилиндрическими направляющими [81, 155, 176] $\varnothing 12$ и $\varnothing 16$ мм, модуля с профильными направляющими 15-го типоразмера. Подвижная плита равномерно перемещалась со скоростью 10 мм/с на расстояние 20 мм.

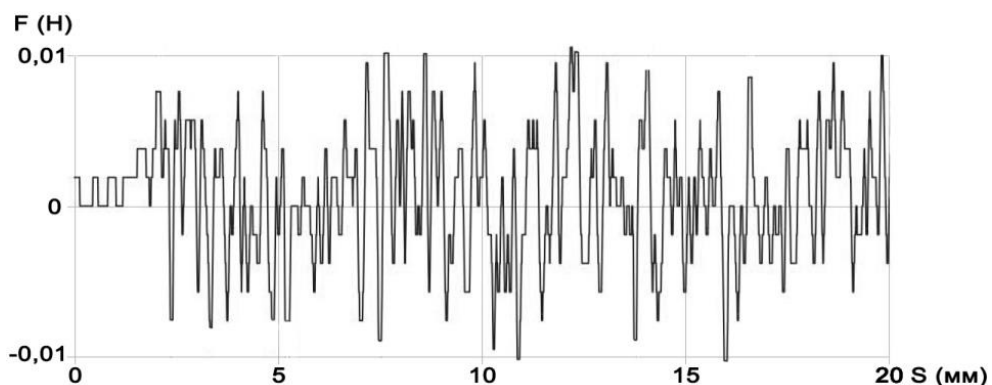
На рисунке 4.13 представлены результаты измерения сил, фиксируемых датчиком, в процессе перемещения подвижной плиты [17].



а)



б)



в)

Рисунок 4.13 – Изменение силы от микровибраций на модуле линейного перемещения: а) с цилиндрическими направляющими $\varnothing 12$ мм;
 б) с цилиндрическими направляющими $\varnothing 16$ мм;
 в) с профильными направляющими 15-го типоразмера

Анализ рисунка 4.13 показывает, что при движении подвижной плиты создаются микровибрации, регистрируемые тензодатчиком, что создает определенную погрешность в процессе проведения измерений.

Во всех проведенных экспериментах по определению влияния силы трения и микровибраций при перемещении подвижной плиты на результаты проводимых испытаний использовались направляющие с диаметром шариков 3,175 мм со стандартным преднатягом ZA для профильных направляющих и без преднатяга для цилиндрических. Дополнительные уплотнения и скребки не использовались. Все измерения проводились при температуре окружающей среды 20 °С. В качестве смазывающего материала для направляющих использовалась спрей-смазка на силиконовой основе (ASTRONIM AC-4615). В используемых модулях линейного перемещения применялся один и тот же электропривод и тип ШВП с диаметром винта 16 мм и шагом 5 мм. Обобщенные результаты экспериментов представлены в таблице 4.1 [17].

Таблица 4.1 – Результаты измерения силы трения и погрешности при микровибрациях, создаваемых в линейных подшипниках

№ МЛП	Тип линейных направляющих	Преднатяг, Н	Масса подвижной плиты, кг	Расстояние между направляющими, мм	Сила трения, Н
1	Цилиндрические Ø 20 мм	0	3,3	180	0,49
2	Профильные шириной 25 мм	1324	3,5	208	1,96
3	Цилиндрические Ø 12 мм	0	1,3	96	0,01
4	Профильные шириной 15 мм	569	1,2	90	0,2
5	Цилиндрические Ø 16 мм	0	1,9	100	0,011

Анализ полученных данных (таблица 4.1 и рисунок 4.13) показывает, что наиболее оптимальными с точки зрения минимальной силы трения и погрешности при измерении силы, обусловленной микровибрациями при перемещении подвижной плиты, являются цилиндрические направляющие [155]. Обычно сепаратор втулок кареток таких направляющих изготовлен из пластика, который обеспечивает меньшую передачу величины микровибраций, а также меньшую силу

трения [128] в отличие от профильных направляющих [84], в которых шарики перекатываются по металлическим дорожкам [17].

При выборе оптимального типоразмера пары линейных цилиндрических направляющих для рассматриваемой АСУ определены параметры максимальных деформаций валов (в мм) и напряжений (в Па) (рисунок 4.14), возникающих при сочленении и расчленении пар ЭС. Моделирование осуществлялось в САПР SolidWorks, при этом к рабочим поверхностям технологической оснастки, описанной в главе 2, прикладывалась сила 490 Н, т.е. эмитировался процесс смыкания и размыкания разъемов.

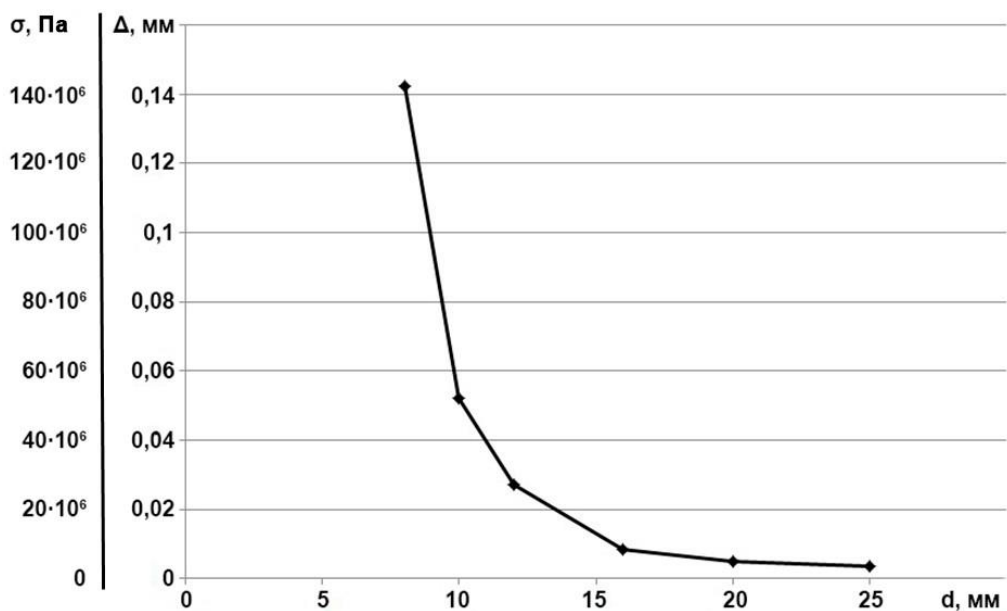


Рисунок 4.14 – Зависимость деформации и напряжения от диаметра цилиндрических направляющих, применяемых в измерительной установке

Т.к. наиболее оптимальные габаритные размеры имеют модули с линейным подшипником для направляющих до $\varnothing 20$ мм, а также учитывая представленные на рисунке 4.14 данные, то целесообразен выбор цилиндрических направляющих $\varnothing 20$ мм.

Таким образом, минимальный диапазон измеряемой силы установки для автоматизированного определения силы сочленения–расчленения ЭС будет не менее величины двухкратной силы трения в направляющих:

$$0,49 \cdot 2 = 0,98 \text{ (Н)}, \quad (4.1)$$

4.2.2. Разработка компенсирующего механизма крепления неподвижной базовой плиты с тензодатчиком

Ранее при описании структуры и алгоритма работы АСУ сил сочленения и расчленения пар ЭС использовалась терминология: базовая подвижная и базовая неподвижная плиты. При этом первая из них перемещается по направляющим от привода через ШВП. Вторая же связана с тензодатчиком и в действительности не является стационарно неподвижной. Это обусловлено тем, что при приложении к тензометрическому датчику силы, тот в свою очередь испытывает деформацию, которая приводит к появлению сигнала разбалансировки тензометрического моста, и, следовательно, указанная плита смещается из исходного положения на величину деформации тензодатчика. С учетом того, что вышеописанная плита имеет только одну степень свободы вдоль оси перемещения по направляющим, то узел крепления с тензодатчиком требует дополнительной проработки, т.к. он должен обеспечивать передачу силы, возникающей при сочленении и расчленении испытуемых ЭС к деформируемому датчику без искажений и ограничений.

В связи с тем, что в выбранном диапазоне регистрируемых сил (от 0,98 до 490 Н) используются только тензодатчики одноточечного типа (англ. – «Single Point»), то в разрабатываемой установке будет применяться именно этот тип, схема деформации для которого представлена на рисунке 4.15 [6, 15, 16].

Расчет деформации тензометрического датчика типа «Single Point», выполненный в САПР SolidWorks, показывает, что при прикладывании силы по оси сочленения–расчленения ЭС в тензодатчике кроме деформации dX также возникает деформация в перпендикулярном направлении – dY [6, 15, 16].

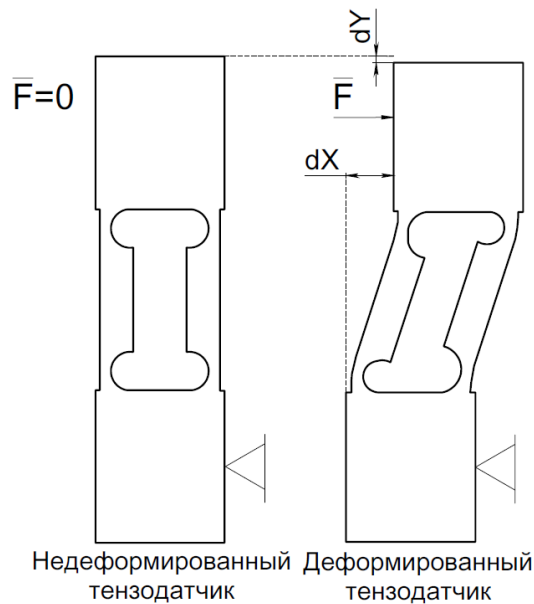
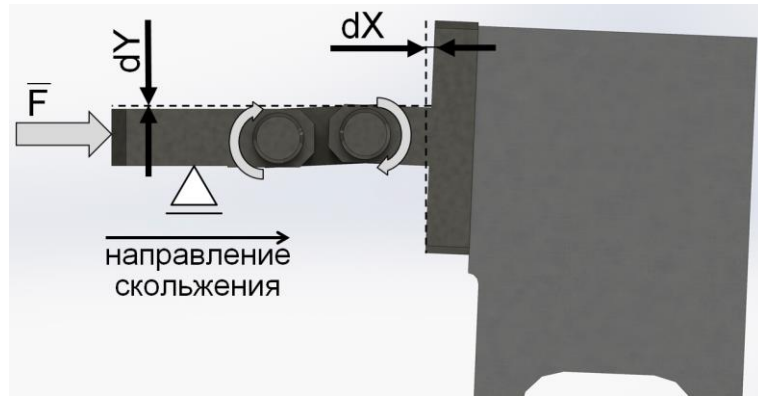


Рисунок 4.15 – Схема деформации тензодатчика типа «Single Point»

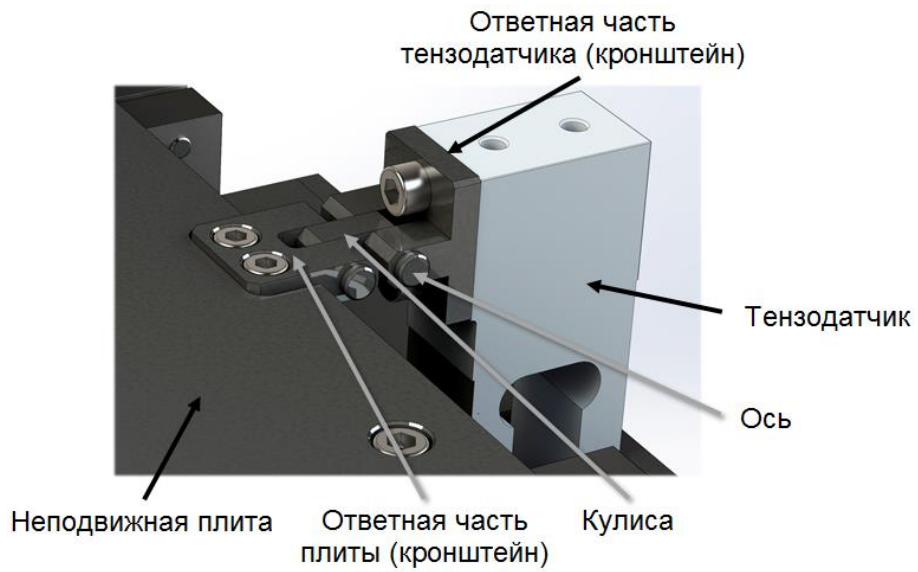
При необходимости смещение dX может компенсироваться перемещением неподвижной плиты по направляющим. В случае «жесткого» (неподвижного) крепления тензометрического датчика к неподвижной плите деформацию dY скомпенсировать нельзя. В таком случае зарегистрированная во время проведения испытаний сила будет отличной от реальной за счет сужения диапазона деформаций dX и dY . Таким образом, для обеспечения высокоточного измерения силы сочленения–расчленения ЭС необходимо обеспечить дополнительную степень свободы по оси Y , т.е. компенсировать возникающую деформацию dY . Это возможно благодаря применению в конструкции крепления неподвижной плиты с тензодатчиком компенсирующего механизма, который должен [15]:

- компенсировать деформацию тензодатчика по осям X и Y за счет смещения подвижного элемента механизма на величину dX и dY ;
- не вносить дополнительных погрешностей на результаты измерения, а также погрешностей при перемещении базовых плит.

В качестве механизма, способного выполнять описанные функции, может быть использован трехзвенный шарнирный механизм (рисунок 4.16), соединенный осями. При этом компенсация деформации тензодатчика на величину dX и dY будет осуществляться за счет поворота кулисы и ответной части тензодатчика [15].



а)



б)

Рисунок 4.16 – Компенсирующий кулисный механизм:

а) отклонения, вызванные деформацией тензодатчика; б) конструкция

На рисунке 4.17 представлены результаты моделирования деформации dY для тензодатчика в САПР SolidWorks с приложением силы $F=480$ (Н) при различных вариантах крепления с неподвижной плитой.

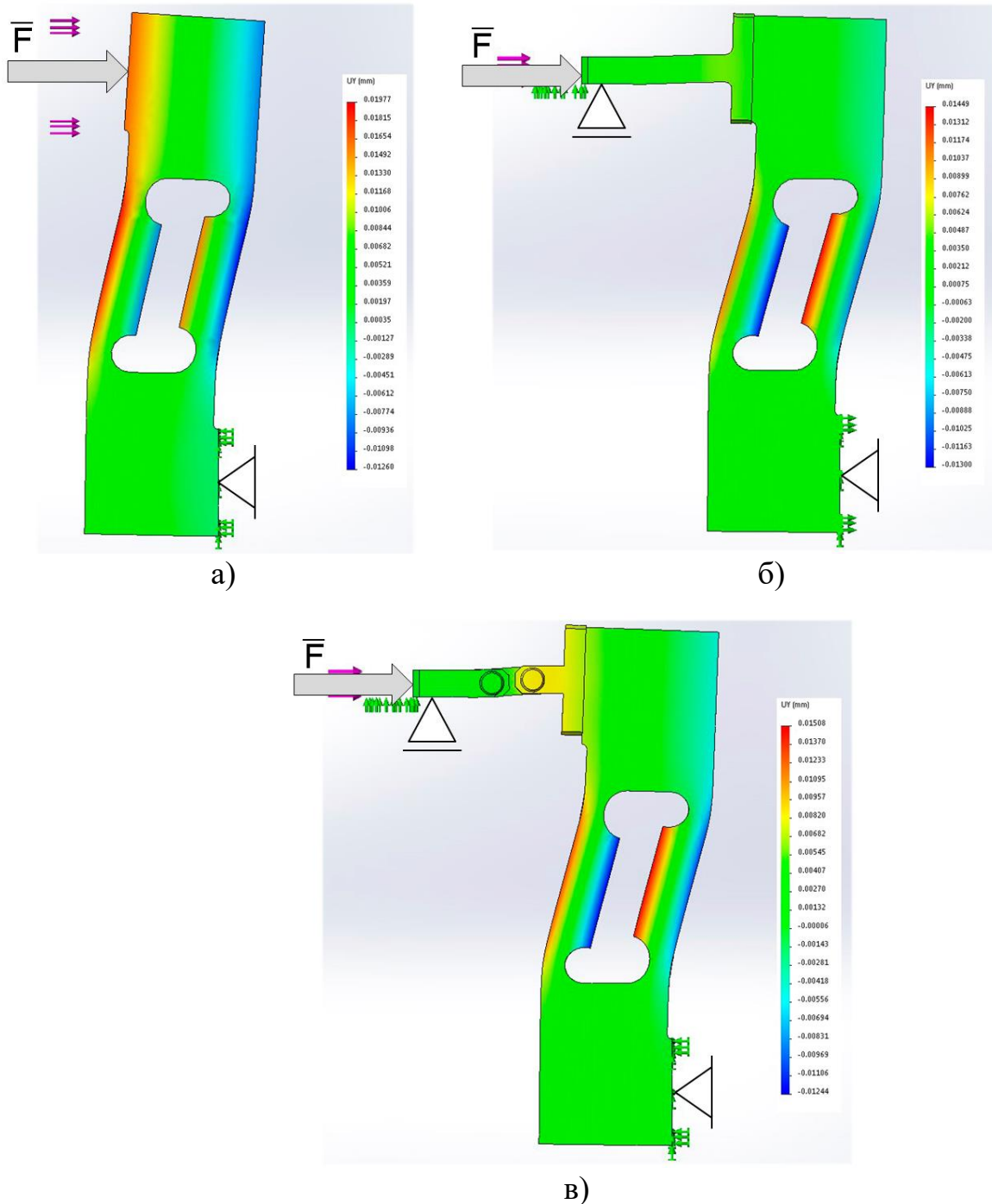


Рисунок 4.17 – Результаты моделирования смещения dY для тензодатчика:

- а) без узла крепления с неподвижной плитой (свободный конец, воспринимающий силу); б) с применением однозвенного кронштейна (жесткая связка);
- в) с применением трехзвенного компенсирующего механизма (гибкая связка)

Для определения влияния типа конструкции узла крепления неподвижной плиты с тензодатчиком на регистрируемые результаты измерений построены графики зависимости смещения dX , dY , а также величины полной деформации

ESTRN, полученные при моделировании в САПР от величины прикладываемой силы F (рисунок 4.18) [15]. Величина ESTRN прямопропорциональна величине изменения сопротивления тензорезисторов, а как следствие – значению регистрируемой силы.

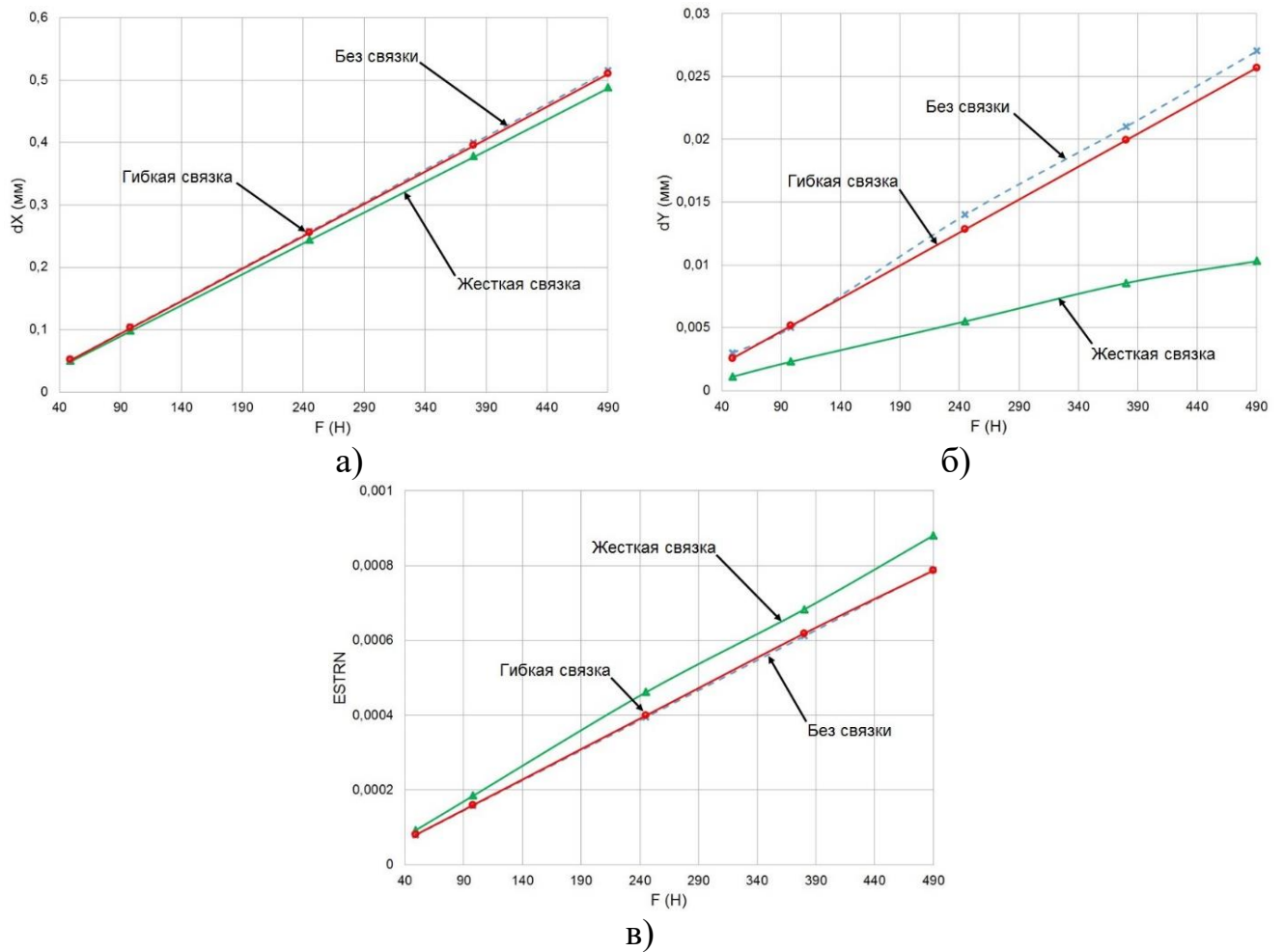


Рисунок 4.18 – Влияние способа крепления тензодатчика с неподвижной плитой на результаты проводимых испытаний: а) график зависимости смещения dX от силы F ; б) график зависимости смещения dY от силы F ; в) график зависимости деформации ESTRN от силы F

Все измерения фиксировались для участков, на которых расположены тензорезисторы применяемого тензодатчика. На рисунке 4.19 эти участки обозначены зонами А, В, С, D.

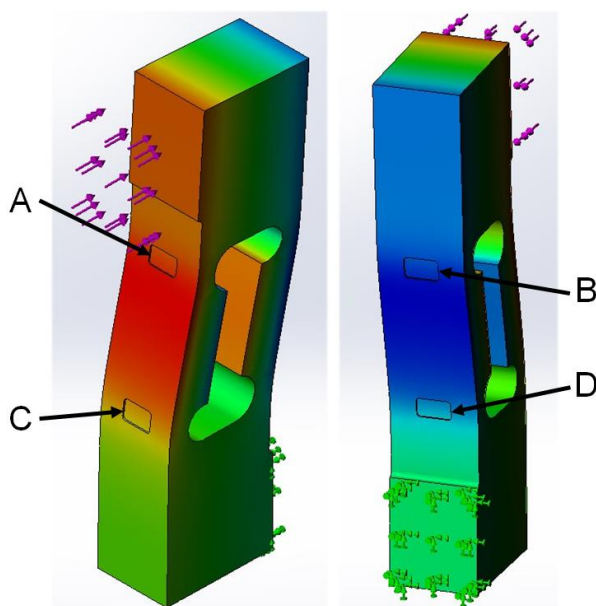


Рисунок 4.19– Расположение тензорезисторов в деформируемом тензодатчике типа Single Point

Анализ полученных данных показывает, что погрешность регистрируемой силы с применением в конструкции АСУ силы сочленения–расчленения пар ЭС компенсирующего кулисного механизма будет составлять 1 % относительно схемы, где второй конец тензодатчика, воспринимающий силу, не закреплен. В случае «жесткого» типа крепления погрешность составляет 18 % [15].

В связи с этим применение разработанного компенсирующего узла соединения неподвижной плиты с тензодатчиком обосновано и целесообразно.

4.2.3. Разработка установки для автоматизированного измерения силы сочленения и расчленения пар ЭС

На рисунке 4.20 представлена разработанная автоматизированная установка, позволяющая измерять силу сочленения и расчленения пар ЭС за один цикл испытания с заданными параметрами. Данная установка состоит из базовой механической части и сменной технологической оснастки под конкретный тип испытуемого ЭС [1, 9, 24, 74, 75, 122].

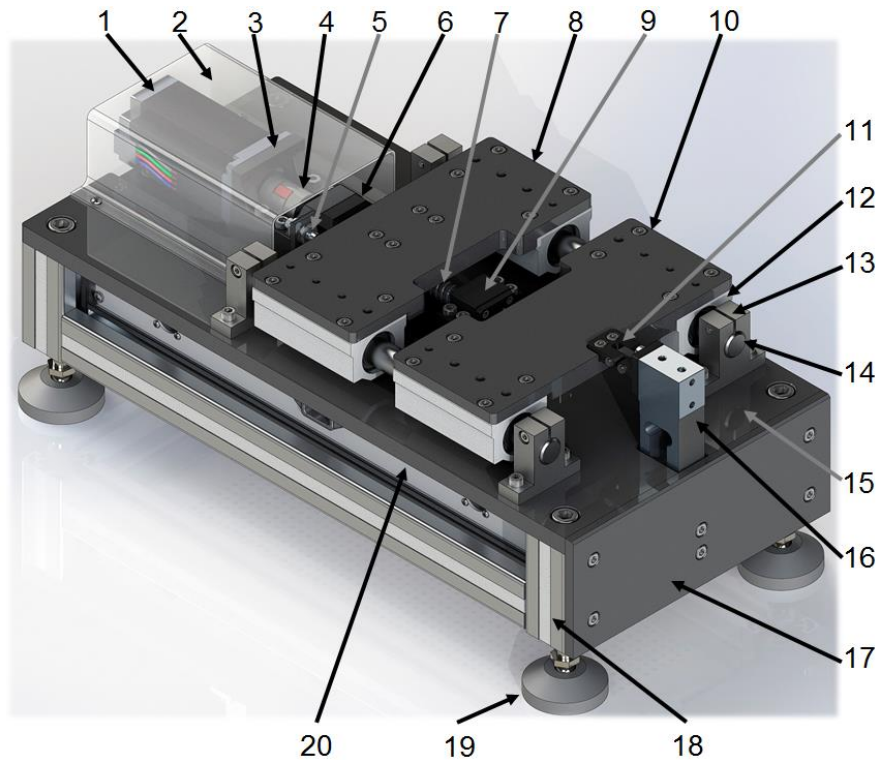


Рисунок 4.20 – Конструкция автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения ЭС

Базовая механическая часть состоит из основания (15), соединенного с каркасом из алюминиевого конструкционного профиля (18) [123], в который вкручены опоры (19), двух базовых плит: подвижной (8) и неподвижной (10). Подвижная плита приводится в движение приводом (1) через муфту (4) и ШВП [174] (7). Привод, в свою очередь, крепится к основанию при помощи кронштейна (3). Винт ШВП закреплен в двух подшипниковых опорах [175] и фиксируется в осевом направлении стопорной гайкой. Для большей жесткости системы линейного перемещения в установке применены фиксирующие опоры серии FK (6) и BK (9) с дуплексными радиально–упорными подшипниками [1, 9, 24, 122]. Длина винта и расположение крепления опор выбрано таким образом, чтобы при размыкании базовых плит на 5 мм частицы износа поверхностей контактов и изоляторов испытуемых ЭС не падали на винт ШВП.

В АСУ с целью сокращения экономических затрат вместо сервопривода применен двухполюсный ШД модели PL57H110-D8 [177] с номинальным крутящим моментом 2,8 Н·м.

Конструкция базовых плит позволяет центрировать и закреплять технологическую оснастку разной ширины. Для этого используются штифтовые и винтовые отверстия, расположенные диагонально. Это обеспечивает оперативную установку оснастки на плитах с гарантированной точностью позиционирования 0,04 мм.

Перемещение подвижной и неподвижной плит осуществляется по цилиндрическим направляющим [176] (14), закрепленным в держателях (13), через модули с двойным линейным подшипником (12).

Тензометрический датчик (16) одним концом неподвижно закреплен на поперечине (17), а вторым связан с неподвижной плитой при помощи компенсационного кулисного механизма (11) [1, 9, 24, 74, 75, 122].

Калибровка исходного положения подвижной плиты перед началом проведения измерения осуществляется при помощи прецизионного датчика механического касания (5), аналогичному тому, который применяется в осях X и Y установки для измерения силы сочленения–расчленения контактов ЭС с контрольным штырем калибром. Датчик закреплен на кронштейне, связанном с основанием [9].

Блок электрической части (20), в котором расположены элементы управления установкой и элементы преобразования электрических сигналов, интегрирован в каркас.

Защитный кожух из прозрачного оргстекла (2) предотвращает попадание сторонних предметов на вращающиеся элементы системы перемещения.

Внешний вид реализованной автоматизированной установки для измерения силы сочленения и расчленения пар ЭС представлен на рисунке 4.21.

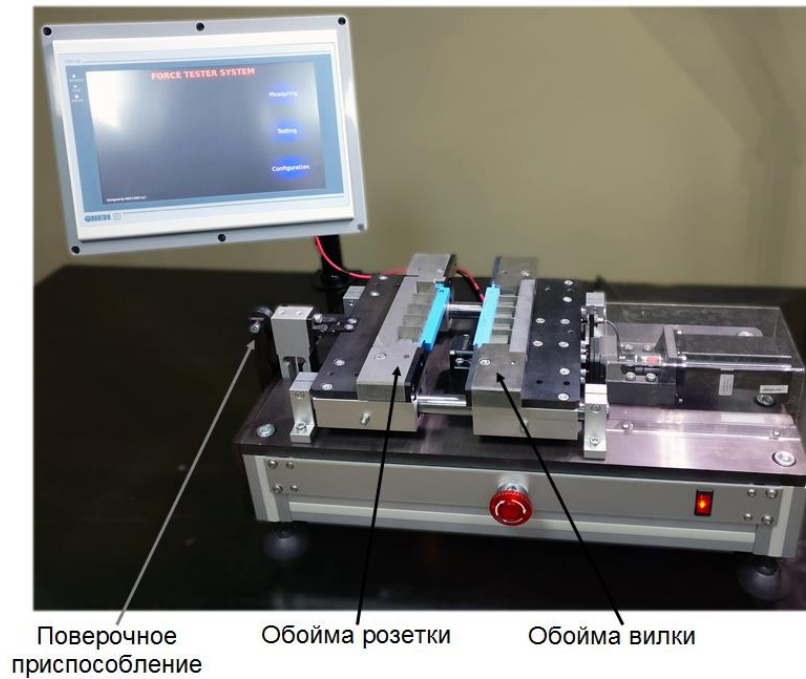


Рисунок 4.21 – Автоматизированная установка для измерения сил сочленения и расчленения пар ЭС

В связи с тем, что данная установка относится к классу измерительных устройств, то для нее обязательна процедура прохождения сертификации и поверки. Для этого в конструкции установки предполагается использование специального съемного поверочного приспособления. Данное приспособление представляет собой кронштейн с роликом, выполняющим роль блока, через который протягивается тросик, к которому прикрепляется калиброванный груз. При этом точностью измерения силы при поверке будет являться разность веса калиброванной гири и показания тензодатчика [189], отображаемого на экране сенсорной панели. Полученная погрешность будет являться погрешностью от электрической части установки и состоит из погрешности работы электрических узлов тензодатчика и АЦП модуля обработки сигнала с тензометрического датчика.

Однако существует еще и погрешность от механической части измерительной установки, которая складывается из погрешности поворота вала ШД, погрешности от ШВП, погрешности изготовления и установки направляющих, люфтов в подвижных частях, погрешности, связанной с упругими

деформациями элементов измерительной системы, погрешности механических узлов тензодатчика и т.д.

4.2.4. Экспериментальное определение точности АСУ ОК силы сочленения – расчленения пар ЭС

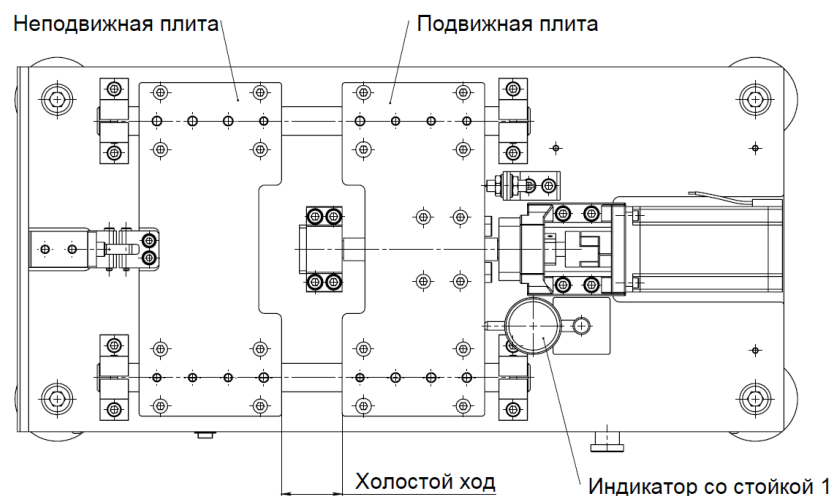
Определение фактических характеристик точности ранее описанной механической части АСУ было разбито на два этапа [24]:

1) определение точности позиционирования в ненагруженном состоянии базовых плит;

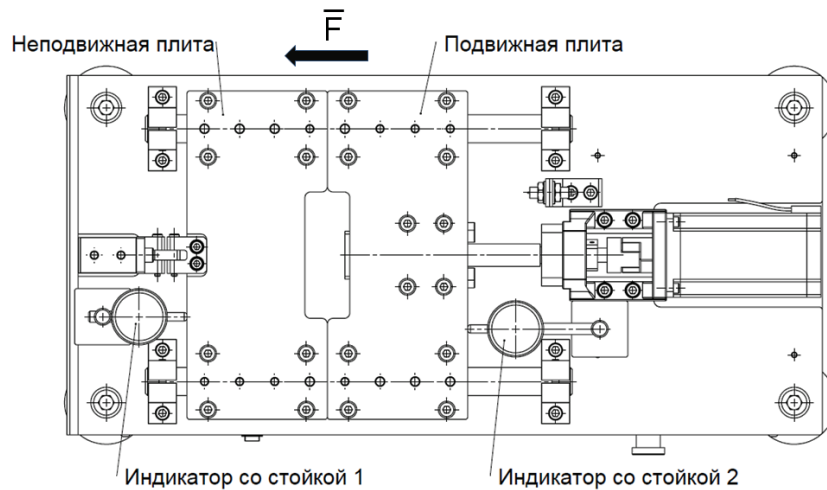
2) определение точности позиционирования в нагруженном состоянии.

