



Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С. П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

# **ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ФАЛАНГ ПАЛЬЦЕВ РУКИ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА**

**Научный руководитель НИЛ-53,  
д.т.н., профессор каф. АСЭУ  
Матюнин С.А.  
тел./факс (846) 267-44-43  
сот. тел. +7 927-71-71-068  
E-mail: S.A.Matyunin@yandex.ru**



2019/3/27 09:28

## **Особенности волоконно-оптических сенсоров (ВОС)**

1. Принципиально взрывобезопасное исполнение чувствительного элемента (ЧЭ) (полное отсутствие ЭРЭ и электрического питания в чувствительных элементах) и, как следствие, электроизоляционная прочность
2. Защищенность от воздействия внешних электромагнитных полей
3. Высокая коррозионная и радиационная стойкость
4. Широкий динамический диапазон измерений (до 30-40 дБ)
5. Малое время отклика и высокая чувствительность (частота работы датчиков специального исполнения до 100 кГц)
6. Защищенность от внешнего загрязнения оптической части датчиков (исполнение датчиков с закрытым оптическим каналом – без вывода оптического излучения во внешнюю среду)
7. Отсутствие механического контакта с объектом контроля и подвижных частей (для бесконтактных сенсоров)
8. Значительное расстояние от места установки сенсора до места проведения измерений (с промежуточным трансивером до 1 км)
9. Возможность мультиплексирования чувствительных элементов на одну волоконно-оптическую линию связи
10. Малые габариты и вес

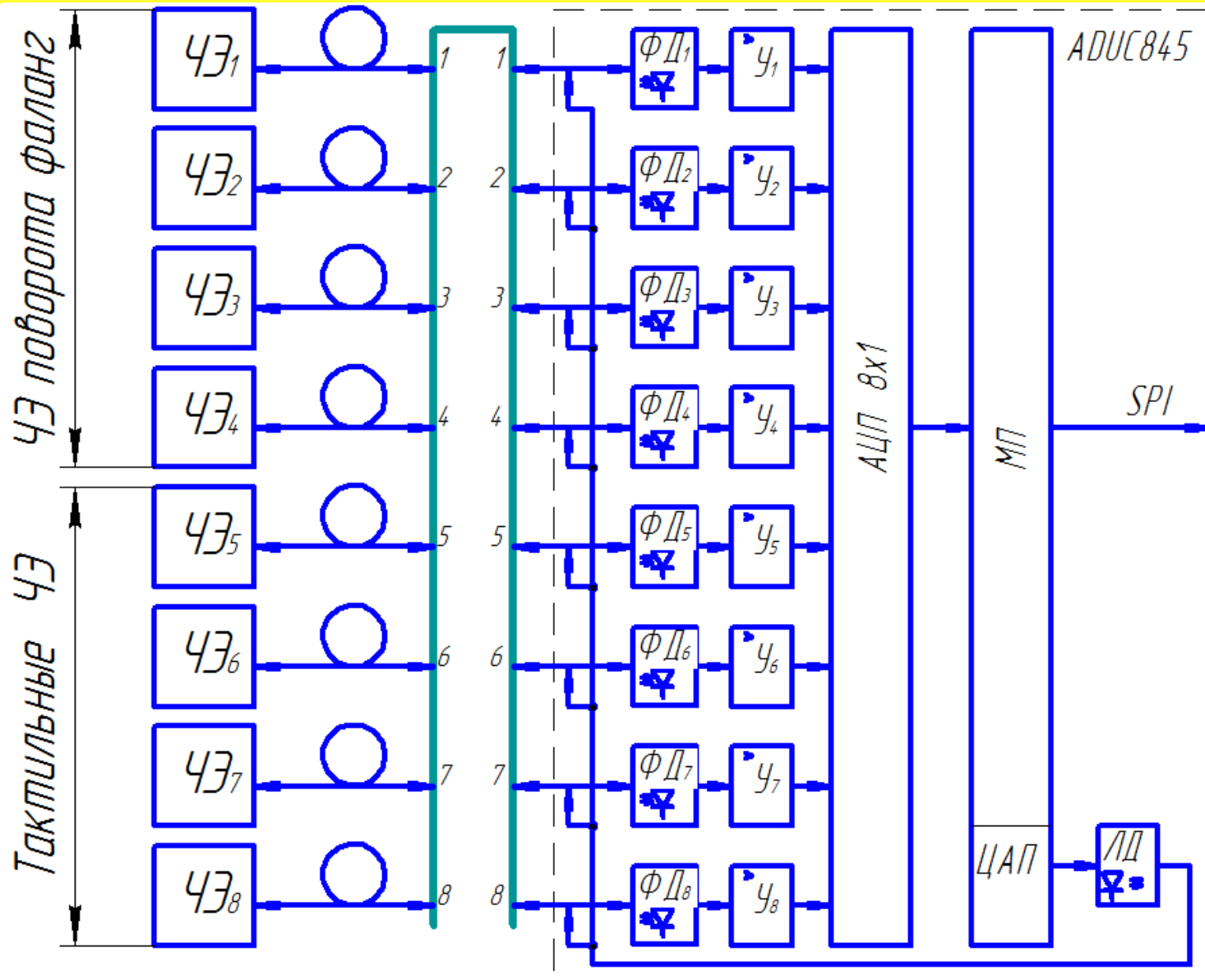
## **Измерительные системы антропоморфных роботов на основе волоконно-оптических датчиков**

1. Реализация измерительных систем антропоморфных роботов: датчиков (сенсоров) и электронных трансиверов (ЭТ) на принципах построения волоконно-оптических измерительных систем [1-8].
2. Сокращение в 3-5 раз габаритов чувствительных элементов (ЧЭ) датчиков (до диаметра оптического волокна 0,23-0,9 мм).
3. Удаленное размещение ЭТ в специально защищенном корпусе.
4. Соединение ЭТ и ЧЭ по волоконно-оптическому кабелю, не чувствительному к электромагнитному импульсу и ионизирующему излучению.

## **Номенклатура разрабатываемых датчиков**

1. Датчики линейных/угловых перемещений исполнительных органов робота
2. Датчики скорости/ускорения исполнительных органов робота
3. Тактильные датчики (давления/веса/усилия) фаланг рук и ног робота
4. Датчики скольжения изделий в захватах робота
5. Датчики вертикали робота

