

# **Отчет о функциональных испытаниях МЗД АЗДК-1.5 №2209**

ООО «Азмерит»

**Объект испытаний:** малогабаритный звездный датчик 1.5 (АЗДК-1).

**Метка изделия МЗД АЗДК-1:** 1.5 №2209.

**Цель испытаний:** выполнить проверку функциональности МЗД АЗДК-1 с версией прошивки 123 с частотой работы процессора 80 МГц.

**Место испытаний:** Москва, Красная Пресня.

**Время испытаний:** 19. Ноябрь. 2022. - 20. Ноябрь. 2022.

Функциональные испытания МЗД АЗДК 1 проводились с использованием имитатора звездного неба ОДС 1 №7, проецировавшего на матрицу МЗД АЗДК 1 динамичные и статичные кадры звездного неба.

## **Условия:**

- настройки ПО ОДС: интенсивность 0,30; влияние величины 0,05; фокус 0,10 мм; размер изображения звезды 0,75 пикс;
- ОДС: каталог звезд до 7.5 звездной величины;
- версия прошивки АЗДК-1: 123;
- взаимодействие по интерфейсу RS485 на скорости 500 кбит/с;
- длительность накопления сигнала в МЗД: 20 мс;
- режим бинирования кадров в АЗДК-1 ;
- сторожевой таймер включен;

## Тест-1 (точностной)

Задачей теста-1 являлось измерение точностных характеристик МЗД АЗДК-1.

В ходе теста посредством имитатора звездного неба ОДС-1 было подано 30 случайных статичных кадра звездного неба длительностью по 1 минуте каждый

В результате теста выполнены следующие измерения:

- Компонент кватерниона w, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 1;
- Компонент кватерниона x, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 2;
- Компонент кватерниона y, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 3;
- Компонент кватерниона z, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 4;
- Отклонения углов ориентации между измерениями и установкой в ОДС по временной шкале показаны на Рис. 5;
- Результаты измерений ошибок ориентации  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , представленные в системе координат прибора, показаны на Рис. 6;
- Отклонения углов ориентации от средних значений по временной шкале показаны на Рис. 7;
- Результаты измерений ошибок ориентации  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , представленные в системе координат прибора, показаны на Рис. 8;
- В таблице 1 приведены средние значения отклонений кватернионов для всех серий измерений.

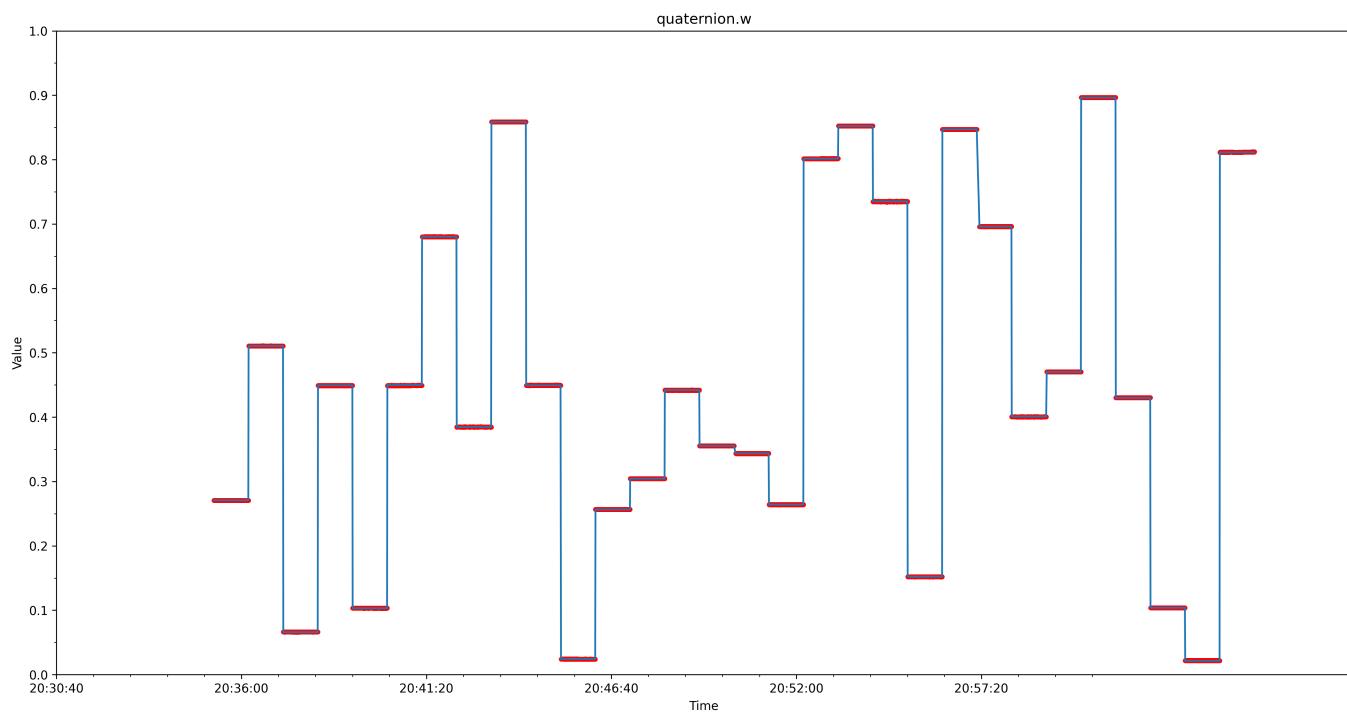


Рис. 1 Компонент кватерниона  $w$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

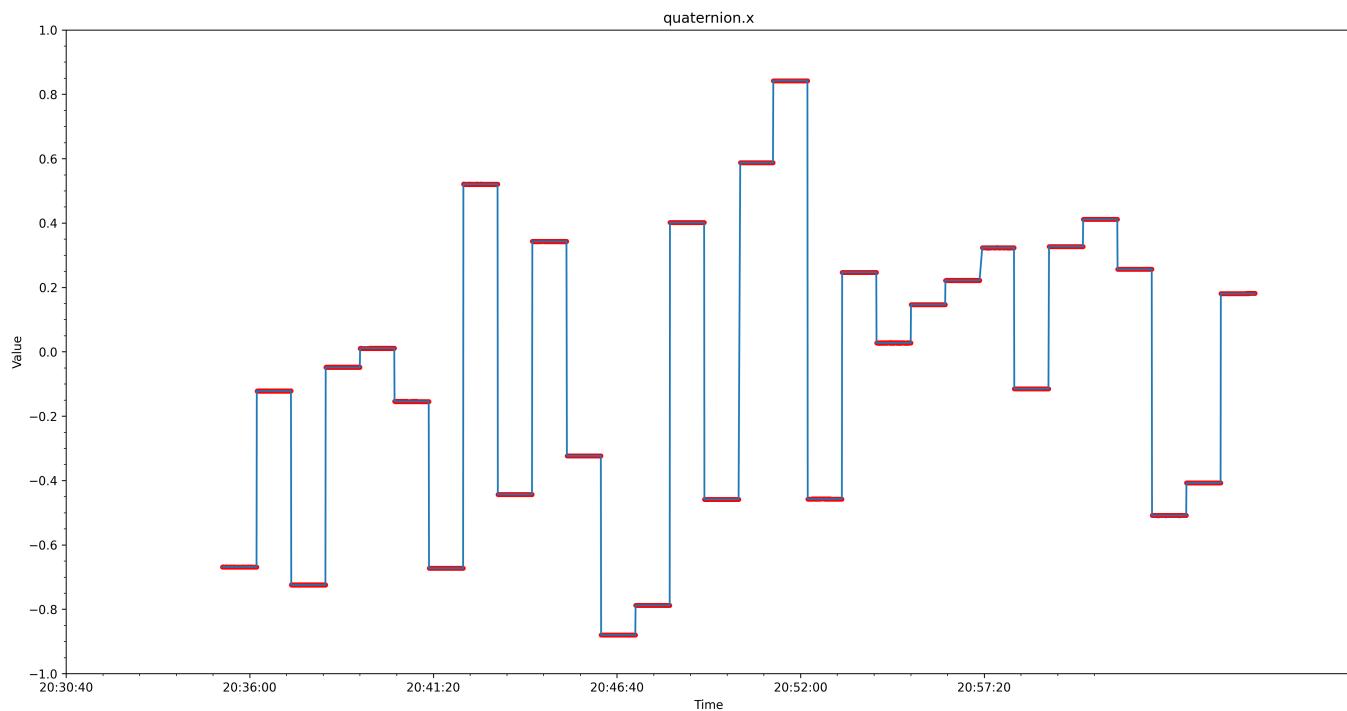


Рис. 2 Компонент кватерниона  $x$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

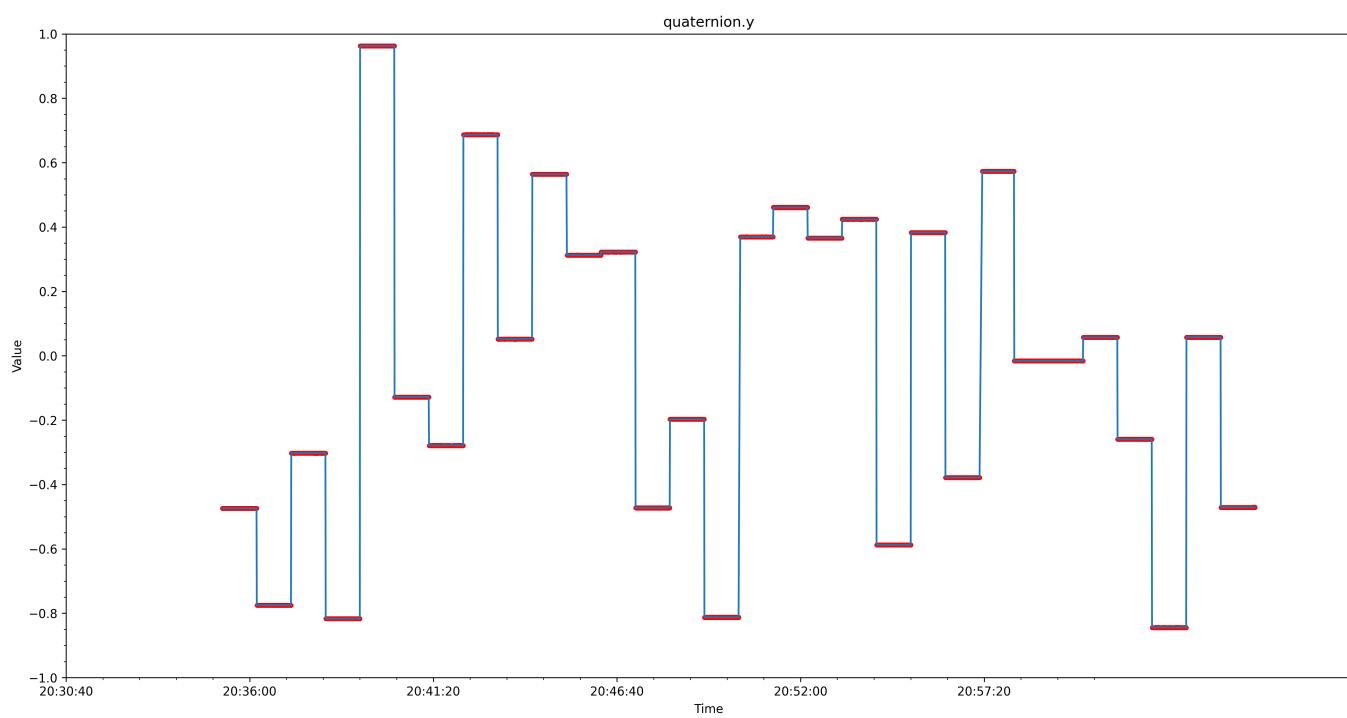


Рис. 3 Компонент кватерниона у, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