Ненагруженное состояние характеризуется отсутствием воздействия подвижной плиты на неподвижную, т.е. подвижная плита перемещается свободно в пределах холостого хода. Этот участок определяет точность позиционирования при предварительном перемещении испытуемых разъемов до начала процесса сочленения–расчленения, а именно, до того момента, пока к неподвижной плите установки не будет приложена сила со стороны подвижной.

Схема эксперимента по определению точности позиционирования базовых плит представлена на рисунке 4.22 [24].



а)



б)

Рисунок 4.22 – Схема определения точности позиционирования установки:

а) в ненагруженном состоянии; б) в нагруженном состоянии

Во время определения точности позиционирования установки в ненагруженном состоянии подвижная плита реверсивно перемещалась на разные расстояния в пределах холостого хода. Фактическое положение измерялось при помощи индикатора часового типа, закрепленного на магнитной стойке. Позиционное отклонение подвижной плиты определялось как разность между заданным на СПК расстоянием перемещения и фактически измеренным. При этом точность позиционирования составила $\pm 0,01$ мм, а повторяемость $\pm 0,005$ мм [24, 63, 86].

Вторая часть эксперимента заключалась в следующем: осуществлялась процедура поиска точки смыкания базовых плит, после чего подвижная плита перемещалась в направлении смыкания с неподвижной плитой с дискретностью перемещения 0,05 мм на расстояние 0,6 мм. При этом реальное перемещение обеих плит отдельно фиксировалось при помощи двух индикаторов часового типа, закрепленных на стойках. Эксперимент был проведен три раза, после чего стойки с закрепленными в них индикаторами, менялись местами, и эксперимент повторялся трижды [24].

Погрешность положения базовых плит определялась как разница реальных и заданных положений. Отдельно определялась разница положений между двумя

плитами, которая вызвана упругими деформациями в плитах и ШВП, люфтом в гайке ШВП [144, 145]. Полученные при этом результаты представлены на рисунке 4.23 [24].

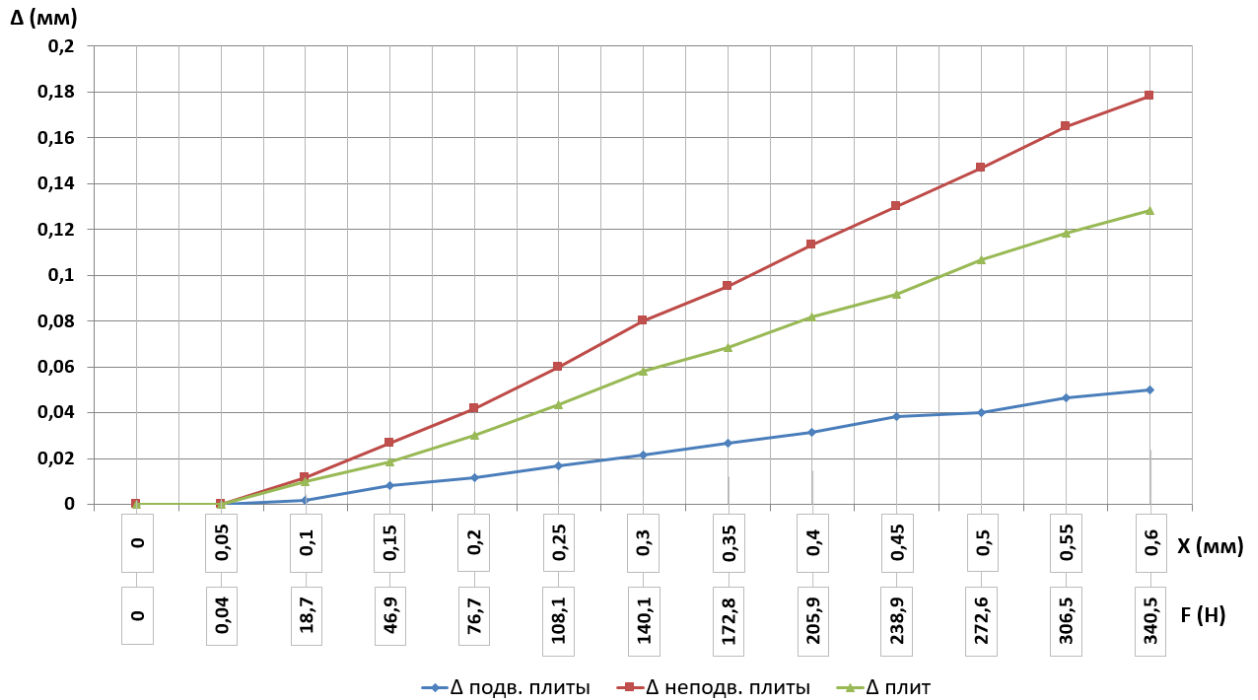


Рисунок 4.23 – Зависимость погрешности положения плит от расстояния перемещения в нагруженном состоянии

Таким образом, точность позиционирования подвижной плиты измерительной установки составила 0,05 мм, а максимальное отклонение положений базовых плит, обусловленное упругими деформациями элементов перемещения и преднатягом в гайке ШВП, составило 0,13 мм [24, 86].

4.3. Разработка модернизированной установки для автоматизированного измерения силы сочленения и расчленения миниатюрных ЭС

Разработанная автоматизированная установка для измерения силы сочленения и расчленения пар ЭС не позволяет проводить испытания миниатюрных разъемов, сила сочленения–расчленения которых составляет менее чем 0,98 Н. Это связано с силой трения в направляющих, на которые опирается неподвижная базовая плита, связанная с тензометрическим датчиком.

Одним из способов уменьшения силы трения в направляющих без изменения концептуальной схемы установки (с горизонтальной осью сочленения–расчленения) может быть изменение типоразмера цилиндрических направляющих с одновременным применением одинарных линейных подшипников вместо сдвоенных. Подобные мероприятия позволят снизить значение силы трения до величины 0,098–0,284 Н (10 – 30 гс), что соответственно позволит снизить минимальный диапазон измеряемой силы до 0,196–0,588 Н (20 – 60 гс). Так же может быть осуществлена замена типа направляющих с более низким коэффициентом трения: гидростатические, магнитные, аэростатические. Однако применение таких направляющих приводит к значительному увеличению стоимости измерительной установки [6, 16].

Альтернативным и наиболее целесообразным решением в этом случае может быть модернизация установки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС, при которой неподвижная базовая плита устанавливается непосредственно на тензодатчик. В этом случае необходимо учитывать возникающие деформации тензодатчика dX и dY во время проведения испытаний [6, 16].

При помощи реализованной АСУ сил сочленения–расчленения пар ЭС было экспериментально определено, что применяемая серия тензометрического датчика в рабочем диапазоне измеряемых сил деформируется по оси X на величину до 0,8 мм при линейной зависимости величины деформации от приложенной силы (с достоверностью аппроксимации 99,98 %). На рисунке 4.24 представлен график зависимости величины регистрируемой силы (в Н) в зависимости от деформации dX (в мм) [6, 16].

Фактическое измерение возникающей деформации dY тензодатчика вызывает ряд сложностей, в связи с этим для оценки ее величины в зависимости от приложенной силы, было использовано численное моделирование в среде SolidWorks. Для подтверждения корректности результатов моделирования использовались результаты $F(dX)$, представленные ранее. Так же рассчитывался угол несоосности ЭС, установленного на тензодатчике через промежуточную плиту, относительно оси сочленения–расчленения. Данный угол равен:

$$\varphi = \arctan (dY/dX), \quad (4.2)$$

Результаты моделирования представлены в таблице 4.2 [6, 16].

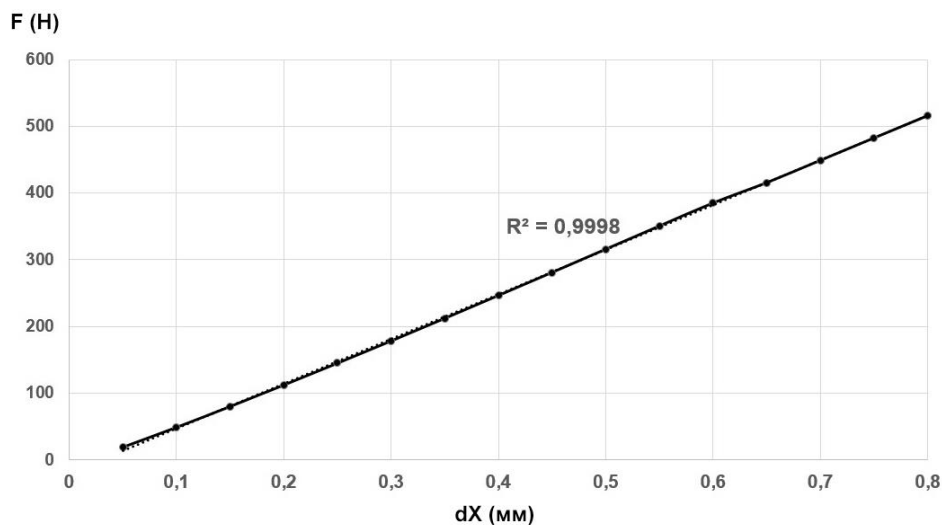


Рисунок 4.24 – Зависимость деформации dX тензодатчика Single Point серии L6N от величины приложенной силы

Таблица 4.2 – Результаты моделирования тензодатчика Single Point L6N

dX , мм	Материал: Д16Т		Материал: 12X18H10Т		Материал: Сталь 40X	
	dY , мм	φ , °	dY , мм	φ , °	dY , мм	φ , °
0,1	0,006	3,434	0,006	3,434	0,006	3,434
0,2	0,012	3,434	0,012	3,434	0,012	3,434
0,3	0,018	3,434	0,017	3,243	0,017	3,243
0,4	0,024	3,434	0,023	3,291	0,023	3,291
0,5	0,03	3,434	0,029	3,319	0,029	3,319
0,6	0,035	3,338	0,035	3,338	0,035	3,338
0,7	0,041	3,354	0,041	3,352	0,041	3,352
0,8	0,047	3,362	0,046	3,291	0,046	3,291

Таким образом, среднее значение угла возникающей несоосности составляет 3,4 °, слабо зависит от величины приложенной силы и материала тензодатчика.

Исходя из того, что все номиналы тензодатчиков серии L6N (с различной максимально воспринимаемой силой в диапазоне от 29,4 до 980 Н) обладают одинаковой чувствительностью 2 мВ/В, то они испытывают одинаковую деформацию dX и dY при прикладывании не только номинальной нагрузки. Эта особенность в случае необходимости позволяет вычислить, какое значение силы (F) будет регистрировать тензометрический датчик по смещению dX по формуле:

$$F = dX \cdot F_{\text{НОМ.}} / dX_{\text{НОМ.}}, \quad (4.3)$$

где dX – заданное смещение тензодатчика по оси X (мм); $dX_{\text{НОМ.}}$ – фактически определенное значение смещения тензодатчика по оси X при помощи разработанной АСУ (мм); $F_{\text{НОМ.}}$ – фактически определенное значение силы, зарегистрированное при смещении $dX_{\text{НОМ.}}$ на разработанной АСУ (см. рисунок 4.24).

В том случае, если угол наклона ЭС, равный 3,4 °, во время проведения испытания допустим, а величина смещения dY играет важную роль, то возможно искусственное ограничение смещения dY за счет использования тензодатчика с большим пределом измерения, у которого при заданной силе величина dY будет меньше допустимой величины смещения при соответствующем меньшем значении dX . Тогда минимальное фиксируемое значение силы будет определяться разрешающей способностью используемой схемы обработки сигнала тензодатчика и погрешностью измерения выбранного типоразмера тензодатчика [6, 16, 189].

Конструкция модернизированной установки для измерения сил сочленения–расчленения пар ЭС со значением, меньшим, чем 0,98 Н представлена на рисунке 4.25 [6].

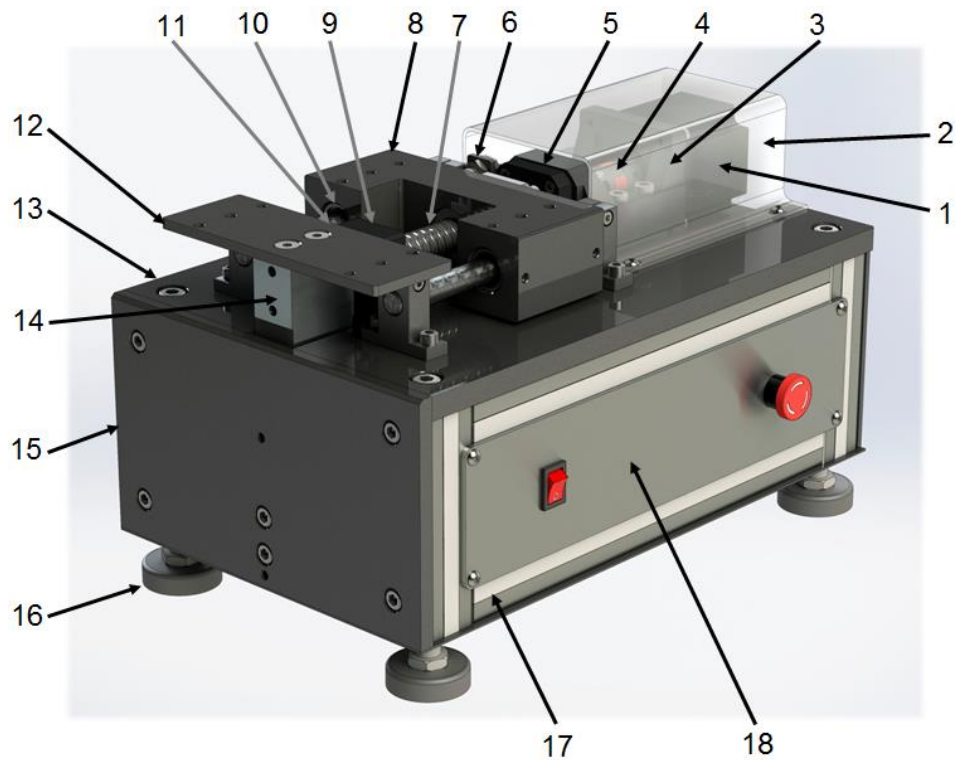


Рисунок 4.25 – Модернизированная установка для проведения испытаний на миниатюрных ЭС

Основание (13) крепится к каркасу из алюминиевого конструкционного профиля (17) [123], опирающегося на ножки (16). Подвижная плита (8) так же перемещается через линейные подшипники (10) по цилиндрическим направляющим (11) [155, 176] при помощи ШД (1) через муфту (4), соединенного с винтом ШВП [174] (7). Однако в целях оптимизации конструкции и минимизации размеров установки подвижная плита является корпусом, к которому крепится гайка ШВП и линейные подшипники. Привод закреплен на кронштейне (3) и закрыт кожухом (2). Винт ШВП крепится в двух опорах (5, 9) [175]. Неподвижная плита (12) опирается на тензометрический датчик (14), крепящийся к поперечине (15). Для определения исходного положения подвижной плиты применяется ранее упомянутый датчик механического касания (6), закрепленный к основанию через кронштейн. Контроллер ШД, блок обработки сигнала тензодатчика, источник питания, кнопки управления расположены в корпусе (18) [6].

4.4. Разработка модернизированной установки для проведения испытаний ЭС на механическую износостойкость

С учетом того, что ЭС также проходит испытание на механическую износостойкость, которую контролируют путем осуществления циклического сочленения соединителей с частотой не более 30 сочленений в минуту около 500–1000 раз с последующим контролем смежных характеристик [8, 28, 59], то возникает идея применения вышеописанной АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС при проведении подобных испытаний. Кроме того, возможность измерения силы сочленения–расчленения во время испытания на износостойкость позволит анализировать состояние соединителя в процессе проведения испытаний в режиме «реального времени» с возможностью остановки процедуры при превышении регистрируемой силы, либо по истечению определенного количества циклов с последующей чисткой и промывкой разъема. Зафиксированная во время испытаний динамика изменения силы сочленения–расчленения позволит проводить более тщательный анализ конкретного типа ЭС на надежность и износостойкость [5, 8, 12].

Заранее следует отметить, что при помощи автоматизированной установки для измерения силы сочленения–расчленения ЭС в процессе 500 последовательных смыканий и размыканий был зафиксирован рост регистрируемой силы в несколько раз. Помимо этого, при значительных количествах сочленений–расчленений (более 100) процесс проведения испытаний может сопровождаться активным образованием продуктов износа контактов и изоляторов соединителей. Так, на рисунке 4.26 а представлен пример участков ЭС, активно подверженных износу, а на рисунке 4.26 б – мелкодисперсные частицы гальванического покрытия контактов и продуктов разрушения изолятора, образующиеся в результате износа.



Рисунок 4.26 – Разрушение ЭС в процессе последовательного сочленения–расчленения: а) внешний вид изношенных контактов;
б) продукты механического износа

Благодаря тому, что в процессе контроля механической износостойкости ЭС не так важна точность измерения силы сочленения–расчленения, как на установке, описанной в параграфе 4.2.3, для достижения большей жесткости целесообразно применение профильных направляющих. Данный тип направляющих обладает увеличенным механическим ресурсом при перемещении, они более устойчивы к нагрузкам, но обладают большей силой трения [128] при перемещении подвижной плиты [5, 8, 12].

Исходя из вышеперечисленного, возникает необходимость разработки автоматизированной установки для испытания на механическую износостойкость ЭС, которая в общем виде будет представлять очередную модернизированную версию установки для автоматизированного измерения силы сочленения–расчленения соединителя.

Прежде всего, вопросы модернизации касаются:

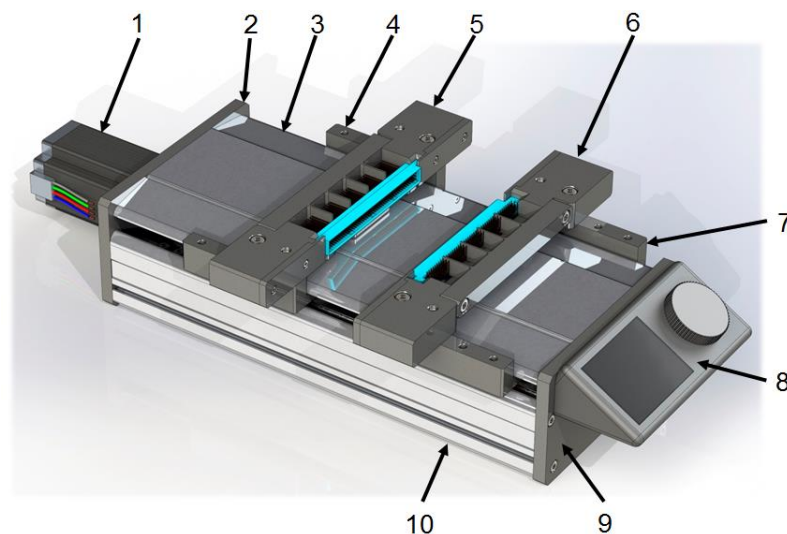
- использования более жесткой конструкции;
- замены типа направляющих;
- более тщательной защиты подвижных узлов установки от попадания продуктов износа ЭС;

– как опция – применение альтернативного устройства управления установкой, и смене ПО.

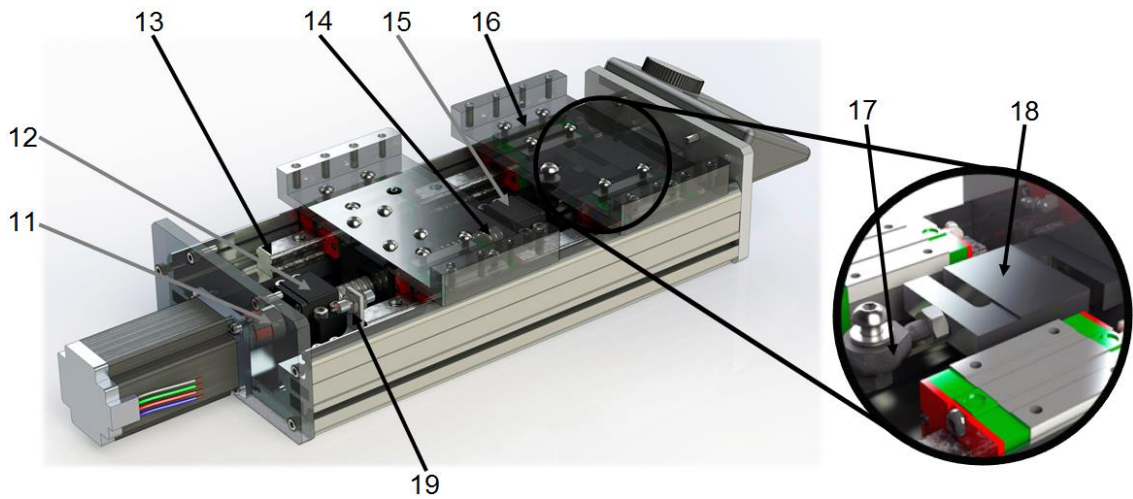
Конструкция предлагаемой установки представлена на рисунке 4.27 [5, 8, 12]. Основанием автоматизированной установки является специализированный экструдированный алюминиевый профиль (10) с передней (2) и задней боковинами (9). Как и в автоматизированной установке для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС, подвижная (4) и неподвижная (7) базовые плиты перемещаются каретками (16) по направляющим (13) при помощи привода (1) через муфту (11) и ШВП [174] (14). Винт ШВП крепится в двух фиксирующих опорах (12, 15) с двойными радиально–упорными подшипниками. Защитная крышка (3) предотвращает попадание продуктов износа ЭС в процессе проведения испытания на подвижные органы установки. Так же с учетом того, что конструкция установки имеет закрытый тип, и измеряет силу в диапазоне до 980 Н (100 кгс), то в этом случае применяется тензодатчик S–типа (18) [5, 8, 12].

В разработанной установке в качестве компенсирующего механизма крепления неподвижной базовой плиты с тензодатчиком рассматривается применение шарового наконечника серии POS/PHS (17) [156].

Контроль начального положения подвижной плиты так же обеспечивается при помощи прецизионного датчика механического касания (19), установленного на кронштейне.



а)



б)

Рисунок 4.27 – Модернизированная установка для проведения испытаний на износостойкость ЭС: а) внешний вид с установленной оснасткой; б) внешний вид без защитной крышки и технологической оснастки

Унифицированная технологическая оснастка (5, 6) с автоматизированной установкой для измерения сил сочленения–расчленения ЭС закрепляется на базовых плитах. Данное конструктивное решение позволяет минимизировать затраты на разработку и изготовление посадочных мест для разъемов при двух типах испытаний.

Т.к. количество изменяемых и редактируемых параметров перемещения и измерения по сравнению с предыдущей версией установки может быть значительно снижено, то в этом случае целесообразно применение специализированного модуля управления (8) собственной разработки с многооборотным энкодером и ЖК дисплеем [8, 12].

В случае необходимости определения величины износа ЭС 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.

4.5. Результаты и выводы по четвертой главе

1. Разработан прототип установки для автоматизированного измерения силы сочленения–расчленения контакта ЭС на базе фрезерно–гравировального станка CNC–2020AL. Проведены первичные измерения.

2. Разработан механизм, обеспечивающий угловую компенсацию погрешности расположения контактов в разъеме по двум плоскостям при проведении испытаний.

3. Разработана и изготовлена альтернативная конструкция АСУ силы сочленения–расчленения контакта штырем–калибром, обеспечивающая максимальное отклонения взаимного положения осей в пределах $\pm 0,02$ мм и повторяемостью перемещения $\pm 0,005$ мм.

4. Предложена методика, подобрано техническое оснащение и проведен эксперимент по фактическому определению величины силы трения при перемещении подвижной плиты по направляющим различных типов и размеров, а также определена величина возникающих при этом микровибраций. Это позволило обосновать применение в конструкции установки измерения силы сочленения–расчленения ЭС цилиндрических направляющих $\varnothing 20$ мм. В свою очередь, установлено, что применение цилиндрических направляющих $\varnothing 20$ мм позволяет АСУ проводить измерение сил сочленения–расчленения ЭС с минимальным регистрируемым значением 0,98 Н.

5. Обосновано применение в конструкции АСУ силы сочленения–расчленения пар ЭС компенсирующего кулисного механизма, снижающего погрешность измерения с 18 % (в случае «жесткого» крепления тензодатчика с неподвижной плитой) до 1 %.

6. Разработана оригинальная конструкция установки для измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС, получены соответствующие патенты [74, 75].

7. В ходе проведения эксперимента по определению точности перемещения подвижной плиты установки для измерения силы сочленения–расчленения ЭС в нагруженном и ненагруженном состоянии было установлено:

– 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 составила 0,13 мм.

8. Разработана конструкция автоматизированной установки для измерения сил сочленения и расчленения миниатюрных ЭС между собой, значения которых могут быть меньше, чем 0,98 Н.

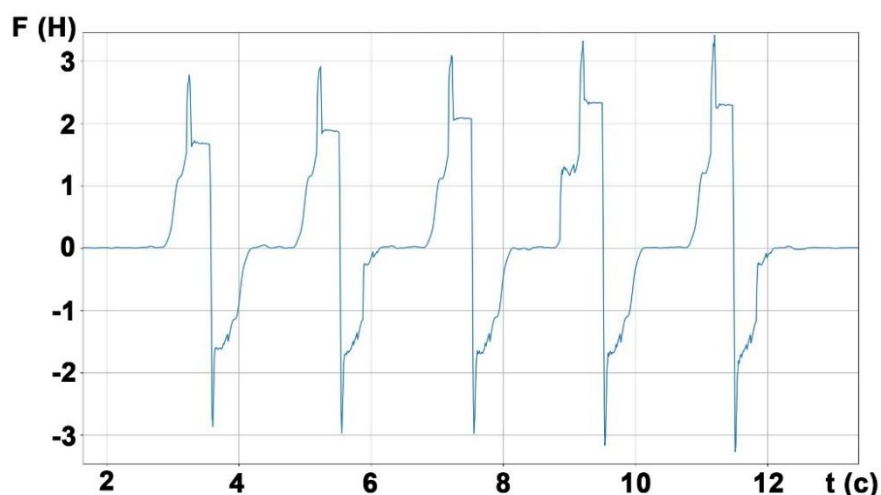
9. Разработана конструкция автоматизированной установки, обеспечивающая измерение сил, возникающих при испытаниях ЭС на механическую износостойкость.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРАБОТАННЫХ АСУ

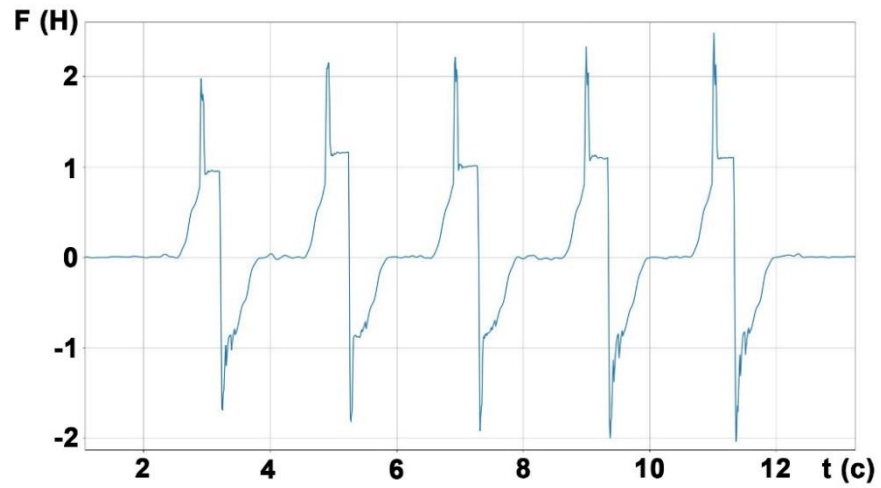
5.1. Общее представление результатов измерения силы сочленения–расчленения ЭС и их контактов

Ранее в Главе 3 упоминалось, что разработанные АСУ ОК обеспечивают фиксацию и отображение значений сил сочленения–расчленения (средних и максимальных из N-циклов), и позволяют осуществлять регистрацию данных от высокоскоростного модуля обработки сигнала тензодатчика [21, 22] в отдельный файл. При необходимости проведения более наглядного ручного анализа возникающих во время испытаний сил, а также корректировки параметров испытаний, данный файл обрабатывается разработанным скриптом из библиотеки «Matplotlib» для Python на отдельном ПК. После чего получаемые данные отображаются в виде графиков с возможностью масштабирования отдельных сегментов, перемещения по участкам, возвращения к исходным параметрам настройки и т.д.

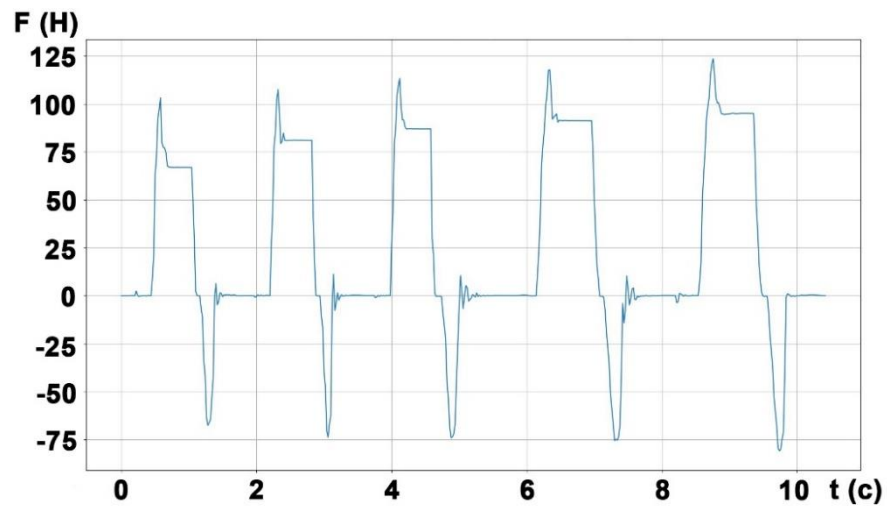
Так, на рисунках 5.1 а, б показаны примеры отображения данных, полученных во время сочленения–расчленения отдельного контакта ЭС контрольным штырем–калибром и пары разъемов друг с другом (в, г).



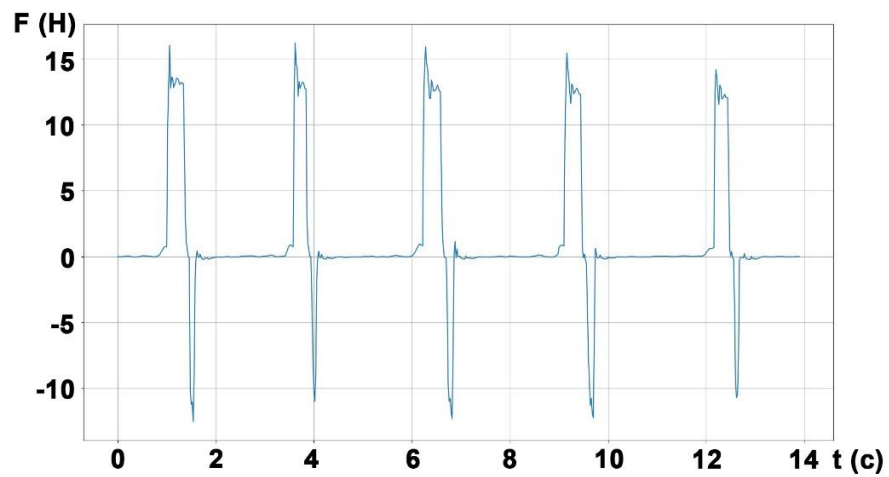
а)



б)



в)



г)

Рисунок 5.1 – Отображение полученных данных в Python при проведении испытаний: а) контакта соединителя РП10; б) контакта соединителя РП14; в) пары соединителей СНП260; г) пары соединителей типа D-SUB (9 pin)

При этом общий характер изменения сил, возникающих при сочленении–расчленении отдельных контактов со штырем и пары соединителей, идентичен. Можно однозначно сказать, что полученные данные коррелируются с представленными графиками в Главе 1. Наглядно это видно при более детальном рассмотрении отдельного цикла смыкания и размыкания, пример которого представлен на рисунке 5.2.

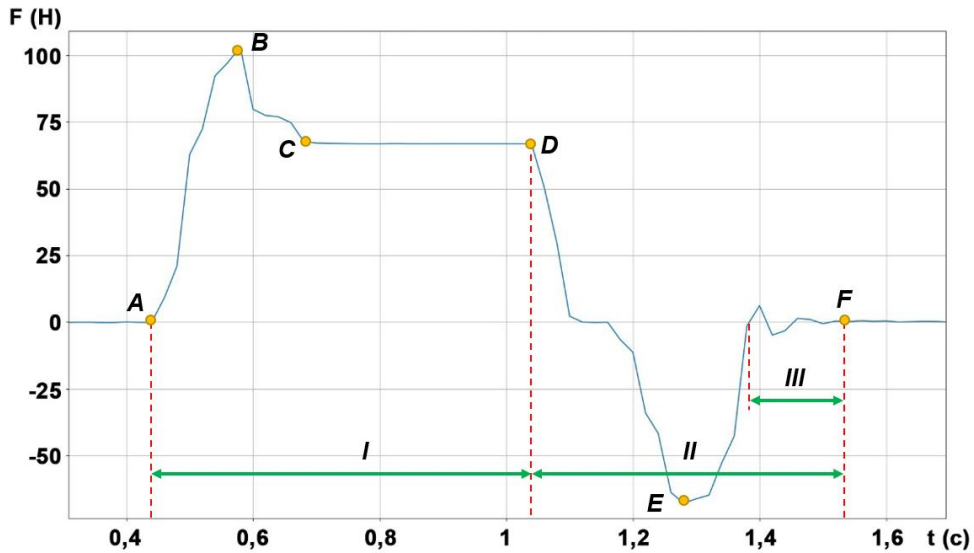


Рисунок 5.2 – Изменение силы в цикле смыкания и размыкания контакта со штырем–калибром / пары ЭС

Фаза сочленения происходит на участке I от точки A до точки D. Значение точки B определяет величину силы сочленения, представляющая собой сумму сил от действия упругих элементов контакта на ответную часть и силы трения скольжения. Вторая составляющая на регистрируемых графиках чаще всего представлена горизонтальной прямой и определяется участком от точки C до точки D. На участке II от точки D до точки F происходит фаза расчленения. При этом точка E определяет результирующую силу расчленения [2, 7, 122].