## Структурная схема подключения сенсоров пальцев робота



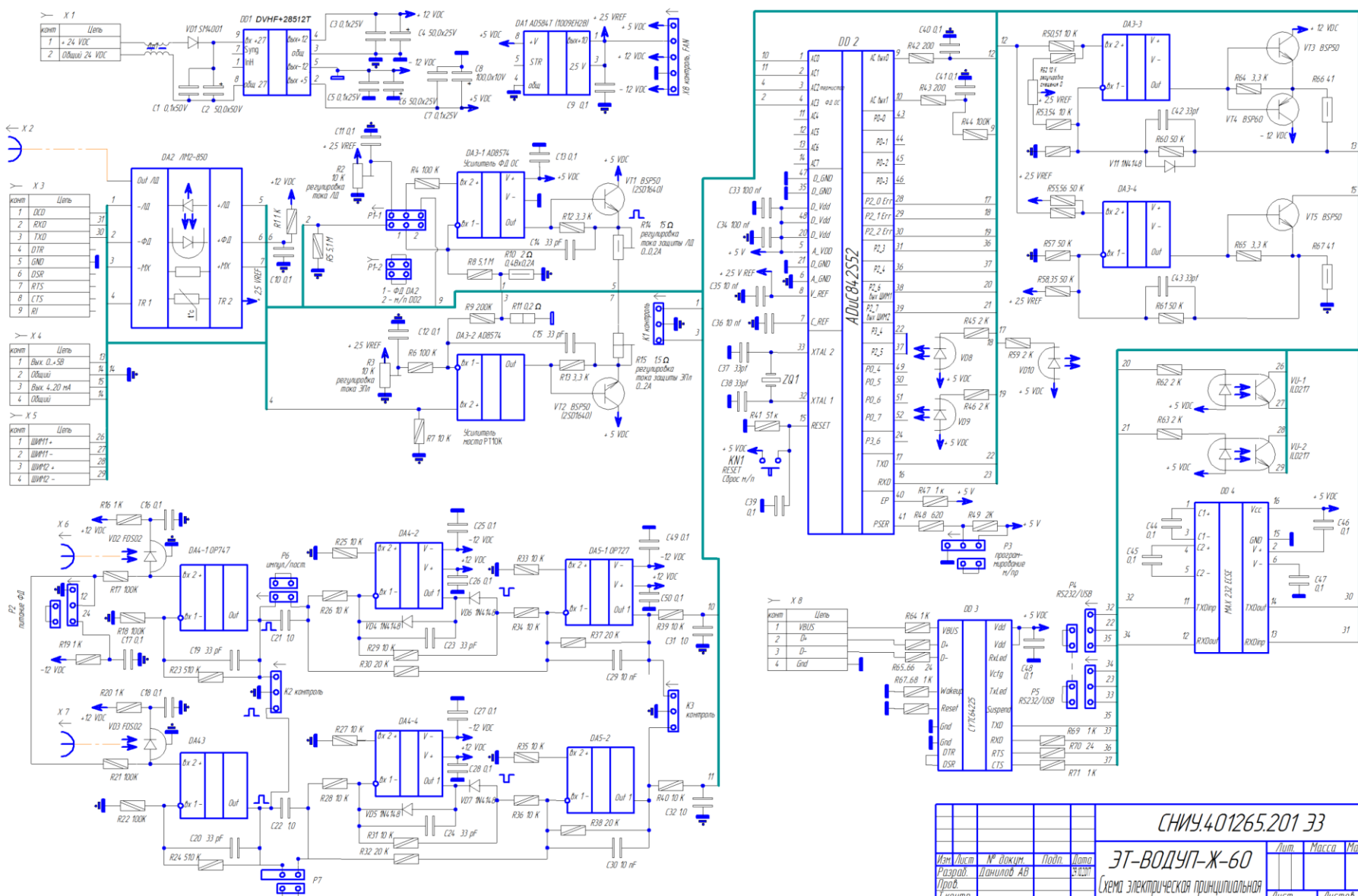
**ЭТ**

The diagram illustrates the optical measurement system for the 'ЭТ' (ET) task. The system components and their connections are as follows:

- Power and Control Section:**
  - К бортовой СУ** (Control Unit) provides power to the **АЦП + МПВУ** (ADC + Microcontroller).
  - The **АЦП + МПВУ** outputs control signals to **ФД1**, **ФД2**, and **ФД3**.
  - The **Модуль питания** (Power Module) receives **+27 В** and provides **+5 В** and **-5 В** to the **Источник опорного напряжения** (Reference Voltage Source) and the **Источник питания ЛД** (Laser Diode Power Source).
- Optical Measurement Section:**
  - The **Источник питания ЛД** powers the **Лазерный диод ЛД** (Laser Diode).
  - The laser beam passes through an **Оптический разветвитель ОР (1:3)** (1:3 Optical Splitter).
  - The beam is then split by three **Оптический разветвитель ООР1 (1:2)**, **ООР2 (1:2)**, and **ООР3 (1:2)** (1:2 Optical Splitters).
  - The resulting three beams pass through **ВОЛС1**, **ВОЛС2**, and **ВОЛС3** (Optical Waveguides) to the detectors **ЧЗ1**, **ЧЗ2**, and **ЧЗ3** (Photodiodes).
- Signal Processing Section:**
  - The signals from the detectors **ЧЗ1**, **ЧЗ2**, and **ЧЗ3** are sent to the **АЦП + МПВУ** for processing.