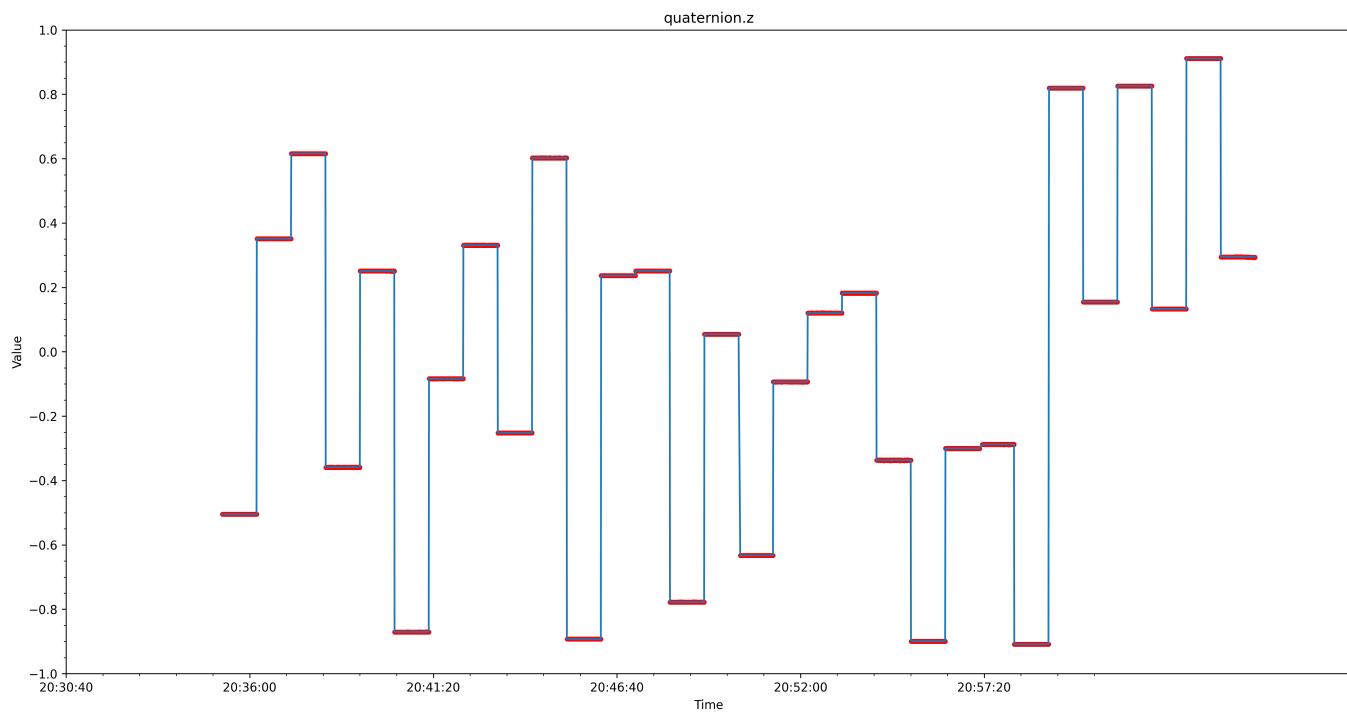


Рис. 4 Компонент кватерниона z, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

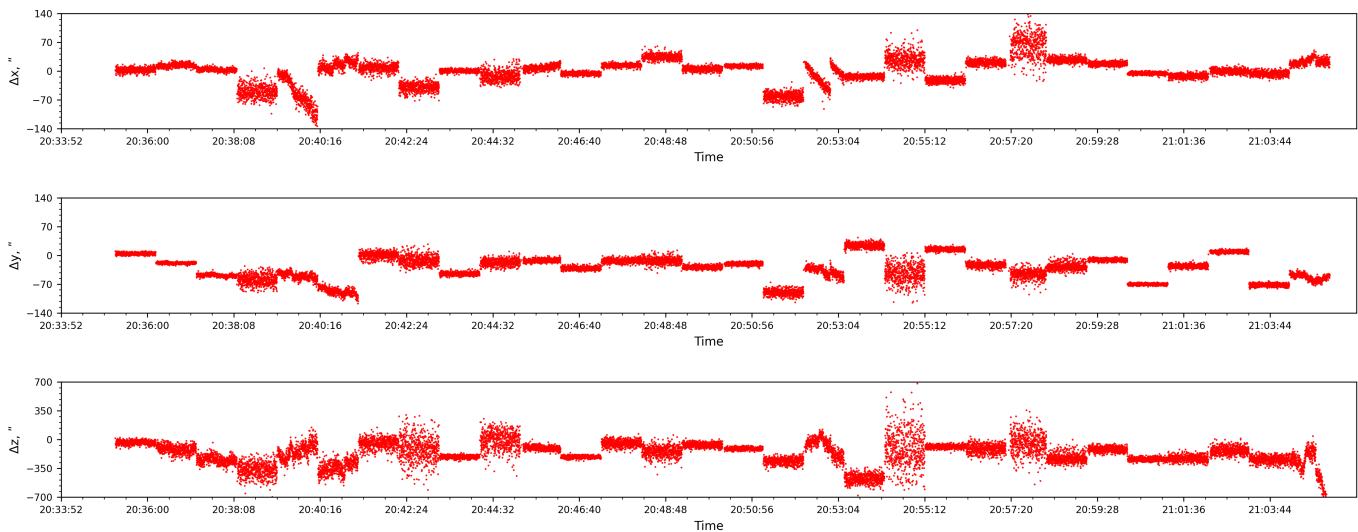


Рис. 5 Разница углов ориентации между измерениями в МЗД и установкой в  
ОДС в приборной системе координат.

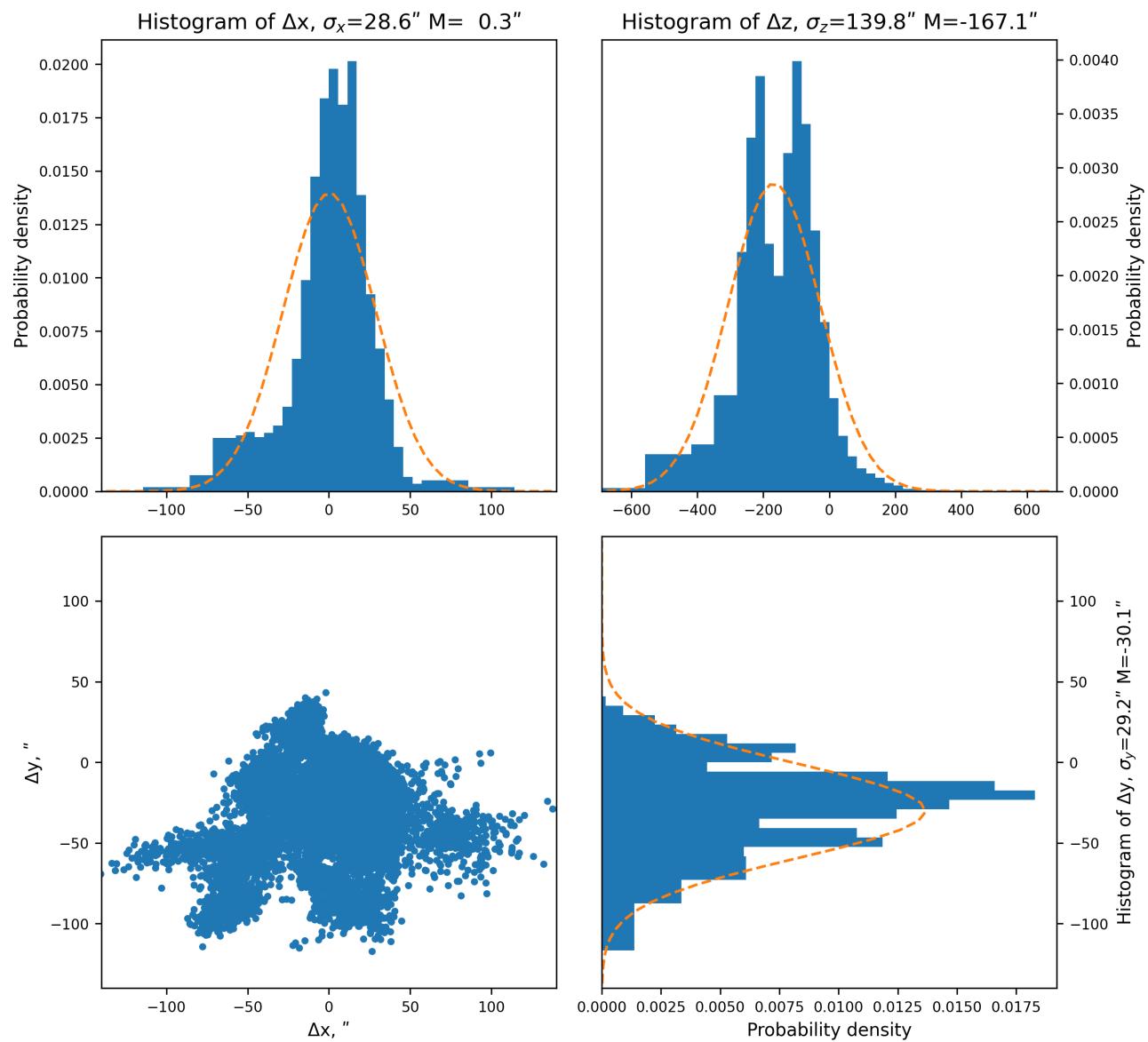


Рис. 6 Гистограммы измерений ошибок ориентации  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ,  
представленные в системе координат прибора.

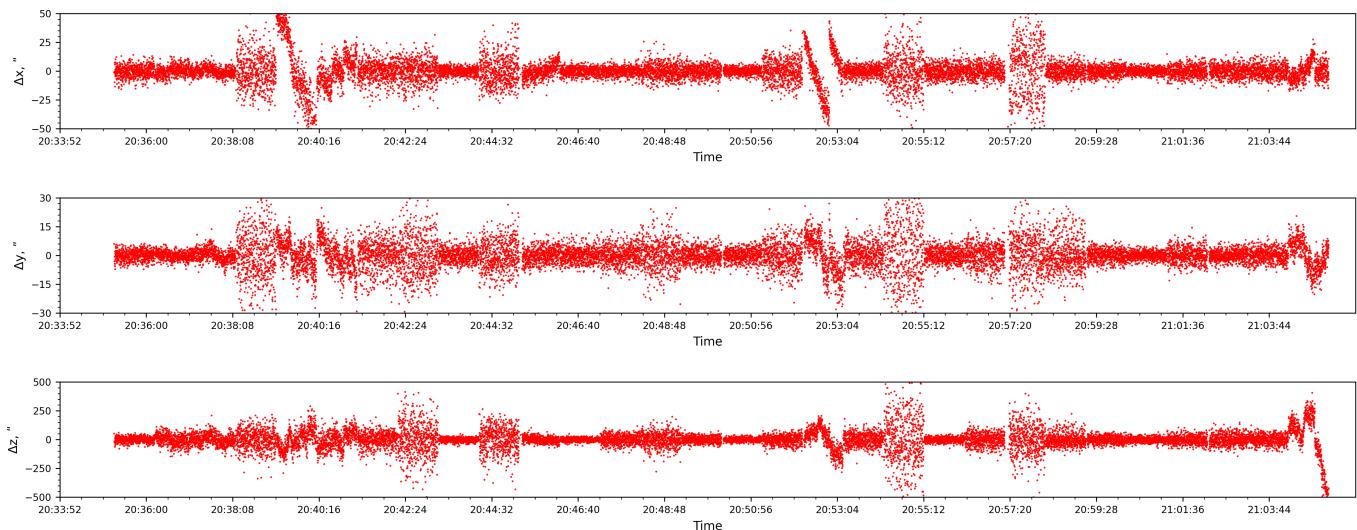


Рис. 7 Разница углов ориентации между измерениями в МЗД вычисленными средними значениями в приборной системе координат.