На участке III видны колебания, возникающие во время выведения штыря из контакта соединителя (или вилки из розетки в зависимости от типа проводимого испытания), и определяющиеся упругими свойствами тензодатчика [2]. Т.е. на данном участке тензодатчик срабатывает как пружинящий элемент.

5.2. Сравнительный анализ результатов, полученных при ручном и автоматизированном способе контроля силы расчленения контакта ЭС

Описанные методы контроля силы расчленения контакта ЭС [39, 40] не исключают влияние ошибок человеческого фактора на результаты проведенных испытаний. К ним можно отнести: перекосящий штырь–калибра относительно контакта при сочленении–расчленении, невозможность обеспечить вручную заданную скорость перемещения без ускорений и рывков, недосочленение/пересочленение.

Для количественной оценки погрешностей, возникающих в процессе ручного контроля, на разработанной АСУ силы сочленения–расчленения контакта с контрольным штырем–калибром был проведен ряд экспериментов с ручным смыканием и размыканием (рисунок 5.3).

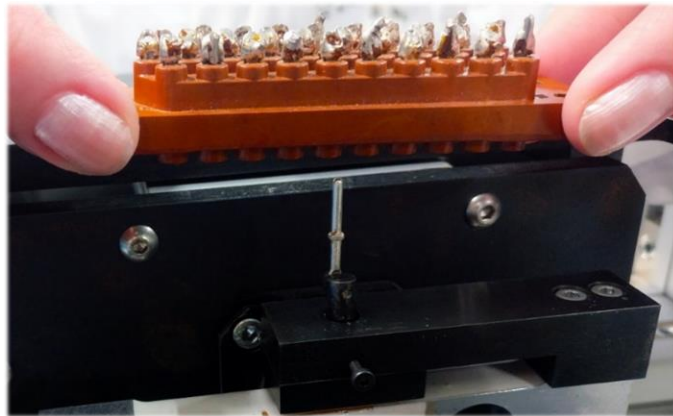


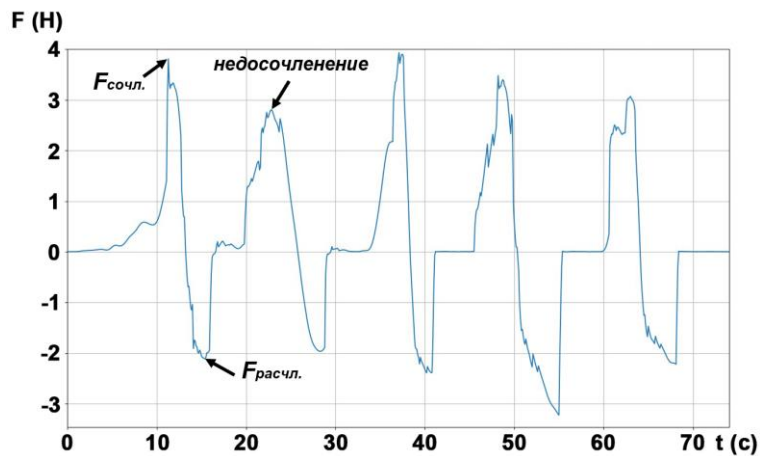
Рисунок 5.3 – Процесс ручного сочленения и расчленения гнездового контакта со штырем–калибром на разработанной АСУ

Пятикратное сочленение–расчленение 10 контактов в каждом ЭС типов РП10 и РП14 с соответствующими ответными частями производилось разными людьми. Субъективно скорость ручного перемещения соединителя обеспечивалась в двух пределах: 1–2,5 мм/с; 5–10 мм/с, и в эксперименте проградуирована как «медленно» и «средне» соответственно [18].

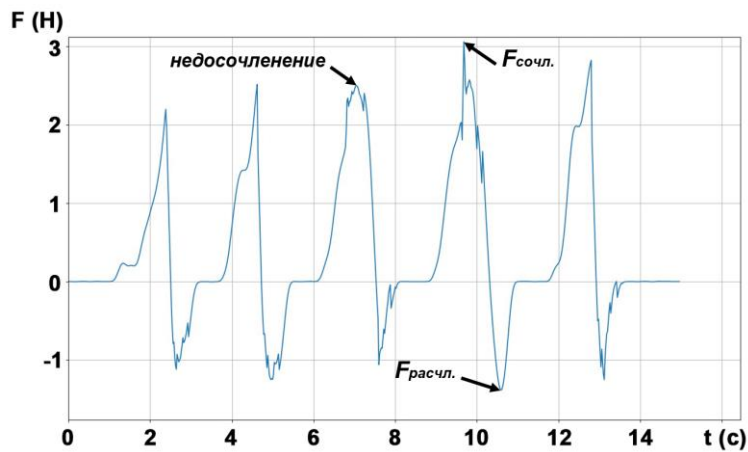
Для тех же контактов была повторно проведена процедура измерения силы сочленения–расчленения в автоматизированном режиме. Для максимальной имитации реальных условий испытаний каждый ЭС переустанавливался в

технологическую оснастку и контрольный штырь–калибр перепозиционировался. Таким образом учитывалось влияние точности закрепления соединителя и погрешности позиционирования осей перемещения установки.

На рисунке 5.4 а, б представлены примеры графиков зависимости силы, регистрируемой тензодатчиком, от времени проведения испытаний с «медленной» и «средней» скоростью перемещения ЭС относительно штыря–калибра, на рисунке 5.4 в отображены результаты, полученные при помощи разработанной АСУ со скоростью перемещения штыря–калибра 10 мм/с [18].



а)



б)

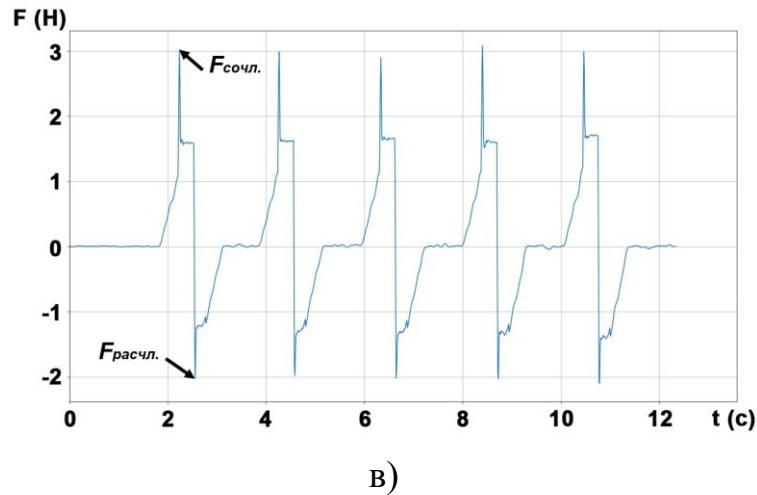


Рисунок 5.4 – Пример графиков, полученных во время проведения эксперимента:

- а) при ручном сочленении–расчленении с «медленной» скоростью;
- б) при ручном сочленении–расчленении со «средней» скоростью;
- в) при автоматизированном сочленении–расчленении со скоростью 10 мм/с

В таблице 5.1 представлены результаты анализа отклонений сил расчленения контактов соединителя РП14 с контрольным штырем–калибром. При этом под отклонением понимается максимальная разница между значениями сил сочленения–расчленения в серии из пяти смыканий и размыканий.

Таблица 5.1 – Отклонения сил расчленения контакта ЭС

№	Оператор 1				Оператор 2				АСУ			
	Δ_1 , Н	Δ_2 , Н	Δ_{max} , Н	$F_{ср.}$, Н	Δ_1 , Н	Δ_2 , Н	Δ_{max} , Н	$F_{ср.}$, Н	Δ_1 , Н	Δ_2 , Н	Δ_{max} , Н	$F_{ср.}$, Н
1	0,28	0,28	0,41	1,39	0,17	0,32	0,46	1,1	0,01	0,04	0,09	1,16
2	0,3	0,37	0,58	1,69	0,17	0,27	0,38	1,44	0,17	0,07	0,17	1,64
3	0,93	0,74	1,16	2,38	0,25	0,15	0,37	2,07	0,08	0,07	0,2	1,55
4	0,87	0,79	1,22	1,62	0,4	0,56	0,57	1,5	0,1	0,05	0,19	1,26
5	0,8	1,2	1,2	1,76	0,16	0,25	0,49	1,52	0,16	0,61	0,19	1,06
6	0,62	0,74	0,77	1,23	0,45	0,36	0,7	1,79	0,13	0,16	0,27	1,2
7	0,59	0,4	0,83	0,71	0,42	0,21	0,42	0,83	0,05	0,01	0,2	0,91
8	0,24	0,84	1,14	1,31	0,11	0,35	0,35	1,36	0,08	0,05	0,19	1,51
9	0,44	1,18	1,49	1,58	1,21	0,43	1,37	1,96	0,09	0,09	0,15	1,09
10	0,55	0,96	1,02	1,32	0,66	1,09	1,29	1,63	0,06	0,1	0,1	0,88

Ср. знач.	0,56	0,74	0,98		0,4	0,4	0,64		0,09	0,07	0,18	
MIN	0,24	0,28	0,41		0,11	0,15	0,35		0,01	0,01	0,09	
MAX	0,93	1,2	1,49		1,21	1,09	1,37		0,17	0,16	0,27	

где «№» – номер испытуемого контакта в ЭС; «Оператор 1» / «Оператор 2» / «АСУ» – указывает на принадлежность полученных результатов тем или иным испытателем или установкой; « Δ_1 » – максимальное отклонение полученных значений сил расчленения для скорости перемещения «медленно» (при ручном испытании) / максимальное отклонение при первом установе и позиционировании (при автоматизированном испытании) (Н); « Δ_2 » – максимальное отклонение полученных значений сил расчленения для скорости перемещения «средне» (при ручном испытании) / максимальное отклонение при втором установе и позиционировании (при автоматизированном испытании) (Н); « Δ_{max} » – максимальное отклонение полученных значений из всей выборки разных скоростей перемещения / установов и перепозиционирований (Н); « $F_{cp.}$ » – среднее значение силы расчленения контакта (из пяти последовательных смыканий–размыканий) (Н); «Ср. знач.» – среднее значение параметра из 10 проверенных контактов (Н); «MIN» – минимальное значение параметра из 10 проверенных контактов (Н); «MAX» – максимальное значение параметра из 10 проверенных контактов (Н).

Для полученных данных по формуле 5.1 была рассчитана относительная погрешность измерения для разных скоростей перемещения (при ручном измерении) или при переустанове и перепозиционировании (при автоматизированном измерении).

$$\delta_i = \frac{\Delta_i}{F_{p.cp.}} \cdot 100 \%, \quad (5.1)$$

где δ_i – относительная погрешность измерения (%); Δ_i – максимальное отклонение полученных значений сил расчленения (Н); $F_{p.cp.}$ – среднее значение силы расчленения контакта (Н).

Субъективная относительная погрешность измерения, качественно определяющая суммарное влияние человеческого фактора / погрешности из-за переустановов и перепозиционирований определялась как:

$$\delta_{MAX} = \frac{\Delta_{max}}{F_{p.c.p.}} \cdot 100 \%, \quad (5.2)$$

где Δ_{max} – максимальное отклонение полученных значений из всей выборки разных скоростей перемещения / установок и перепозиционирования (Н).

В таблице 5.2 приведены значения относительных (средних, минимальных и максимальных) погрешностей для Δ_1 , Δ_2 , Δ_{MAX} , полученные при анализе нескольких соединителей типа РП14. Среднее отклонение значений регистрируемых сил сочленения–расчленения контактов ЭС ручным способом составило 33–56 %.

Таблица 5.2 – Расчетные значения относительной погрешности измерения

	Ручное измерение			Автоматизир-ое измерение		
	$\delta_1, \%$	$\delta_2, \%$	$\delta_{MAX}, \%$	$\delta_1, \%$	$\delta_2, \%$	$\delta_{MAX}, \%$
Ср. знач.	33	39,35	55,75	7,61	11,11	14,62
MIN	8,09	7,25	17,87	0,86	1,09	7,76
MAX	83,09	74,68	116,9	15,09	57,55	22,5

Не смотря на минимизацию отклонений повторяемости измерения в АСУ видно, что отклонения в серии сочленений все равно присутствуют и составляют 8–15 %. Это дополнительно обусловлено тем, что на силу сочленения–расчленения дополнительно влияют множество параметров, некоторые из которых будут дополнительно описаны в следующих параграфах.

Таким образом, можно однозначно утверждать о том, что применяемый в настоящее время метод ручного проведения испытания приводит к значительным погрешностям, из-за которых результаты измерений могут отличаться от фактических в два раза, что связано с влиянием человеческого фактора.

5.3. Определение производительности контрольных операций ЭС при использовании АСУ

С целью определения производительности контрольных операций ЭС при использовании АСУ была проведена серия экспериментов. Их суть заключалась в хронометрировании выполнения операции контроля силы расчленения контакта ЭС контрольным штырем–калибром при ручном способе с использованием грузиков и автоматизированном с использованием разработанной установки. Эксперимент проводился с одним циклом сочленения–расчленения для 5 разъемов типа СНП388 (рисунок 5.5), имеющих 120 контактов. Полученные в ходе эксперимента результаты усреднены и представлены в таблице 5.3.

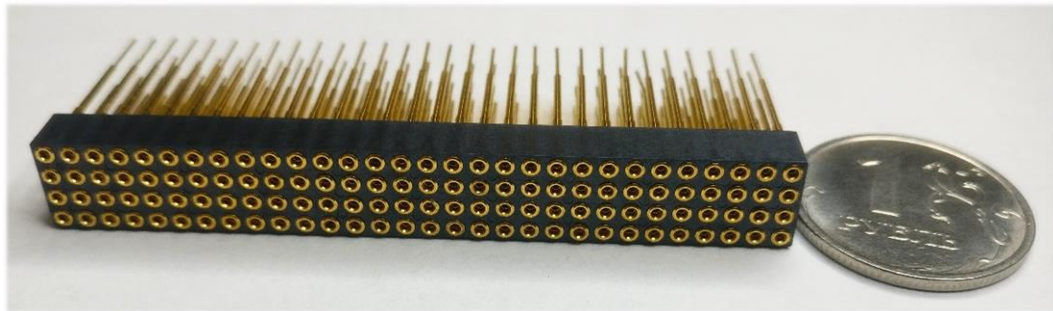


Рисунок 5.5 – Внешний вид ЭС типа СНП388

Суммарное время выполнения операции контроля силы расчленения контакта ЭС типа СНП388 при автоматизированном способе включает в себя время на выполнение подготовительных операций и время выполнения самой операции контроля. Время на выполнение подготовительных операций включает в себя:

- 1) время установки технологической оснастки на базовую плиту, с;
- 2) время первоначальной подготовки к испытаниям, с;
- 3) время установки ЭС в технологическую оснастку, с.

В связи с тем, что при проведении операций контроля силы расчленения контакта ЭС для одной партии разъемов установка технологической оснастки и первоначальная подготовка к испытаниям (процедура перемещения подвижных узлов в «Home Position»), то время, затрачиваемое на выполнение данных операций, будет распределено на всю партию ЭС.

Таблица 5.3 – Время выполнения операции контроля силы расчленения контакта ЭС типа СНП388 ручным и автоматизированном способом

№ п.п.	Параметр	Способ контроля	
		Ручной	Автоматизированный
1	Время установки технологической оснастки, с	–	25 ¹
2	Время первоначальной подготовки к испытаниям, с	–	7..24 ²
3	Время установки/съема ЭС в технологическую оснастку, с	–	3 ¹
4	Время выполнения одного цикла сочленения–расчленения с контролем силы, с	3 ³	2 ⁴
5	Время проведения испытаний всех контактов (с одним циклом сочленения–расчленения) ЭС, с	288 ³	232 ⁵
6	Суммарное время выполнения операции контроля силы расчленения всех контактов ЭС с учетом подготовительных операций, с	288	264

Примечание:

1 – приведенное среднее значение измеренного времени может отличаться в зависимости от типа оснастки, квалификации оператора/наладчика;

2 – время выполнения процедуры перехода в «Home Position» зависит от фактического положения узлов установки перед ее запуском;

3 – приведенное среднее значение измеренного времени может отличаться в зависимости от типа испытуемого контакта;

4 – приведенное среднее значение измеренного времени может отличаться в зависимости от расстояния перемещения по оси Z во время проведения испытания;

5 – ввиду отсутствия версии прошивки ПО для конкретного типа испытуемого ЭС приведено рассчитанное время выполнения операций, не учитывающее фактические задержки, связанные с циклом ПЛК и скорости обработки и передачи данных по интерфейсу (приложение Г). Может отличаться в зависимости от типа испытуемого ЭС и конструкции технологической оснастки, скорости, ускорения и замедления при перемещении подвижных осей установки, производительности системы управления.

В таблице 5.4 представлены результаты проведения экспериментов по определению времени выполнения операции контроля силы сочленения–расчленения пар ЭС с использованием установки с ручным приводом и

однонаправленного динамометра (см. рисунок 1.17), а также разработанной автоматизированной установки.

Таблица 5.4 – Время выполнения операции контроля силы сочленения–расчленения пар ЭС с использованием установки с ручным приводом и разработанной автоматизированной установки

№ п.п.	Параметр	Способ контроля	
		Ручной	Автоматизированный
1	Время установки технологической оснастки, с	180 ¹	56 ¹ [103]
2	Время первоначальной подготовки к испытаниям, с	3 ²	36 ³ [102]
3	Время установки/съема ЭС в технологическую оснастку, с	3 ¹	3 ¹
4	Время выполнения одного цикла сочленения–расчленения с контролем силы, с	17 ⁴	4 ⁵ [104, 105]
5	Время проведения испытаний с учетом установки пар ЭС в оснастку, с	91 ⁴	33 ⁵ [104, 105]
6	Суммарное время выполнения операций контроля сил сочленения–расчленения пар ЭС с учетом подготовительных операций, с	274	125

Примечание:

1 – приведенное среднее значение измеренного времени может отличаться в зависимости от типа оснастки, квалификации оператора/наладчика;

2 – приведенное среднее значение измеренного времени корректировки нулевого значения регистрируемой силы (действие выполняется в случае смещения нулевого значения регистрируемой силы перед началом испытания);

3 – приведенное среднее значение измеренного времени может отличаться в зависимости от скорости перемещения подвижной плиты в пошаговом режиме при поиске точки смыкания плит, а также времени выполнения цикла ПЛК (действие выполняется единожды после включения установки);

4 – приведенное среднее значение измеренного времени с учетом особенности контроля силы сочленения и расчленения на двух отдельных установках (ввиду однонаправленности динамометра) может отличаться в зависимости от типа оснастки, квалификации оператора/наладчика;

5 – приведенное среднее значение измеренного времени может отличаться в зависимости от типа ЭС и режимов проведения испытаний.

В представленных данных при ручном способе проведения испытаний не учитывалось влияние пауз на отдых между сериями трудоемких измерений. Также в случае контроля гнезд контрольным штырем–калибром с грузиками не учитывалось время на отдельную регистрацию номеров контактов, прошедших процедуру контроля с неудовлетворительным результатом, для последующего извлечения.

Расчет увеличения производительности операции контроля для разработанных автоматизированных установок в сравнении с ручными приспособлениями и механизмами рассчитывается по формуле:

$$B_{up} = \left(\frac{t_{ручн.}}{t_{авт.}} - 1 \right) \cdot 100 \%, \quad (5.3)$$

где B_{up} – увеличение производительности автоматизированного способа контроля относительно ручного (%); $t_{ручн.}$ – время на выполнение контрольной операции с использованием ручных приспособлений и механизмов (с); $t_{авт.}$ – время на выполнение контрольной операции с использованием разработанных автоматизированных установок (с).

При оценке производительности двух способов контроля не учитывалось время, затраченное на установку технологической оснастки и первоначальную подготовку к испытаниям.

Если для анализа оценки производительности двух способов контроля брать данные, представленные в п.п. № 5 (см. таблицу 5.3, 5.4), то увеличение производительности АСУ ОК отдельных контактов ЭС составит 24 %, а АСУ ОК пар ЭС – 176 %. Однако с учетом особенностей, описанных в примечаниях под таблицами, фактические значения увеличения производительности разработанных систем могут быть гораздо выше.

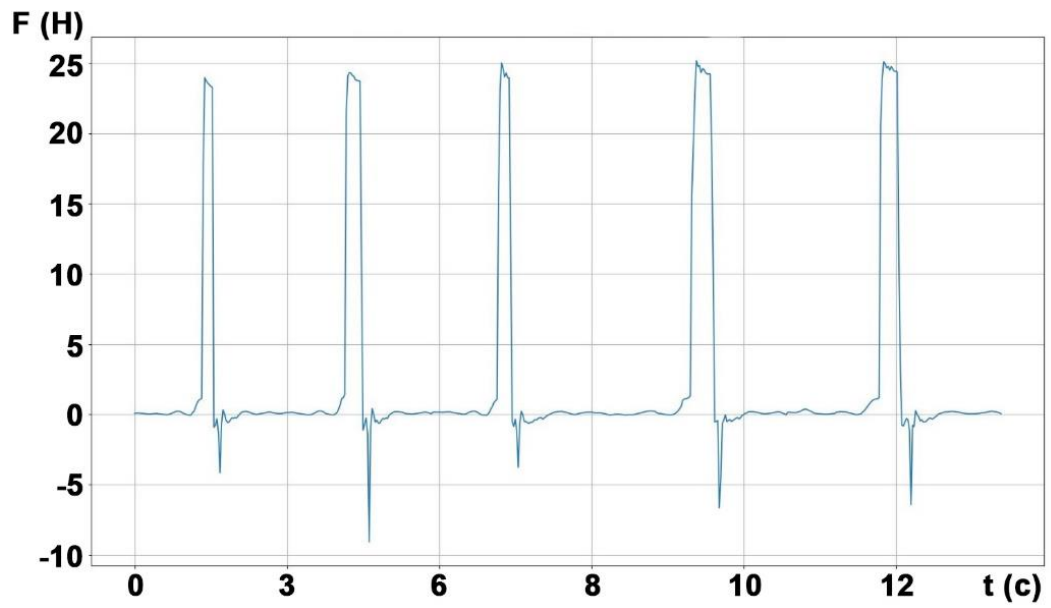
5.4. Анализ зависимости расстояния смыкания на результаты измерения силы сочленения–расчленения

Для фиксации действительных значений сил сочленения–расчленения важно обеспечивать гарантированное смыкание контактной группы. Так, в предыдущем параграфе на рисунке 5.4 был показан пример того, как при ручном смыкании и размыкании не всегда обеспечивается данный параметр. В связи с этим возникают ситуации, когда испытываемая пара либо недосочленяется, либо пересочленяется, что в одном случае приводит к занижению результатов измерения, а в другом – к завышению (в том случае, если силу сочленения определять, как максимальное значение силы, зарегистрированной на всем участке смыкания).

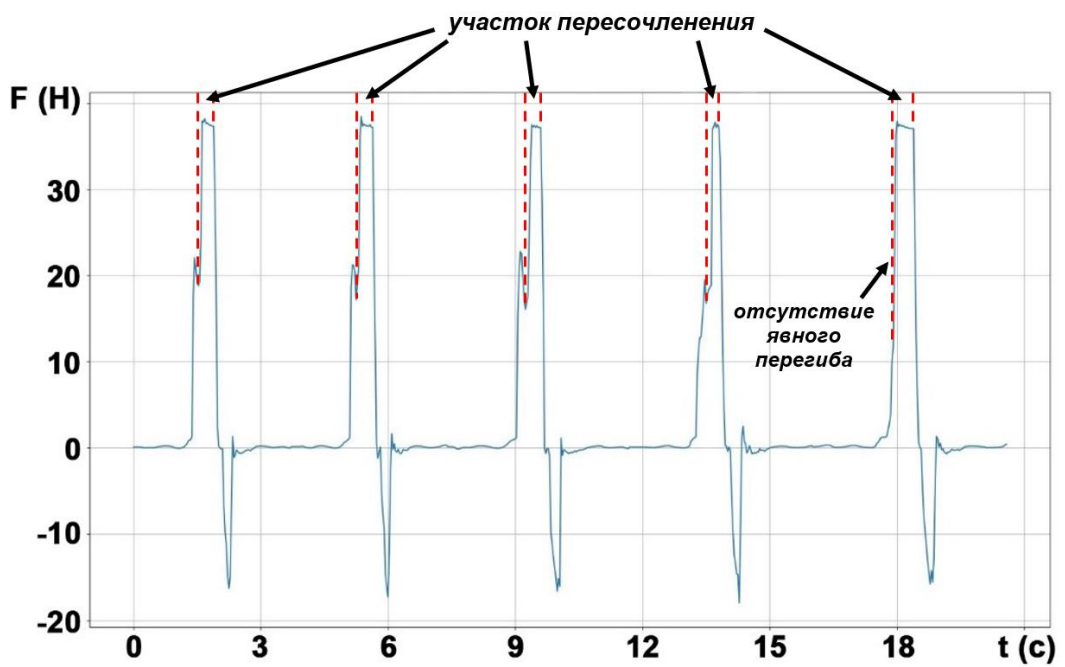
Более наглядно можно рассмотреть 5 циклов смыкания–размыкания в автоматизированном режиме с недосочленением на рисунке 5.6 а. При таком случае отсутствует явно выраженный локальный максимум регистрируемой силы, являющийся силой сочленения, как это показано на рисунке 5.2. Так же отсутствует горизонтальная составляющая, определяющая силу трения скольжения.

При пересочленении после прохождения точки, определяющей фактическую силу сочленения, происходит резкое увеличение регистрируемой силы (рисунок 5.6 б). Это связано с тем, что при дальнейшем относительном перемещении испытываемой контактной пары (штыря калибра и гнезда ЭС/пары ЭС) происходит механический упор элементов разъема с последующей деформацией.

Экспериментально было определено, что величина оптимального значения перемещения в зависимости от конкретной испытываемой пары может быть разной. Более заметна необходимость корректировки расстояния перемещения при испытании контакта ЭС со штырем–калибром, т.к. контактные элементы одного и того же разъема могут фактически располагаться на разных высотах. Так на рисунке 5.7 представлен результат измерения силы сочленения–расчленения гнезд одного ряда разъема РП14 с расстоянием вертикального перемещения штыря–калибра 11,5 мм.



а)



б)

Рисунок 5.6 – График циклов сочленения–расчленения в автоматизированном режиме: а) с недосочленением; б) с пересочлением

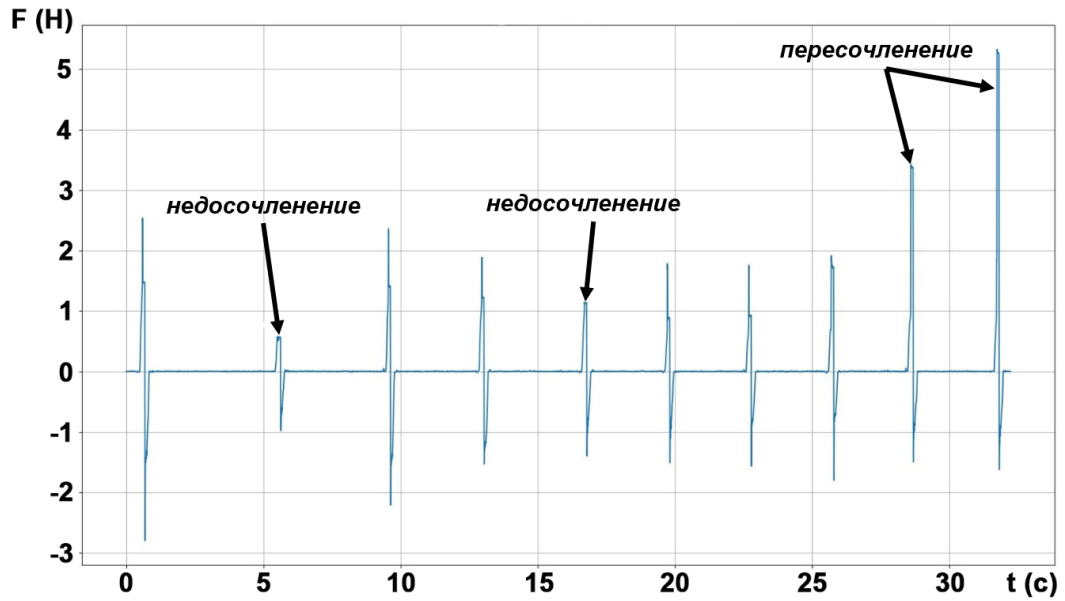
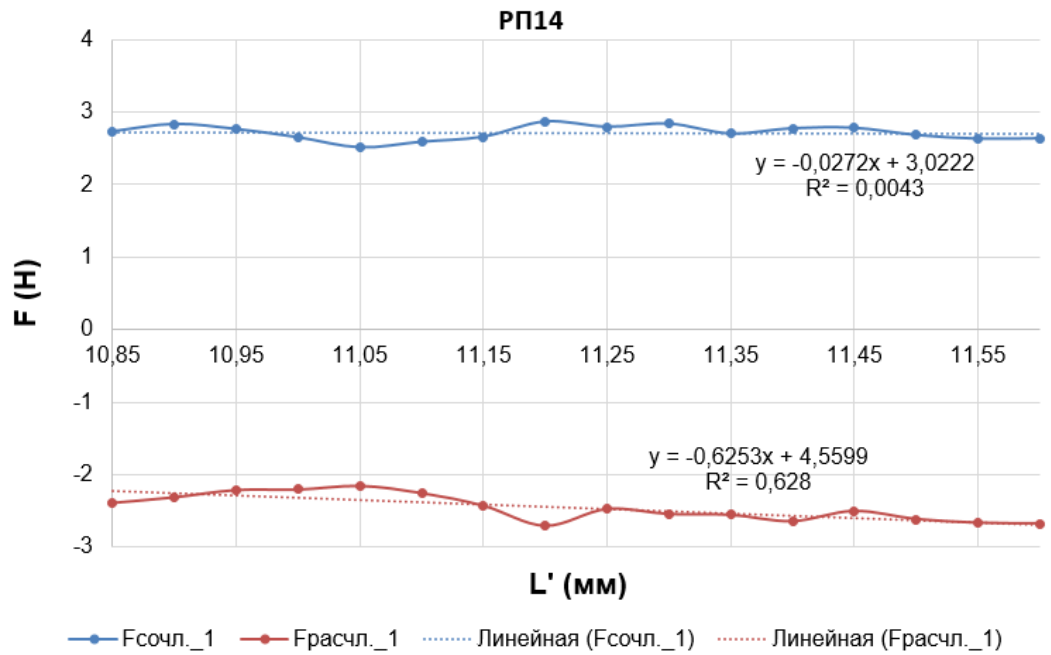


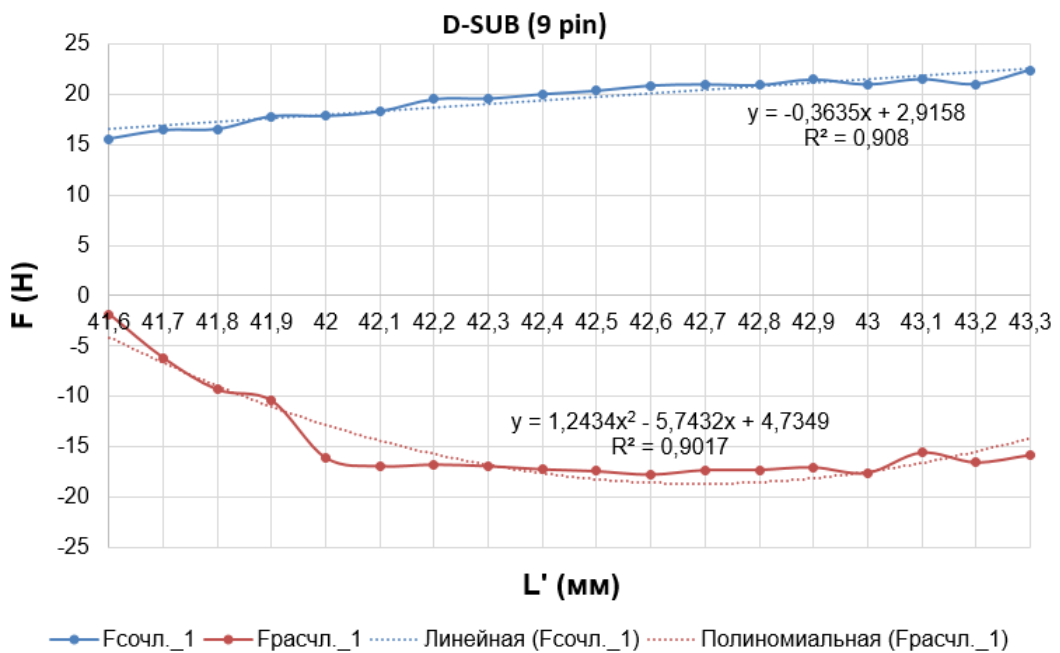
Рисунок 5.7 – Результаты измерения силы сочленения–расчленения контактов одного ряда соединителя РП14

График зависимости регистрируемых сил сочленения–расчленения от расстояния перемещения штыря–калибра представлен на рисунке 5.8 а (на примере одного контакта соединителя РП14).

В связи с тем, что при испытании пары ЭС во время перемещения увеличивается число сочлененных контактных групп, допуск на величину оптимального хода будет более значительный и может достигать нескольких миллиметров. Так, на рисунке 5.8 б представлен график зависимости регистрируемых сил от расстояния перемещения подвижной плиты (на примере пары соединителей D-SUB (9 pin)).



а)



б)

Рисунок 5.8 – Зависимость сил сочленения–расчленения от расстояния перемещения: а) штыря–калибра на одном контакте ЭС РП14; б) подвижной плиты на примере пары ЭС типа D-SUB (9 pin)

5.5. Разработка методики гарантированного сочленения в контрольных операциях

Исходя из ранее указанных особенностей, возникает необходимость разработки методики, обеспечивающей гарантированное сочленение во время проведения испытаний ЭС. Ее суть заключается в пересочленении испытуемой пары с одновременным анализом регистрируемых сил. При этом само пересочленение должно быть минимальным (на сколько это возможно с учетом быстродействия измерительной системы и отклика системы управления), чтобы с одной стороны не повредить элементы ЭС, а с другой – чтобы не вывести из работоспособного состояния тензодатчик и другие элементы установки.