СНИУ.401265.201.33



СНИУ.401265.201.33

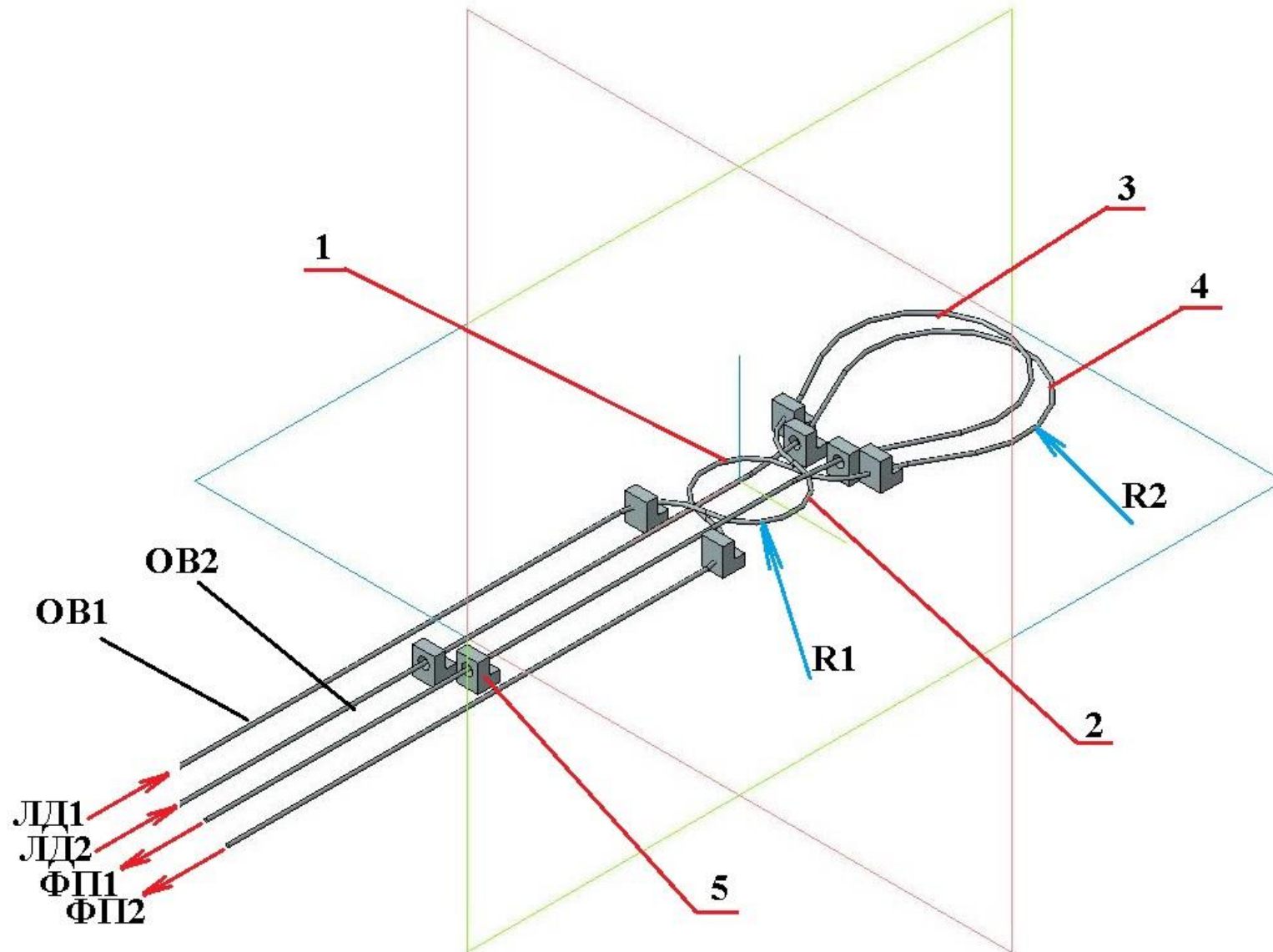
ЭТ-ВОДУП-Ж-60

Схема электрическая принципиальная

Лист	Масса	Масштаб
11		1:1
Лист	Листов	1

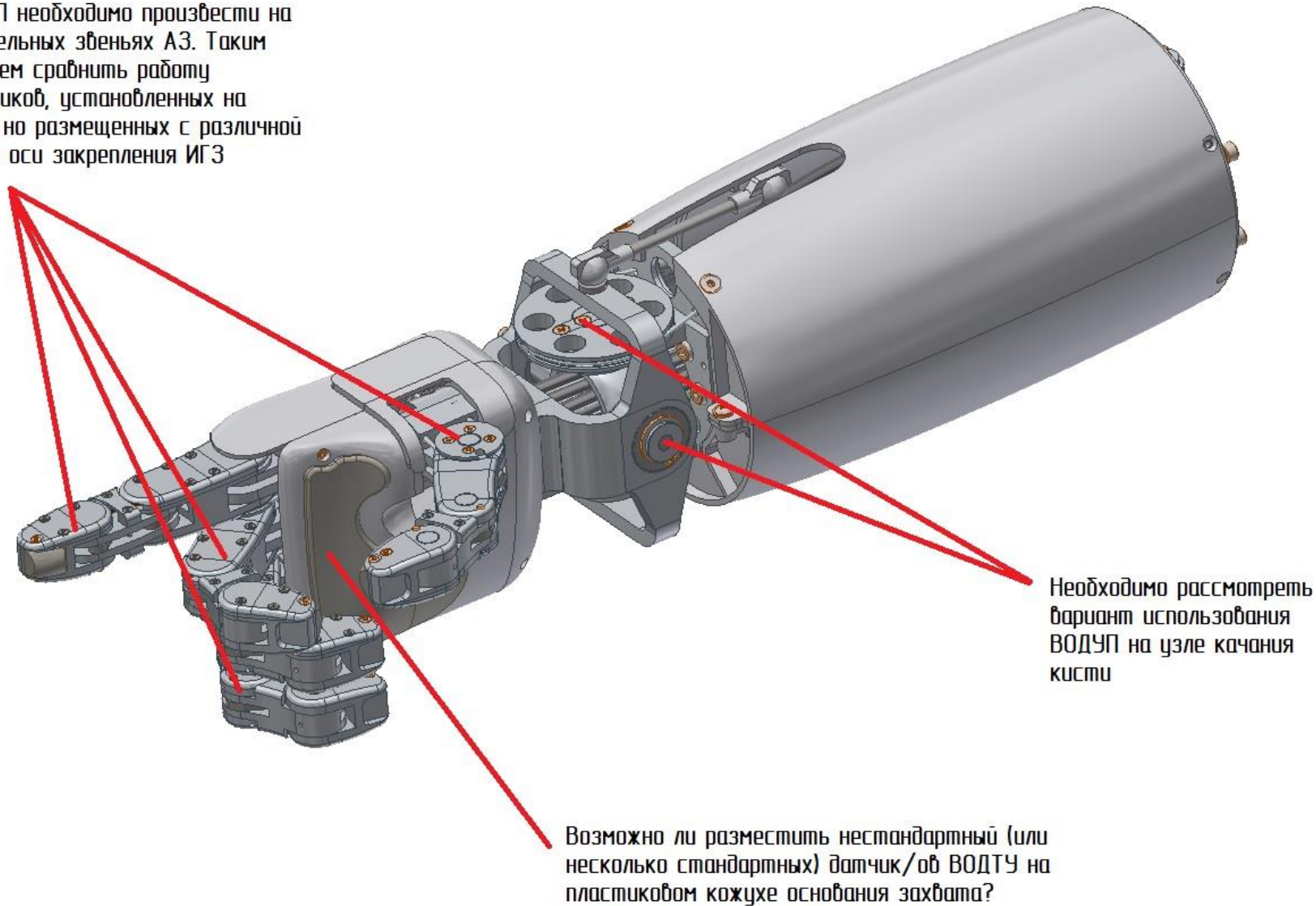
Копировал

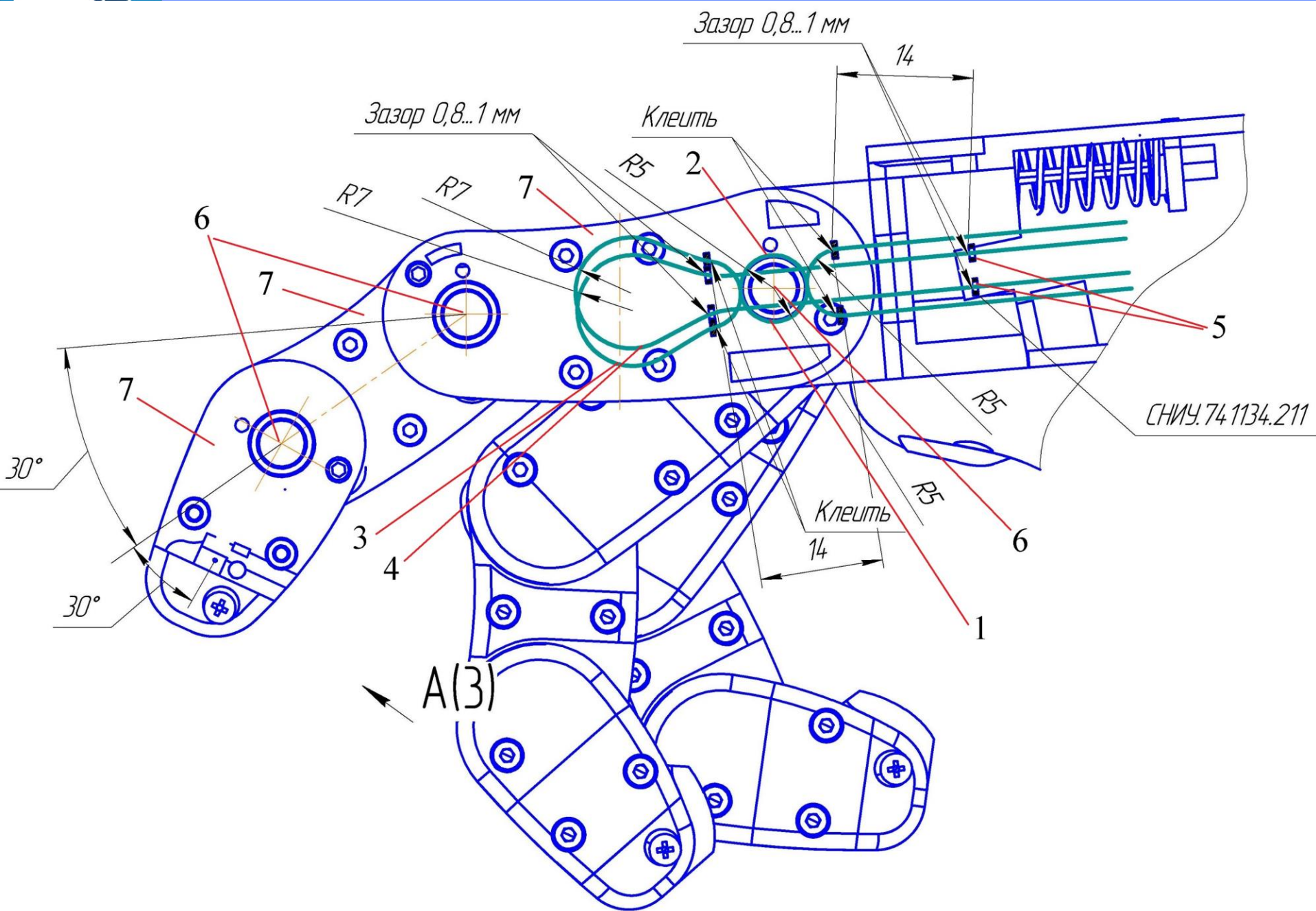
Формат А2



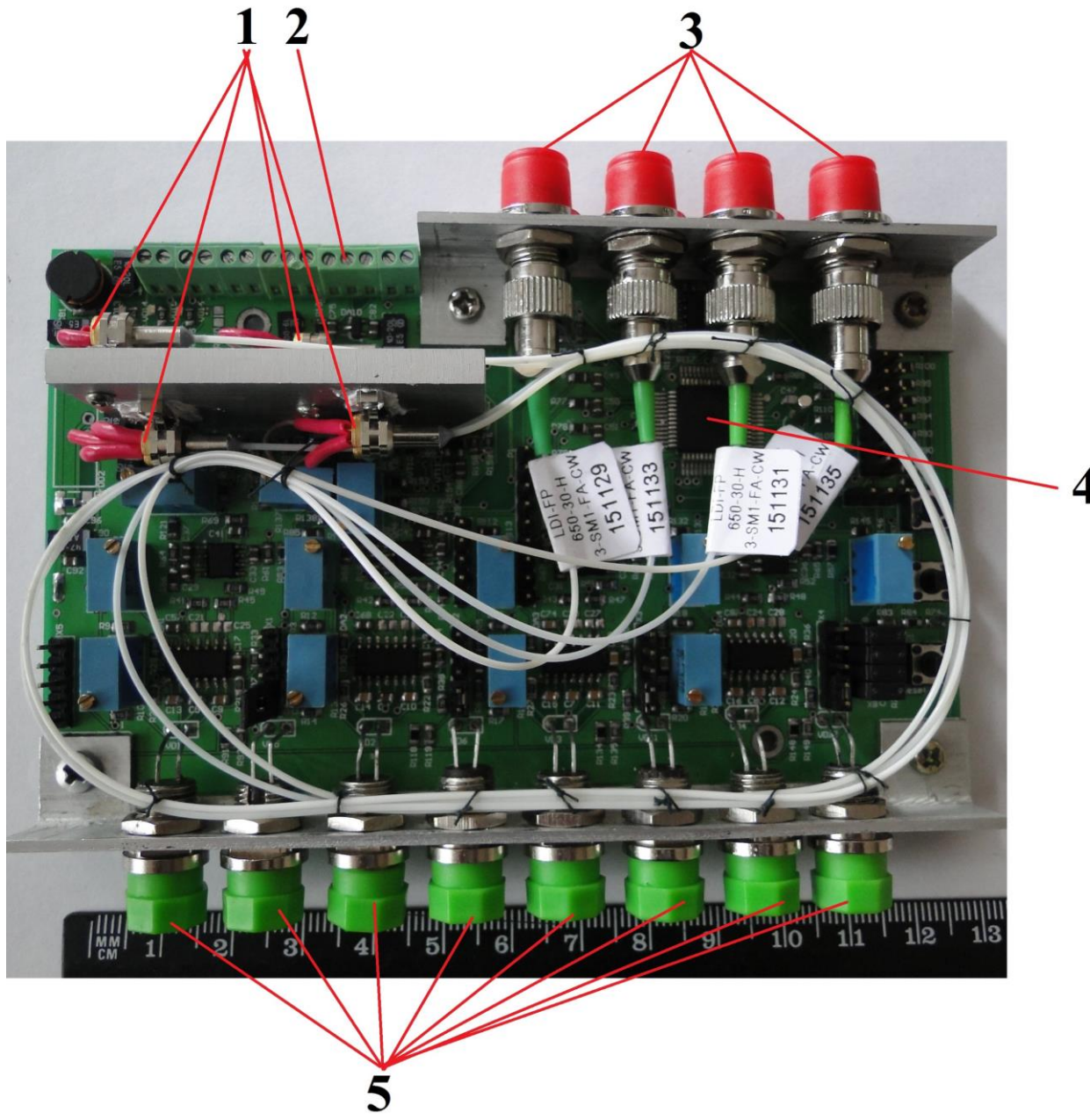