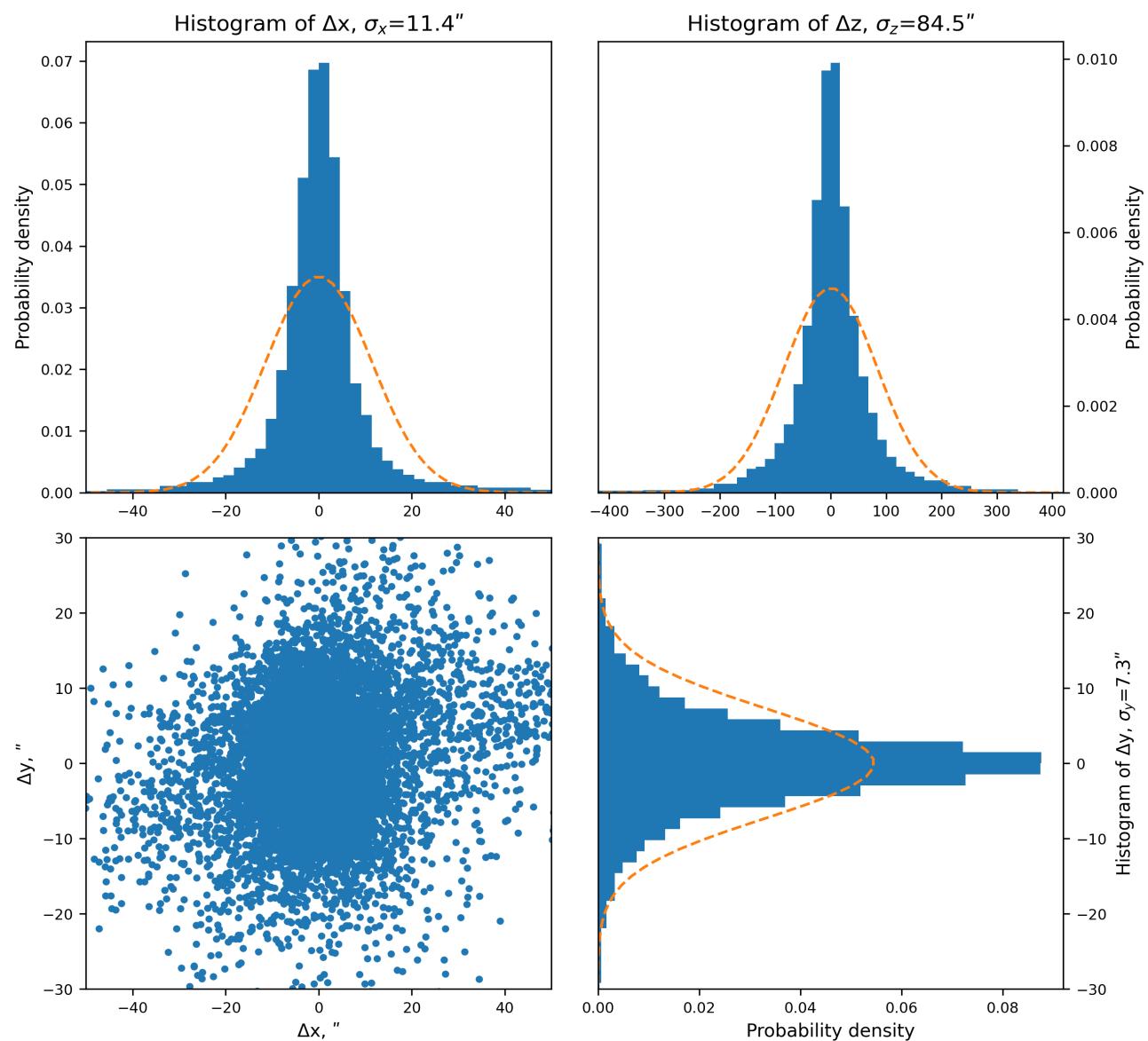


Рис. 8 Гистограммы измерений ошибок ориентации  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , представленные в системе координат прибора.

Таблица 1 Результаты СКО серии измерений с нулевой угловой скоростью

№ сер.	Углы ориентации, °			Отклонения			СКО		
	α	δ	φ	Δx,"	Δy,"	Δz,"	Δx,"	Δy,"	Δz,"
1	63.534166	-20.064852	82.851332	3.1	4.5	-34.4	5.0	2.6	22.3
2	205.584816	-13.405278	133.442633	14.0	-18.5	-114.3	4.2	2.0	46.0
3	196.553654	-13.466417	241.156229	3.6	-48.7	-246.6	3.7	3.2	46.8
4	137.977136	-19.805210	54.702237	-50.0	-59.1	-370.6	14.4	12.0	84.8
5	66.997614	-58.536735	-21.736190	-53.9	-49.0	-143.1	35.4	7.6	87.5
6	67.024704	66.837385	77.550998	15.2	-88.0	-332.2	11.2	8.2	77.6
7	105.501440	-3.461967	150.451625	8.7	0.5	-43.8	8.0	7.2	58.9
8	3.530125	-29.026657	-12.158259	-39.1	-11.9	-114.8	9.6	11.0	143.6
9	67.007072	36.991495	170.221138	1.1	-44.7	-207.4	3.1	3.5	16.2
10	21.976564	7.415482	-5.436681	-11.9	-17.0	-9.7	12.4	7.5	105.3
11	317.525405	36.504828	135.570058	8.9	-12.2	-101.5	6.0	3.7	24.9
12	112.551868	-49.158850	242.735768	-5.5	-31.5	-210.1	3.3	3.6	14.3
13	160.503179	-43.492437	188.578679	14.4	-13.0	-45.3	3.5	4.6	37.1
14	183.416777	36.872509	-34.205871	34.7	-12.3	-144.7	6.2	7.5	59.9
15	159.326187	-47.855823	128.184936	5.5	-28.6	-65.9	4.6	3.6	25.9
16	240.673228	2.113280	-93.688675	12.4	-20.1	-110.4	2.7	3.1	15.1
17	279.125105	-57.444568	-48.248091	-61.5	-89.7	-258.7	8.8	6.7	36.3
18	59.907735	18.306277	227.185657	-11.6	-39.6	-85.0	21.1	10.2	99.9
19	341.871238	31.275801	-47.758972	-13.2	24.2	-472.8	4.1	5.6	51.8
20	158.032927	17.895446	62.692874	28.3	-44.6	-118.2	16.8	20.9	227.1
21	258.619075	41.596148	-149.443586	-22.3	14.7	-84.4	5.5	3.5	18.9
22	190.813399	37.953120	40.106624	20.7	-23.2	-111.2	5.5	5.4	51.6
23	308.109178	7.745609	-83.045833	62.1	-46.1	-42.8	27.9	11.0	126.0
24	31.785504	76.668245	105.768281	27.3	-26.9	-223.6	5.3	8.2	51.1
25	327.333130	51.761686	62.948943	18.2	-10.9	-117.8	3.9	2.9	29.0
26	287.634388	40.912728	1.924272	-5.3	-70.1	-236.8	2.6	1.9	19.8
27	287.126353	47.189462	107.817794	-12.0	-26.0	-225.6	4.7	3.9	33.6
28	200.861893	-70.604644	172.981035	0.4	9.0	-132.6	4.9	2.6	45.2
29	170.606026	41.445022	276.637706	-6.5	-72.1	-242.3	5.4	3.2	38.3
30	220.938021	29.375084	88.916991	23.6	-53.3	-364.7	7.8	7.5	230.4
Средние значения				19.8	33.7	167.0	11.5	7.3	84.4

## Тест-2 (точностной)

Задачей теста-2 являлось измерение точностных характеристик МЗД АЗДК-1.

В ходе теста посредством имитатора звездного неба ОДС-1 было подано 29 случайных ориентаций кадра звездного неба длительностью по 1 минуте каждый с включенной случайной скоростью вращения  $0.1 \text{ }^{\circ}/\text{s}$ .

В результате теста выполнены следующие измерения:

- Компонент кватерниона  $w$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 9;
- Компонент кватерниона  $x$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 10;
- Компонент кватерниона  $y$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 11;
- Компонент кватерниона  $z$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 12;
- Отклонения углов ориентации между измерениями и установкой в ОДС по временной шкале показаны на Рис. 13;
- Результаты измерений ошибок ориентации  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , представленные в системе координат прибора, показаны на Рис. 14.

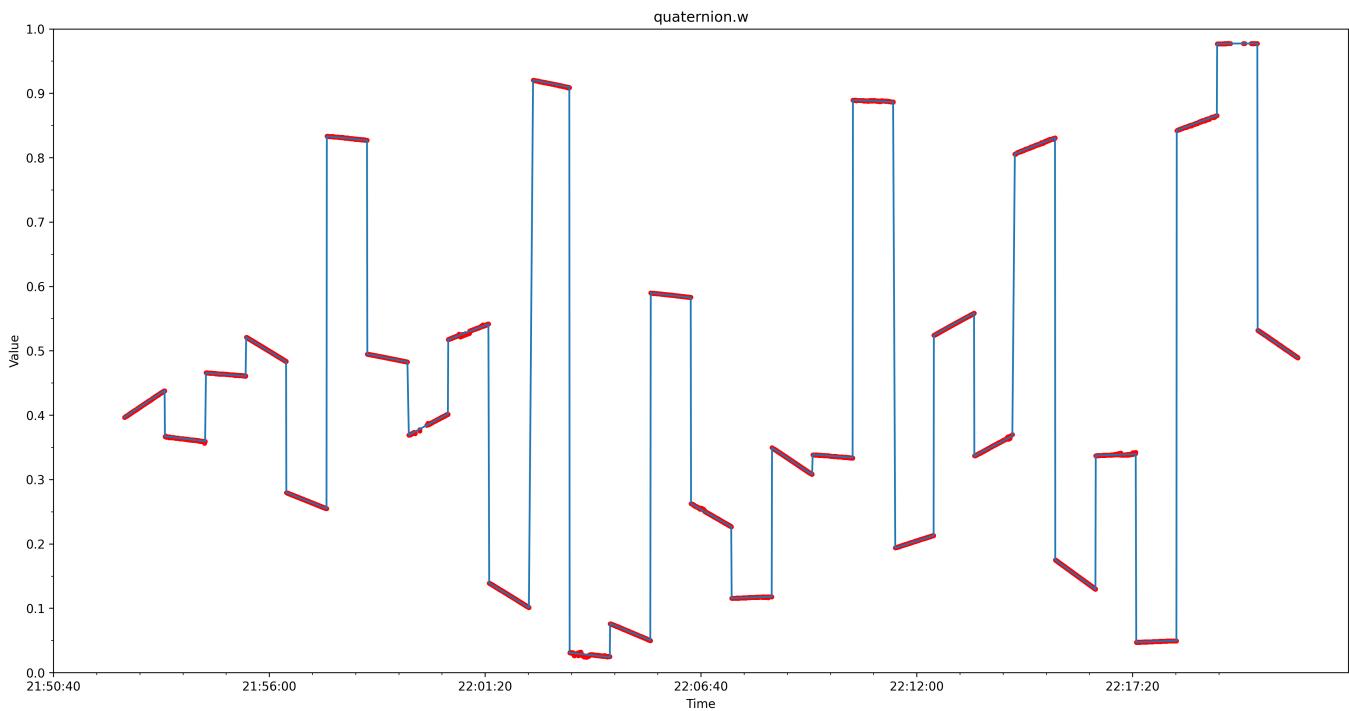


Рис. 9 Компонент кватерниона  $w$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