Предлагается проводить анализ не только величины регистрируемой во время сочленения силы, но и скорости ее изменения – т.е. первую производную.

Первоначально эксперимент по набору данных при гарантированном пересочленении проводился на АСУ сил сочленения–расчленения с парами ЭС типа D-SUB (9 pin). В связи с установленным ограничением на время обработки специализированным модулем сигнала тензодатчика [21, 22], составляющим 15 мс, цикл испытаний проводился на разных скоростях перемещения подвижной плиты: 1 мм/с, 5 мм/с и 10 мм/с.

На рисунке 5.9 представлены графики изменения регистрируемой силы и ее первая производная в объединенной системе координат.

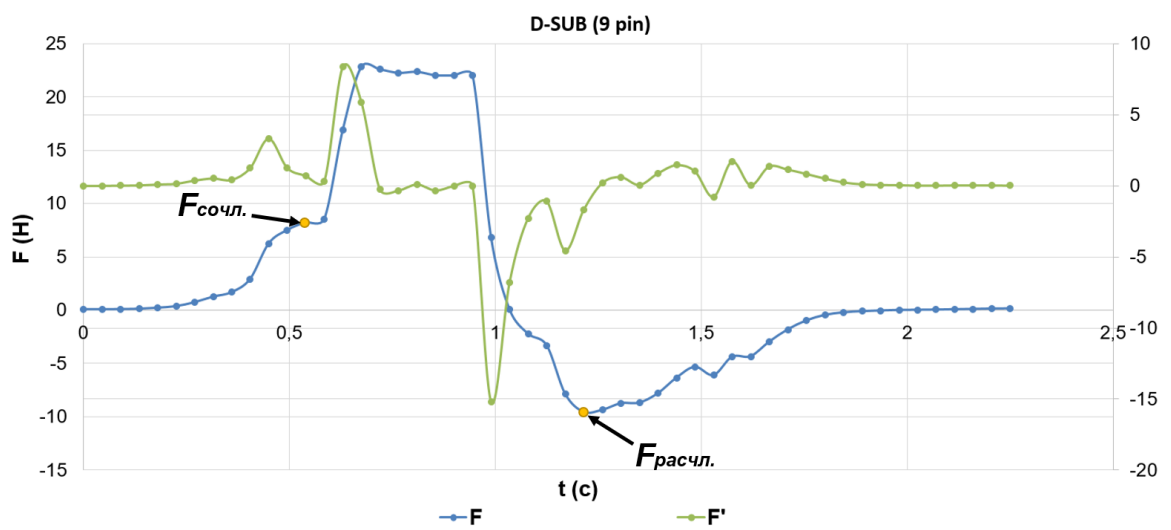
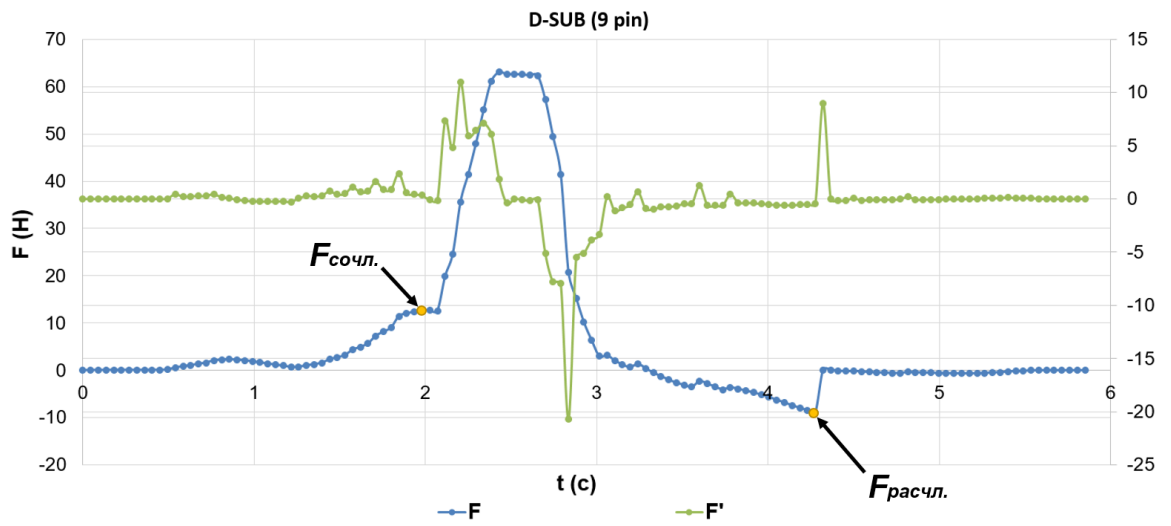
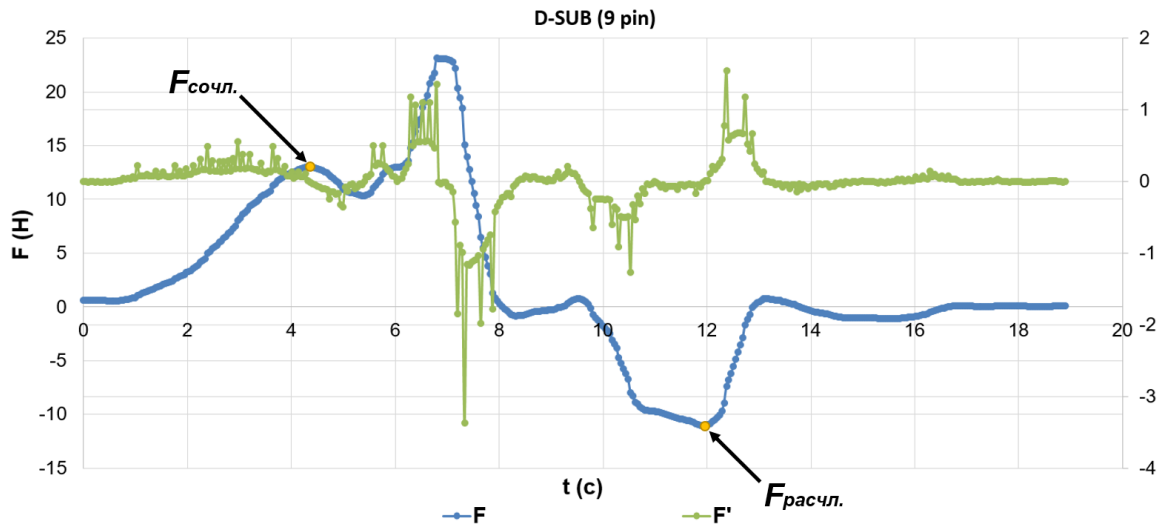


Рисунок 5.9 – Цикл изменения регистрируемой силы и ее первая производная при испытании ЭС типа D-SUB (9 pin), с временем обработки сигнала тензодатчика

- 15 мс: а) при скорости перемещения подвижной плиты 1 мм/с;
б) при скорости перемещения подвижной плиты 5 мм/с;
в) при скорости перемещения подвижной плиты 10 мм/с

Из данных графиков видно, что при пересочленении значительно увеличивается не только регистрируемая сила, но и порядок изменения скорости нарастания силы. Данный критерий может служить признаком, характеризующим окончание процесса полного сочленения контактной пары.

Алгоритм определения критерия пересочленения будет состоять из следующих этапов:

- 1) определение начала участка с значительным увеличением величины скорости измерения регистрируемой силы;
- 2) поиск локального максимума, определяющего силу сочленения, на участке до точки, найденной в п. 1.

Следует отметить, что зарегистрированное на примере рисунка 5.9 а, б скачкообразное изменение производной на участке пересочленения может быть связано с тем, что ЭС в технологической оснастке установлен не жестко.

Однако так же можно заметить, что изначально установленного времени обработки сигнала тензодатчика недостаточно при увеличении скорости перемещения до требуемого по [39] значения: на скорости перемещения 1 мм/с доступны 20 точек силы пересочленения, на скорости 5 мм/с – 3–5 точек, а на скорости 10 мм/с – 1–2 точки. В таблице 5.5 представлены результаты сил, полученных по вышеуказанному алгоритму, в серии из 5 последовательных сочленений–расчленений, зарегистрированных при разных скоростях перемещения с гарантированным сочленением.

Из таблицы видно, что при увеличении скорости перемещения обновление результатов измерения силы сочленения запаздывает относительно фактического значения.

Таблица 5.5 – Результаты определения силы сочленения при гарантированном пересочленении со скоростью обработки сигнала тензодатчика 66,6 изм./с

№ пары	V, мм/с	F _{сочл.(1)} , Н	F _{сочл.(2)} , Н	F _{сочл.(3)} , Н	F _{сочл.(4)} , Н	F _{сочл.(5)} , Н	F _{сочл. (средн.)} , Н
1	1	10,53	13,31	13,48	13,45	13,57	12,87
1	5	13,41	13,05	13,12	13,03	13	13,12
1	10	3,72	6,21	5,5	5,84	7,46	5,74
2	1	11,62	10,48	10,5	10,4	10	10,6
2	5	8,96	8,91	8,67	8,62	8,54	8,74
2	10	5,74	7,41	6,03	5,85	6,53	6,31
3	1	13,24	12,64	12,61	13,03	12,69	12,84
3	5	12,76	13	12,95	12,77	12,77	12,85
3	10	9,55	9,55	8,24	9,52	9,47	9,27
4	1	12	12,49	13,03	13,21	13,35	12,82
4	5	12,35	12,77	12,77	12,48	12,69	12,62
4	10	9,69	9,26	9,58	9,7	9,8	10,44

Таким образом возникает необходимость увеличения скорости обработки сигнала тензодатчика измерительным модулем, изменяя коэффициент АЦП [124], влияющий на работу фильтра шумоподавления. Следует отметить, что, снижая время, затрачиваемое на обработку сигнала, имеется риск увеличения влияния помех от внешней сети. Совместно с ООО «КОНСТРУКТОР» (г. Брянск) было модернизировано программное обеспечение, позволяющее изменять параметры работы АЦП модуля обработки сигнала тензодатчика.

Для большей наглядности о представлении величины помех максимальной амплитуды, регистрируемой модулем обработки сигнала тензодатчика на разных скоростях обработки, на рисунке 5.10 представлены данные, зафиксированные на АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар ЭС с установленным тензометрическим датчиком, номиналом в 490 Н (50 кгс). Выбор значений коэффициента шумоподавления определялся исходя из оптимальных параметров фильтрации сигнала. При этом погрешность измерения для данного типа

тензодатчика, используемого в АСУ сил сочленения–расчленения пар ЭС составила от 0,01 до 0,05 % от номинала.

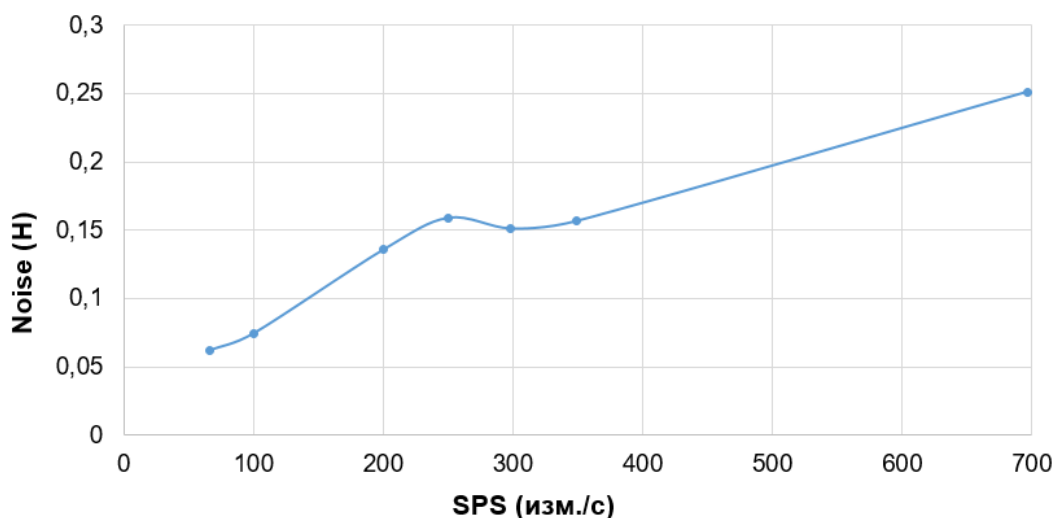


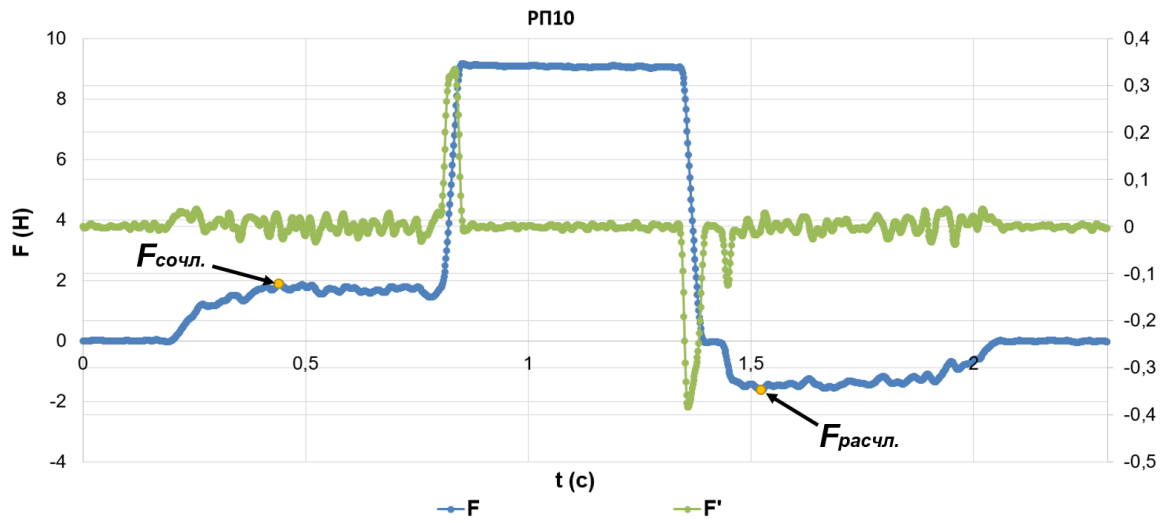
Рисунок 5.10 – Величина помех максимальной амплитуды, зарегистрированных на АСУ силы сочленения–расчленения пар ЭС с разной скоростью обработки сигнала тензодатчика

Таким образом, при увеличении скорости обработки сигнала тензодатчика следует учитывать фактическое снижение точности регистрируемых данных.

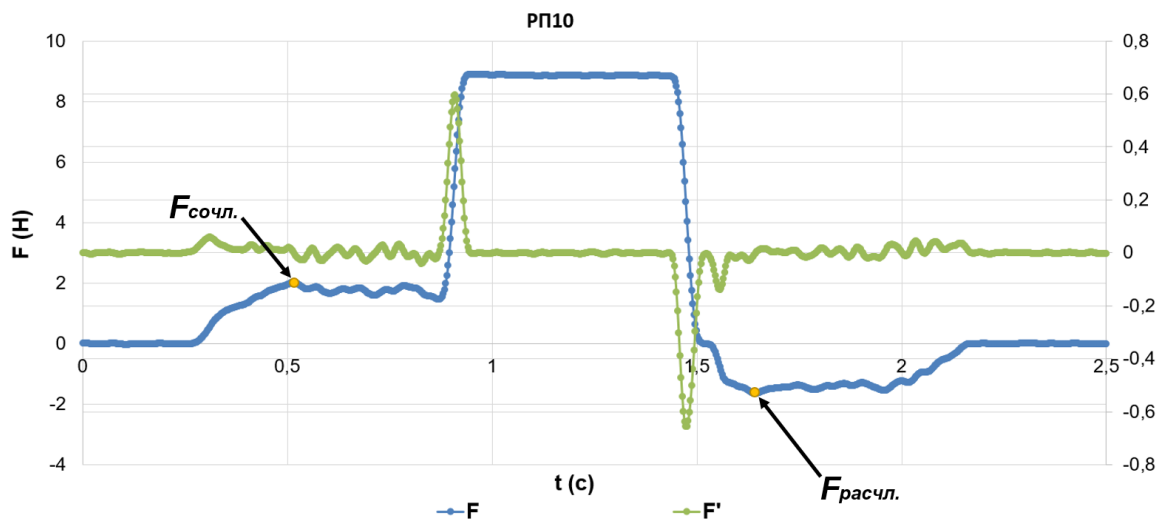
Ввиду особенностей, связанных с изначально выбранной концепцией построения системы управления для установки изменения силы сочленения–расчленения пар ЭС, а именно – управлением подвижной осью командами, поступающими от СПК к контроллеру ШД с соответствующими задержками, из-за времени выполнения цикла и быстродействия передачи данных по RS-485, увеличение скорости обработки сигнала тензодатчика не приведет к желаемому результату. В связи с этим эксперимент по дальнейшему набору данных, возникающих при пересочленении, проводился на АСУ ОК силы сочленения–расчленения контакта ЭС. Еще раз следует отметить, что в данной установке управление осью Z, на которой установлен тензодатчик, осуществляется напрямую модулем обработки сигнала тензодатчика [21, 22] по шине USB.

На рисунке 5.11 представлены графики изменения регистрируемой силы и ее первая производная в объединенной системе координат, полученные на разных

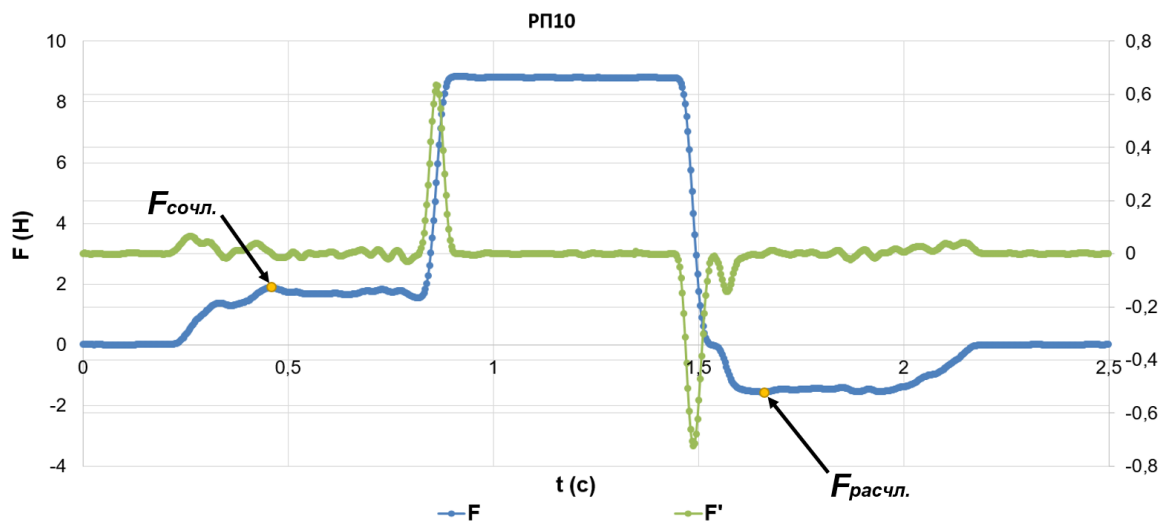
скоростях обработки сигнала тензодатчика для соединителя типа РП 10 и при скорости перемещения штыря–калибра 10 мм/с.



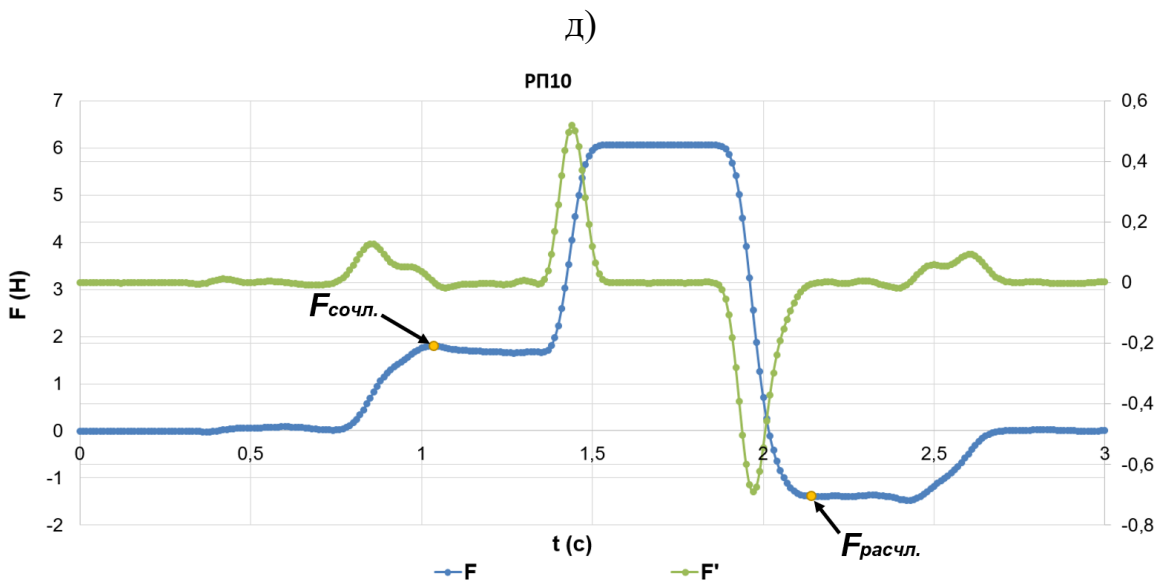
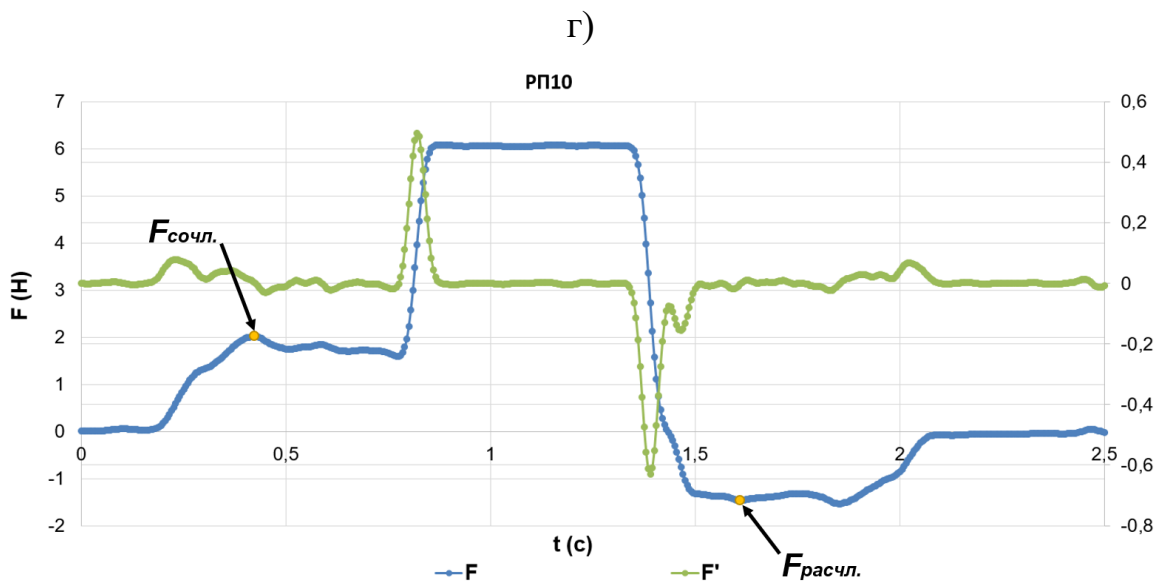
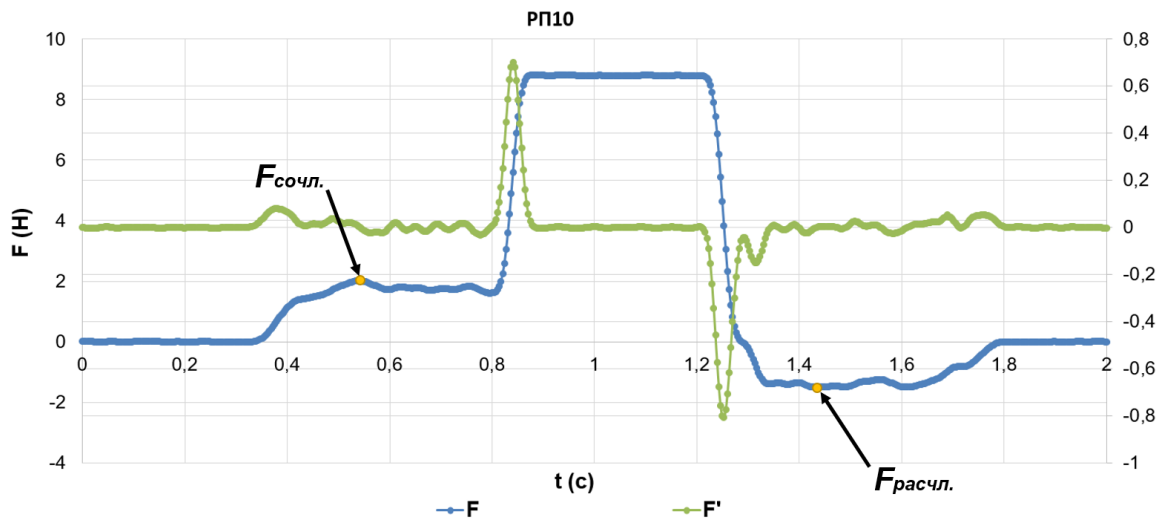
а)



б)



B)



е)

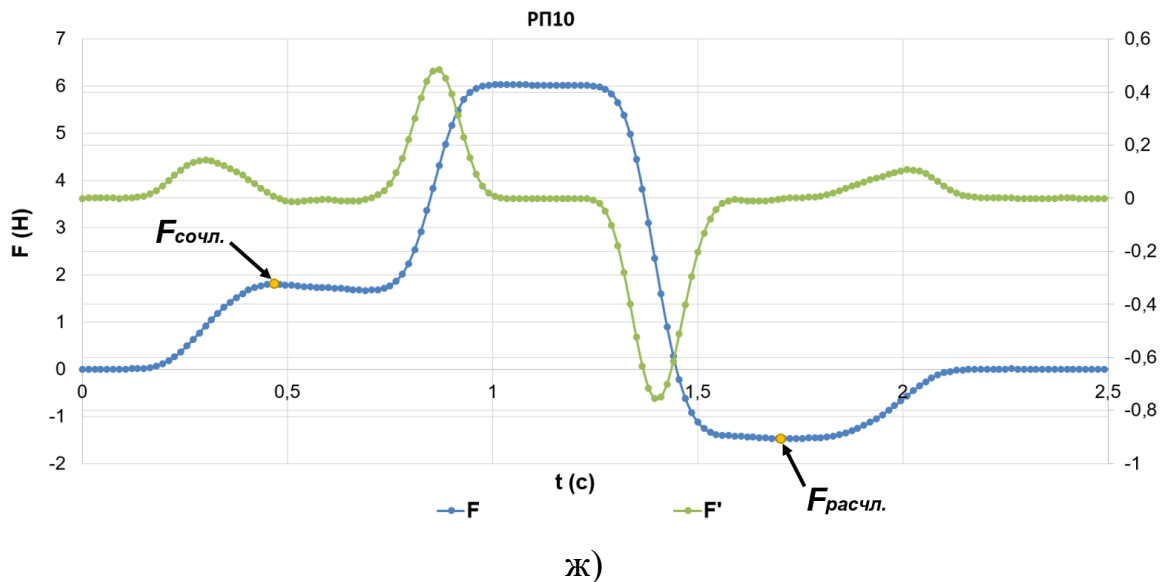


Рисунок 5.11 – Цикл изменения регистрируемой силы и ее первая производная при испытании контакта ЭС типа РП10: а) с временем обработки сигнала ТД 1,44 мс; б) с временем обработки сигнала ТД 2,86 мс; в) с временем обработки сигнала ТД 3,35 мс; г) с временем обработки сигнала ТД 4 мс; д) с временем обработки сигнала ТД 5 мс; е) с временем обработки сигнала ТД 10 мс; ж) с временем обработки сигнала ТД 15 мс

В таблице 5.6 представлены обобщенные данные, характеризующие процесс работы измерительной системы на АСУ ОК сил сочленения–расчленения гнездового контакта с контрольным штырем–калибром, с установленным тензодатчиком номиналом 29,4 Н (3 кгс). Следует отметить, что количество точек, полученных при пересочленении будет определяться не только скоростью обработки сигнала тензодатчика, но и расстоянием перемещения подвижной части и скоростью изменения самой силы (первой производной).

Фактический выбор значения коэффициента фильтра АЦП будет зависеть из условий максимально допустимой погрешности измерения всей АСУ с учетом оптимизации скорости обработки сигнала тензодатчика.

Таблица 5.6 – Параметры работы измерительной системы на установке для измерения сил сочленения–расчленения контакта ЭС

Значение фильтра АЦП	Скорость обработки сигнала ТД, изм./с	Время обработки сигнала ТД, мс	Шумы, Н	Кол-во точек, полученных при пересочленении, ед.
1536	66,6	15	0,032	13
1024	100	10	0,047	15
512	200	5	0,061	17
439	250	4	0,056	19
343	298,5	3,35	0,066	22
293	349,5	2,86	0,081	25
147	696,6	1,44	0,104	30

Скорость изменения регистрируемой силы рассчитывается по формуле:

$$tg(F) = \frac{F_i - F_{i-1}}{X_i - X_{i-1}}, \quad (5.4)$$

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.

Таким образом алгоритм методики, обеспечивающей гарантированное сочленение в процессе проведения испытания следующий: необходимо обеспечить первоначальный набор данных по скорости изменения силы ($tg(F)$) на определенном участке (L_{min}). Предполагается, что для каждого типа испытуемого ЭС данное значение будет задаваться с СПК. На этом участке определяется и запоминается максимальное значение скорости изменения силы ($tg(F)_{max}$).

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, описанного в параграфе 3.1. 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 $\text{tg}(F)$ больше утроенного значения $\text{tg}(F)_{\max}$, то производится поиск максимального значения силы из буфера до точки, где происходит смена знака производной ($\text{tg}(F)$). Определенное значение будет являться искомой силой сочленения.

Блок схема определения искомой силы при пересочленении представлена в приложении В.

Анализ полученных данных показывает, что при пересочленении значительно изменяется значение скорости изменения силы по сравнению с участком сочленения и критерия анализа утроенного значения $\text{tg}(F)_{\max}$ обычно достаточно для определения точки окончания процесса смыкания. Однако для однозначного подтверждения этого факта требуется проведение многократных экспериментов на многих типах ЭС.

5.6. Анализ допустимых отклонений позиционирования контакта относительно штыря–калибра

Как уже упоминалось ранее, в АСУ ОК силы сочленения и расчленения гнезда с контрольным штырем–калибром для различной степени компенсации погрешности расположения контакта ЭС используются два различных механизма крепления штыря: с наклоном штыря в одной и двух плоскостях.

В процессе исследования был проведен ряд экспериментов по определению максимально допустимых отклонений расположения измеряемого контакта относительно штыря–калибра, закрепленного в двух разных механизмах на установке. Суть экспериментов заключалась в принудительном смещении положения калибра по двум осям (X и Y) относительно контакта с последующим измерением сил. Для первой конструкции крепления с наклоном штыря в одной плоскости смещение положения осуществлялось в две стороны относительно нормального, при котором зарегистрированные силы сочленения и расчленения минимальны, с максимальным расстоянием смещения по каждой из осей в 0,325–0,45 мм. В целях ускорения процесса проведения эксперимента для второй

конструкции крепления штыря смещение осуществлялось только в одну сторону на расстояние 0,8–1 мм. При этом следует понимать, что общая тенденция характера изменения сил сочленения–расчленения будет сохраняться и при смещении в другую, т.е. полученные значения по допустимому диапазону смещений можно удваивать. Так же для ускорения процесса проведения эксперимента смещение штыря осуществлялось диагонально с шагом 0,025–0,05 мм.

Для более наглядного представления методики проведения эксперимента далее представлена таблица значений зарегистрированной силы расчленения (в Н) контакта соединителя РП14 с механизмом крепления штыря, обеспечивающим наклон в одну сторону.

Примечание:

X – расстояние смещения положения штыря–калибра по оси X (мм);

Y – расстояние смещения положения штыря–калибра по оси Y (мм);

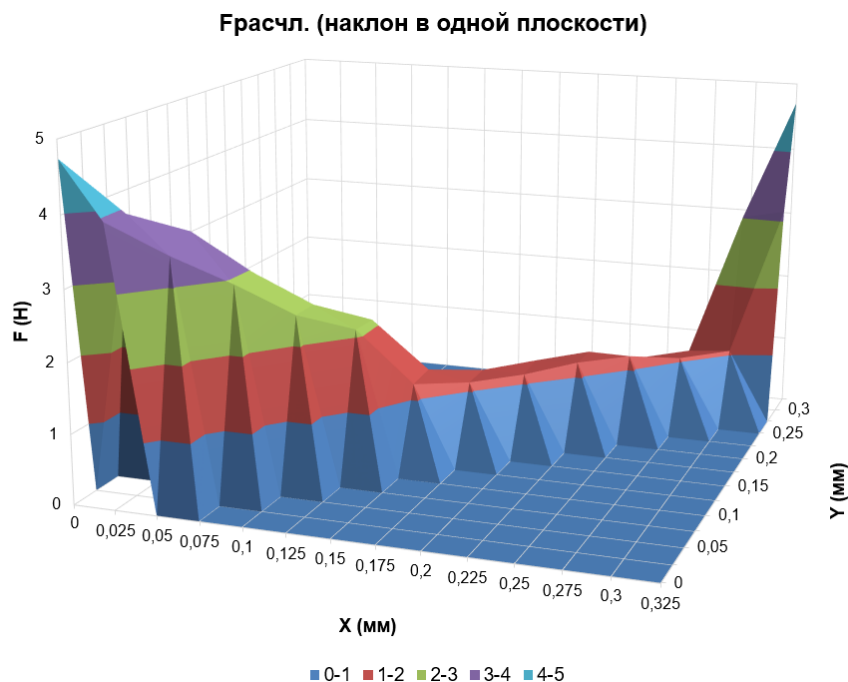
«Значение в ячейке таблицы» – измеренная сила расчленения контакта ЭС (Н).