Установку ВОДУП необходимо произвести на разных исполнительных звеньях АЗ. Таким образом мы сможем сравнить работу идентичных датчиков, установленных на идентичных ИГЗ, но размещенных с различной удаленностью от оси закрепления ИГЗ

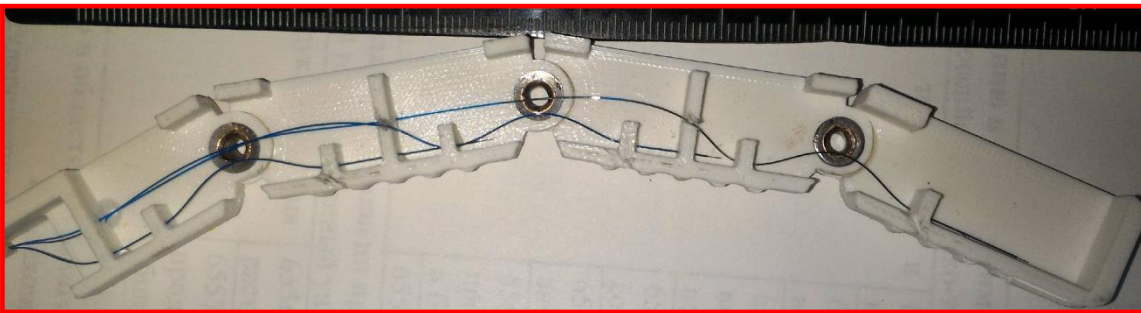
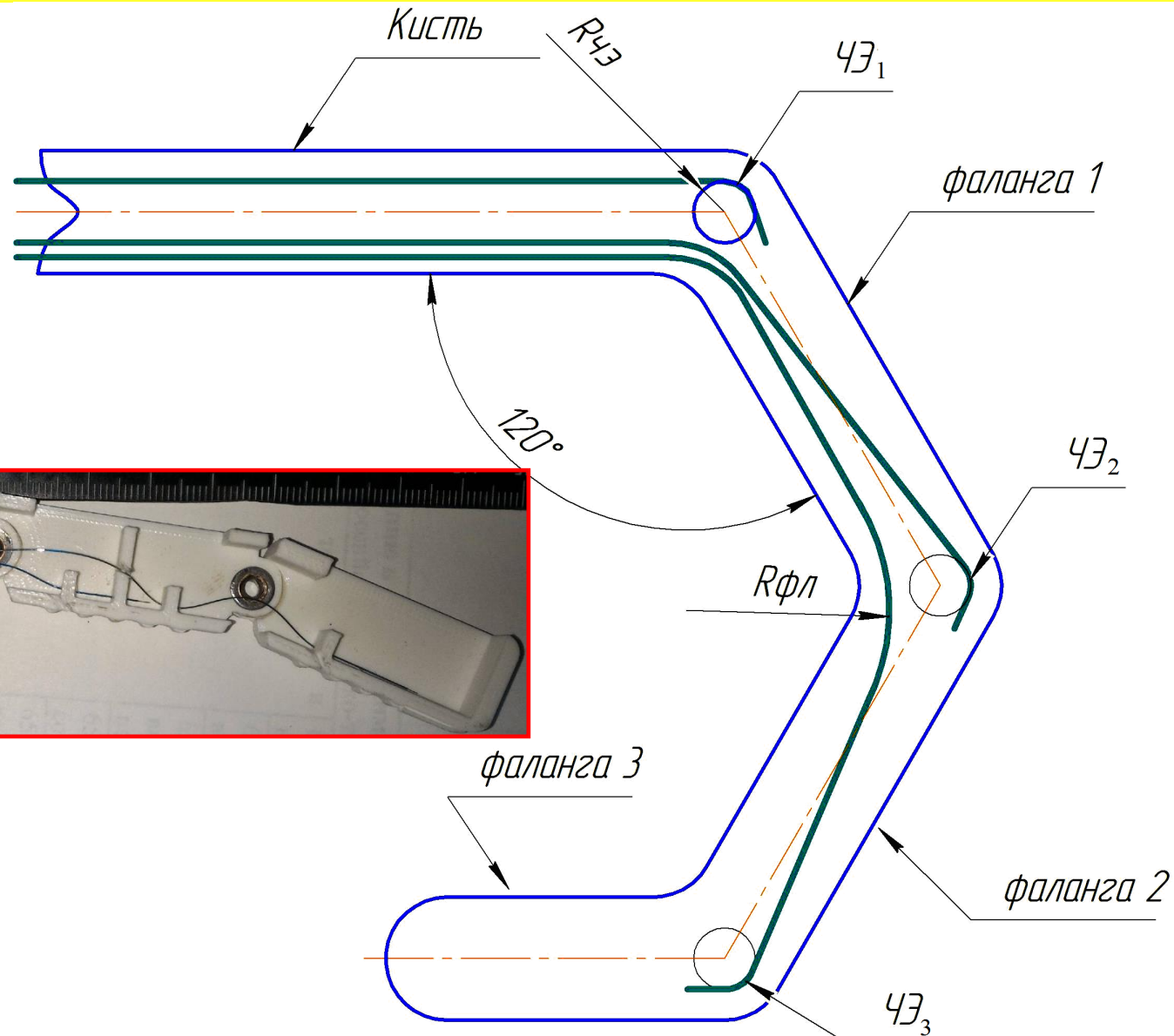