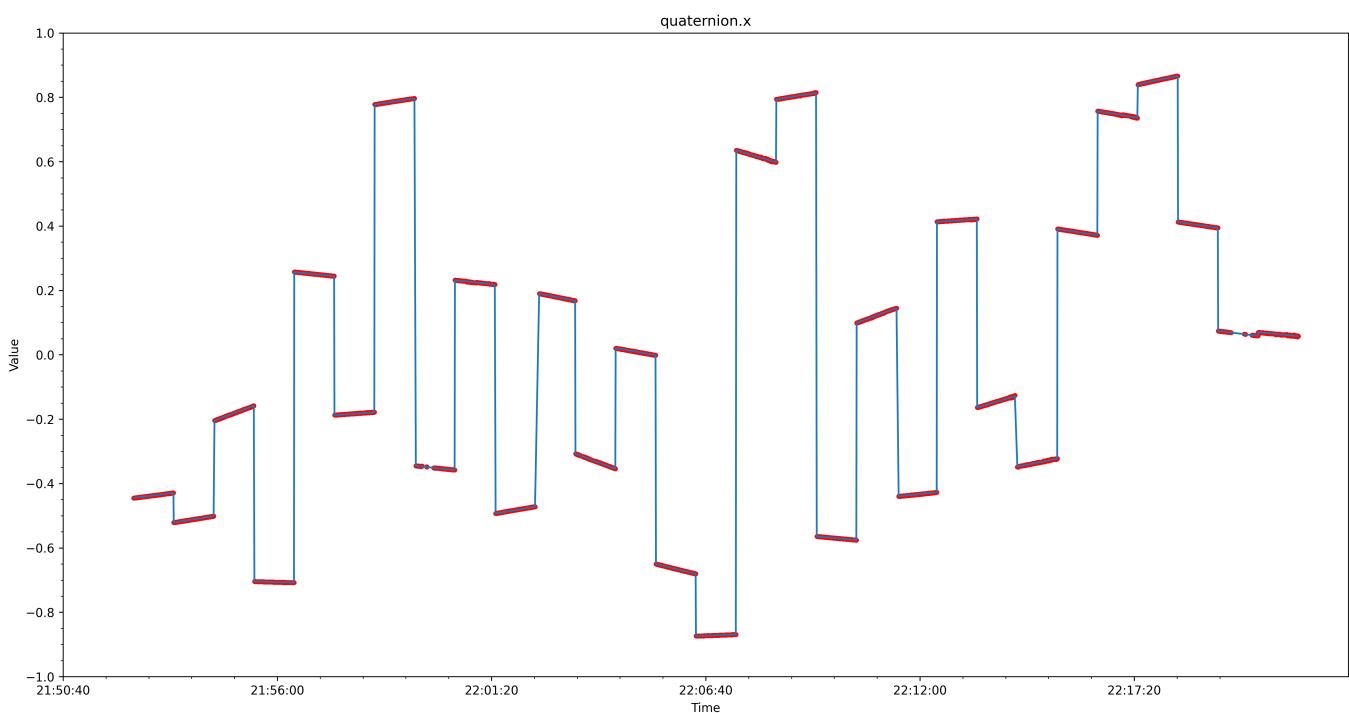


Рис. 10 Компонент кватерниона  $x$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

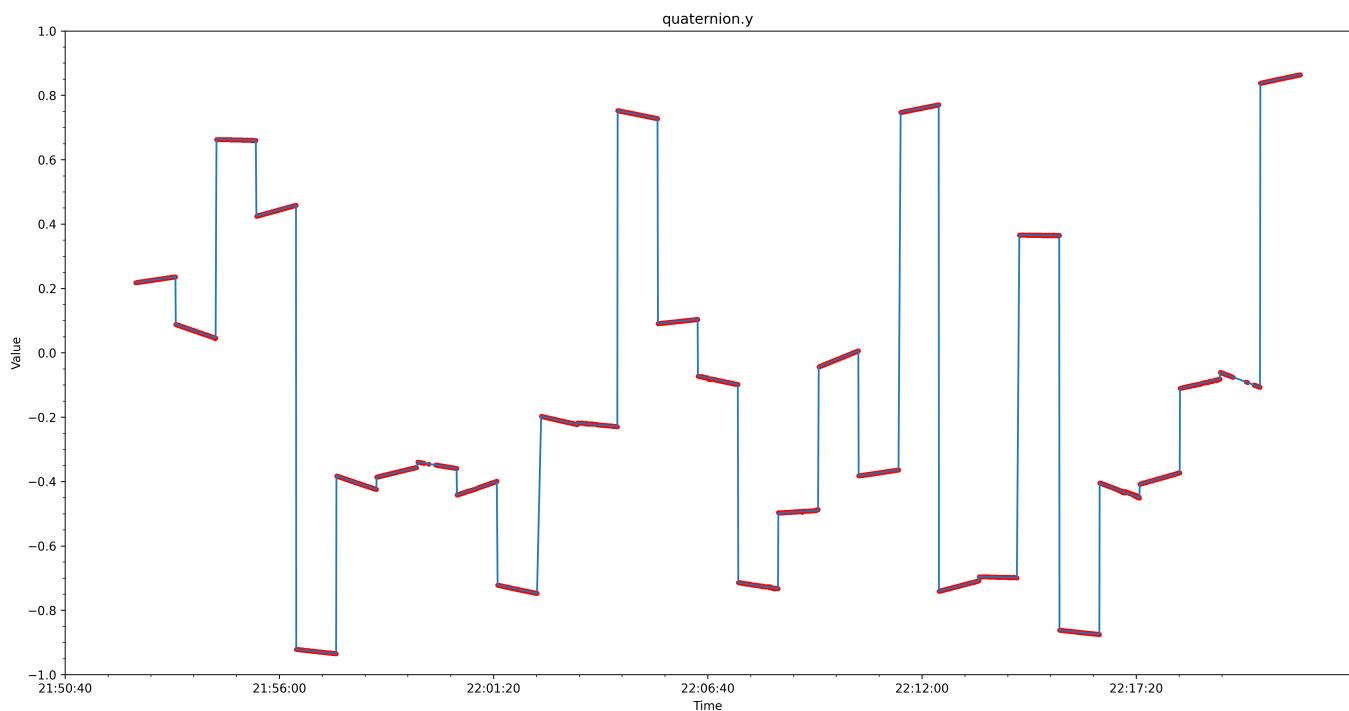


Рис. 11 Компонент кватерниона у, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

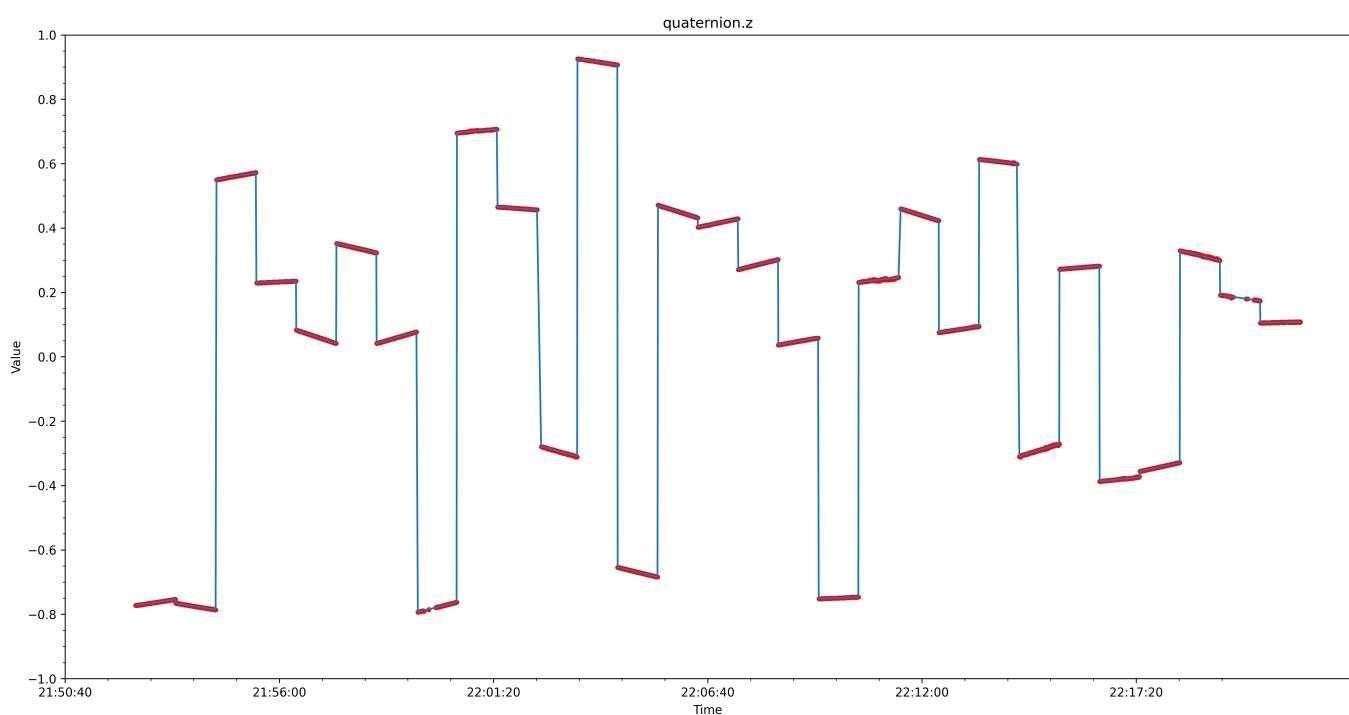


Рис. 12 Компонент кватерниона z, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

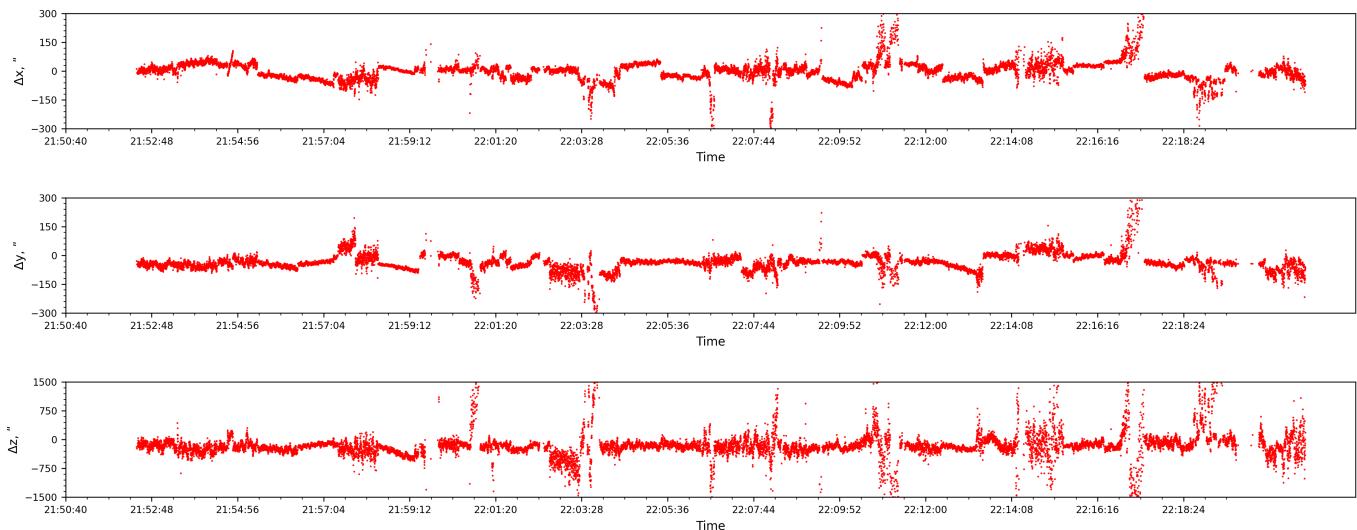


Рис. 13 Разница углов ориентации между измерениями в МЗД и установкой в ОДС в приборной системе координат.