На рисунке 5.12 представлены графики изменения сил сочленения и расчленения контактов при смещении положения штыря–калибра, закрепленного в разных компенсирующих механизмах. Дополнительные графики, отражающие изменение сил сочленения–расчленения при проведении эксперимента представлены в приложении Д.

Для вычисления максимально допустимого смещения штыря, закрепленного в разных компенсирующих механизмах, среди полученных значений определялось минимальное, относительно него для каждой итерации смещения высчитывалось относительное отклонение по формуле:

$$\delta_i = \frac{F_i - F_{min}}{F_{min}} \cdot 100 \%, \quad (5.5)$$

Далее фиксировались граничные значения диапазона смещений, для которых $\delta_i \leq \pm 10 \%$. Их разница определяет фактически допустимые значения смещений.



a)

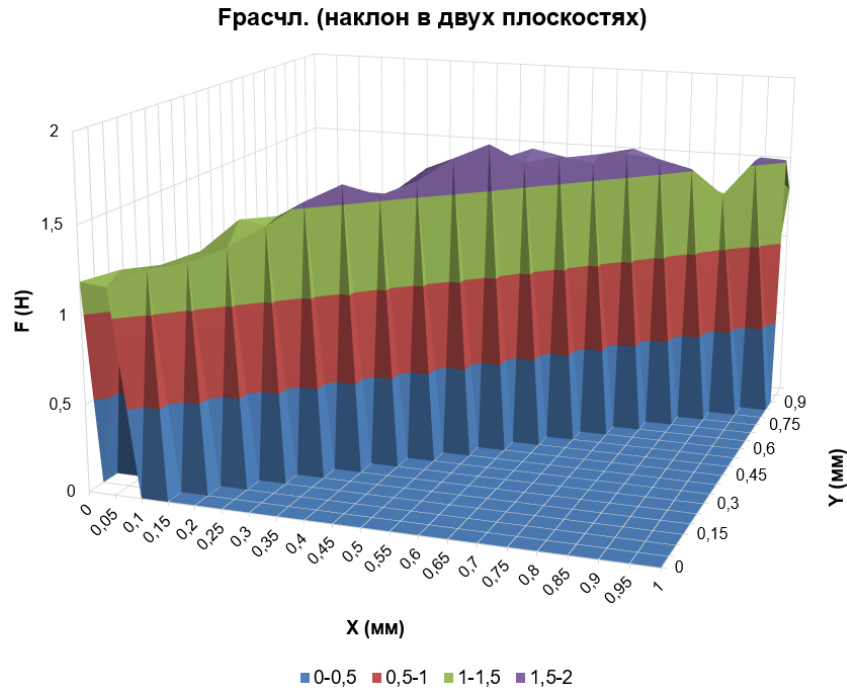


Рисунок 5.12 – График изменения сил расчленения контакта РП14 при смещении штыря–калибра: а) закрепленном в механизме наклона в одной плоскости; б) закрепленном в механизме наклона в двух плоскостях

Таблица 5.8 – Максимально допустимые смещения контакта относительно штыря–калибра

Контакт соединителя	Крепление с наклоном в одной плоскости (смещение в две стороны)		Крепление с наклоном в двух плоскостях (смещение в одну сторону)	
	ΔX_{\max} , мм	ΔY_{\max} , мм	ΔX_{\max} , мм	ΔY_{\max} , мм
РП10_1	0,025	0,025	0,2	0,2
РП10_2	0,05	0,075	0,3	0,325
РП14_1	0,05	0,025	0,15	0,1
РП14_2	0,075	0,1	0,3	0,3

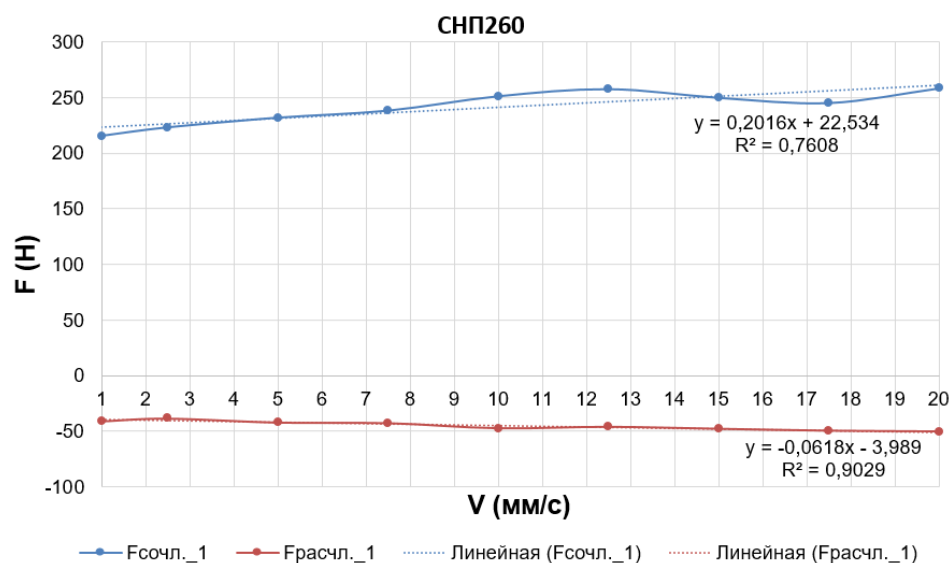
Не смотря на смещение только в одну сторону штыря–калибра с компенсационным механизмом наклона в двух плоскостях относительно нормального расположения, можно однозначно утверждать о значительном

расширении диапазона допустимых погрешностей расположения в сравнении с конструкцией, позволяющей наклонять штырь в одной плоскости.

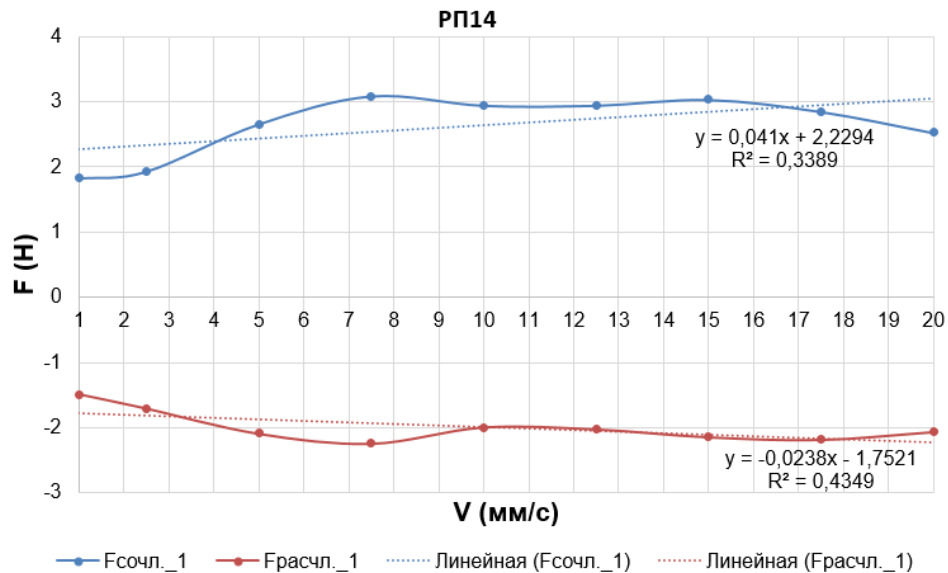
5.7. Анализ влияния скорости перемещения на результаты измерения силы сочленения–расчленения

Следует напомнить, что согласно ГОСТ 23784-98 [39] скорость сочленения–расчленения во время проведения испытаний должна быть равной 10 мм/с. Несмотря на это в настоящее время вопрос фактической зависимости изменения результатов измерений от скорости перемещения ЭС в научной литературе освещен в недостаточном объеме и затронут в работах [55, 96, 166, 167, 173].

В связи с этим на разработанных АСУ был проведен ряд экспериментов по определению зависимости между скоростью сочленения–расчленения и возникающими при этом силами. Скорость перемещения изменялась от 1 мм/с до 20 мм/с. Время между измерениями на разных скоростях (5 последовательных измерений силы сочленения–расчленения с вычислением среднего арифметического значения) составило 15 минут. На рисунке 5.13 представлен график зависимости изменения силы сочленения и расчленения от скорости перемещения.



а)



б)

Рисунок 5.13 – Графики изменения сил сочленения и расчленения при изменении скорости: а) перемещения соединителя СНП260; б) штыря–калибра относительно контакта соединителя РП14

Как видно из данных рисунков при увеличении скорости перемещения от 1 мм/с до 20 мм/с происходит увеличение сил сочленения–расчленения. Однако при отдельном построении графиков последовательного изменения сил в процессе проведения эксперимента можно заметить увеличение силы (рисунок 5.14). После этого была выдвинута гипотеза, заключающаяся в увеличении силы сочленения и расчленения с каждым дополнительным смыканием–размыканием в процессе проведения эксперимента. Т.е. при такой паузе между измерениями остаточные напряжения, возникающие в упругих элементах ЭС, не успевают «релаксироваться» до первоначальных значений.

Для проверки этой гипотезы скорость сочленения–расчленения сначала изменялась от 10 мм/с до 20 мм/с, затем – с 1 мм/с до 7,5 мм/с. Результаты измерений представлены на рисунке 5.15.

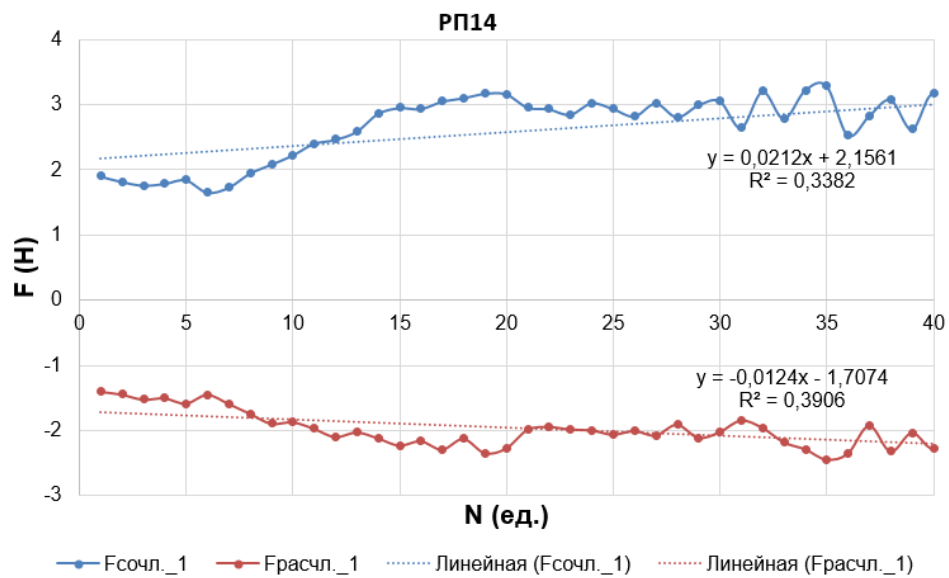
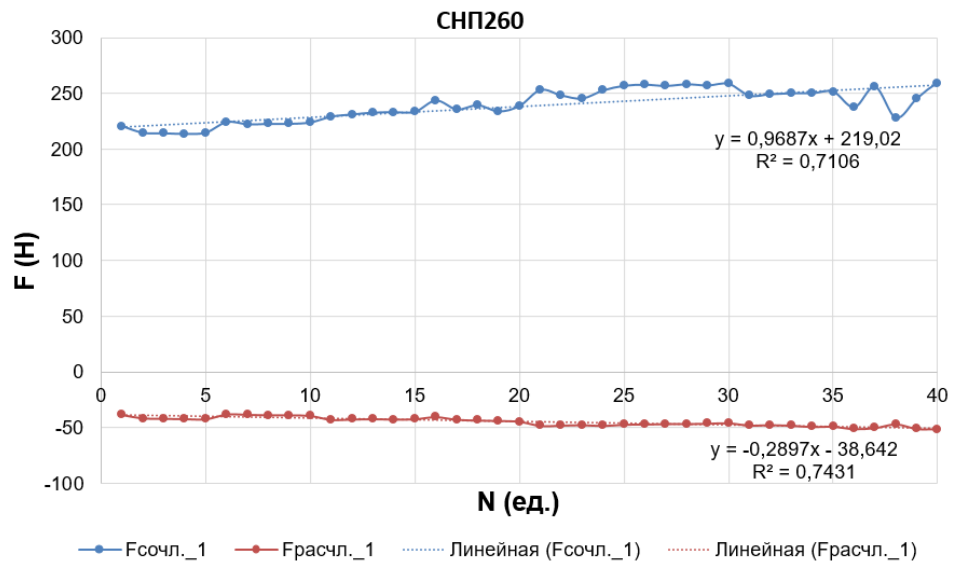
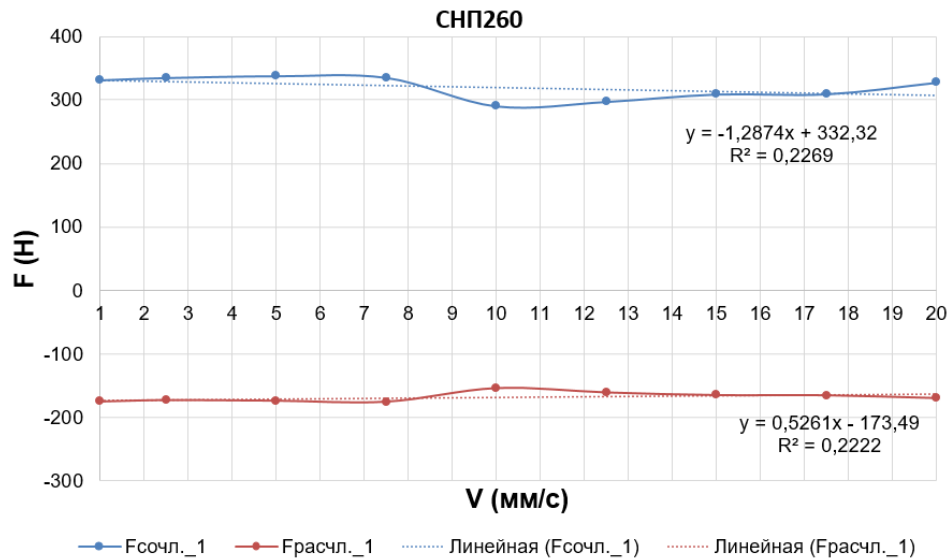
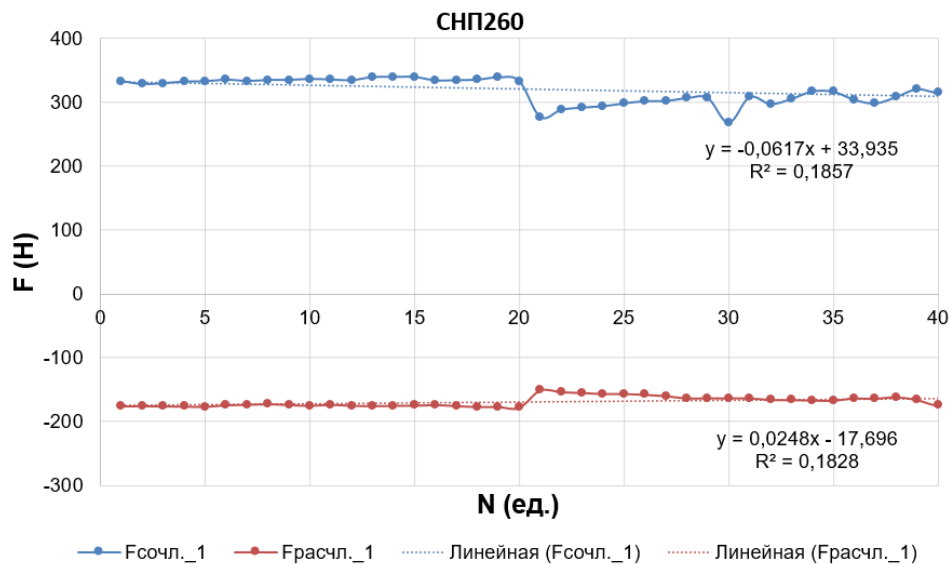


Рисунок 5.14 – Изменение сил сочленения и расчленения при N–последовательных циклах: а) для пары соединителей СНП260; б) для контакта соединителя РП14 и контрольного штыря–калибра



а)



б)

Рисунок 5.15 – График зарегистрированных сил сочленения–расчленения для пары соединителей СНП260: а) относительно изменения скорости перемещения ЭС; б) относительно N–последовательных циклов

Аналогичная тенденция изменения сил наблюдалась при уменьшении скорости перемещения от 20 мм/с до 1 мм/с. Таким образом, исходя из полученных наблюдений, можно сделать вывод о том, что в этом случае на величину изменения силы в большей степени влияет увеличение возникающей силы при последовательных смыканиях и размыканиях, нежели выявление зависимости от скорости перемещения.

В связи с обнаруженным эффектом время между измерениями силы сочленения–расчленения на разной скорости перемещения было увеличено до 8–12 часов. Так, на рисунке 5.16, представлен график изменения сил сочленения и расчленения для двух соединителей типа D-SUB (9 pin) в серии экспериментов по скорректированной методике.

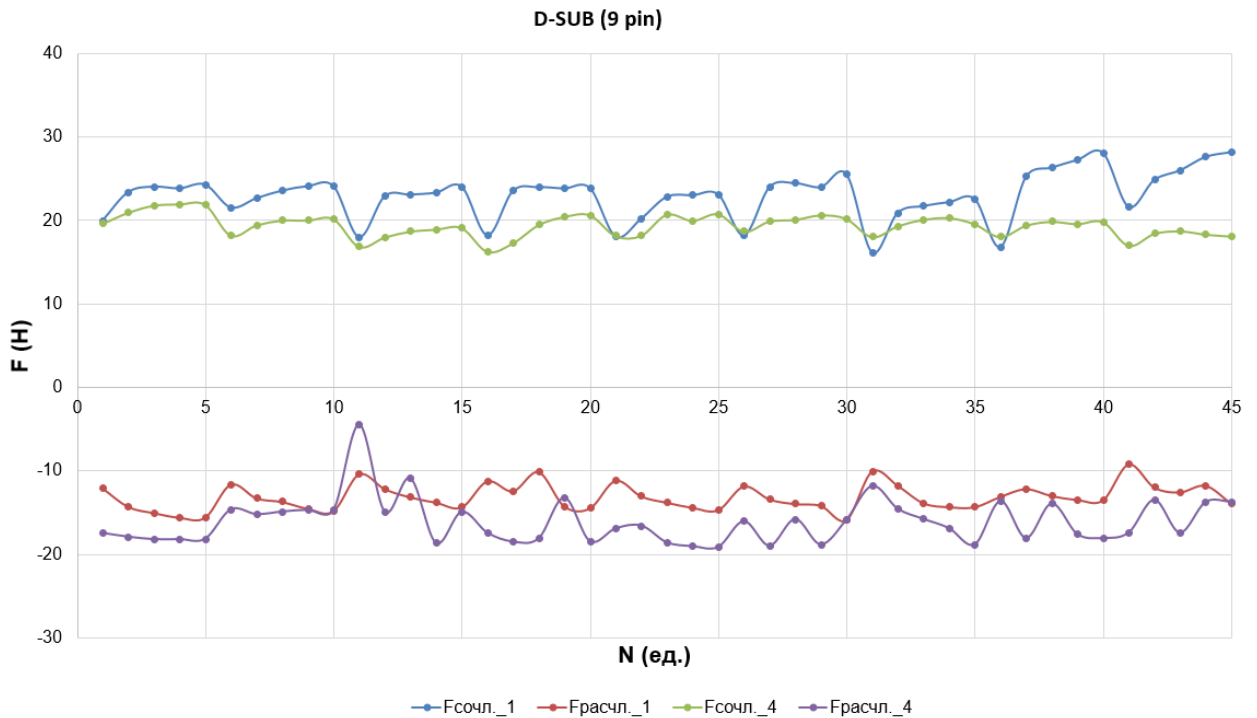


Рисунок 5.16 – График зарегистрированных сил сочленения–расчленения для двух пар соединителей D-SUB относительно N –последовательных циклов

Исходя из «пилообразного» характера изменения силы в серии из 5 последовательных смыканий–размыканий за установленное время ЭС успевает «релаксироваться».

График зависимости силы сочленения и расчленения от скорости перемещения для разных соединителей D-SUB (9 pin) представлен на рисунке 5.17.

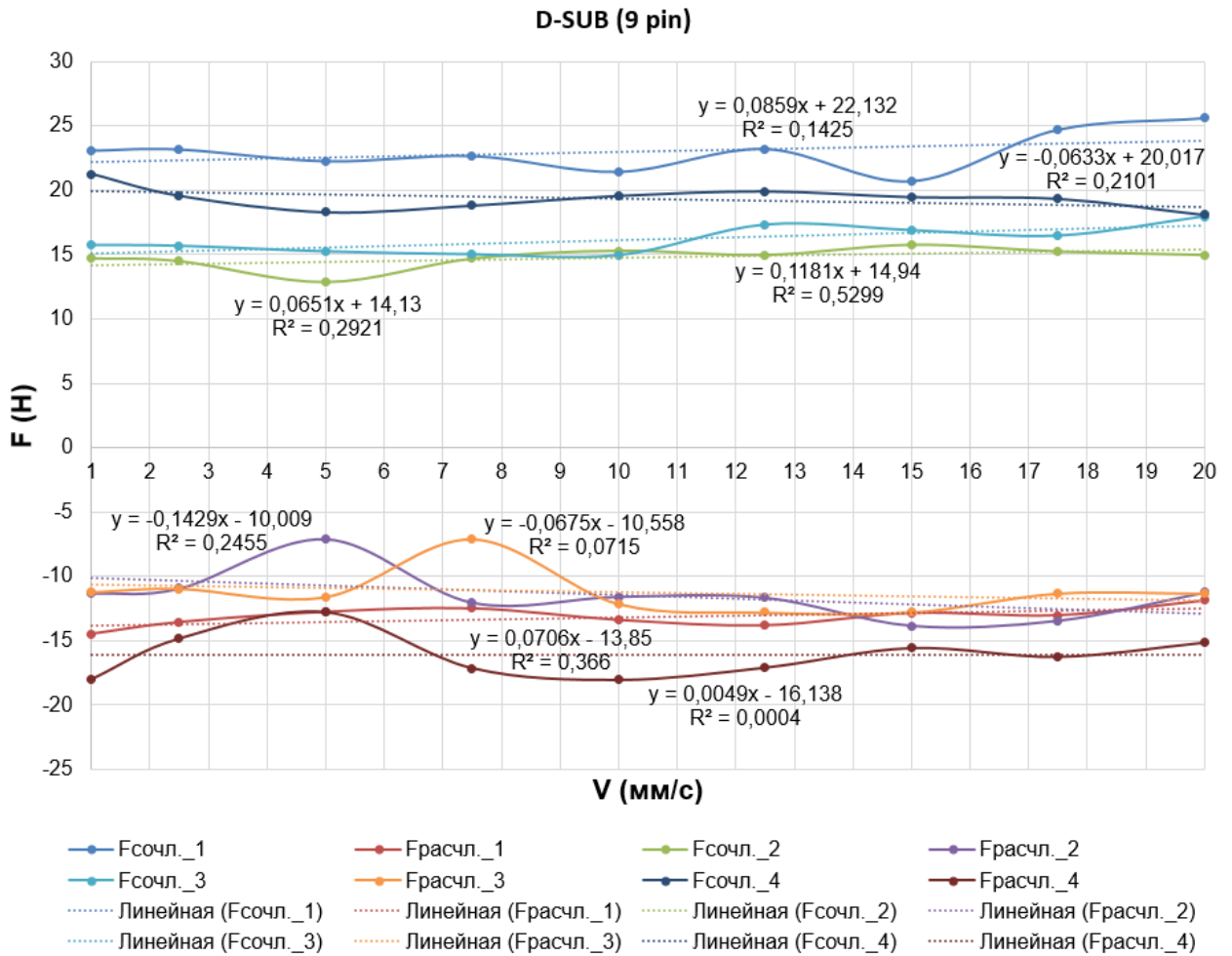


Рисунок 5.17 – График зарегистрированных сил сочленения–расчленения для пар соединителей D-SUB (9 pin) относительно изменения скорости перемещения ЭС

Для большей наглядности в таблице 5.9 отображены значения сил сочленения и расчленения для тех же пар соединителей, измеренные на скорости перемещения 1 мм/с и 20 мм/с, с указанием знака количественного изменения сил при увеличении скорости с учетом линейной аппроксимации. Отдельно рассчитан процент изменения сил сочленения–расчленения на граничных скоростях в эксперименте по формуле:

$$\delta = \frac{F_{V20} - F_{V1}}{F_{V1}} \cdot 100 \%, \quad (5.6)$$

где F_{V1} – сила сочленения–расчленения при скорости перемещения 1 мм/с (Н); F_{V20} – сила сочленения–расчленения при скорости перемещения 20 мм/с (Н).

Таблица 5.9 – Изменение сил сочленения–расчленения при увеличении скорости перемещения (на примере ЭС типа D-SUB (9 pin))

№ пары ЭС	F _{сочл.} , Н		δ, %	Изменен. по лин. аппрокс.	F _{расчл.} , Н		δ, %	Изменен. по лин. аппрокс.
	V=1 мм/с	V=20 мм/с			V=1 мм/с	V=20 мм/с		
1	23,11	25,64	+10,95	↑	14,49	11,86	-18,15	↓
2	14,72	14,98	+1,77	↑	11,32	11,25	-0,62	↑
3	15,73	17,96	+14,18	↑	11,21	11,31	+0,89	↑
4	21,24	18,13	-14,64	↓	17,98	15,15	-15,68	↓

В целом, исходя из представленных данных, можно сказать, что при увеличении скорости смыкания и размыкания ЭС в диапазоне от 1 мм/с до 20 мм/с происходит увеличение регистрируемой силы сочленения (исключение составила 4-я пара разъемов), это может быть связано с тем, что при меньших скоростях во время смыкания штырь более плавно заходит в гнездовой контакт и сами разъемы успевают самоцентрироваться в технологической оснастке [173]. Сила расчленения может как уменьшаться, так и увеличиваться, что отображает слабую зависимость от изменения скорости перемещения. Так, в литературе [50, 53, 55, 97] приведены результаты эксперимента, показывающие, что при изменении скорости до 1 м/с коэффициент трения приближенно можно считать не зависящим от диапазона входного параметра в пределах экспериментальной погрешности.

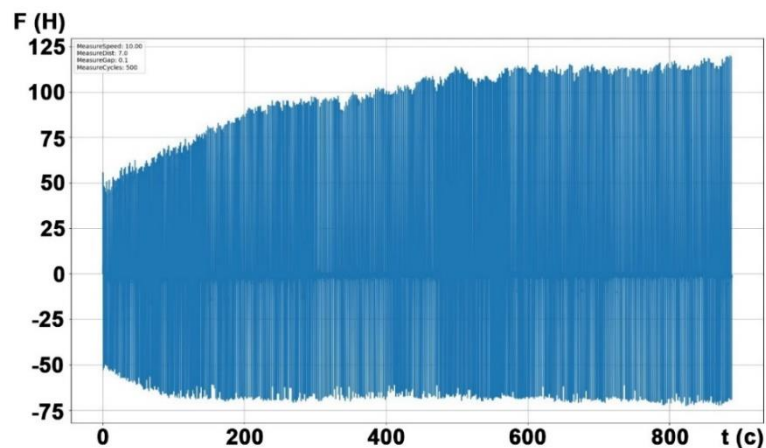
Однако для выдвижения более однозначного заключения по характеру изменения силы сочленения–расчленения в зависимости от скорости относительного перемещения требуется провести гораздо больше серий измерений на различных типах ЭС. Т.к. сам процесс смыкания и размыкания является сложным и зависит от множества факторов, которые невозможно

поддерживать на заданном уровне, то это обуславливает сложность проведения эксперимента с последующим анализом результатов.

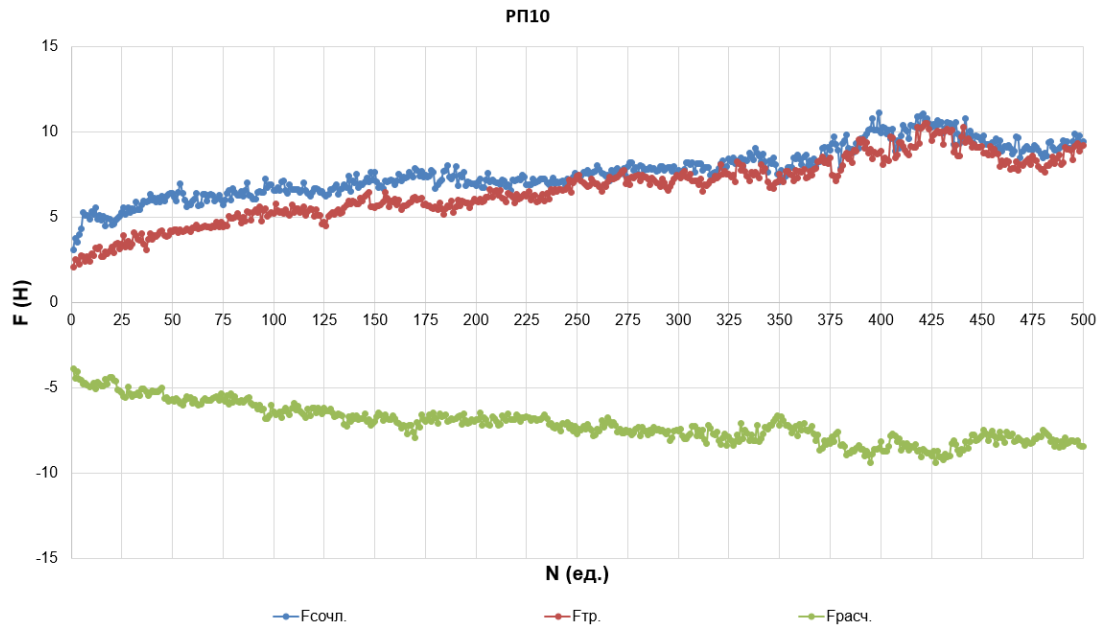
5.8. Анализ влияния количества циклов сочленения–расчленения на результаты измерения силы сочленения–расчленения

В предыдущем параграфе был кратко описан обнаруженный эффект, заключающийся в увеличении сил сочленения–расчленения при последовательных многократных смыканиях и размыканиях. Данный факт виден во время проведения испытаний на механическую износостойкость ЭС при помощи разработанных автоматизированных установок.

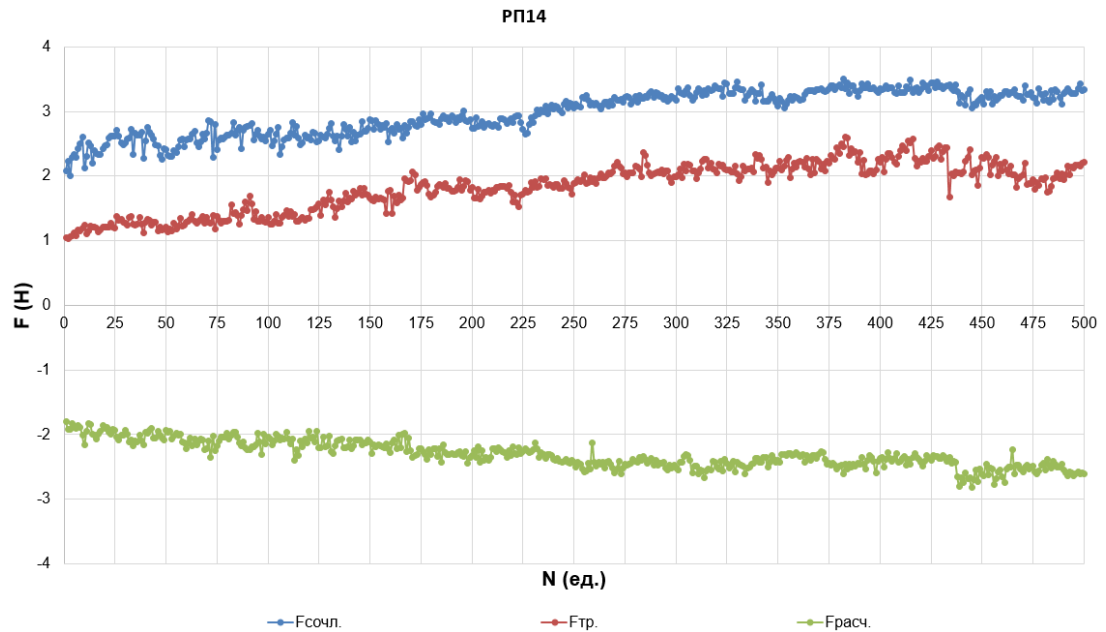
На рисунке 5.18 а представлен график изменения сил, полученный во время проведения испытания пар ЭС типа ГРПМШ1. Из данного графика можно увидеть значительное увеличение регистрируемых сил сочленения–расчленения [5, 8]. Аналогичная тенденция по изменению сил прослеживается не только при испытании пар соединителей, но и их отдельных контактов. Так на рисунках 5.18 б, в показаны отдельные графики изменения силы сочленения, трения скольжения и силы расчленения с контрольным штырем–калибром на примере ЭС типов РП10 и РП14. На всех графиках скорость перемещения подвижного элемента составила 10 мм/с, а количество циклов смыкания–размыкания равно 500.



а)



б)



в)

Рисунок 5.18 – График изменения сил, зарегистрированный при испытании на механическую износостойкость: а) пар ЭС типа ГРПМШ1; б) контакта ЭС типа РП10 с контрольным штырем–калибром; в) контакта ЭС типа РП14 с контрольным штырем–калибром

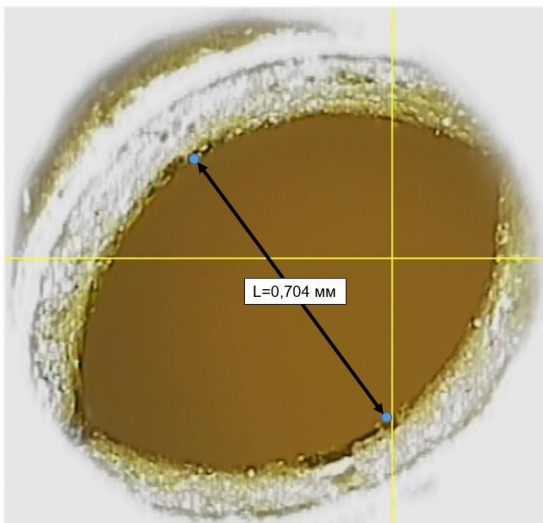
Многочисленные эксперименты, проводимые при N -циклах сочленения и расчленения ЭС показывают, что после определенного количества

сочленений–расчленений происходит стабилизация значений сил: сочленения, трения скольжения, расчленения.