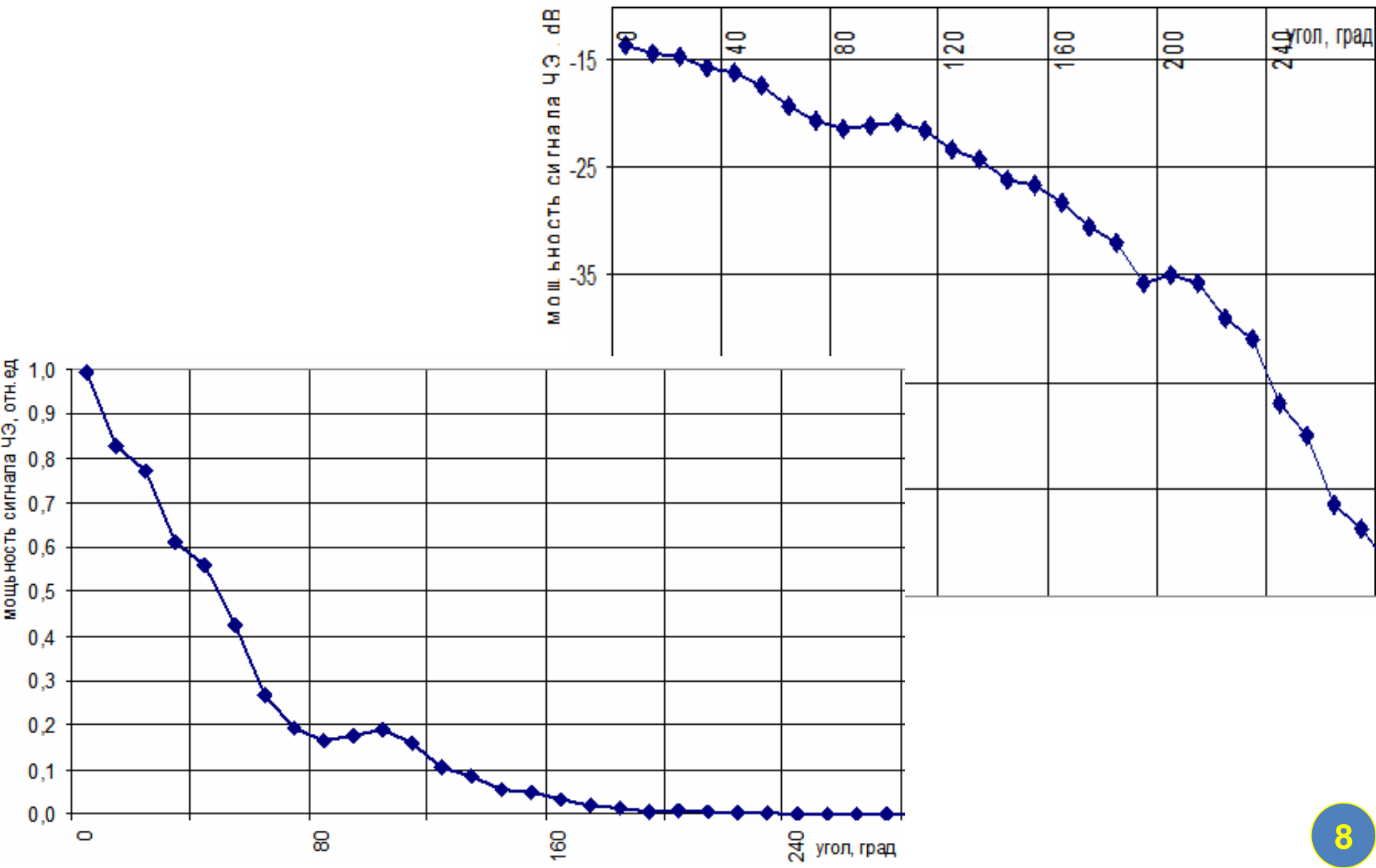




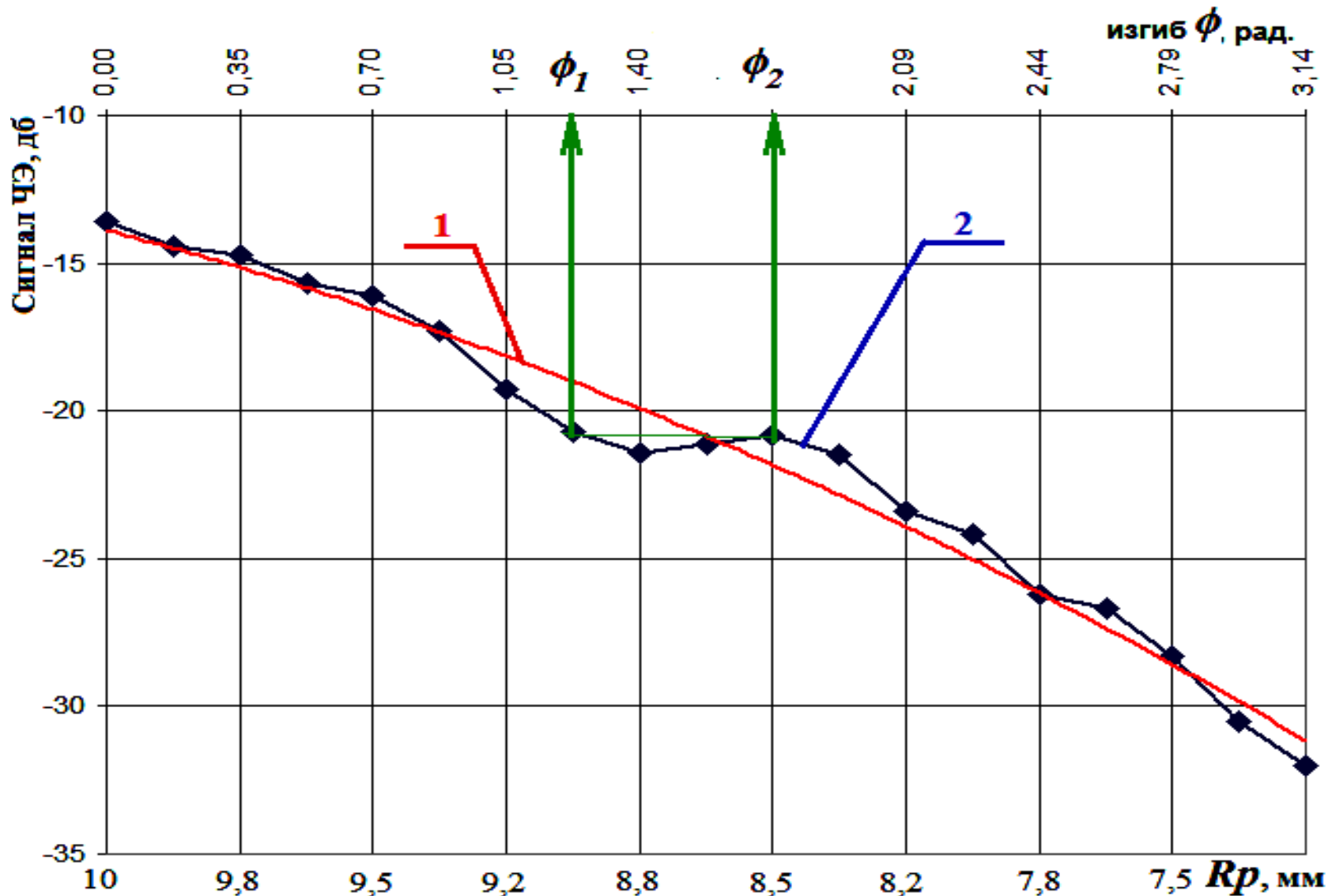
## Схема прокладки чувствительного оптоволоконна



## Экспериментальная позиционная характеристика ЧЭ



## Зависимость оптических потерь при изгибе чувствительного оптического волокна





## Математическая модель взаимовлияния измерительных каналов сенсоров пальцев робота

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_1 (\varphi_1) = [e_1^1 - f_1^1 \cdot (R_{PO} - R_O \frac{\varphi_1}{2\pi})] \\ Y_2 (\varphi_1, \varphi_2) = Y_2^1 \cdot Y_2^2 = [e_2^1 - f_2^1 \cdot \frac{d}{\sin(\varphi_1 / 2)}] \cdot [e_2^2 - f_2^2 \cdot (R_{PO} - R_O \frac{\varphi_2}{2\pi})] \\ Y_3 (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3) = Y_3^1 \cdot Y_3^2 \cdot Y_3^3 = [e_3^1 - f_3^1 \cdot \frac{d}{\sin(\varphi_1 / 2)}] \cdot [e_3^2 - f_3^2 \cdot \frac{d}{\sin(\varphi_2 / 2)}] \cdot \\ \cdot [e_3^3 - f_3^3 \cdot (R_{PO} - R_O \frac{\varphi_3}{2\pi})] \end{array} \right.$$