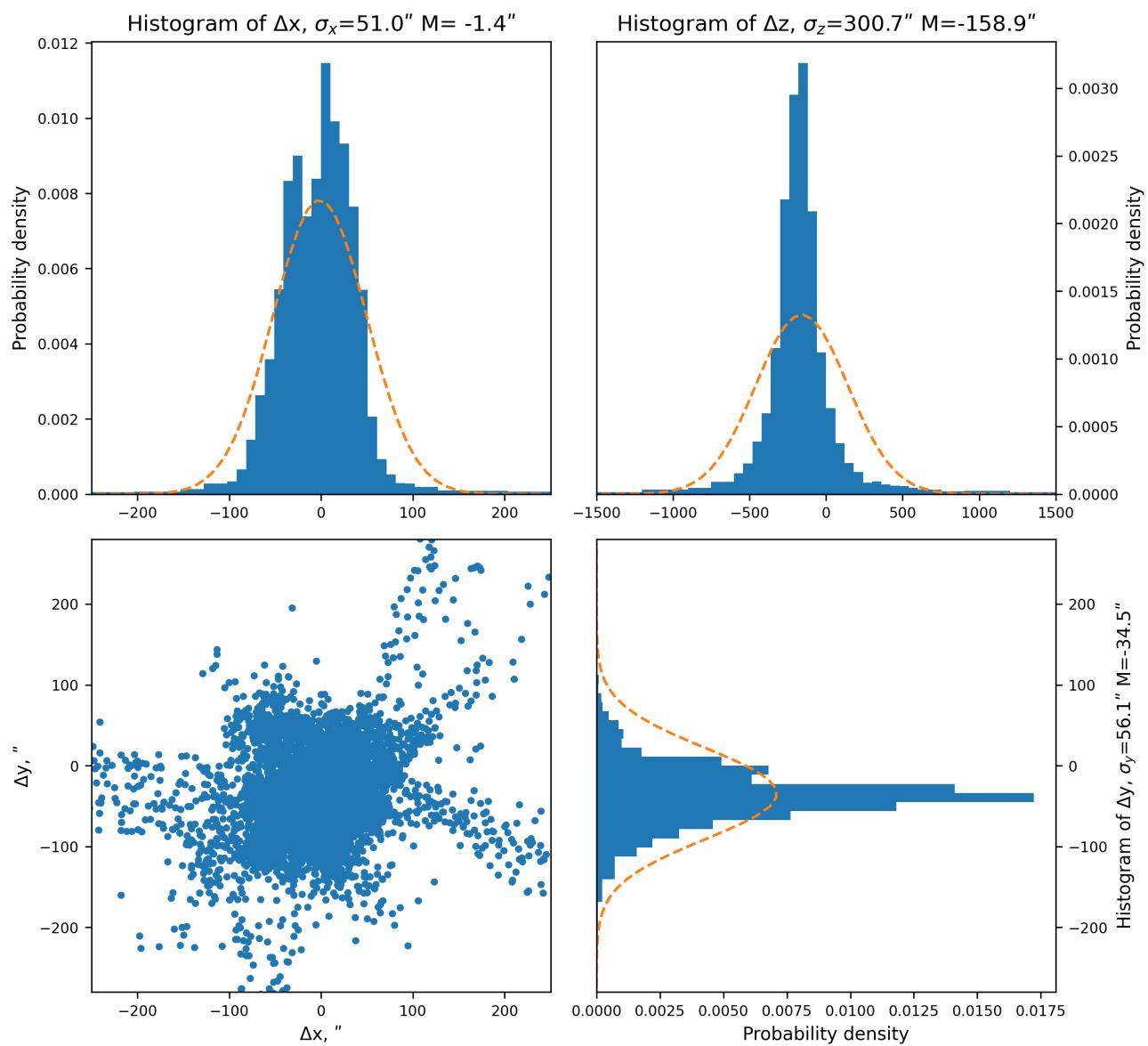


Рис. 14 Гистограммы измерений ошибок ориентации  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , представленные в системе координат прибора.

## Тест-3 (статистический)

Задачей теста-3 являлся набор статистики количества отождествленных кадров и количество срывов ведений МЗД АЗДК-1 на случайных участках неба при скорости вращения КА  $1^{\circ}/\text{сек}$ . Данные получены на основе 30 случайных треков длительностью по 1 минуте .

Таблица 2 Статистические результаты функциональных испытаний МЗД

АЗДК-1 при скоростях вращения  $1^{\circ}/\text{сек}$ .

Статистика	Значения
1. Всего кадров измерено	17895
2. Кадров считано	17197
3. Плохих кадров зарегистрировано	185
4 Кол-во отождествлений	17081
4.1 кол-во нач. отождествлений	238
4.2 кол-во кадров с ведением	16843
4.3 кол-во срывов ведения	89
5. Кол-во загрузок из каталога	721

В результате теста выполнены следующие измерения:

- Компонент кватерниона w, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 15;
- Компонент кватерниона x, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 16;
- Компонент кватерниона у, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 17;
- Компонент кватерниона z, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 18;
- Отклонения углов ориентации между измерениями в МЗД и установкой в ОДС в приборной системе координат показаны см. Рис. 19;
- Частота выдачи МЗД АЗДК-1 кадров по статистическим данным – см. Рис. 20.

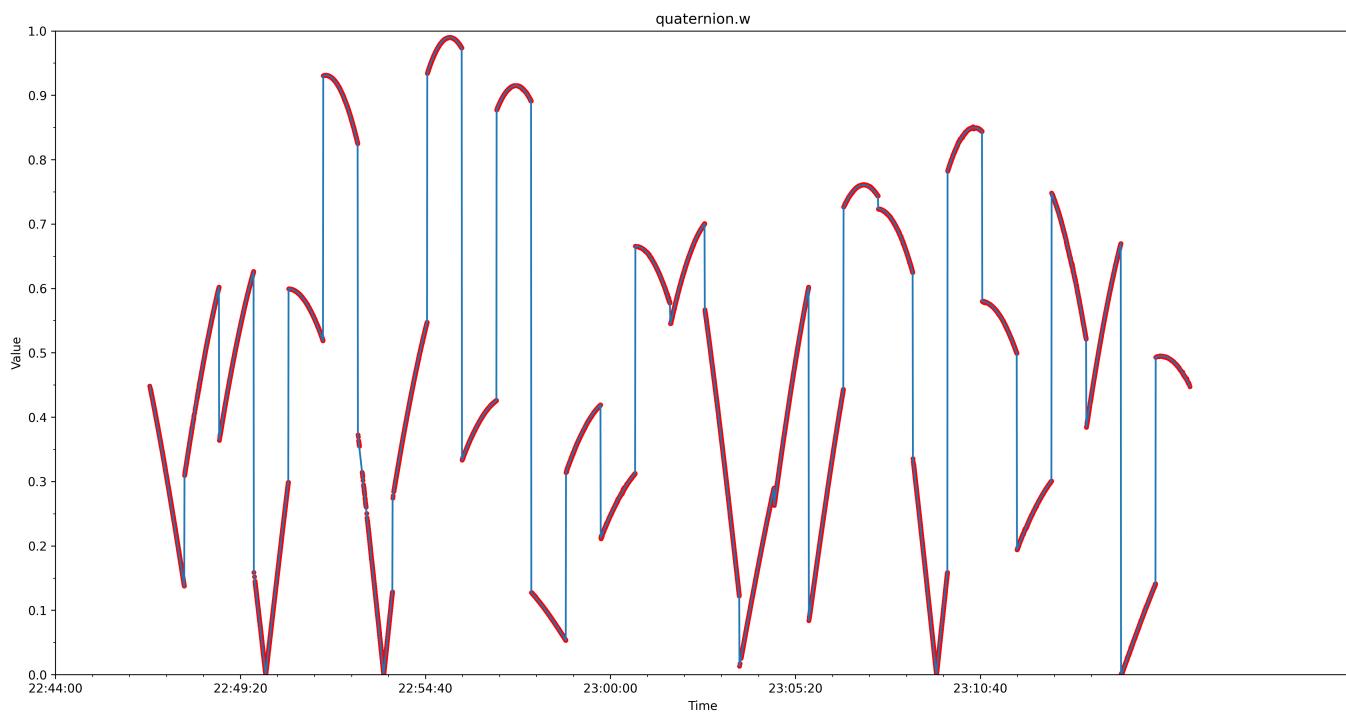


Рис. 15 Компонент кватерниона  $w$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

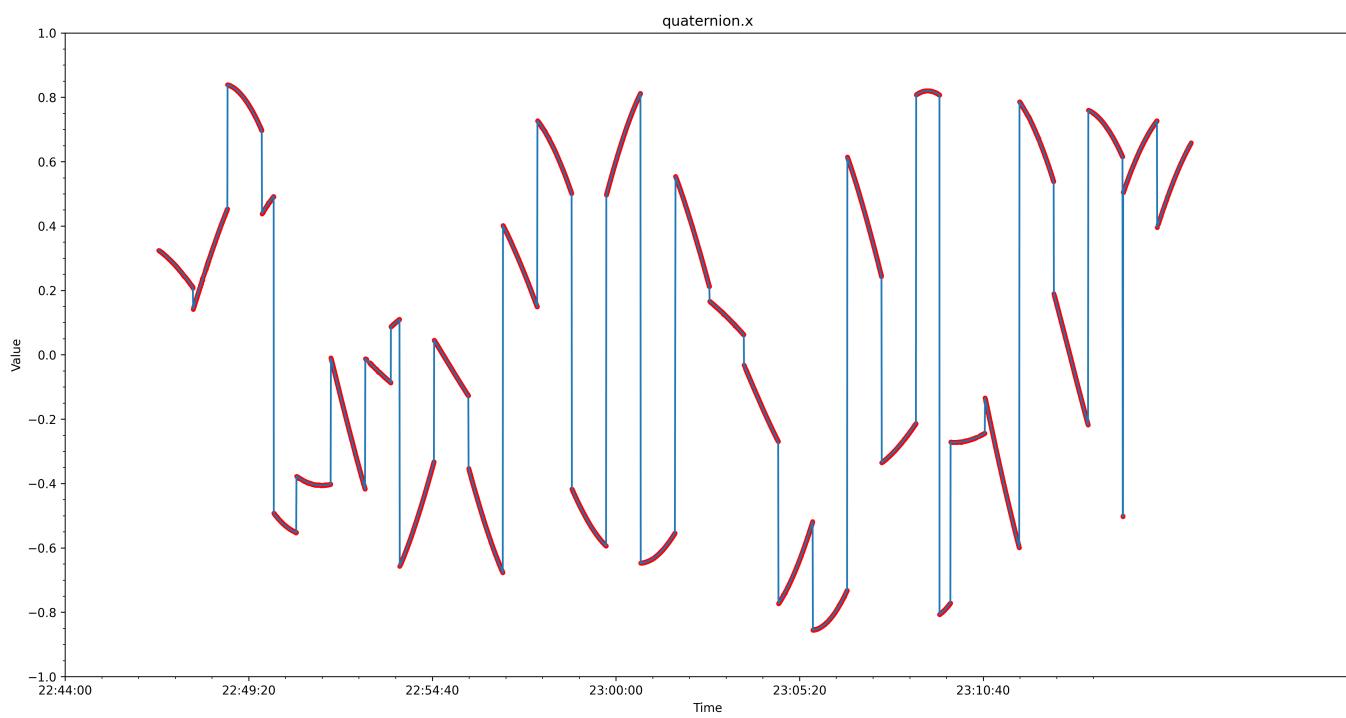


Рис. 16 Компонент кватерниона  $x$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