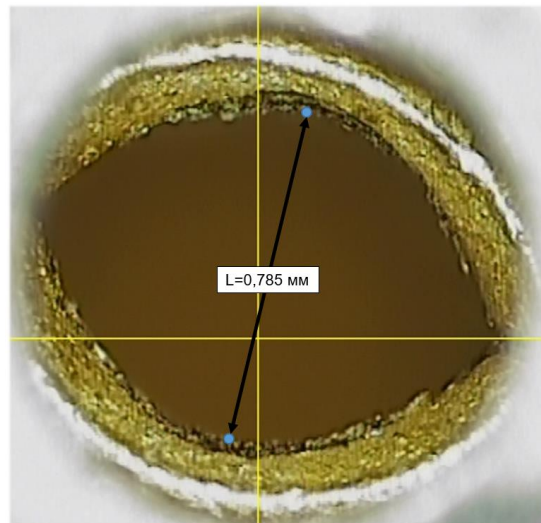
В литературе [47, 127, 131, 132, 163, 166–168, 170, 185] приводятся общие графики, отражающие увеличение сил при многократных циклах смыкания–размыкания. Увеличение сил авторы объясняют изменением коэффициента трения. Для подтверждения этой гипотезы проведен анализ геометрии контакта ЭС типа СНЦ144Д, внешний вид которого представлен на рисунке 5.19 а, до и после 500-кратного смыкания–размыкания. Можно заметить, что расстояние между контактными ламелями до эксперимента составило 0,704 мм (рисунок 5.19 б), а после испытания на износостойкость – 0,785 мм (рисунок 5.19 в). Однако, по логике, с увеличением расстояния между контактными площадками силы сочленения–расчленения должны уменьшаться. Несмотря на это, как и в предыдущие разы, был зарегистрирован рост сил, что косвенно говорит об увеличении коэффициента трения (см. формулу 1.11, 1.13).



а)



б)

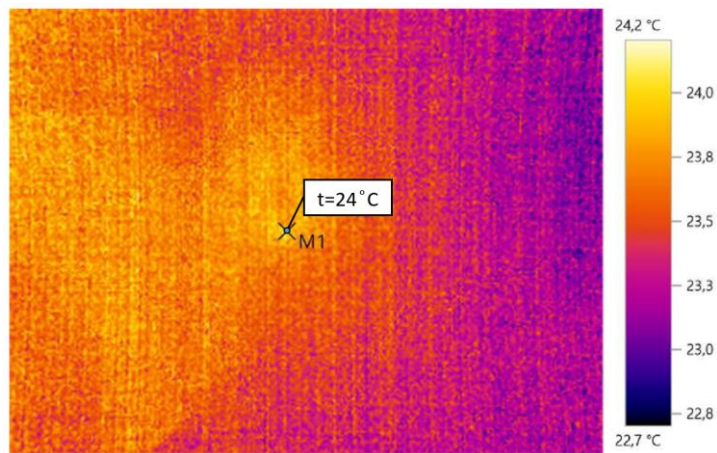


в)

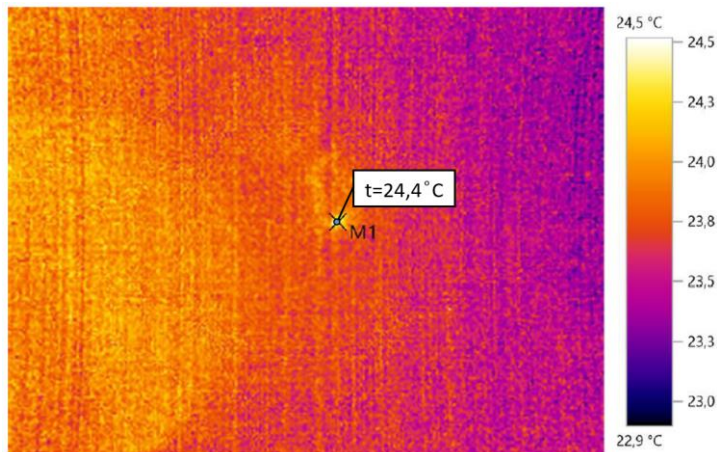
Рисунок 5.19 – Контакт ЭС типа СНЦ144Д: а) общий внешний вид;

- б) увеличенное изображение контактных поверхностей;
 в) увеличенное изображение контактных поверхностей после 500 циклов
 смыкания–размыкания

При помощи цифрового тепловизора Testo 882 [184] было определено, что изменение сил не связано с возможным нагревом контакта в процессе многократных сочленений–расчленений: температура контактной части изменилась на 0,4 °С (рисунок 5.20).



а)



б)

Рисунок 5.20 – Температурный профиль контакта ЭС типа СНЦ144Д:
 а) до проведения испытаний; б) после 500 циклов смыкания–размыкания

Также было определено, что после снятия нагрузки, приложенной к контактным элементам ЭС, возросшие силы после многократных сочленений–

расчленений снижаются со временем, стремясь вернуться к своим первоначальным значениям (если не учитывать износ). Данный эффект связан с релаксацией материала [68, 98, 117, 119, 137–140, 183].

На рисунке 5.21 представлены графики изменения сил сочленения, трения скольжения, расчленения для ЭС типа D-SUB (9 pin):

а) при первых 500 циклах сочленения–расчленения (на рисунке 5.21 – $F_{\text{сочл.}_1}$, $F_{\text{тр.}_1}$, $F_{\text{расчл.}_1}$);

б) повторении испытания через 48 часов (2 суток) после предыдущей серии эксперимента (на рисунке 5.21 – $F_{\text{сочл.}_2}$, $F_{\text{тр.}_2}$, $F_{\text{расчл.}_2}$);

в) повторении испытания через 168 часов (7 суток) после предыдущей серии эксперимента (на рисунке 5.21 – $F_{\text{сочл.}_3}$, $F_{\text{тр.}_3}$, $F_{\text{расчл.}_3}$);

г) повторении испытания через 1080 часов (45 суток) после предыдущей серии эксперимента (на рисунке 5.21 – $F_{\text{сочл.}_4}$, $F_{\text{тр.}_4}$, $F_{\text{расчл.}_4}$);

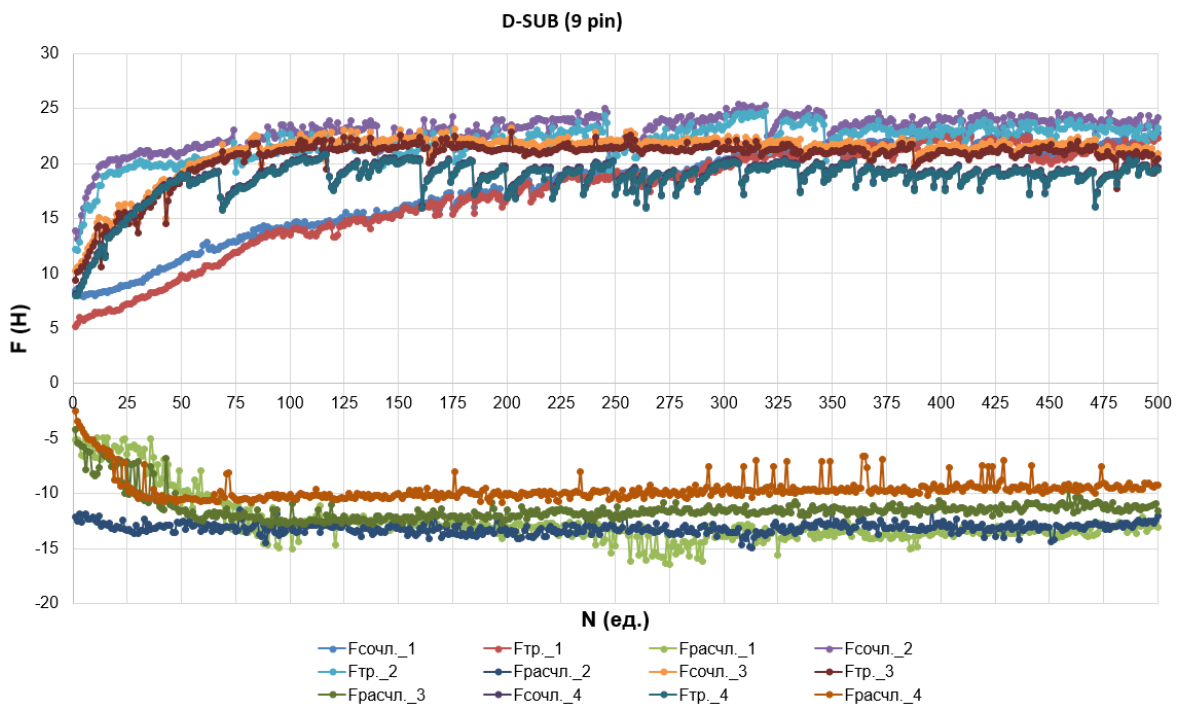


Рисунок 5.21 – Графики изменения сил при испытании на механическую износостойкость ЭС типа D-SUB (9 pin)

Из данных графиков видно, что:

1) с течением времени происходит релаксация материала контактных поверхностей ЭС;

2) после 100 циклов происходит стабилизация значений сил (исключение составляет первые 500 циклов смыкания–размыкания, где стабилизация происходит после 300 циклов);

3) по истечении 168 часов после проведения предыдущей серии экспериментов не произошла полная релаксация материала, т.е. начальные значения сил не вернулись к первоначальным показателям;

4) в эксперименте, проведенном через 1080 часов после предыдущей серии, можно наблюдать возврат значений сил к первоначальным показателям;

5) после 2000 смыканий–размыканий происходит снижение сил сочленения–расчленения из-за износа ЭС.

Анализ стандартной методики испытаний по измерению сил сочленения–расчленением с пятикратным смыканием и размыканием показывает, что в подавляющем большинстве происходит так же увеличение регистрируемой силы (таблица 5.10). Относительное изменение силы рассчитывалось по формуле:

$$\delta = \frac{F_{\text{сочл./расчл.}(5)} - F_{\text{сочл./расчл.}(1)}}{F_{\text{сочл./расчл.}(1)}} \cdot 100 \%, \quad (5.7)$$

где $F_{\text{сочл./расчл.}(1)}$ – сила сочленения/расчленения, зарегистрированная на первом цикле; $F_{\text{сочл./расчл.}(5)}$ – сила сочленения/расчленения, зарегистрированная на пятом цикле.

Таблица 5.10 – Анализ изменения сил сочленения–расчленения в серии 5 циклов

№ п.п.	Тип испыт.	Тип ЭС	$F_{\text{сочл.}(1)}$, Н	$F_{\text{сочл.}(5)}$, Н	δ , %	$F_{\text{расчл.}(1)}$, Н	$F_{\text{расчл.}(5)}$, Н	δ , %
1	К-Ш	РП10	2,71	3,38	+24,6	2,8	3,18	+13,6
2	К-Ш	РП10	1,96	2,42	+23,1	1,68	2,03	+20,12
3	К-Ш	РП14	2,58	2,7	+4,6	2,62	2,73	+4,27
4	К-Ш	РП14	2,6	2,67	+2,94	2,58	2,76	+6,85
5	К-Ш	РП14	2,97	2,91	-2,16	2,76	3,02	+9,14
6	К-Ш	РП14	2,68	2,98	+11,16	2,84	3,26	+14,94

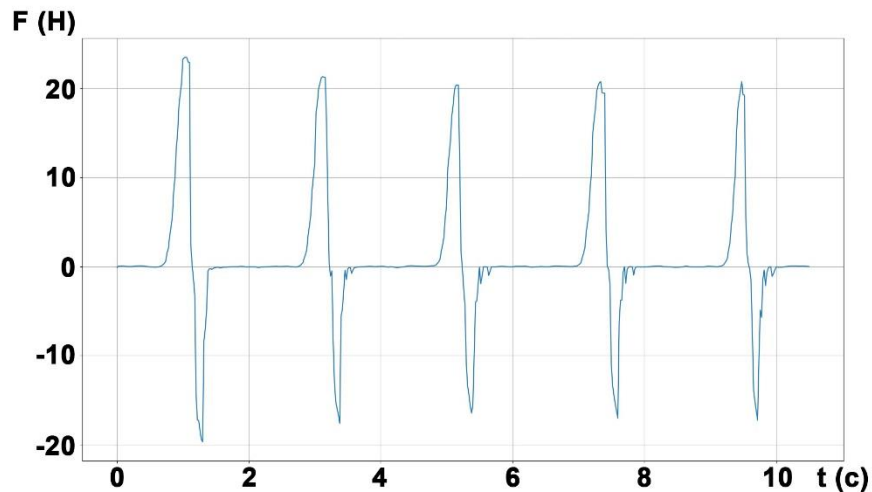
7	К-Ш	СНП388	0,85	0,88	+3,23	0,88	0,89	+1,44
8	К-Ш	СНП388	0,95	0,93	-1,91	0,84	0,9	+8,18
9	К-Ш	СНП388	0,62	0,7	+13,02	0,65	0,71	+9,46
10	К-Ш	СНП388	0,74	0,8	+7,8	0,65	0,83	+26,9
11	В-Р	D-SUB (9 pin)	15,09	14,34	-4,97	11,69	10,95	-6,34
12	В-Р	D-SUB (9 pin)	21,3	24,92	+16,99	12,83	16,15	+25,88
13	В-Р	D-SUB (9 pin)	15,95	15,51	-2,78	11,34	11,08	-2,32
14	В-Р	D-SUB (9 pin)	20,12	22,35	+11,05	18,67	20,48	+9,68
15	В-Р	D-SUB (15 pin)	21,99	19,59	-10,9	19,56	17,13	-12,45
16	В-Р	D-SUB (15 pin)	22,04	19,84	-9,98	18,25	16,16	-11,41
17	В-Р	D-SUB (15 pin)	19,9	18,91	-4,94	19,27	18,76	-2,65
18	В-Р	СНП260-46	100,99	121,1	+19,92	67,68	78,6	+16,13
19	В-Р	СНП260-46	65,46	54,05	-13,46	45,88	30,64	-33,32
20	В-Р	СНП260-46	70,72	68,88	-2,61	48,65	40,24	-17,28
21	В-Р	СНП260-69	111,61	109,65	-1,76	85,51	100,44	+17,46
22	В-Р	СНП260-69	109,28	116,66	+6,76	84,75	91,5	+7,97
23	В-Р	СНП260-69	111,24	117,53	+5,65	82,78	90,835	+9,73
24	В-Р	ГРПМШ1	49,83	52,73	+5,83	49,28	52,54	+6,17
25	В-Р	ГРПМШ1	51,81	51,34	-0,91	46,29	49,87	+7,72
26	В-Р	ГРПМШ1	47,8	48,28	+0,99	39,52	42,97	+8,75
27	В-Р	ГРПМШ1	55,38	55,46	+0,14	51,59	52,54	+1,83
28	В-Р	ГРПМШ1	50,61	52,89	+4,5	53,15	51,18	-3,7

Примечание:

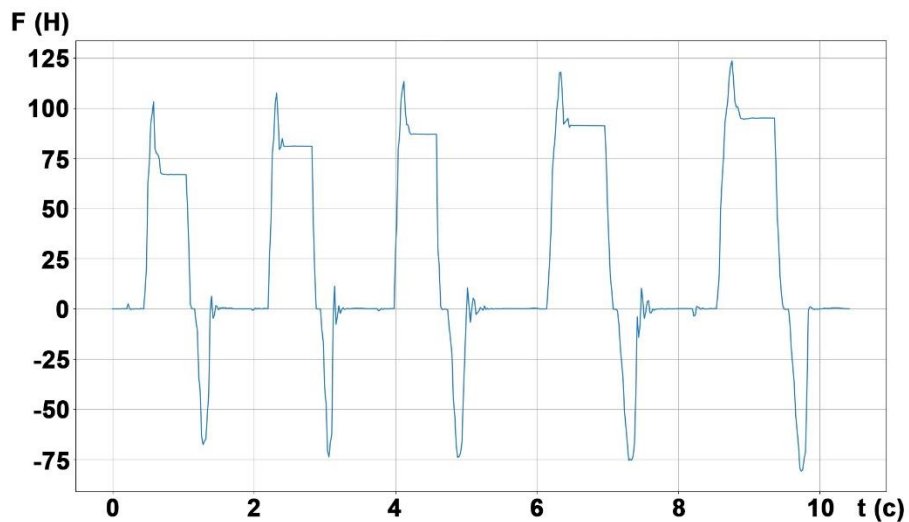
– испытание «К-Ш» означает проведение испытания измерения силы сочленения–расчленения контакта ЭС со штырем–калибром;

– испытание «В-Р» означает проведение испытания измерения силы сочленения–расчленения пар ЭС: вилки и розетки.

Зачастую уменьшение регистрируемой силы по сравнению с первым циклом смыкания–размыкания может быть связано с приработкой контактных поверхностей (рисунок 5.22 а), а увеличение – с увеличением коэффициента трения (рисунок 5.22 б).



а)



б)

Рисунок 5.22 – Графики изменения сил: а) пример уменьшения силы, связанный с приработкой контактных поверхностей ЭС; б) пример увеличения силы, связанный с увеличением коэффициента трения

Таким образом, при выполнении испытаний ЭС по существующим в настоящее время методикам важно учитывать особенности изменения регистрируемых сил в серии последовательных смыканий–размыканий. Это особенно важно при анализе условий проведения испытаний на механическую износостойкость: т.к. если сравнивать последовательные многократные сочленения и расчленения ЭС с реальными условиями эксплуатации, где время между последующими циклами смыкания и размыкания гораздо выше, то в первом случае разъем находится в более жестких условиях. Важно учитывать и обнаруженный эффект релаксации.

Так же следует отметить тот факт, что факт увеличения коэффициента трения при многократных сочленениях–расчленениях ЭС должен быть дополнительно изучен и проанализирован.

5.9. Результаты и выводы по пятой главе

1. Разработан скрипт на языке Python, позволяющий визуализировать полученные во время проведения испытаний ЭС данные в виде графиков.

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

3. Экспериментально подтверждено увеличение производительности выполнения ОК ЭС с применением разработанных АСУ по сравнению с ручным способом: на 24 % для операций контроля отдельных контактов ЭС и на 176 % для контроля пар разъемов.

4. Совместно с ООО «КОНСТРУКТОР» (г. Брянск) разработано программное обеспечение для модуля обработки сигнала тензодатчика,

позволяющее изменять параметры работы АЦП, влияющие на скорость обработки и работу фильтра помех.

5. Обоснована необходимость обеспечения заданного расстояния относительного перемещения контактной пары ЭС во время проведения испытаний.

6. Разработана оригинальная методика проведения испытаний, обеспечивающая гарантированное сочленение контактной пары ЭС.

7. 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.

8. 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.

9. Определен факт увеличения силы сочленения–расчленения при многократных циклах смыкания и размыкания, а также релаксации контактных поверхностей ЭС при снятии нагрузки.

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. 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 «жесткого» 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 испытуемого 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 $\varnothing 20$ 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).

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

1. В перспективе требуется разработать конструкцию механизма крепления штыря–калибра, обеспечивающего компенсацию линейных смещений и наклонов при относительном перемещении с контактом ЭС (см. рисунок 4.2 б).

2. По экономическим соображениям на данный момент фактически не реализована конструкция установки для измерения сил сочленения–расчленения миниатюрных ЭС и установки для проведения испытаний на износостойкость.

3. В перспективе для АСУ ОК сил сочленения–расчленения контактов ЭС для увеличения скорости и точности перемещения по осям X, Y планируется в применение сервопривода. Скорость перемещения при том же винте ШВП с шагом 5 мм может быть увеличена до 250 мм/с.

4. Опционально для исключения дополнительных ошибок при вводе параметров работы АСУ предполагается ввести специальную электронную идентификацию сменной технологической оснастки. В том случае, если проидентифицированные данные для конкретной установки и посадочного места испытуемого ЭС совпадают с установленной модификацией установленного тензодатчика, то модуль управления принимает решение о проведении дальнейших измерений с автоматической установкой требуемых параметров перемещения по координатам и допустимом диапазоне измеряемых сил.

5. В связи с тем, что на данном этапе разработки не известен номенклатурный ряд испытуемых соединителей, то полностью алгоритмический и программный потенциал АСУ силы сочленения–расчленения контактов со штырем–калибром не раскрыт: т.е. задание координат перемещения подвижных осей во время проведения испытания обеспечивается оператором вручную через СПК. После определения типов испытуемых разъемов программное обеспечение будет модернизировано

таким образом, что после выбора/идентификации типа соединителя перемещение по соответствующей траектории будет осуществляться автоматически. Так же в перспективе планируется, что по результатам окончания измерений будет отдельно отображаться перечень контактов во всем соединителе, для которых измеренная сила сочленения–расчленения находится вне допустимого диапазона.

6. Ввиду обнаруженной особенности методики гарантированного смыкания требуется модернизировать структуру системы управления для АСУ сил сочленения–расчленения пар ЭС, где управление подвижной осью будет осуществляться по шине USB командами, поступающими от модуля обработки сигнала тензодатчика. Также фактическая реализация алгоритма по предложенной методике требует дополнительного уточнения критерия анализа утроенного значения $tg(F)_{max}$, полученного при предварительном сочленении на заданное расстояние L_{min} на множестве типов контактных пар. Для проверки адекватности работы системы анализа определения точек смыкания и размыкания дополнительно предлагается модернизировать скрипт на языке Python, обеспечивающий дополнительную индикацию на графике точки, определенной как сила сочленения и расчленения. Исходя из всего вышеперечисленного требуется выполнить модернизацию программного обеспечения разработанных АСУ, опционально поддерживающих работу в двух режимах: обычном и с гарантированным смыканием.

7. В случае необходимости интеграции разработанных АСУ в системы автоматизации более высокого уровня предлагается дополнительно разработать программное обеспечение, позволяющее формировать соответствующие протоколы–отчеты о проведенных испытаниях.

8. Факт увеличения коэффициента трения при многократных сочленениях–расчленениях контактных пар ЭС, а также зависимость влияния скорости относительного перемещения на результаты проводимых испытаний должны быть дополнительно проработаны профильными специалистами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
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. 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.
7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. Алимов, Б. М. Применение кулисного механизма для привода рабочего органа поршневого насоса / Б. М. Алимов // Молодой ученый. – 2014. – № 9. – С. 102–105.

26. Беликов, П. П. Получение эмпирической формулы силы сочленения прямоугольных электрических соединителей с произвольным количеством контактов контактных пар по результатам определенных испытаний / П. П. Беликов, Л. И. Лебедева, А. А. Ларичев // Приборостроение и биотехнические системы. – 2012. – № 3–2 (293). – С. 130–135.

27. Беликов, П. П. Получение эмпирической формулы силы сочленения прямоугольных электрических соединителей с произвольным количеством контактных пар по результатам определительных испытаний / П. П. Беликов, Л. И. Лебедева, А. А. Ларичев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 3–2 (293). – С. 130–135.

28. Белоусов, А. К. Электрические разъемные контакты в радиоэлектронной аппаратуре / А. К. Белоусов, В. С. Савченко. – М.: Энергия, 1967. – 232 с.
29. Бондаренко, И. Б. Соединители и коммутационные устройства: учебное пособие / И. Б. Бондаренко [и др.]. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 151 с.
30. Бражкин, Ю. А. Контактные взаимодействия шариковых элементов подшипников при распространении упругих волн / Ю. А. Бражкин, Н. В. Ширгина // Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». – 2010. – С. 30–34.
31. Бредихин, А. Н. Электрические контактные соединения / А. Н. Бредихин, М. В. Хомяков. – М.: Энергия, 1980. – 168 с.
32. Васильев, Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач: учеб. пособие для вузов / Ф. П. Васильев. – М.: Наука, 1988. – 552 с.
33. ВЕКТОР-ПМ. Весовой измерительный модуль КСК5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kip59.ru/katalog/vesoizmeritelnoe-oborudovanie/vesoizmeritelnye-pribory/> (дата обращения: 24.03.2022).
34. Визуализация CoDeSyS 3. Компоненты и настройки. Справочное руководство / ОВЕН, 2014. – 26 с.
35. Винтовая передача: общетехнический справочник / Под ред. Е. А. Скороходова. – М.: Машиностроение, 1982. – 416 с.
36. Гаманюк, Д. Технология гиперболоидных контактов в технике / Д. Гаманюк // Современная электроника. – 2008. – № 9. – С. 16–21.
37. Гаманюк, Д. Электрические соединителя с интегрированными технологиями стабильного контакта // Современная электроника. – 2009. – № 9. – С. 26–29.
38. ГОСТ 21962–76. Соединители электрические. Термины и определения. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1976. – 12 с.

39. ГОСТ 23784-98. Соединители низкочастотные и низковольтные и комбинированные. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 24 с.
40. ГОСТ 27277-87. Радиокomпоненты электромеханические. Метод проверки удерживающего усилия упругих контактов. Государственный комитет по стандартам. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 5 с.
41. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Стандартиформ, 2018. – 7 с.
42. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016. Контроллеры программируемые. Часть 3. Языки программирования. – М.: Стандартиформ, 2016. – 230 с.
43. Гоц, А. Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей: учеб. Пособие / А. Н. Гоц. – Владим. гос. ун-т. – Владимир: Редакционно-издательский комплекс ВлГУ, 2005. – 124 с.
44. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия: пер. с англ. / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
45. Дудкин, Е. П. Основы автоматики и автоматизации: Учебное пособие. Часть 2: Автоматические системы / Е. П. Дудкин, Г. И. Коропальцев, А. А. Зайцев, К. О. Ерохов. – СПб.: Петербургский государственный технический университет путей сообщения, 2011 – 45 с.
46. Дуркин, В. С. Слаботочные скользящие контакты / В. С. Дуркин, К. Н. Генералова, А. А. Шацов // *Master's Journal*. – 2015. – №2. – С. 24–29.
47. Емаев И. И. Повышение износостойкости подвижных сопряжений на основе исследования совместимости трущихся поверхностей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.02.04. – Уфа. – 2018. – 175 с.
48. Еремин, А. Пути развития производства прямоугольных низкочастотных соединителей в России / А. Еремин, А. Киселев, А. Шадрин // *Современная электроника*. – 2013. – № 6. – С. 12–16.
49. Ефименко, А. А. Переходное контактное сопротивление в электрических соединениях с плоскими контактами / А. А. Ефименко, С. В.

Мерлян // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2013. – № 4. – С. 3–7.

50. Измайлов, В. В. К вопросу о зависимости коэффициента трения от давления и скорости / В. В. Измайлов, М. В. Новоселова // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2019. – №2 (2). – С. 5–13.

51. Катунин, А. Д. Актуальные проблемы контроля силы коммутации прямоугольных электрических соединителей / А. Д. Катунин, Л. И. Лебедева // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 4 (306). – С. 139–143.

52. Корнилов, А. Г. Методические материалы для изучения алгоритмов реализации методов безусловной оптимизации непрерывных одномерных и многомерных унимодальных функций / А. Г. Корнилов. – Казань: Казанский Государственный Технический Университет им. А. Н. Туполева, 2003. – 28 с.

53. Коронатов, В. А. О корректном применении закона Кулона при использовании экспериментальных характеристик трения. Аппроксимация кривой Штрибека / В. А. Коронатов // Системы Методы Технологии. – 2019. – С. 35–43.

54. Кравчук А. С. Механика контактного взаимодействия тел с круговыми границами / А. С. Кравчук, А. В. Чигарев. – Мн.: Технопринт, 2000. – 196 с.

55. Крагельский, И. В. Коэффициент трения: справочное пособие / И. В. Крагельский, И. Э. Виноградова. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во машиностроительной литературы, 1962. – 112 с.

56. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1977. – 526 с.

57. Крагельский, И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – М.: изд-во «Машиностроение», 1968. – 480 с.

58. Лязгин А. О. Закономерности деформации и разрушения гальванических покрытий на основе золота при трибологических испытаниях: диссертация ... кандидата физико-математических наук: 01.04.07. – Томск. – 2016. – 170 с.

59. Лярский, В. Ф. Электрические соединители: справочник / В. Ф. Лярский, О. Б. Мурадян. – М.: Радио и связь, 1988. – 272 с.

60. Макаров, И. А. Разработка методики для определения усилия сочленения-расчленения многоконтактного разъема средствами САПР SOLIDWORKS / И. А. Макаров // Проектирование, производство и эксплуатация летательных аппаратов. – С. 163–166.

61. Маклакова, Т. И. Оценка качества процесса входного контроля продукции приборостроительного предприятия / Т. И. Маклакова, В. В. Марков // Качество продукции: Контроль, управление, повышение, планирование. – 2014. – С. 297–299.

62. Маклакова, Т. И. Физические явления, сопровождающие процесс замыкания контактных пар электрических соединителей, и определяющие их надежность / Т. И. Маклакова, В. В. Марков // Качество в производственных и социально-экономических системах: сб. научных трудов 5-й Международной науч.-техн. конф. – 2017. – С. 205–208.

63. Мартынов, В. В. Оценка точности позиционирования рабочих органов металлорежущих станков по статистическим данным: методические указания для студентов / В. В. Мартынов, В. В. Гришаев. – Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2006. – 16 с.

64. Мерл, В. Электрический контакт. Теория и применение на практике: перевод с немецкого / В. Мерл. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 80 с.

65. Мехеда, В. А. Тензометрический метод измерения деформаций / В. А. Мехеда. – Самара: Изд-во Самарского гос. аэрокосмического унив., 2011. – 56 с.

66. Митрейкин, Н. А. Надежность и испытания радиодеталей и радиокомпонентов / Н. А. Митрейкин, А. И. Озерский. – М.: Радио и связь, 1981. – 272 с.
67. Мышкин, Н. К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические и технические приложения трибологии / Н. К. Мышкин, М. И. Петроковец. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.
68. Невский, С. А. Релаксация напряжений алюминия при подключении разнородных металлов / С. А. Невский, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Известия вузов. Северо-кавказский регион. Естественные науки. – 2010. – № 6. – С. 49–51.
69. ОВЕН. Модули аналогового ввода сигналов тензодатчиков (с интерфейсом RS-485) MB110 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.owen.ru/product/moduli_analogovogo_vvoda_signalov_tenzodatchikov (дата обращения: 24.03.2022).
70. ОВЕН. СПК1хх сенсорные панельные контроллеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.owen.ru/product/spk1xx> (дата обращения: 24.03.2022).
71. ОВЕН. Среда программирования CODESYS V2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/product/codesys_v2 (дата обращения: 24.03.2022).
72. Овсянников, Е. М. Электрический привод: учебник / Е. М. Овсянников. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
73. Патент RU 155079. Устройство для проверки минимально допустимого усилия расчленения контакта многоконтактного разъема / Е. С. Бобков, А. Е. Лисунов. – заявка 2014149316/28, 08.12.2014. – ЗАО «НПП «Полет».
74. Патент RU 177529. Установка для измерения усилия сочленения и расчленения соединителей / А. Д. Сырых, П. А. Акулов. – заявка 2017130135, 25.08.2017.

75. 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.
76. Патент RU 93532 U1. Установка для измерения усилия расчленения соединителей / М. З. Левин, А. Г. Давидчук, Е. А. Солодухин [и др.]. – заявка 2009146104/22, 11.12.2009. – ЗАО «НПЦ «Аквамарин».
77. Патент SU 1 435 965 A1. Динамометр для измерения усилий расчленения контактов / Рябиков В. М. – заявка 2976830/24-10, 18.11.85.
78. Патент SU 911 182 A1. Динамометр для контроля усилия расчленения контактов / Г. Н. Фомичев. – заявка 2980744/18-10, 16.06.80.
79. Петухов С. В. Электропривод: Учебное пособие. / сост. С. В. Петухов, М. В. Кришьянис. – Архангельск: С(А)ФУ, 2015. – 303 с.
80. Пивоваров, В. Анализ мировых тенденций развития и проблем производства электрических соединителей / В. Пивоваров, Л. Сафонов, И. Хохлов // Компоненты и технологии. – 2007. – № 2. – С. 1–4.
81. Подшипники и узлы для линейного перемещения. Справочное руководство / SKF. – 60 с.
82. Полюшкин, Н. Г. Основы теории трения, износа и смазки / Н. Г. Полюшкин. – Красноярск: Гос. аграрный ун-т., 2013. – 192 с.
83. Приходько, А. Настройка обмена по протоколу Modbus в CODESYS v3.5 / А. Приходько // Автоматизация и производство. – 2013. – № 2. – С. 32–37.
84. Профильные рельсовые направляющие серии LLT. Справочное руководство / SKF. – 76 с.
85. Рачков, М. Ю. Автоматизация производства: учебник для СПО / М. Ю. Рачков. – М.: Изд-во Юрайт, 2018 – 180 с.
86. Решетов, Д. Н. Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
87. Рыбакова, Н. В. Разработка метода входного контроля разъемных электрических соединителей ракетно-космической техники / Н. В. Рыбакова,

В. В. Марков // Качество в производственных и социально-экономических системах: сб. научных трудов 5-й Международной науч.-техн. конф. – Юго-Зап. гос. ун-т, Курск: ЗАО «Университетская книга». – 2017. – С. 277–281.

88. Сафонов, А. Л. Анализ физических процессов в контактах / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – № 6. – С. 54–58.

89. Сафонов, А. Л. Зависимость переходного сопротивления электрических контактов от направления вектора контактного усилия / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2014. – № 1. – С. 74–79.

90. Сафонов, А. Л. О некоторых аспектах разработки и производства электрических соединителей / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов. – СПб.: Изд-во «Медиа Группа Файнстрит», 2015. – 295 с.

91. Сафонов, А. Л. Общие принципы организации и технологии испытаний электрических соединителей / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2008. – № 7. – С. 44–51.

92. Сафонов, А. Л. Оптимизация элементов контактных пар / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2012. – № 4. – С. 58–61.

93. Сафонов, А. Л. Основные аспекты теории неподвижного электрического контакта / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2008. – № 4. – С. 58–62.

94. Сафонов, А. Л. Пленки на электрических контактах / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2008. – № 5. – С. 58–62.

95. Сафонов, А. Л. Применение автоматизированных систем при разработке и производстве контактов электрических соединителей / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2012. – № 5. – С. 56–60.

96. Сафонов, А. Л. Расчет контактов электрических соединителей на износ / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2008. – № 8. – С. 35–42.