## Дифференциальная конструкция ВОС

$$U(\varphi) = \frac{U_1(\varphi, t) - U_2(\varphi, t)}{U_1(\varphi, t) + U_2(\varphi, t)}$$

при

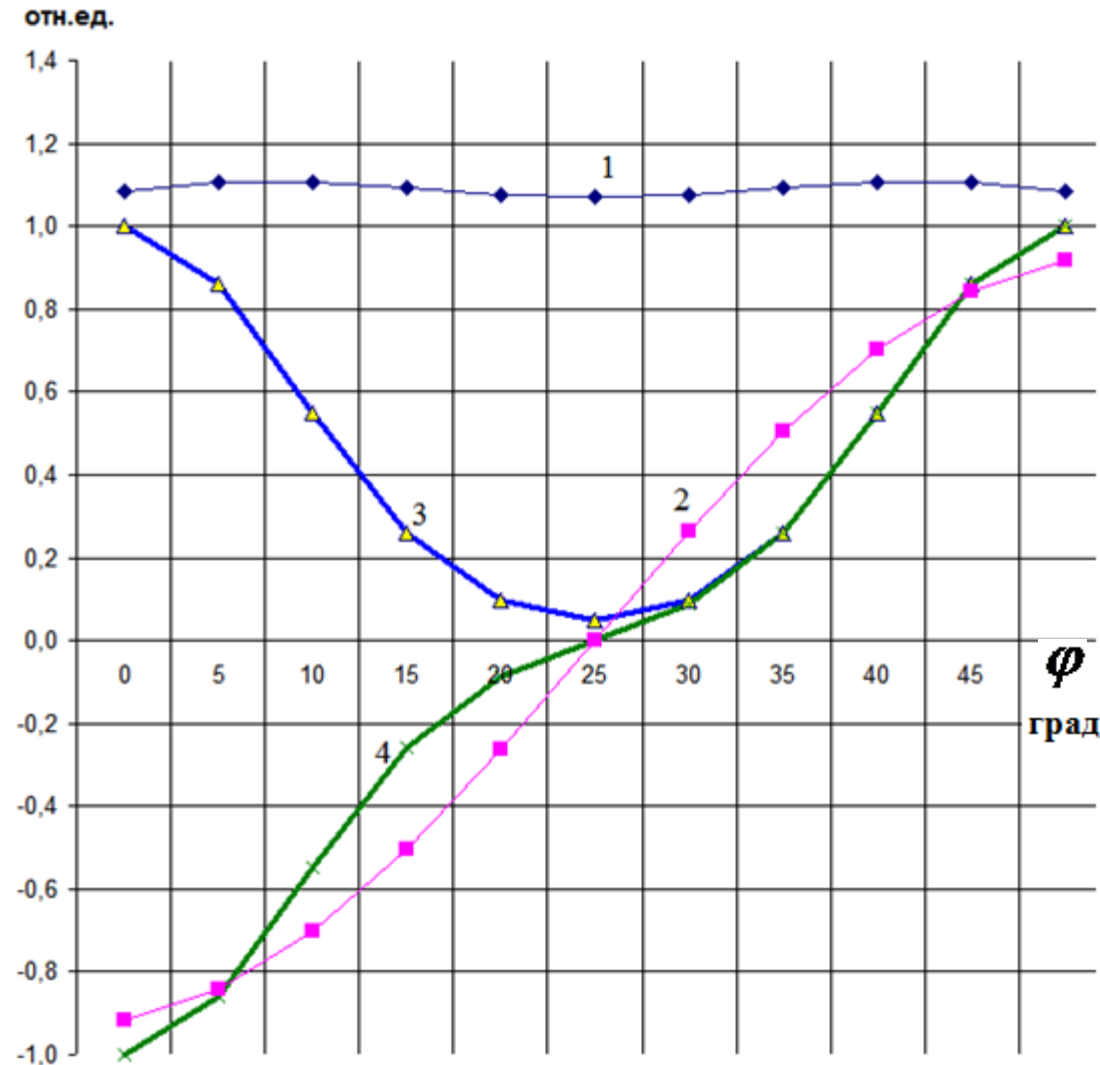
$$U_1(\varphi, t) + U_2(\varphi, t) = Const$$

кривые 3 и 4 для:

$$U_1(\varphi, t) + U_2(\varphi, t) = 1,1...1,08$$

кривые 1 и 2 для:

$$U_1(\varphi, t) + U_2(\varphi, t) = 0,05...1,0$$



## Метод калибровки и линеаризации ПХ

### 1. Этап определение калибровочной функции:

### 1.1. Экспериментальные точки ПХ

(Задание  $\phi$ ,  $t$ . Измерение  $U$ )

$$U_{i,j}^R(\varphi_{i,j}^R; t_{i,j}^R)$$

### 1.2. Интерполяция в ближайшие узловые точки (с постоянным шагом):

$$U_{i,j}(\varphi_{i,j}; t_{i,j})$$

### 1.3. Запись ПХ в память МПр.

## 2. Этап измерения:

### 2.1. Измерение $U_{i,j}^R(\varphi_{i,j}^R; t_{i,j}^R)$

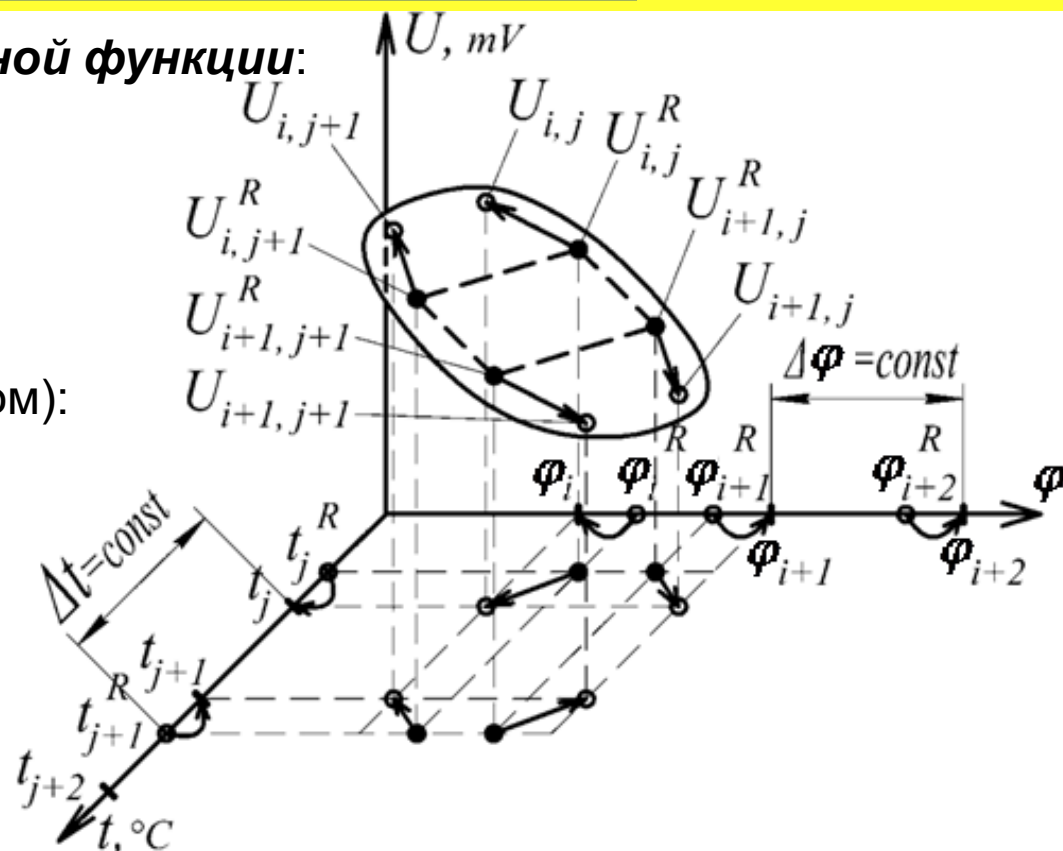
## 2.2. Косвенное вычисление $t$ через:

$$U_1^R(\varphi, t) + U_2^R(\varphi, t)$$

### 2.3. Определение отрезка:

$$U^R(\varphi) \in [A_i, A_{i+1}]$$

## 2.4. Интерполяция результата измерения



## 2.6. Вычисление обратной функции:

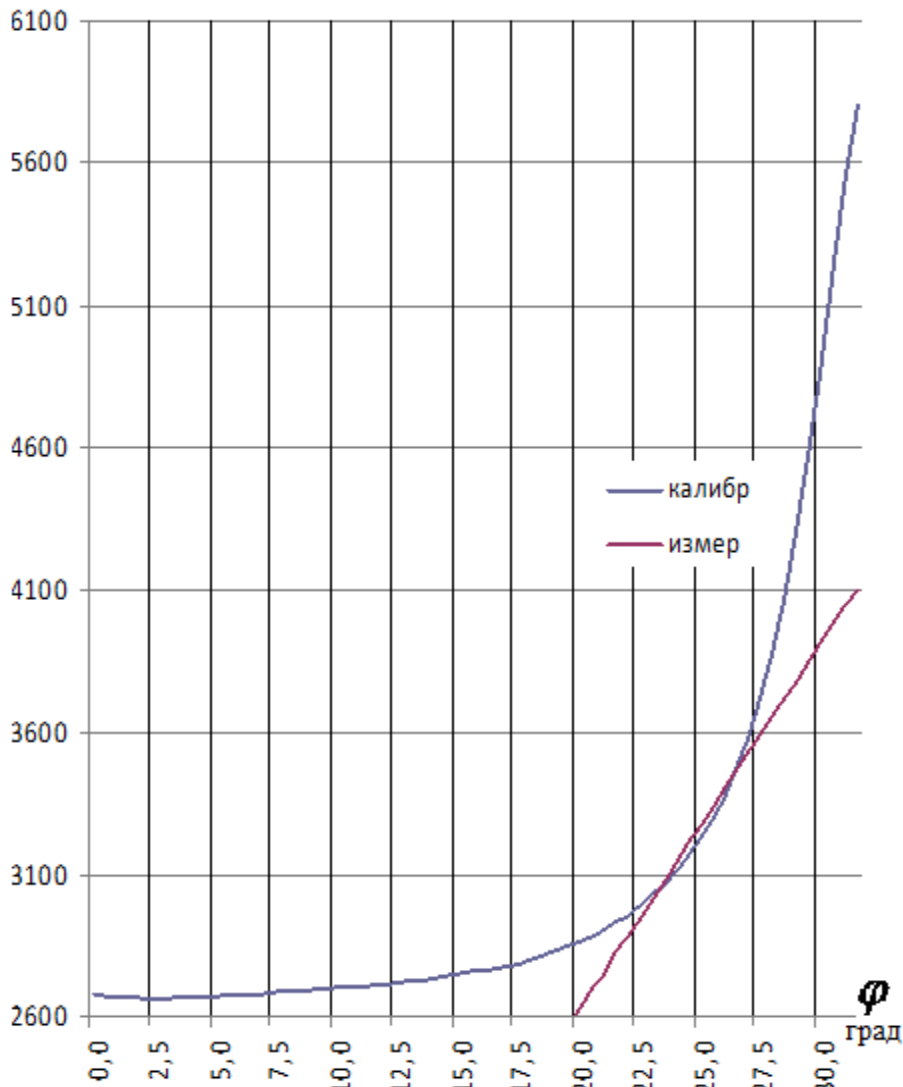
$$A(\varphi) = F^{-1}[F(\varphi)] = \varphi$$

## 2.7. Масштабирование на диапазон измерений

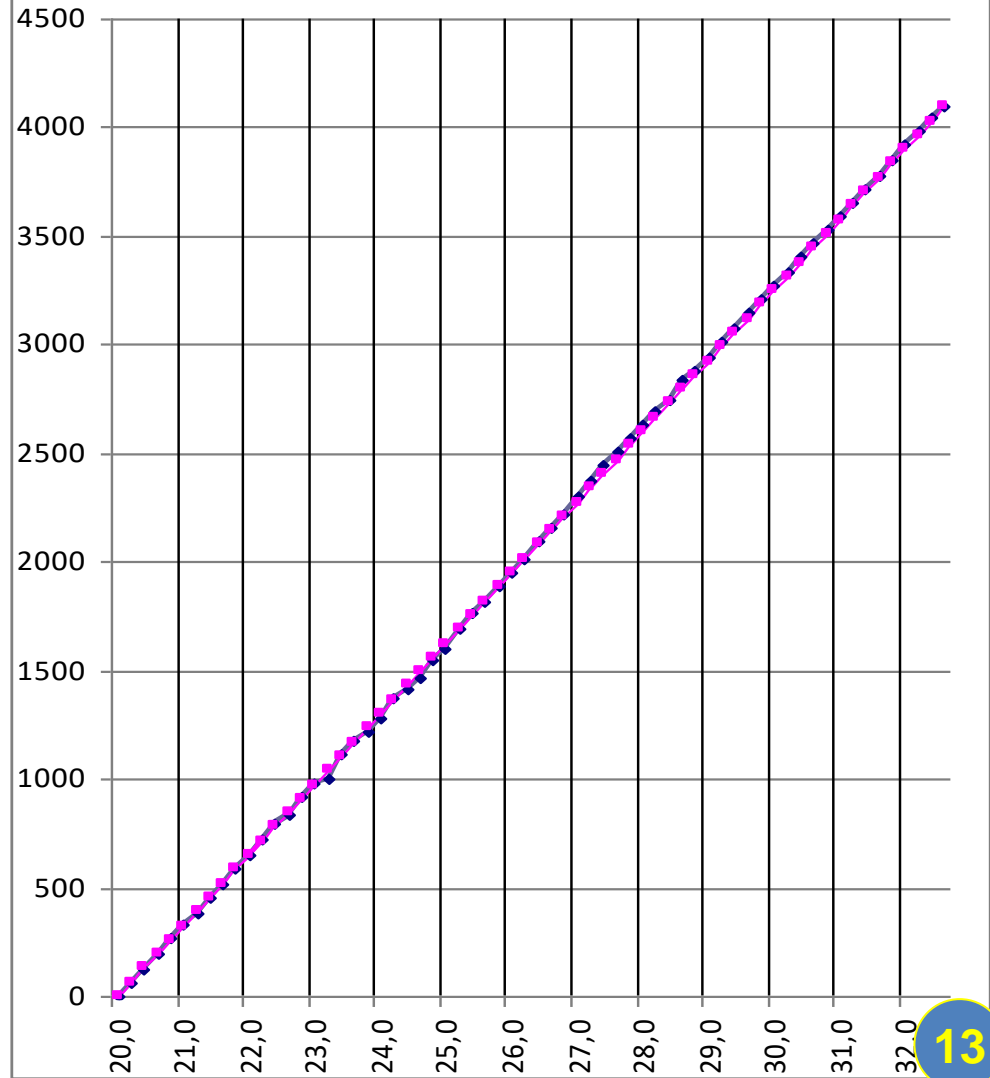
$$\text{КодЦАП}(\varphi) = 4095 \frac{\varphi - \varphi_{\min}}{\varphi_{\max} - \varphi_{\min}}$$