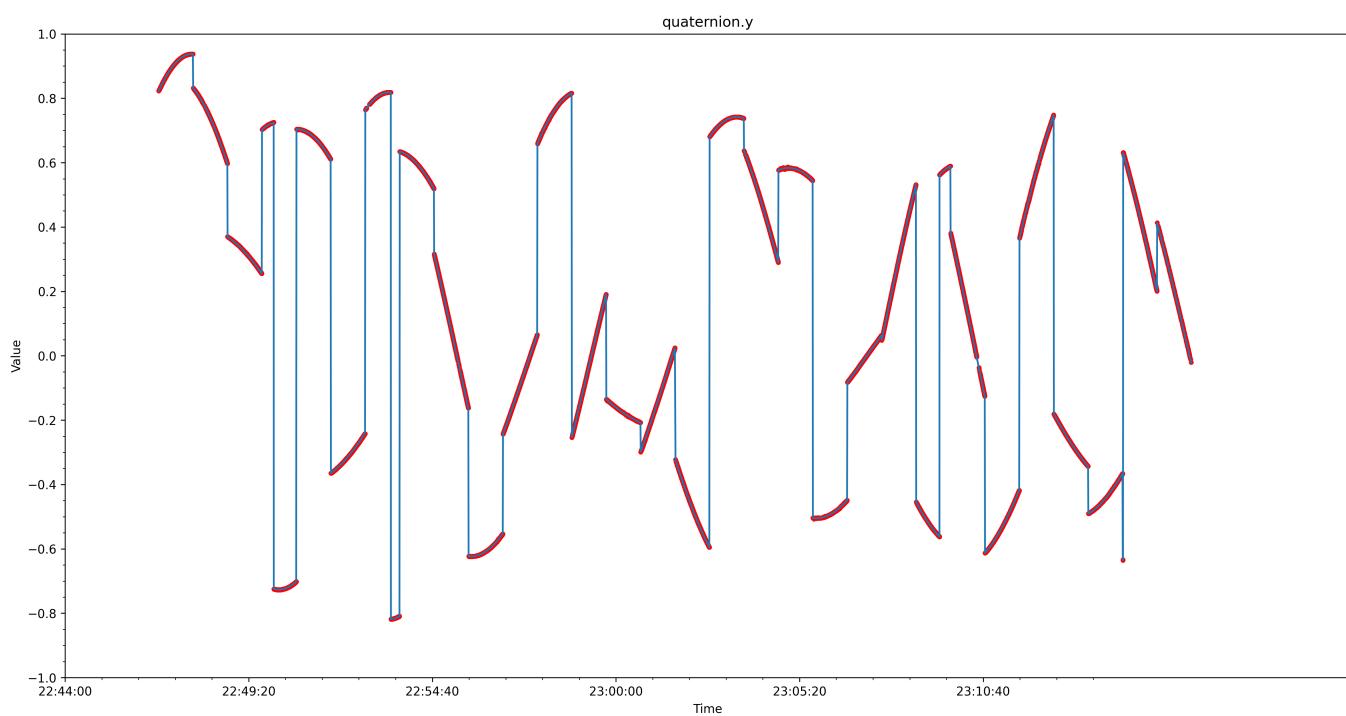


Рис. 17 Компонент кватерниона  $y$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

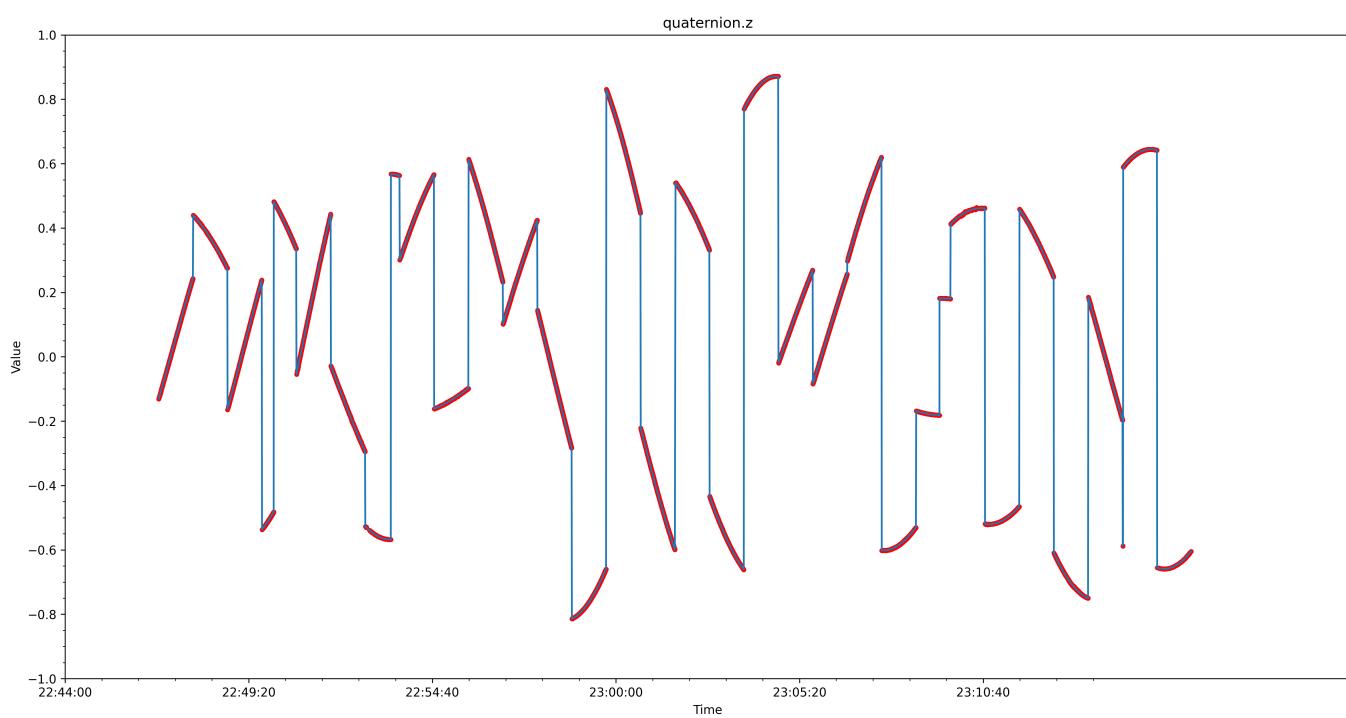


Рис. 18 Компонент кватерниона  $z$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

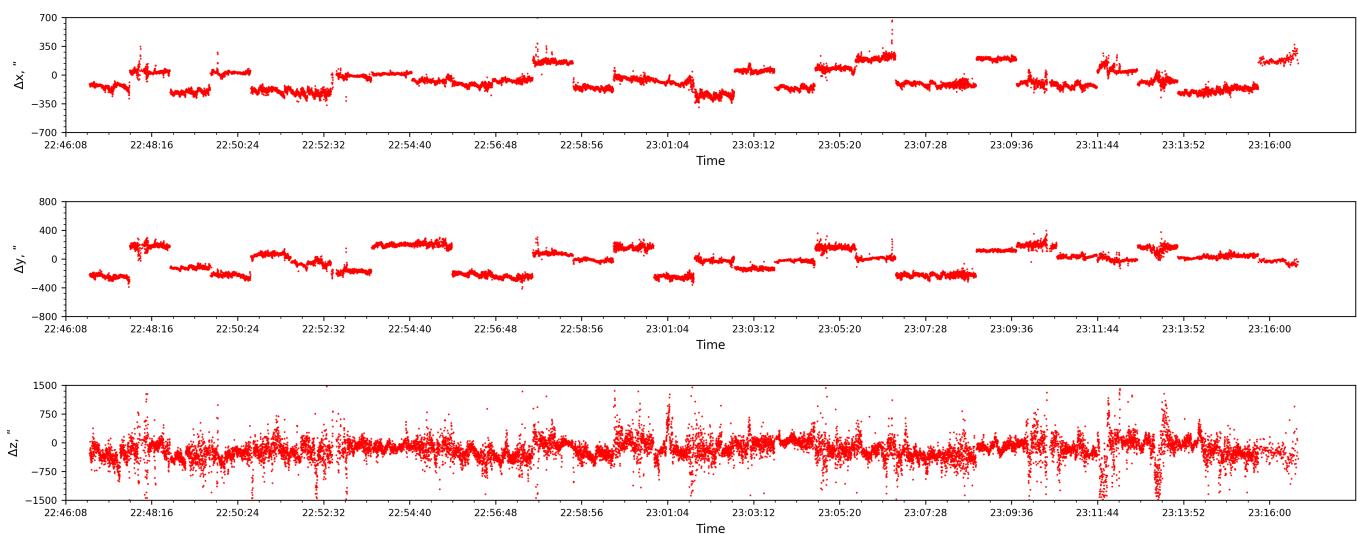


Рис. 19 Отклонения углов ориентации между измерениями в МЗД и установкой в ОДС в приборной системе координат.