97. Сафонов, А. Л. Трение и износ в контактных парах электрических соединителей / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2008. – № 3. – С. 34–39.

98. Сафонов, А. Л. Упругие элементы контактных пар / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2012. – № 1. – С. 44–50.

99. Сафонов, А. Л. Электролитическое получение серебряных и золотых покрытий повышенной твердости и износоустойчивости / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – № 7. – С. 54–59.

100. Семенкин, Е. С. Методы оптимизации: конспект лекций / Е. С. Семенкин, О. Э. Семенкина, А. Н. Антамошкин, В. А. Терсков, В. В. Тынченко. – Красноярск: ФГОУ ВПО Сибирский федеральный университет, 2007. – 195 с.

101. СПК. Визуализация. Руководство для начинающих и продвинутых пользователей / ОВЕН, 2016. – 427 с.

102. Сырых, А. Д. Установка для измерения суммарного усилия сочленения и расчленения электрических соединителей. Включение и начальная калибровка установки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=vW_X_6FqbMg (дата обращения: 24.03.2022).

103. Сырых, А. Д. Установка для измерения суммарного усилия сочленения и расчленения электрических соединителей. Установка специализированных обойм для соединителей типа СНП-260 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=GZyAxT7lnps> (дата обращения: 24.03.2022).

104. Сырых, А. Д. Установка для измерения суммарного усилия сочленения и расчленения электрических соединителей. Измерение параметров соединителя типа СНП-260 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=Y3CkQK7QM5o> (дата обращения: 24.03.2022).

105. Сырых, А. Д. Установка для измерения суммарного усилия сочленения и расчленения электрических соединителей. Измерение параметров соединителя типа ГРПМШ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=H31N0lOmD0c> (дата обращения: 24.03.2022).

106. Тептин, Г. М. Математическое моделирование: учебно-методическое пособие / Г. М. Тептин, О. Г. Хуторова, А. А. Журалев. – Казань: Казанский государственный университет, 2009. – 19 с.

107. Тептин, Г. М. Численные методы в физике и радиофизике: учебно-методическое пособие / Г. М. Тептин, О. Г. Хуторова, Ю. М. Стенин, А. А. Журавлев [и др.]. – Казань: КФУ, 2012. – 46 с.

108. Термопро. Контроль усилия стыковки разъемов. Технологический стенд для контроля усилия стыковки/расстыковки электрических разъемов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://termopro.ru/catalog/cables1/force_connectors/ (дата обращения: 24.03.2022).

109. ТОЧПРИБОР. Динамометр ДПУ–0,02–2. Технические характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vesmaster.ru/catalogue/824/827/> (дата обращения: 24.03.2022).

110. Усов, В. В. Металловедение электрических контактов / В. В. Усов. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 208 с.

111. Усольцев, А. А. Электрический привод: Учебное пособие. / Усольцев А. А. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 238 с.

112. Уткин, Г. И. Особенности процесса трения рабочих поверхностей деталей контактной пары разъемного электрического соединителя // Г. И.

Уткин, В. В. Марков // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2012. – № 2–5 (292). – С. 95–100.

113. Уткин, Г. И. Показатели назначения электрических соединителей, характеризующие техническое состояние контактов / Г. И. Уткин, В. В. Чкан, В. В. Марков // *Известия ОрелГТУ: Стандартизация и управление качеством.* – 2009. – № 6 / 278 (577). – С. 114–119.

114. Уткин, Г. И. Экспериментальная установка для исследования надежности разъемных электрических соединителей / Г. И. Уткин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2012. – № 2 (292). – С. 163–168.

115. Фатыхов, Ю. А. Разработка весоконтрольного модуля для мехатронного комплекса порционирования пищевых продуктов / Ю. А. Фатыхов, О. В. Агеев // *Научный журнал НИУ ИТМО. Процессы и аппараты пищевых производств.* – 2014. – № 3. – С. 235–258.

116. Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. – 233 с.

117. Чистяков, П. В. Эффекты вязкоупругого поведения материалов в режиме сверхпластичности / П. В. Чистяков, О. И. Быля, А. Ф. Ахметгалеев // *Механика деформируемого твердого тела.* – 2011. – № 4 (4). – С. 1855–1856.

118. Чукан, Й. Тензометрические датчики силы / Й. Чукан, К. Костиков // *Компоненты и технологии.* – 2010. – № 1. – С. 16–18.

119. Шалыгин М. Г. Изнашивание субшероховатости поверхностей трения в водородосодержащей среде: диссертация ... доктора технических наук: 05.02.04. – Брянск. – 2017. – 254 с.

120. Школа для электрика. Тензодатчики – тензометрические измерительные преобразователи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/izmeren/428-tenzometricheskie-izmeritelnye.html> (дата обращения: 24.03.2022).

121. ЭЛЕКТРОСАМ. Тензометрические датчики (Тензодатчики). Виды и работа [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/tenzometricheskie-datchiki-tenzodatchik/> (дата обращения: 24.03.2022).

122. 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.

123. Alumica. Алюминиевый конструкционный профиль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alumica.ru/structural-profile/> (дата обращения: 24.03.2022).

124. Analog Devices. 24-разрядный КМПО сигма-дельта АЦП для мостовых датчиков нагрузки AD7730 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/series/AD/AD7730> (дата обращения: 24.03.2022).

125. ANSYS, Lecture 3: Introduction to Contact / ANSYS. – Inc. Proprietary, Release 13.0, 2010. – 74 p.

126. Antler, M. Contact fretting of electronic connector / M. Antler // IEICE TRANS. ELECTRON. – 1999. – VOL. E82-C, NO.1. – P. 3–12.

127. Aukland, N. Sliding wear on clad gold-nickel material systems lubricated with a 6-ring polyphenyl ether / N. Aukland, H. Hardee, P. Lees // Proceedings of the Forty-Sixth IEEE Holm Conference of Project: Gold Cost Reduction. – 2000. – P. 1–9.

128. Bosch Rexroth AG. Технология линейных перемещений. Справочное руководство R310RU. – Германия. Швейнфурт, 2017. – 352 с.

129. ConnectorSupplier. Normal Force: A Return to Basics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://connectorsupplier.com/normal-force-a-return-to-basics/> (дата обращения: 24.03.2022).

130. Deeg, E. W. New Algorithms for calculating Hertzian Stresses, Deformations and Contact Zone Parameters / E. W. Deeg // AMP Journal of Technology. – 1992. – 2. – P. 14–24.

131. Dijk, P. V. A design solution for fretting corrosion / P. V. Dijk // Proceedings of the 42nd IEEE Holm Conference on Electrical contacts. – 1996. – P. 1–8.
132. Dijk, P. V. Contact Problems Due to Fretting and Their Solutions / P. V. Dijk // AMP Journal of Technology. – 1996. – Vol. 5. – P. 14–18.
133. Dijk, P. V. Contact Spots / P. V. Dijk // Proc. 20th Conf. On Electrical Contacts ECEC. – 2000. – P. 1–6.
134. Dijk, P. V. Contacts in Motion / P. V. Dijk // ICEC Conf. – 1998. – P. 123–127.
135. Dijk, P. V. Critical Aspects of Electrical Connector Contacts / P. V. Dijk // Proc. ICEC Conf. – 2002. – P. 1–7.
136. Gedeon, M. Connector Insertion Force / M. Gedeon // Materion Brush Performance Alloys. – 2012. – Issue No. 44. – P. 1–2.
137. Gedeon, M. Factors Affecting Stress Relaxation and Creep / M. Gedeon // Brush Wellman. – 2010. – Issue No. 13. – P. 1–2.
138. Gedeon, M. Reliability and End-of-Life Contact Force / M. Gedeon // Brush Wellman. – 2009. – Issue No. 5. – P. 1–2.
139. Gedeon, M. Stress relaxation / M. Gedeon // Materion Performance Alloys. – 2016. – Issue No. 87. – P. 1–2.
140. Gedeon, M. Stress Relaxation and Creep / M. Gedeon // Brush Wellman. – 2009. – Issue No. 12. – P. 1–2.
141. Gedeon, M. The Importance of Contact Force / M. Gedeon // Brush Wellman. – 2009. – Issue No. 6. – P. 1–2.
142. Greiner, F. Force sensor with increased local resolution for electronic Contact Normal Force measurement in electrical connectors / F. Greiner, R. Chadda, J. Adolf, S. Beck, M. Kupnik // IEEE Sensors. – 2019. – P. 1–4.
143. Heile, I. Contact plating material options for electronic connectors / I. Heile, R. Huske // Strategic Technology Expert HARTING AG & Co. KG. – 2017. – P. 1–5.

144. Hiwin. Шарико-винтовые передачи. Справочное руководство. – 38 с.
145. Hiwin. Шарико-винтовые приводы. Справочное руководство. – 122 с.
146. Horn, J. Shape Optimization of Connector Contacts for Reduced Wear and Reduced Insertion Force / J. Horn, B. Egenolf // AMP Journal of Technology. – 1992. – Vol. 2. – P. 42–46.
147. Hsu, Y. L. Shape optimal design of the contact springs of a connector / Y. L. Hsu, Y. C. Hsu, M. S. Hsu // Journal of Electronic Packaging. – 2002. – Vol. 124. – P. 178–183.
148. ImeTTEst. Horizontal Type Mating and Unmating Force Tester [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=_ckQK027zjQ&ab_channel=AnnaNing (дата обращения: 24.03.2022).
149. Interpower. Insertion-Withdrawal Testing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.interpower.com/ic/designers/QualityTopics/InsertionWithdrawal-Testing.html> (дата обращения: 24.03.2022).
150. Jackson, R. The Effect of Initial Connector Insertions on Electrical Contact Resistance / R. Jackson, W. R. Ashurst, G. T. Flowers, M. Bozack // Electrical Contacts, Proceedings of the Annual Holm Conference on Electrical contacts. – 2007. – P. 1–8.
151. Jun, P. Structural analysis of electrical connector contacts and insertion–extraction test / P. Jun, F. Jin, W. Chen, P. Qian // China Mechanical Engineering. – 2013. – 24 (12). – P. 1636–1641.
152. Kong, Z. Combined effects of fretting and pollutant particles on the contact resistance of the electrical connectors / Z. Kong, J. Swingler // Progress in Natural Science. – 2017. – 27 (3). – P. 385–390.
153. Li, Y. Analysis of insertion force of electric connector based of FEM / Y. Li, F. Zhu, Y. Chen, K. Duan, K. Tang, S. Liu // IEEE 21st International

Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA). – 2014. – P. 195–198.

154. Lim, J. Numerical and Experimental Analysis of Potential Causes Degrading Contact Resistances and Forces of Sensor Connectors for Vehicles / J. Lim, H. Kim, J. K. Kim, S. J. Park, T. H. Lee, S. W. Yoon // IEEE Access. – 2019. – 7. – P. 126530–126538.

155. Linear Bushings. Справочное руководство. Asia type Bushing / Europe type Ball Bushing. – 46 с.

156. Linear-Tech. Шарнирные наконечники серии POS, PHS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://linear-tech.ru/sharnirnye-nakonechniki/serii-pos-phs.html> (дата обращения: 24.03.2022).

157. Ling, S. S. Insertion Force Investigation of Electrical Connector with Convergent Angle and Concentricity / S. Ling, L. Xu, G. Zhai // Sixth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control. – 2016. – P. 270–273.

158. Luo, Y. Simulation and experimental study on plug and pull characteristic of electrical connector contact / Y. Luo, J. Yang, Y. Ren, Y. Zhang, W. Li // Chinese Journal of Engineering Design. – 2017. – 24 (2). – P. 168–173.

159. Luo, Y. Y. Contact Performance Degradation Mechanism of Electrical Connectors under Vibration Conditions / Y. Y. Luo, L. Zhang, F. Meng, J. Hao // China Mechanical Engineering. – 29 (16). – P. 1952–1957.

160. Luo, Y. Y. Numerical analysis and experimental verification on stress field of electrical connector contact / Y. Y. Luo, J. Y. Yang, X. W. Liu, X. N. Li // Chinese Journal of Engineering Design. – 2016. – 23 (6). – P. 564–570.

161. Mechmesin. Electrical connector insertion and withdrawal forces [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mecmesin.com/publications/electrical-connector-insertion-and-withdrawal-forces> (дата обращения: 24.03.2022).

162. MegaSensor. Тензометрические измерительные преобразователи и индикаторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://megasensor.com/products/tenzometrichekieskie-izmeritelnye-preobrazovateli-i-indikator/> (дата обращения: 24.03.2022).

163. Meredith, K. Calculating Mating and Un-mating Forces for Samtec Connectors / K. Meredith // Samtec. Inc. – 2014. – Rev. 0. – P. 1–4.

164. Moran, M. Low Friction and Wear on Non-Lubricated Connector Contact Surfaces / J. Moran, M. Sweetland, P. Suh // Proceeding of the 50th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts. – 2004. – P. 263–266.

165. Mroczkowski, R. S. Connector Design/Materials and Connector Reliability / R. S. Mroczkowski. – Technical paper: AMP Incorporated, Harrisburg, 1993. – 16 p.

166. Ni, J. Evolution of contact performance of industry electrical connector based on reliability accelerated testing / J. Ni, L. Han, J. Pan, J. Zheng, Y. Shi, Z. Cui, J. Cai // Advances in Mechanical Engineering. – 2021. – 13(2) 1–12. – P. 1–10.

167. Obame, H. E. Plug-in connectors aging and in situ diagnostic tool for force measurement implementation / H. E. Obame, R. Abdi, N. Benjema, E. Carvou // The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics. – 2016. – Issue 49. – P. 19–27.

168. Obane, H. E. New Technique for direct contact parameter measurements in PCB connectors / H. E. Obane, R. Abdi, N. Benjema, E. Carvou // The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics. – 2013. – Issue 43. – P. 20–24.

169. Onitex. Контроллеры шагового двигателя OSM-17RA, OSM-42RA. Полное описание и руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stepmotor.ru/wp-content/uploads/2013/06/datasheet_OSM17RA_OSM42RA.pdf (дата обращения: 24.03.2022).

170. Pal, I. Optimizing Insertion Extraction Force in a Pin-Socket Interconnect / I. Pal // Ironwood Electronics Inc., USA. – P. 1–6.

171. Patent US 5 798 464. Method of measuring extraction forces / Craig L. Boe. – Appl. No.: 851 467, Filed 05.05.1997.

172. PLC Systems. 2-канальный модуль ввода для обработки сигнала с тензодатчиков I-7016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.plcsystems.ru/catalog/ICPDAS/detail.php?ID=2197> (дата обращения: 24.03.2022).

173. Price, D. Influence of Assembly Speed on Electrical Connector Mating Force / D. Price // SAE Int. J. Engines. – 2017. – 10 (4). – P. 2027–2033.

174. Purelogic. Винты ШВП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://purelogic.ru/catalog/peredachi/vinty_shvp/ (дата обращения: 24.03.2022).

175. Purelogic. Опоры ходового винта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://purelogic.ru/catalog/peredachi/opory_hodovogo_vinta/ (дата обращения: 24.03.2022).

176. Purelogic. Цилиндрические направляющие [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://purelogic.ru/catalog/napravlyayuschie/cilindricheskie_relsy/ (дата обращения: 24.03.2022).

177. Purelogic. Шаговые двигатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://purelogic.ru/catalog/elektroprivod/shagovye_dvigateli/ (дата обращения: 24.03.2022).

178. Quoc K. E. T. Laserinterferenztexturierung elektrischer Steckverbinder für die Automobilindustrie: dissertation ... zur Erlangung des Grades des Doktors der Ingenieurwissenschaften. – Saarbrücken. – 242 p. (Dissertation_Trinh_v3.3.3)

resistance of the electrical connectors / Z. Kong, J. Swingler // Progress in Natural Science. – 2017. – 27 (3). – P. 385–390.

179. RuAut. Линейные электродвигатели. Основные разновидности и их применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ruaut.ru/content/publikacii/electro/lineynye-elektrodvigateli-osnovnye-raznovidnosti-i-ikh-primenenie.html> (дата обращения: 24.03.2022).

180. SOLIDWORKS. Анализ движения. Справка по SOLIDWORKS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://help.solidworks.com/2011/English/SolidWorks/motionstudies/AllContent/S>

olidWorks/NonCore/MotionStudies/r_contact_elastic.htm?id=44c6dc8892074a9fb
d59b39070241eef#Pg0 (дата обращения: 24.03.2022).

181. Song, J. Correlation between Wear Resistance and Lifetime of Electrical Contacts / J. Song, C. Koch, L. Wang // *Advances in Tribology*. – 2012. – P. 1–10.

182. StankiExpert. Станки по металлу и дереву. Реечная передача [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stankiexpert.ru/tehnologicheskaya-osnastka/zapchasti/rechnaya-peredacha.html> (дата обращения: 24.03.2022).

183. Stennet N. A. Normal force reduction in electronic connectors: A Doctoral Thesis. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of Doctor of Philosophy of Loughborough University. – Loughborough. – 295 p.

184. Testo. Тепловизор testo 882 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.testo.ru/ru-RU/testo-882-sniat-s-proizvodstva/p/0560-0882> (дата обращения: 24.03.2022).

185. Watanabe, H. Terminal plating to lower insertion force of multiway connectors / H. Watanabe, Y. Saka, K. Furukawa, Y. Saitoh // *SEI Technical review*. – 2017. – 84. – P. 131–136.

186. Yu, W. Multi-Objective Optimum Design of High-Speed Backplane Connector Using Particle Swarm Optimization / W. Yu, Z. Zeng, B. Peng, S. Yan, Y. Huang // *IEEE Access*. – 2018. – Vol 6. – P. 35182–35193.

187. Yuan, R. Simulation-based design and optimization and fatigue characteristics for high-speed backplane connector / R. Yuan, H. Li, Q. Wang // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2019. – 11(6) 1–10. – P. 1–10.

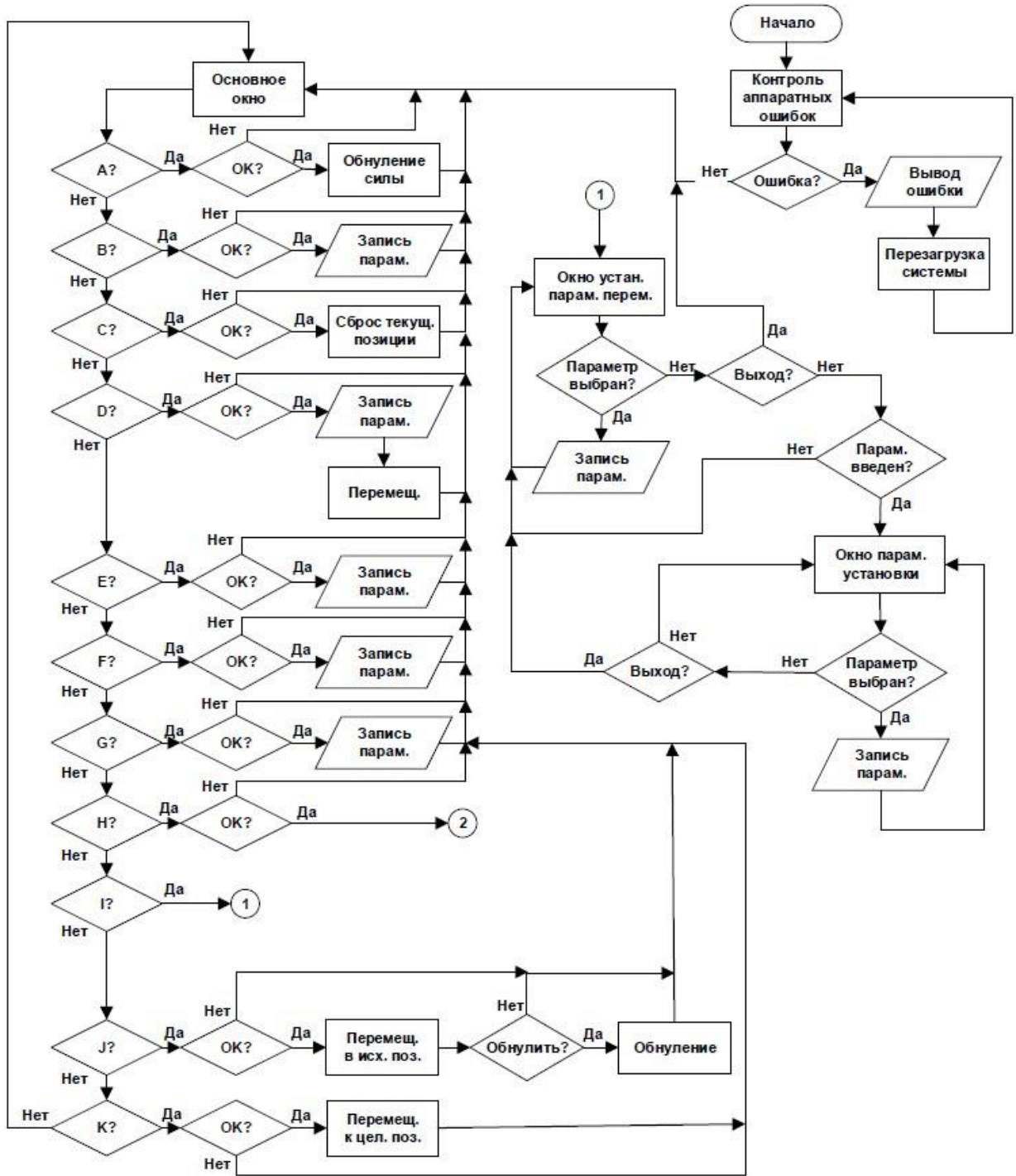
188. Zemic. Датчик L6B [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zemic.ru/catalog/rasd1/detail.php?ID=1042> (дата обращения: 24.03.2022).

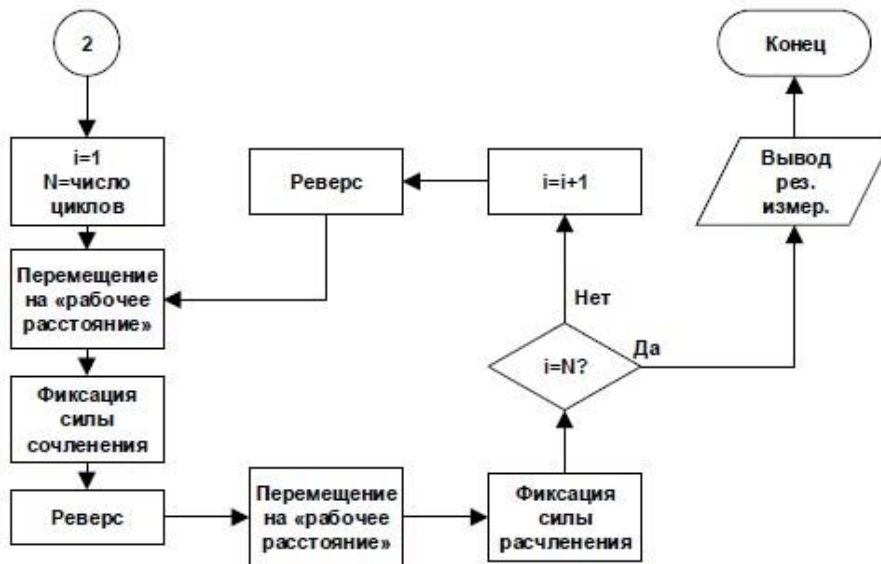
189. Zemic. Датчик L6N [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zemic.ru/catalog/rasd1/detail.php?ID=1156> (дата обращения: 24.03.2022).

190. Zeng, Z. Numerical modeling and optimization on micro-D electrical connector / Z. Zeng, Z. Zhou, X. Li, M. Tang, B. Peng // Int J Numer Model. – 2018. – P. 1–11.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Блок-схема алгоритма работы АСУ ОК силы сочленения–расчленения
контакта ЭС со штырем–калибром





Примечание:

А – метка-указатель на нажатие окна регистрации текущей силы;

В – метка-указатель на нажатие окна отображения максимально регистрируемой силы;

С – метка-указатель на нажатие окна отображения текущей координаты оси установки;

Д – метка-указатель на нажатие окна отображения значения перемещения оси установки;

Е – метка-указатель на нажатие окна отображения целевой позиции оси установки;

F – метка-указатель на нажатие окна перемещения штыря–калибра по оси Z;

G – метка–указатель на нажатие окна задания числа циклов измерения;

Н – метка–указатель на нажатие окна запуска процесса измерения силы сочленения–расчленения контакта разъема со штырем–калибром;

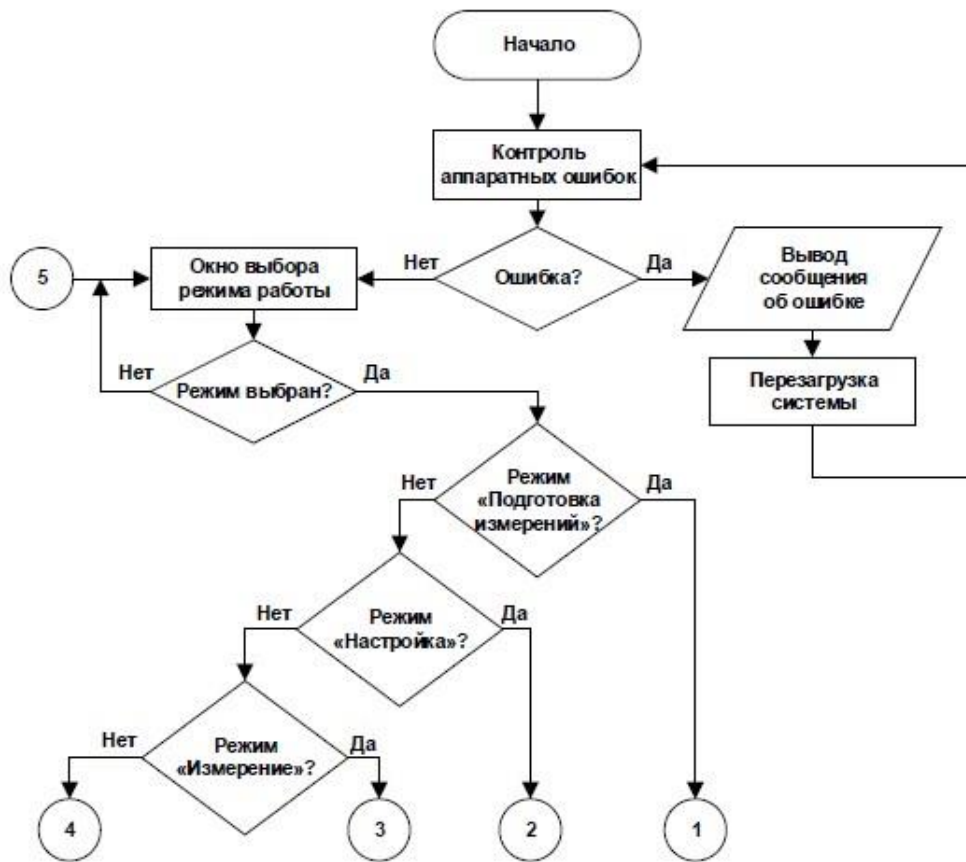
I – метка–указатель на нажатие окна перехода в меню установки параметров перемещения установки;

J – метка–указатель на нажатие окна поиска исходной позиции;

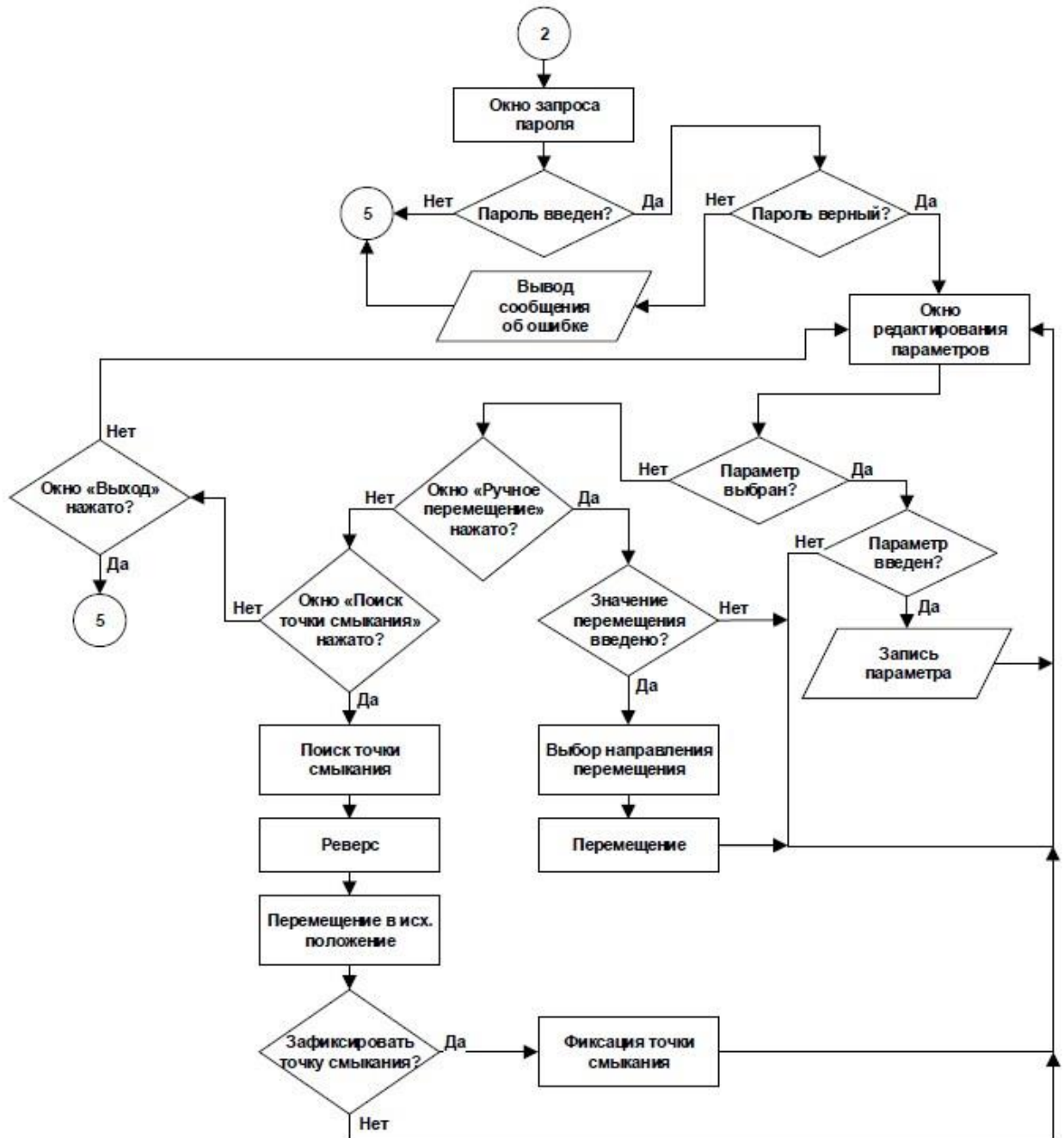
К – метка-указатель на нажатие окна перемещения к целевой позиции;

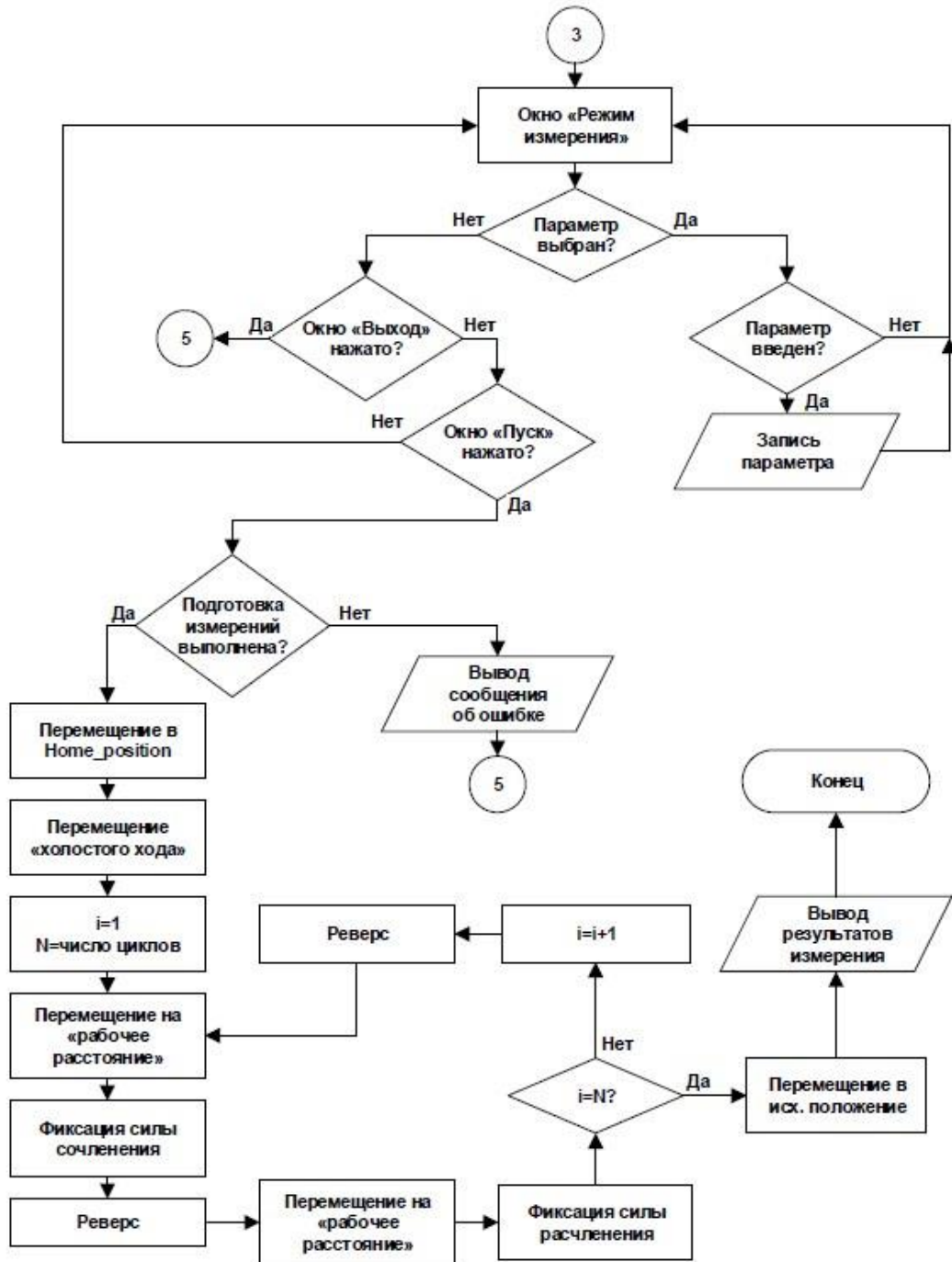
Блок-схема алгоритма работы АСУ ОК силы сочленения–расчленения пар