## Экспериментальные результаты линеаризации позиционной характеристики

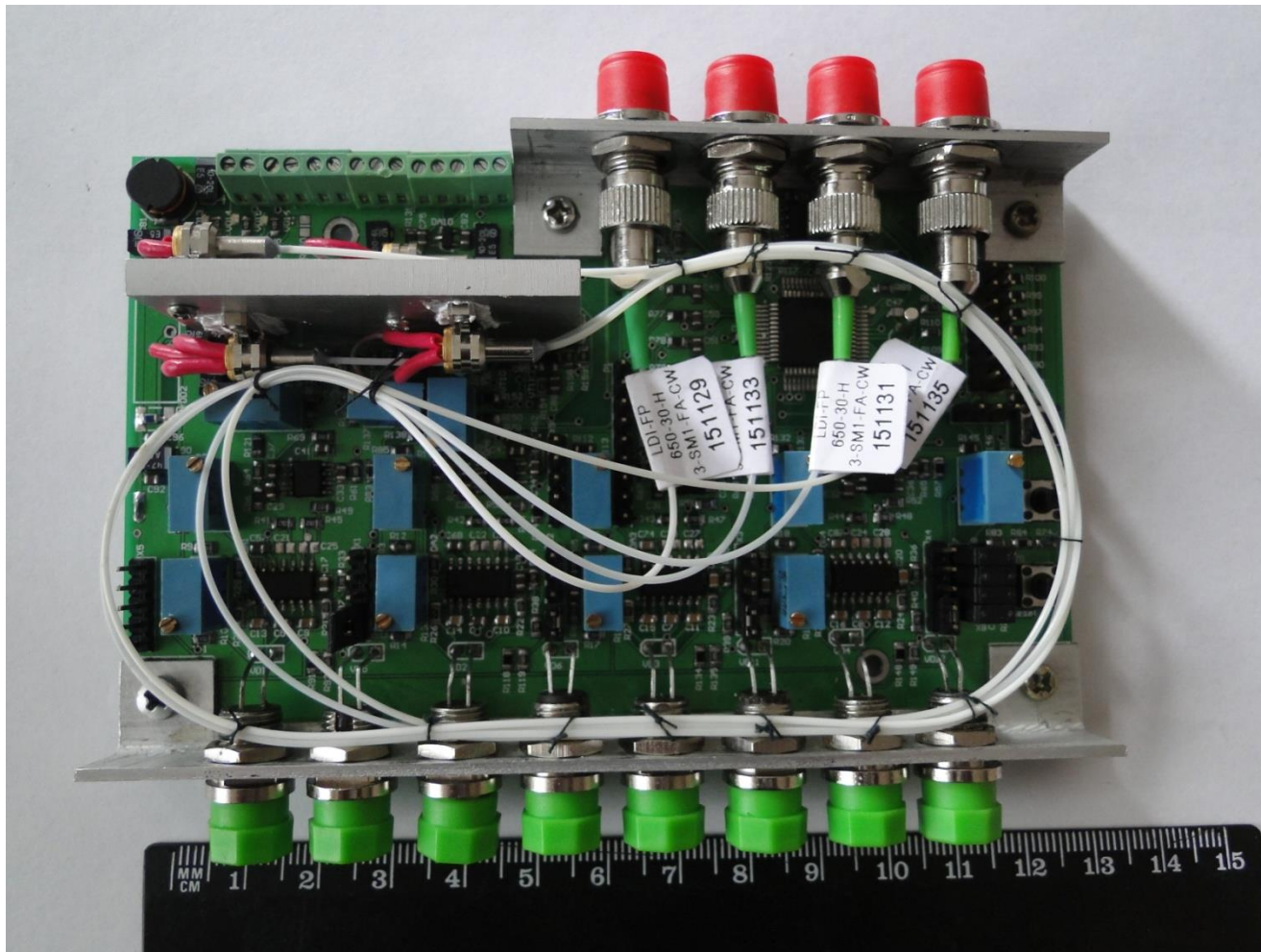
Код ЦАП



Код ЦАП

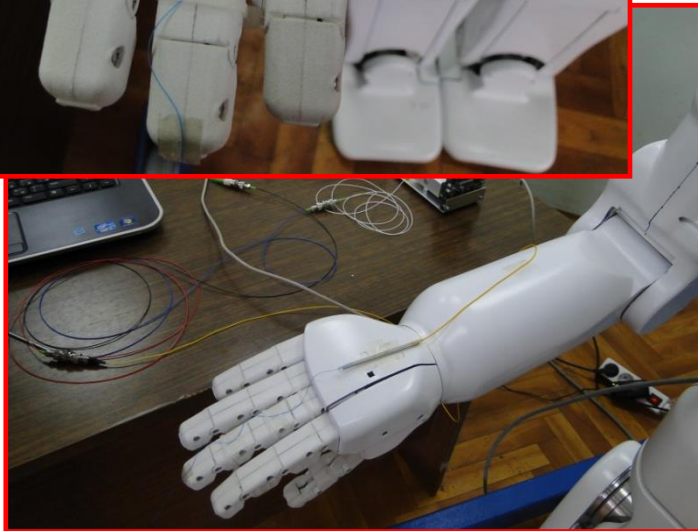
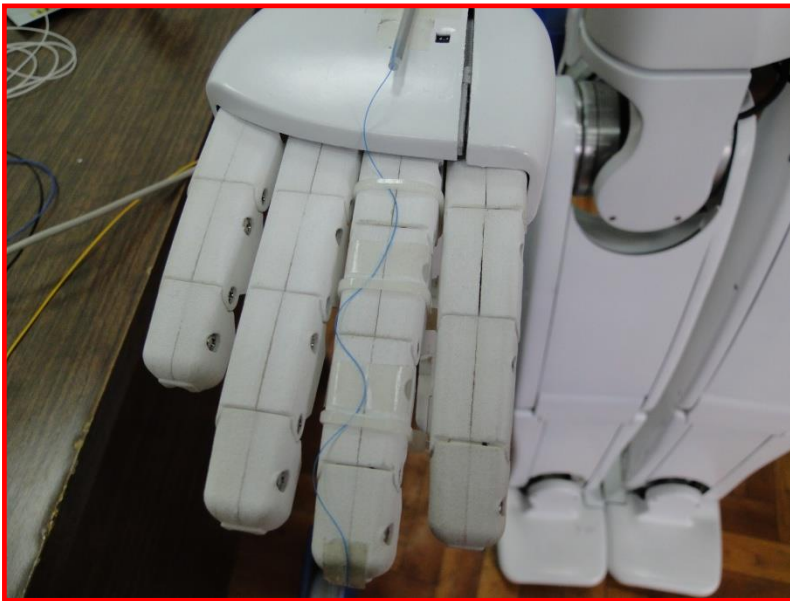


## 4-х канальный электронный трансивер ВОС линейных перемещений





## Волоконно-оптический фаланговый датчик изгиба



Диаметр чувствительного элемента, мм	0,23
Длина соединительного волоконно-оптического кабеля до, м	3
Измеряемые углы поворота фаланг пальцев, град.	от 0 до 60
Разрешающая способность, дв. разрядов	10
Нелинейность позиционной характеристики, %	1
Приведенный температурный коэффициент, %/°C	0,08
Количество измерительных каналов	8
Габариты электронного трансивера, мм	135x85x40
Напряжение питания, В	5
Ток потребления, А	0,35
Выходной сигнал	цифровой SPI
Взаимное влияние каналов измерений, дБ	минус 20
Периодичность опроса ВОС, мс	10
Рабочая температура, °C	от 0 до +50



## Публикации

1. Matyunin S. Conntactkess FiberOptic Vibration Sensors for explosive Manufacturings // Book of abstracts "The 22 International Congress on Sound and Vibration, 12-16 July 2015, Florence (Italy)", The International Institute of Acoustics and Vibration (IIAV) and the Acoustical Society of Italy (AIA), 2015 г., Pp. 150-151
2. Матюнин С.А., Илюхин В.Н. Бесконтактные волоконно-оптические датчики физических величин для систем управления антропоморфными роботами и роботизированными платформами // Труды X Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления», п. Дамбай, 6-10 апреля 2015 года, т.II с. 21 – 32
3. Matyunin S. Fiber-optical sensors based on mono-crystal films of garnet ferrites for mechatronic systems // Procedia Engineering. 2015. V. 106 . Pp. 202-209
4. С.А. Матюнин. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ФАЛАНГ ПАЛЬЦЕВ РУКИ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА// Известия ЮФУ. Технические науки. 2016
5. С.А. Матюнин, Степанов М.В., Бабаев О.Г. Моделирование характеристик магнитооптического преобразователя перемещения // Измерительная техника. М. 2016
6. Matyunin S. , Babaev O. Methods of linearization of the positional characteristics of fiber-optic displacement sensors. ICMIE 2016 International Conference on Measurement Instrumentation and Electronics 06.06.2016., Munich, Bavaria, Germany , 2016
7. С.А. Матюнин, Степанов М.В., Бабаев О.Г. Линеаризация позиционной характеристики волоконно-оптического преобразователя на основе магнитооптического эффекта // Измерительная техника. М. 2017
8. С.А. Матюнин, Степанов М.В., Бабаев О.Г. Алгоритмическая линеаризация позиционной характеристики волоконно-оптического датчика на основе магнитооптического эффекта // Измерительная техника. М. 2017



***Спасибо за внимание***