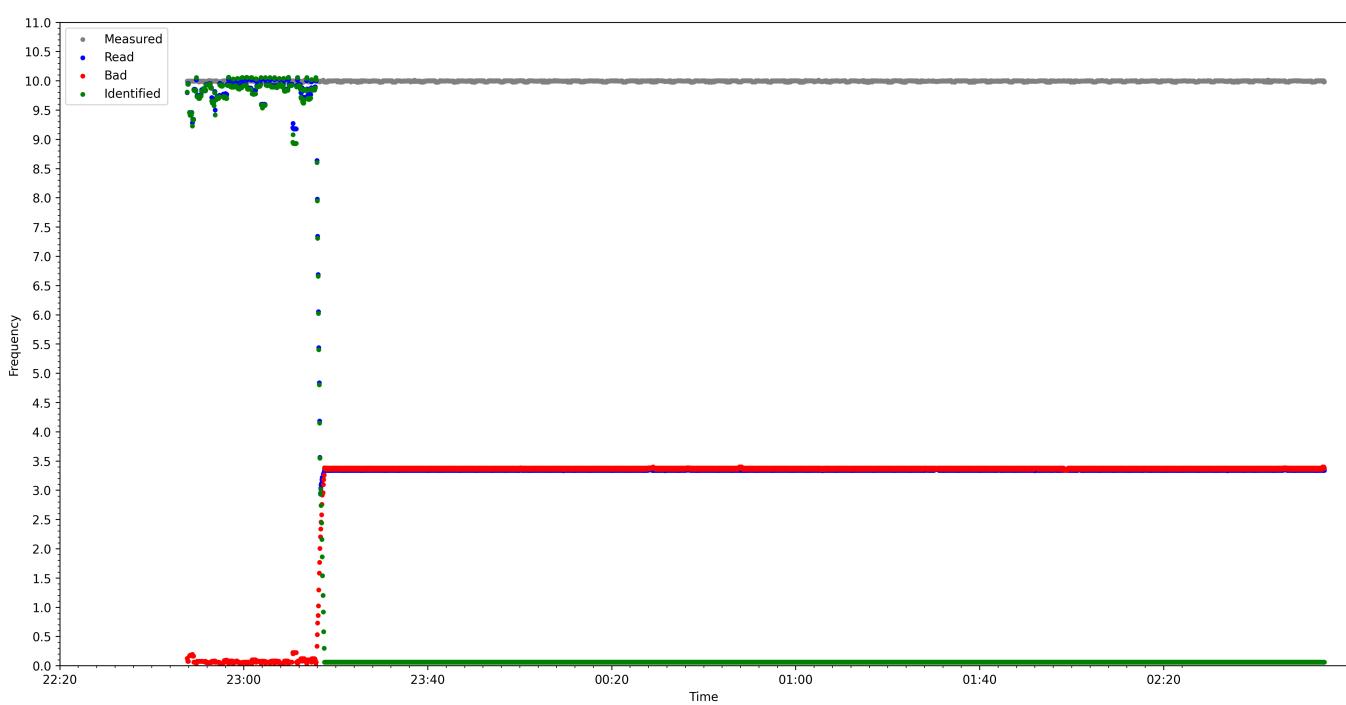


Рис. 20 Частота выдачи МЗД АЗДК-1 кадров по статистическим данным.  
Красными точками обозначены «плохие» кадры, синими – прочитанные кадры, зелеными – кадры с успешными отождествлениями

## Тест-4 (статистический)

Задачей теста-4 являлся набор статистики количества отождествленных кадров и количество срывов ведений МЗД АЗДК-1 на случайных участках неба при скорости вращения КА  $3^{\circ}/\text{сек}$ . Данные получены на основе 29 случайных звездных треков длительностью по 1 минуте .

Таблица 3 Статистические результаты функциональных испытаний МЗД

АЗДК-1 при скоростях вращения  $3^{\circ}/\text{сек}$ .

Статистика	Значения
1. Всего кадров измерено	18094
2. Кадров считано	17067
3. Плохих кадров зарегистрировано	398
4 Кол-во отождествлений	16459
4.1 кол-во нач. отождествлений	227
4.2 кол-во кадров с ведением	16232
4.3 кол-во срывов ведения	84
5. Кол-во загрузок из каталога	1543

В результате теста выполнены следующие измерения:

- Отклонения углов ориентации между измерениями в МЗД и установкой в ОДС в приборной системе координат – см. Рис. 21;
- Частота выдачи МЗД АЗДК-1 кадров по статистическим данным – см. Рис. 22.

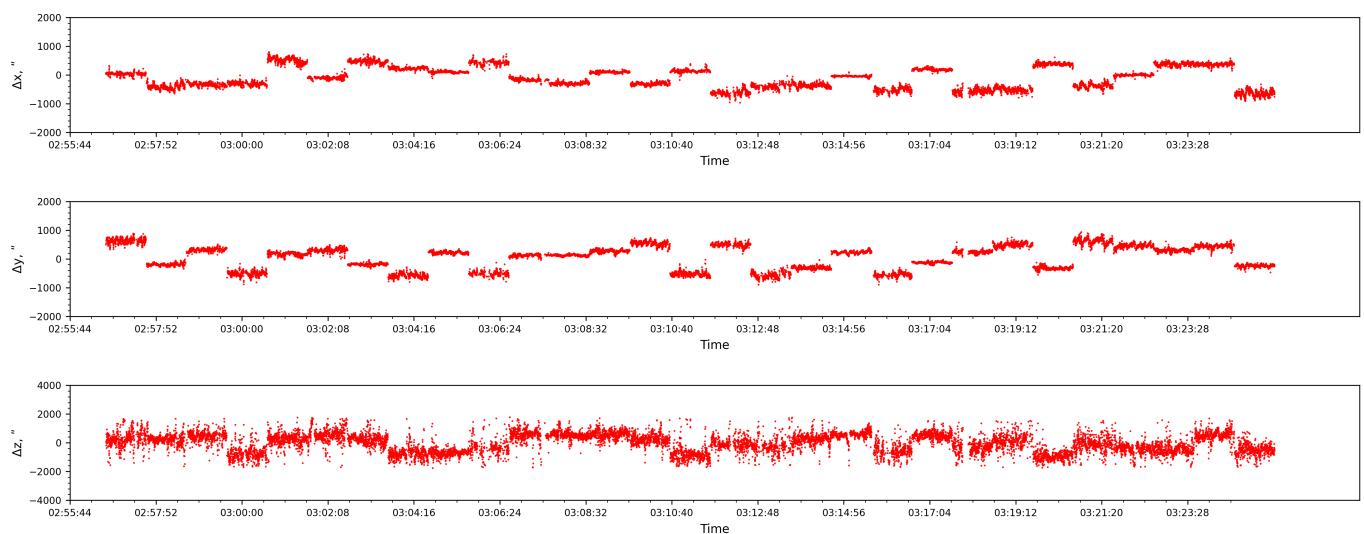


Рис. 21 Отклонения углов ориентации между измерениями в МЗД и установкой в ОДС в приборной системе координат.

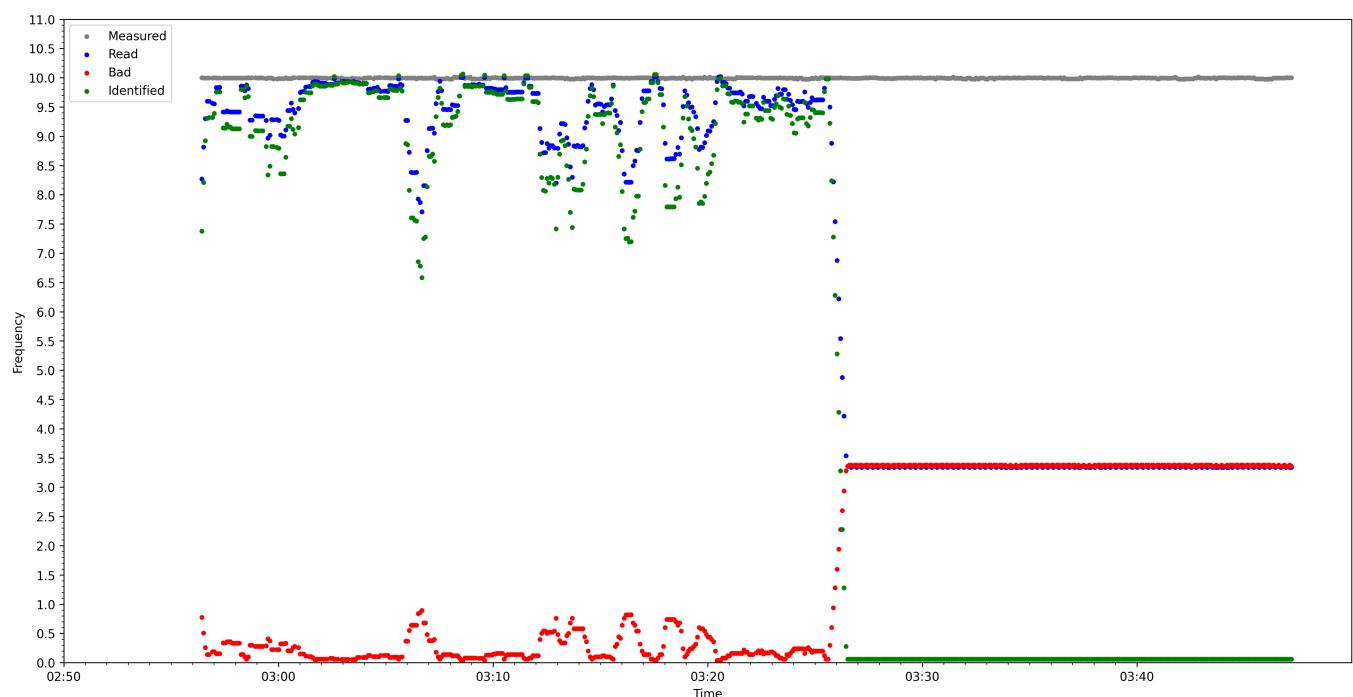


Рис. 22 Частота выдачи МЗД АЗДК-1 кадров по статистическим данным.  
Красными точками обозначены «плохие» кадры, синими – прочитанные кадры, зелеными – кадры с успешными отождествлениями

## Тест-5 (орбитальный)

Тест-5 служит для проверки работы прибора при имитации движения по орбите. Продолжительность теста составила 56 минут .

Таблица 4 Статистические результаты испытаний МЗД АЗДК-1.

Статистика	Значения
1. Всего кадров измерено	214035
2. Кадров считано	212649
3. Плохих кадров зарегистрировано	325
4 Кол-во отождествлений	212044
4.1 кол-во нач. отождествлений	260
4.2 кол-во кадров с ведением	211784
4.3 кол-во срывов ведения	129
5. Кол-во загрузок из каталога	773

В результате теста выполнены следующие измерения:

- Компонент кватерниона w, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 23;
- Компонент кватерниона x, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 24;
- Компонент кватерниона у, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 25;
- Компонент кватерниона z, измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия) – см. Рис. 26;
- Частота выдачи МЗД АЗДК-1 кадров по статистическим данным показана на Рис. 27;
- Разница углов ориентации между измерениями в МЗД и установкой в ОДС в приборной системе координат – Рис. 28;
- Гистограммы измерений ошибок ориентации  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , представленные в системе координат прибора – Рис. 29.