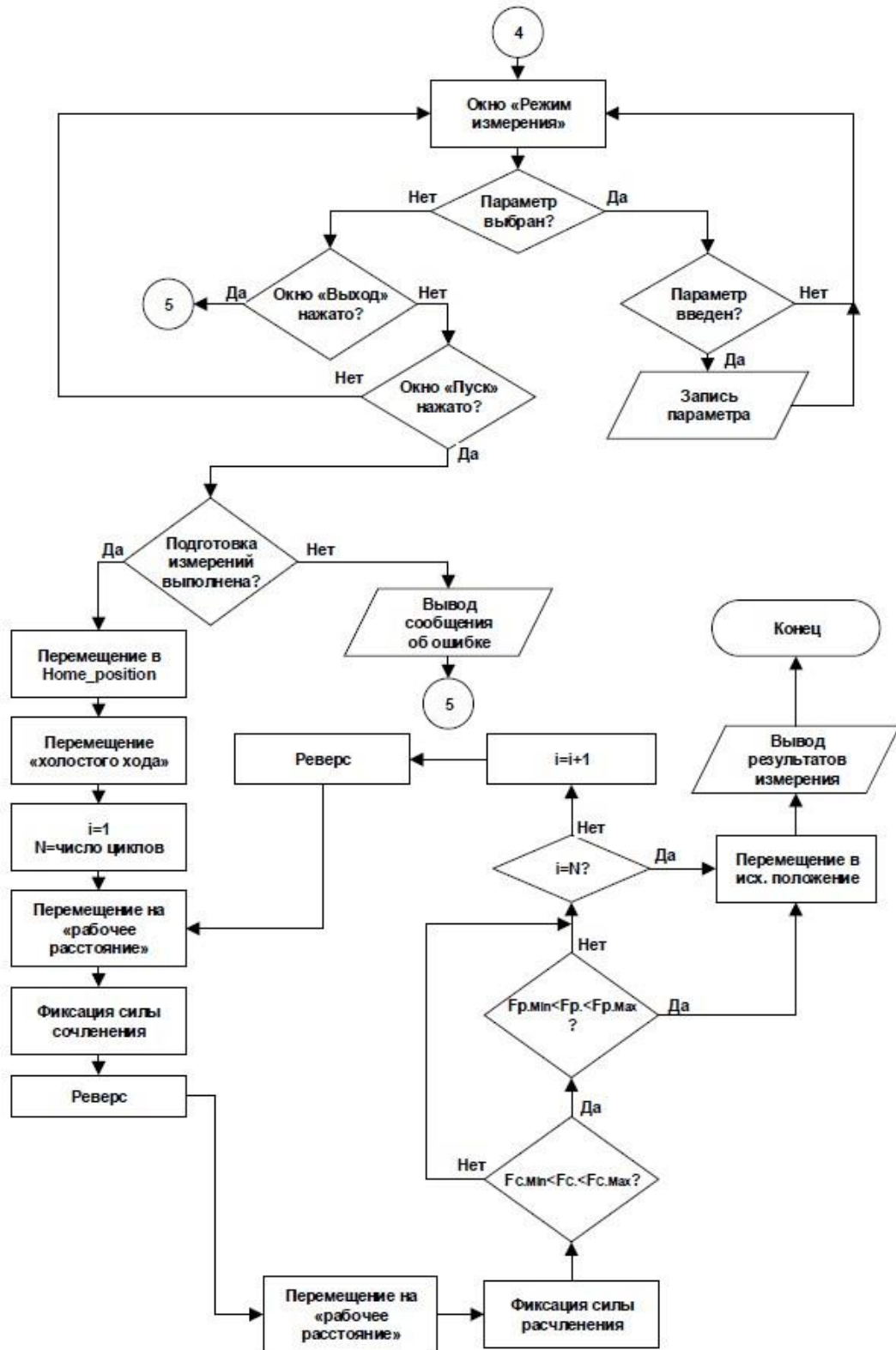
ЭС



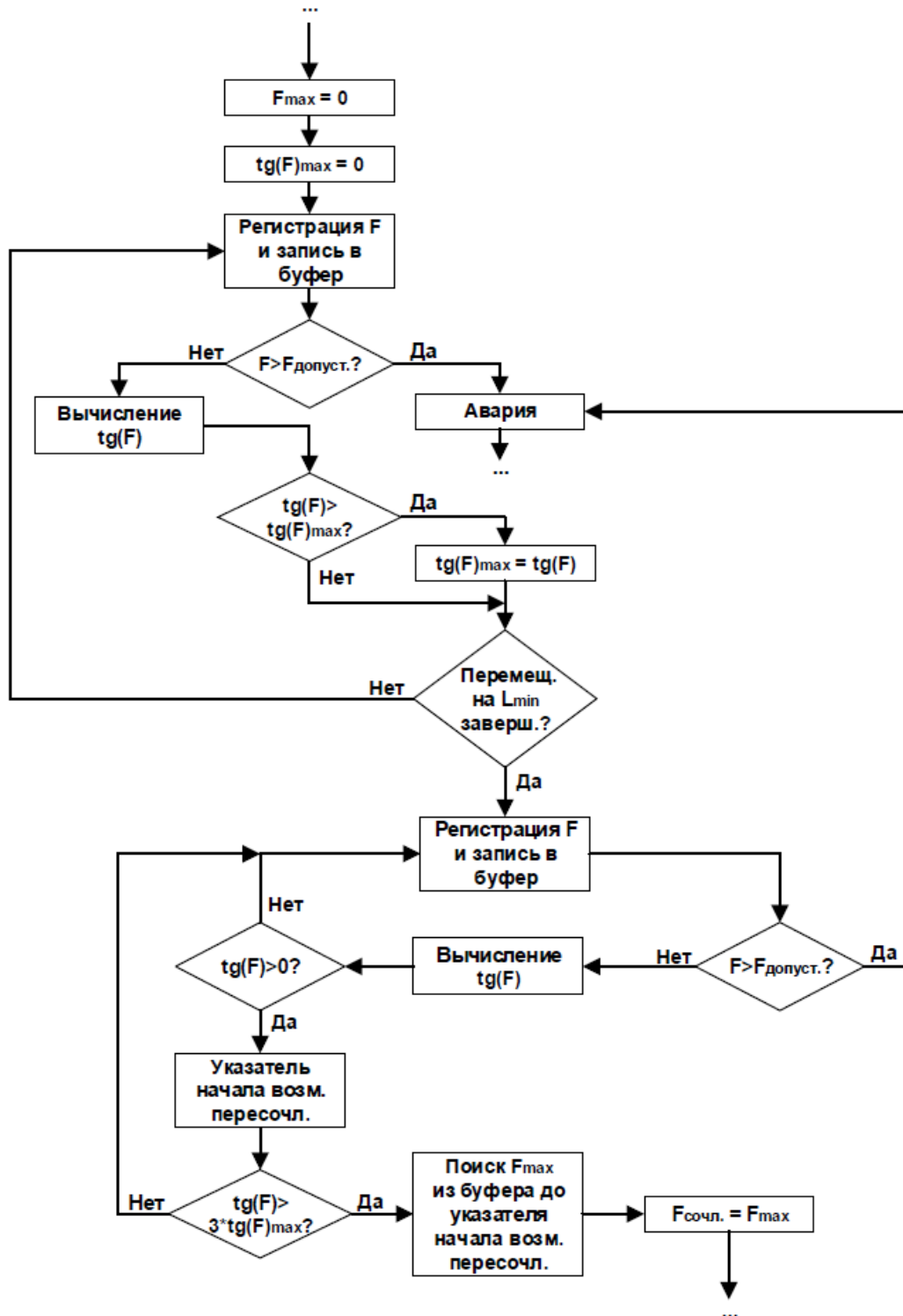








Блок-схема алгоритма определения силы сочленения по методике
гарантированного смыкания контактных пар ЭС



Расчет времени контроля сил сочленения–расчленения контактов в автоматизированном режиме на примере ЭС типа СНП388

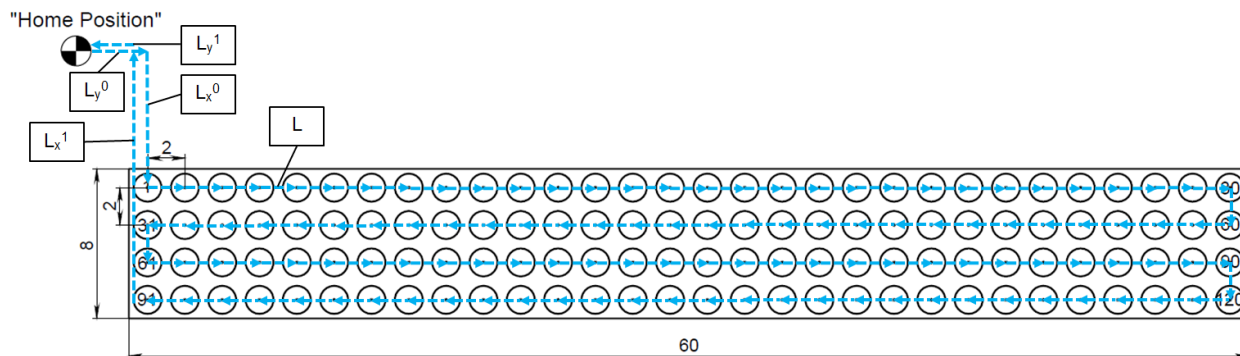


Рисунок Г.1 – Схема последовательности контроля контактов ЭС типа СНП388

Расчет времени перемещения подвижного узла автоматизированной установки рассчитывается по формуле:

$$t = \frac{L - \frac{(V_{max} - V_0)^2}{2a} - \frac{(V_{max} - V_0)^2}{2d}}{V_{max}} + \frac{V_{max} - V_0}{a} + \frac{V_{max} - V_0}{d}, \quad (\text{Г.1})$$

где t – время перемещения (с); L – расстояние перемещения (мм); V_0 – начальная скорость (мм/с); V_{max} – конечная скорость (мм/с); a – ускорение (мм/с²); d – замедление (мм/с²).

Этапы расчета полного времени контроля сил сочленения–расчленения контактов ЭС:

1. Время установки и съема ЭС в технологическую оснастку: $t_{1.1} = 3$ (с).
2. Время перемещения из «Home Position» к первому испытываемому контакту:
 - 2.1. Перемещение на $L_y^0 = 47$ (мм); $V_0 = 10$ (мм/с); $V_{max} = 20$ (мм/с); $a = 25$ (мм/с²); $d = 25$ (мм/с²); $\Rightarrow t_{2.1} = 3$ (с).
 - 2.2. Перемещение на $L_x^0 = 12$ (мм); $V_0 = 10$ (мм/с); $V_{max} = 20$ (мм/с); $a = 25$ (мм/с²); $d = 25$ (мм/с²); $\Rightarrow t_{2.2} = 1,2$ (с).
 - 2.3. Перемещение на $L_z^0 = 10$ (мм); $V_0 = 10$ (мм/с); $V_{max} = 20$ (мм/с); $a = 25$ (мм/с²); $d = 25$ (мм/с²); $\Rightarrow t_{2.3} = 1,1$ (с).

$$t_2 = t_{2.1} + t_{2.2} + t_{2.3} = 3 + 1,2 + 1,1 = 5,3 \text{ (с)}, \quad (\Gamma.2)$$

3. Время выполнения цикла измерения силы сочленения–расчленения:

3.1. Сочленение штыря–калибра на $L_z = 6$ (мм); $V_0 = 10$ (мм/с);

$V_{\max} = 10$ (мм/с); $a = 0$ (мм/с²); $d = 0$ (мм/с²); $\Rightarrow t_{3.1} = 0,6$ (с).

3.2. Расчленение штыря–калибра на $L_z = 6$ (мм); $V_0 = 10$ (мм/с);

$V_{\max} = 10$ (мм/с); $a = 0$ (мм/с²); $d = 0$ (мм/с²); $\Rightarrow t_{3.2} = 0,6$ (с).

$$t_3 = t_{3.1} + t_{3.2} = 0,6 + 0,6 = 1,2 \text{ (с)}, \quad (\Gamma.3)$$

4. Время перемещения к следующему испытываемому контакту:

4.1. Перемещение на $L = 2$ (мм); $V_0 = 5$ (мм/с); $V_{\max} = 10$ (мм/с);

$a = 20$ (мм/с²); $d = 20$ (мм/с²); $\Rightarrow t_4 = 0,6$ (с).

$$t_4 = 0,6 \text{ (с)}, \quad (\Gamma.4)$$

5. Время возврата в «Home Position»:

5.1. Перемещение на $L_y^1 = 47$ (мм); $V_0 = 10$ (мм/с); $V_{\max} = 20$ (мм/с);

$a = 25$ (мм/с²); $d = 25$ (мм/с²); $\Rightarrow t_{5.1} = 3$ (с).

5.2. Перемещение на $L_x^1 = 18$ (мм); $V_0 = 10$ (мм/с); $V_{\max} = 20$ (мм/с);

$a = 25$ (мм/с²); $d = 25$ (мм/с²); $\Rightarrow t_{5.2} = 1,5$ (с).

5.3. Перемещение на $L_z^1 = 10$ (мм); $V_0 = 10$ (мм/с); $V_{\max} = 20$ (мм/с);

$a = 25$ (мм/с²); $d = 25$ мм/с²; $\Rightarrow t_{5.3} = 1,1$ (с).

$$t_5 = t_{5.1} + t_{5.2} + t_{5.3} = 3 + 1,5 + 1,1 = 5,6 \text{ (с)}, \quad (\Gamma.5)$$

6. Суммарное время контроля ЭС типа СНП388:

$$t_{\text{общ.}} = 2t_1 + t_2 + 120 \cdot t_3 + (120 - 1) \cdot t_4 + t_5 = 232,3 \approx 232 \text{ (с)}, \quad (\Gamma.6)$$

Графики изменения сил сочленения–расчленения контакта ЭС при смещении
штыря, закрепленного в разных механизмах наклона

Фсочл. (наклон в одной плоскости)

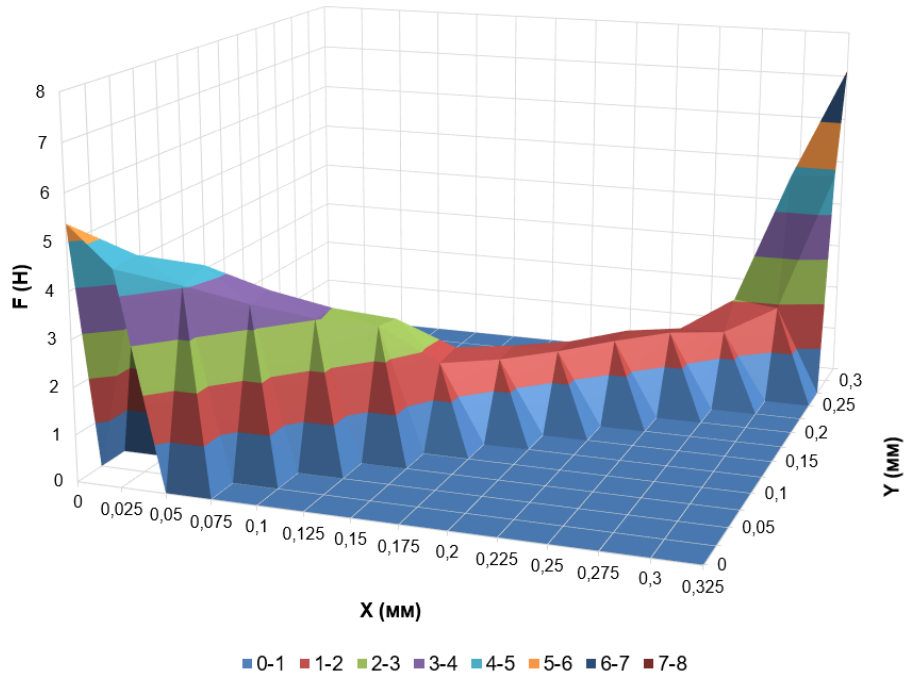


Рисунок Д.1 – График изменения силы сочленения контакта ЭС РП14 при смещении штыря–калибра, закрепленного в механизме наклона в одной плоскости

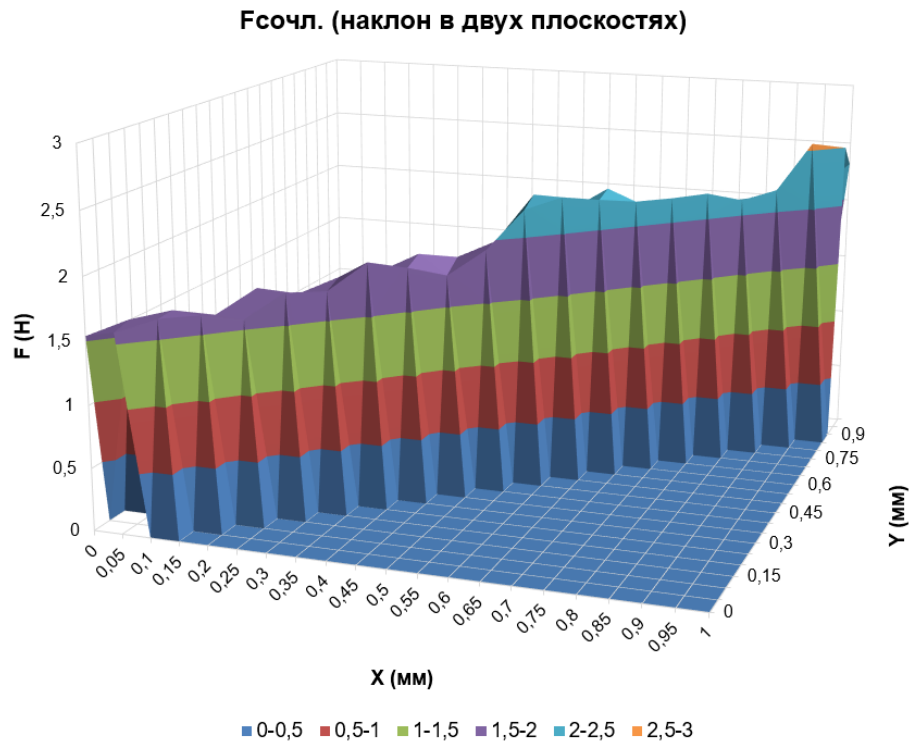


Рисунок Д.2 – График изменения силы сочленения контакта ЭС РП14 при смещении штыря–калибра, закрепленного в механизме наклона в двух ПЛОСКОСТЯХ

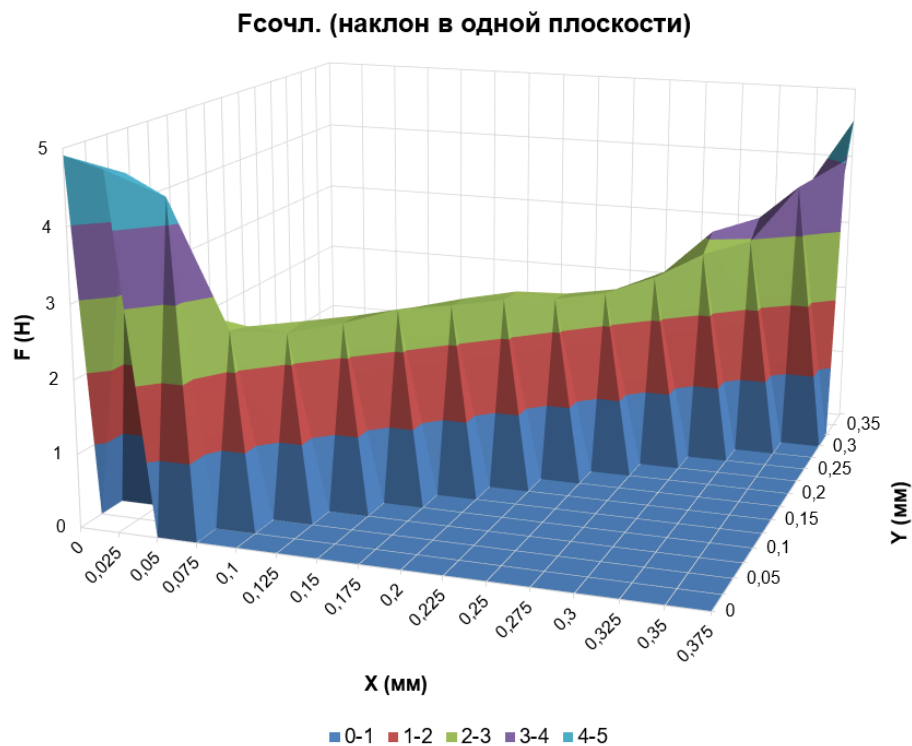


Рисунок Д.3 – График изменения силы сочленения контакта ЭС РП10 при смещении штыря–калибра, закрепленного в механизме наклона в одной ПЛОСКОСТИ

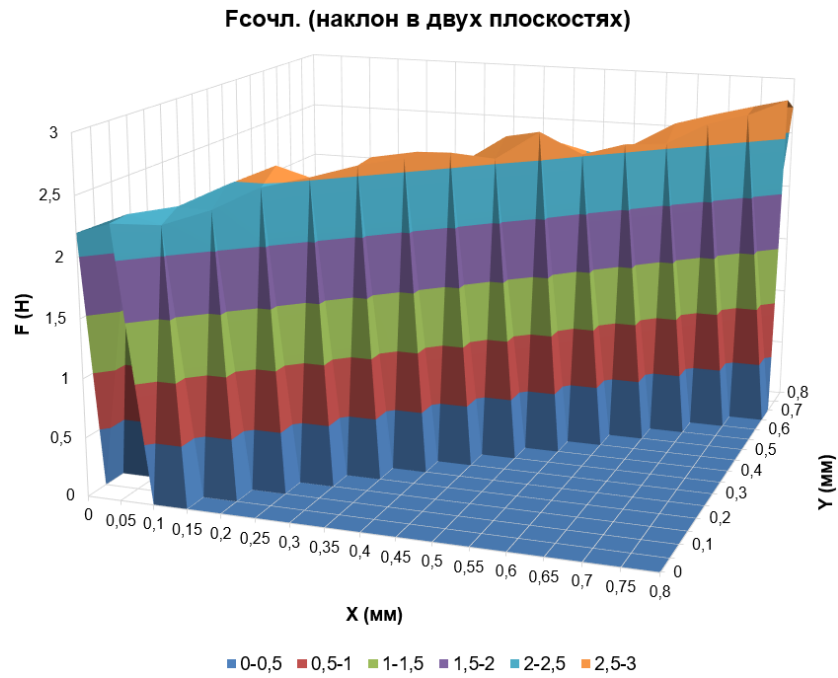


Рисунок Д.4 – График изменения силы сочленения контакта ЭС РП10 при
смещении штыря–калибра, закрепленного в механизме наклона в двух
ПЛОСКОСТЯХ

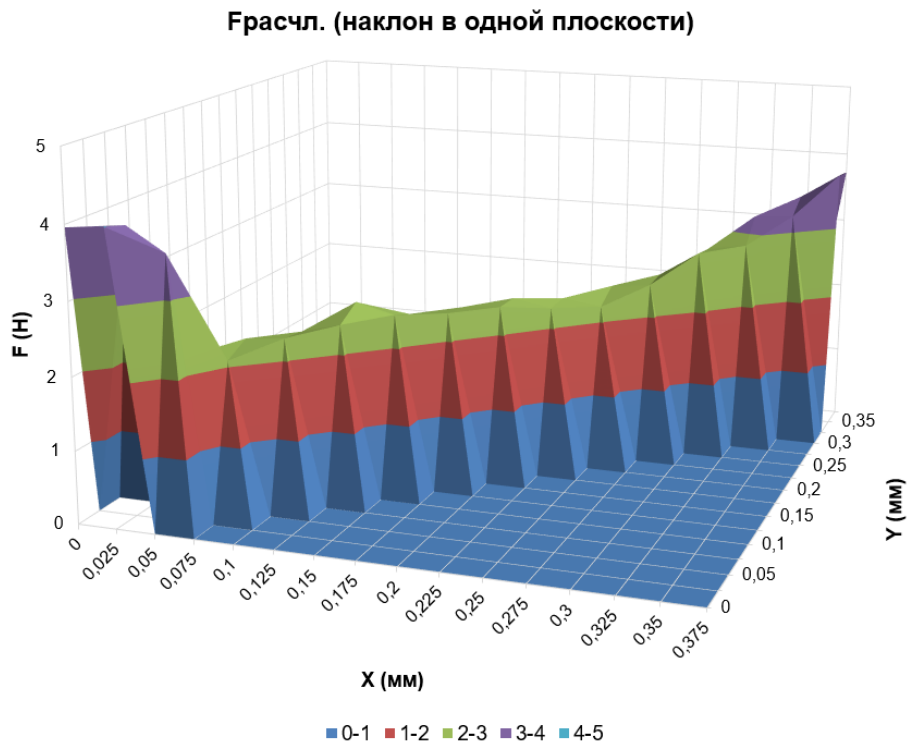


Рисунок Д.5 – График изменения силы расчленения контакта ЭС РП10 при
смещении штыря–калибра, закрепленного в механизме наклона в одной
ПЛОСКОСТИ

Грасчл. (наклон в двух плоскостях)

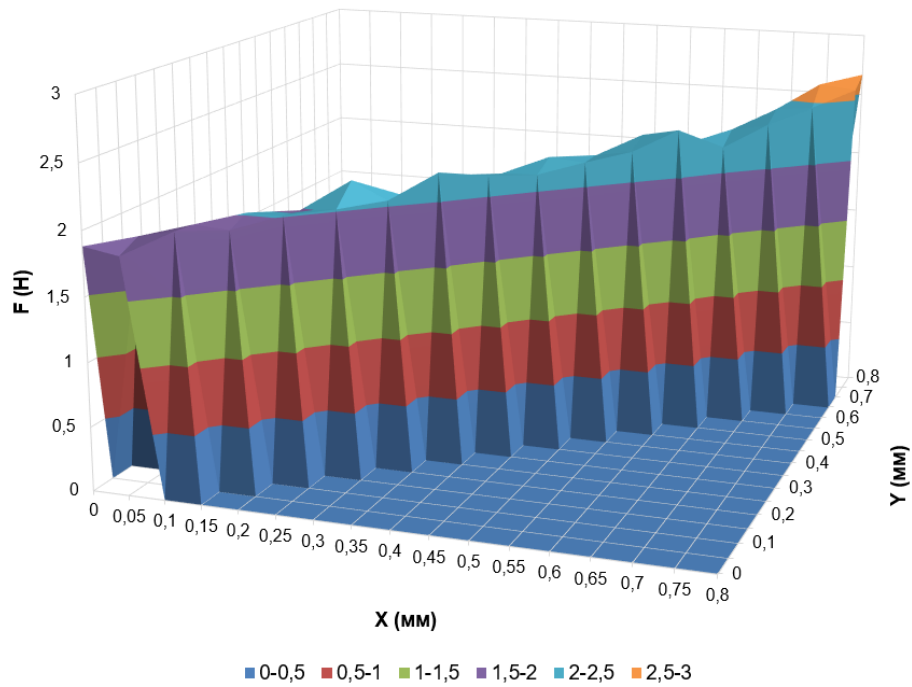


Рисунок Д.6 – График изменения силы расчленения контакта ЭС РП10 при смещении штыря–калибра, закрепленного в механизме наклона в двух ПЛОСКОСТЯХ

Полученные патенты

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 177529

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ
СОЧЛЕНЕНИЯ И РАСЧЛЕНЕНИЯ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Патентообладатели: *Сырых Андрей Дмитриевич (RU), Акулов Павел Александрович (RU)*

Авторы: *Сырых Андрей Дмитриевич (RU), Акулов Павел Александрович (RU)*

Заявка № 2017130135

Приоритет полезной модели 25 августа 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 28 февраля 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 25 августа 2027 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Извиев Г.П. Извиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2654322

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ СОЧЛЕНЕНИЯ И РАСЧЛЕНЕНИЯ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Патентообладатели: *Сырых Андрей Дмитриевич (RU), Акулов Павел Александрович (RU)*

Авторы: *Сырых Андрей Дмитриевич (RU), Акулов Павел Александрович (RU)*

Заявка № 2017130138

Приоритет изобретения 25 августа 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 17 мая 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 25 августа 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



Дипломы и сертификаты участия в научных мероприятиях



Областной конкурс на лучшую научную работу
магистрантов, аспирантов и молодых ученых Брянской области
по естественным, техническим и гуманитарным наукам
«Современные научные достижения. Брянск-2018»

ДИПЛОМ НАГРАЖДАЕТСЯ

Акулов
Павел Александрович
ФГБОУ ВО БГТУ

за научную работу
«Автоматизация контроля силы сочленения
и расчленения электрических соединителей»,
занявшую **1 место** в номинации
«Технические науки».

И.о. директора департамента
образования и науки
Брянской области



Т.В. Кулешова

Брянск - 2018

Департамент образования и науки Брянской области
ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

СЕРТИФИКАТ

—участника—

подтверждает, что

АКУЛОВ ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

аспирант кафедры «Автоматизированные технические системы»
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

принял участие в областном конкурсе на лучшее выполнение работы аспирантов и молодых ученых Брянской области
по естественным и гуманитарным наукам
«Современные проблемы науки и техники» 2017 г.

Директор Департамента
образования и науки
Брянской области



Брянск, 2017

В.Н. Оборотнов



*Всероссийская
научно-методическая конференция
«Проектирование машин, роботов и
мехатронных систем»*

Сертификат
участника конференции

Акулов Павел Александрович

Брянский государственный технический университет

Председатель

Программного комитета

Ю.В. Подураев

Председатель

Организационного комитета



П.А. Савин

г. Орел

19-20 октября 2017 г.



БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ДИПЛОМ ФИНАЛИСТА

награждается

АКУЛОВ ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

за участие в программе

**«УЧАСТНИК МОЛОДЕЖНОГО
НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОГО КОНКУРСА»
(«УМНИК»)**



г. Брянск 2 ноября 2017 года

Ректор университета

Региональный представитель
Фонда содействия инновациям
по Брянской области



Федонин О.Н.

Сканцев В.М.

Научно-исследовательский центр
«МашиноСтроение»



СЕРТИФИКАТ

участника

III Международной
научно-практической конференции
«Мехатроника, автоматика и робототехника»

выдан

Акулову П.А., Петрешину Д.И.

за участие в работе конференции с докладом

*«Автоматизированная система испытания
электрических соединителей на износостойкость»*

Директор НИЦ МС



Жуков И.А.

22 февраля 2019г.
г. Новокузнецк

ПАО ГАЗПРОМ, ООО ГАЗПРОМ ТРАНСПАЗ КАЗАНЬ, ООО КОНВЕРТ



ДИПЛОМ

участника международной конференции

**«ПЕРЕДОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ.
ПЕРСПЕКТИВЫ И ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ПРОБЛЕМЫ
ВНЕДРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО»**

Награждаются

***Акулов Павел Александрович, Петрешин Дмитрий Иванович
и Сырых Андрей Дмитриевич***

Брянский государственный технический университет

за представленную работу:

***Разработка специализированного измерительного
модуля для автоматизированной системы испытаний
электрических соединителей***

Директор ООО «Конверт»

Соловьева

Соловьева О. В.



30 марта 2019 г.



ДИПЛОМ

ВТОРОЙ СТЕПЕНИ

Награждается

АКУЛОВ ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ, аспирант
ПЕТРЕШИН ДМИТРИЙ ИВАНОВИЧ, д.т.н., доцент, директор УНТИ

Брянский государственный технический университет
 Статья **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ
 АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
 ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ**

за онлайн-предоставление доклада
 и статьи и активное участие в работе
 3-й Всероссийской научной конференции
 перспективных разработок молодых ученых,
 посвященной 55-летию ЮЗГУ
 «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: ШАГ К УСПЕХУ»,
 которая проходила 21-22 марта 2019 года,
 в Юго-Западном государственном университете
 г. Курск, Россия

Ректор ЮЗГУ

Ответственный секретарь



С.Г. Емельянов

А.А. Горохов

Акт опытно-промышленных испытаний на предприятии АО «Дубненский завод коммутационной техники»



АО «Дубненский завод коммутационной техники»
141983, Московская область, г. Дубна,
проспект Науки, дом 14, корп. 1, пом. 39
Тел./факс: тел.:(495) 526-69-68
info@dzkt.ru

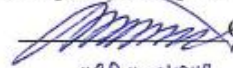
ОГРН 1195081030781

ИНН 5010056160

КПП 501001001

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор АО «ДЗКТ»


 Г. Мысиков
«20» июня 2022 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы П. А. Акулова на тему: «Повышение производительности при выполнении контрольных операций в технологическом процессе изготовления электрических соединителей за счет применения автоматизированных систем управления»

Комиссия в составе сотрудников АО «Дубненский завод коммутационной техники» (далее Предприятие): председатель – директор опытного производства С. А. Дягилев, члены комиссии – главный конструктор В. А. Жабин, начальник сборочного цеха Е. В. Шатин, руководитель группы по сборке электрических соединителей А. В. Ковешников, составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы П. А. Акулова представляют практический интерес и используются в технологической отработке параметров изготовления контактов электрических соединителей типов СНП388, СП427 в соответствии с требованиями конструкторской и технологической документации.

Разработанные и предложенные П. А. Акуловым автоматизированные установки для измерения сил сочленения и расчленения контактных пар электрических соединителей в рамках опытной эксплуатации при выполнении соответствующих контрольных операций показали свою эффективность, а именно:

- обеспечение требований ГОСТ 23784-98, ГОСТ 27277-87;
- возможность получения объективных данных, исключая влияние человеческого фактора;

– увеличение производительности выполнения операций контроля сил сочленения-расчленения отдельных контактов со штырем-калибром электрического соединителя СНП388 составило 176 % по сравнению с ручным методом проведения испытаний.

Отдельный интерес представляет предложенная методика определения действительных значений сил сочленения контакта электрического соединителя с контрольным штырем-калибром.

Автоматизированные установки, разработанные П. А. Акуловым, в дальнейшем планируется использовать в условиях не только опытного, но и серийного производства электрических соединителей Предприятия.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:



 / С. А. Дягилев /
 / В. А. Жабин /
 / Е. В. Шатин /
 / А. В. Ковешников /