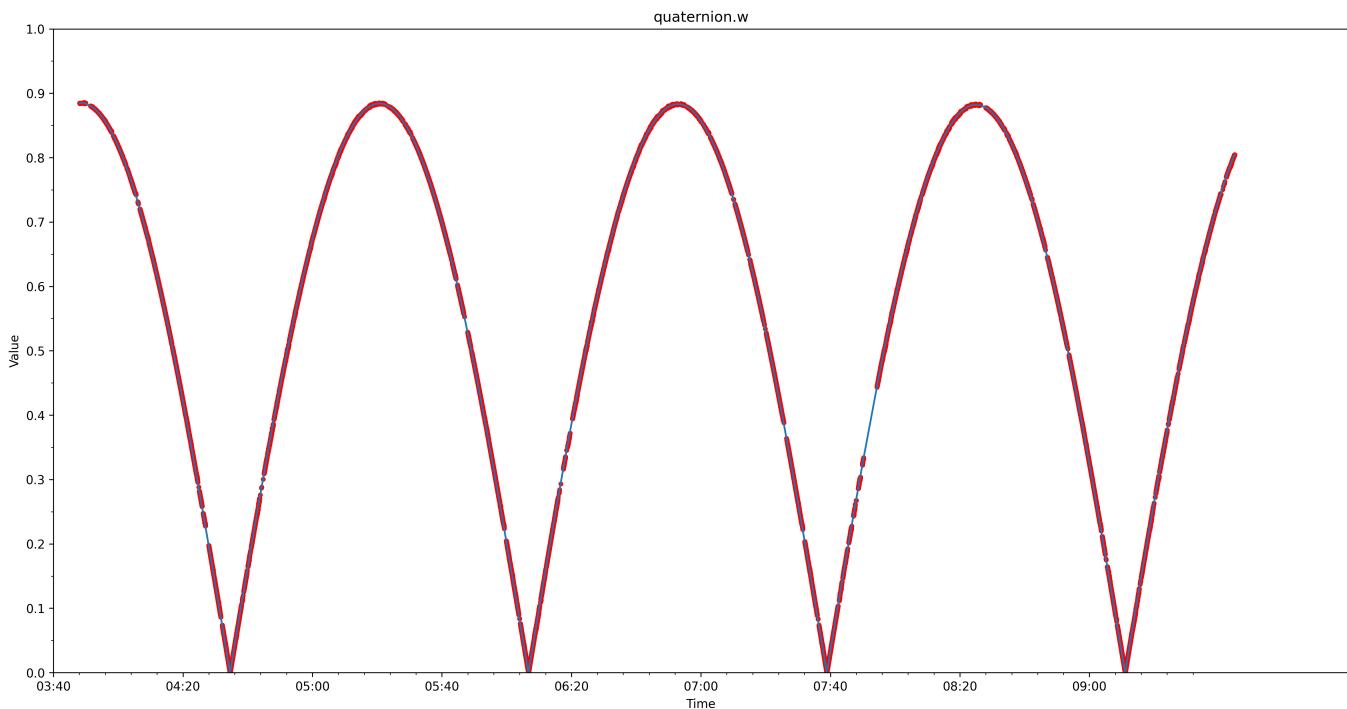


Рис. 23 Компонент кватерниона  $w$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

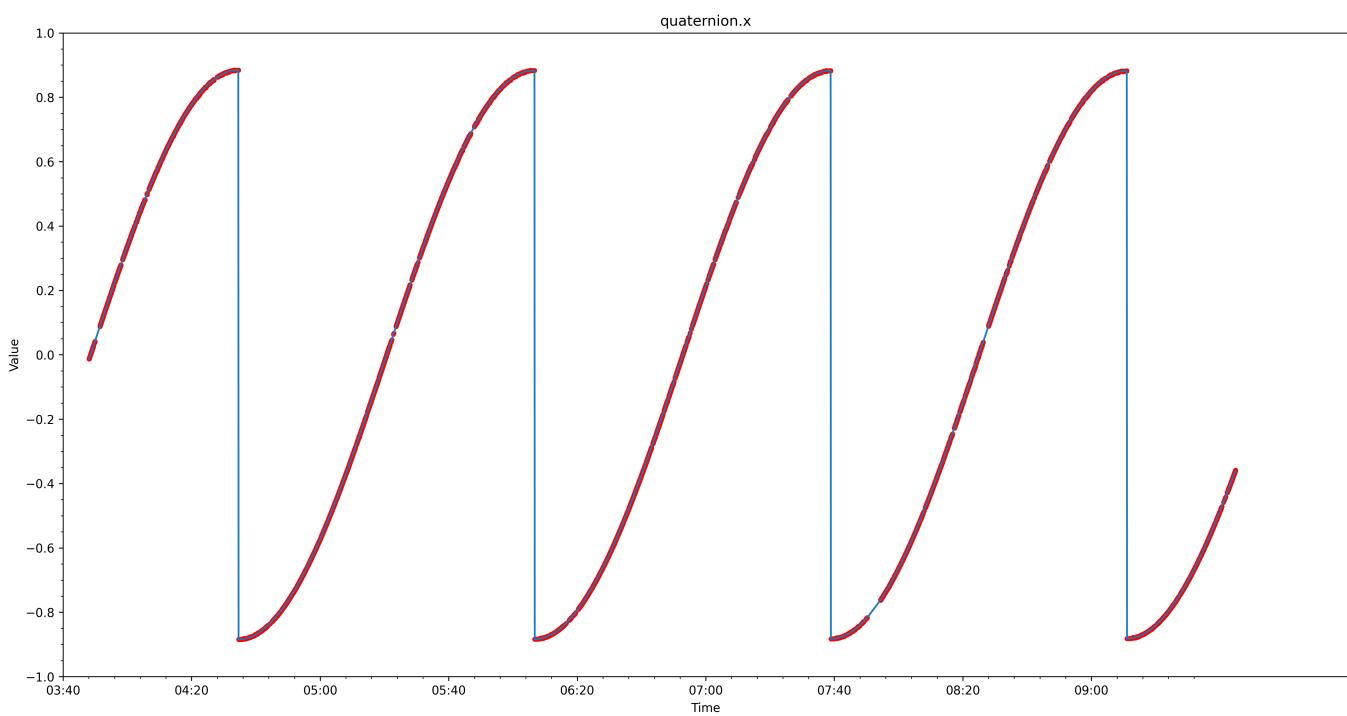


Рис. 24 Компонент кватерниона  $x$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

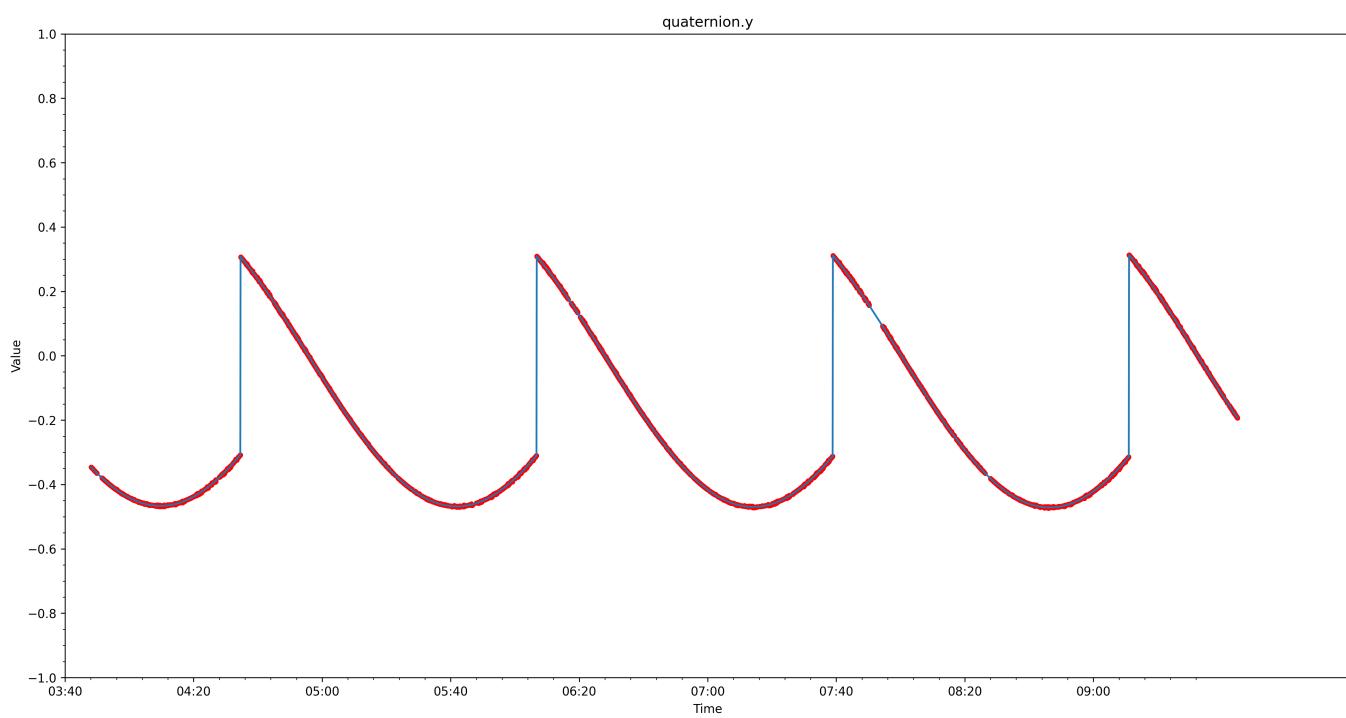


Рис. 25 Компонент кватерниона  $y$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

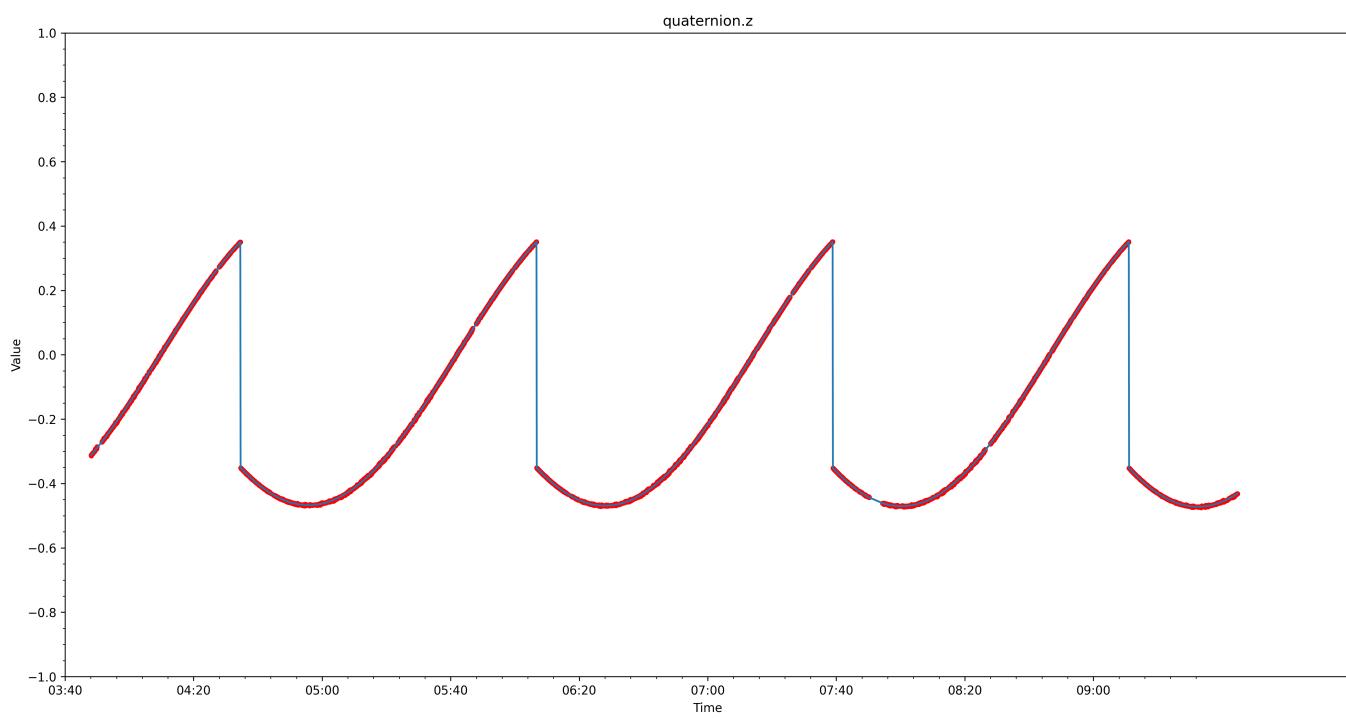


Рис. 26 Компонент кватерниона  $z$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).

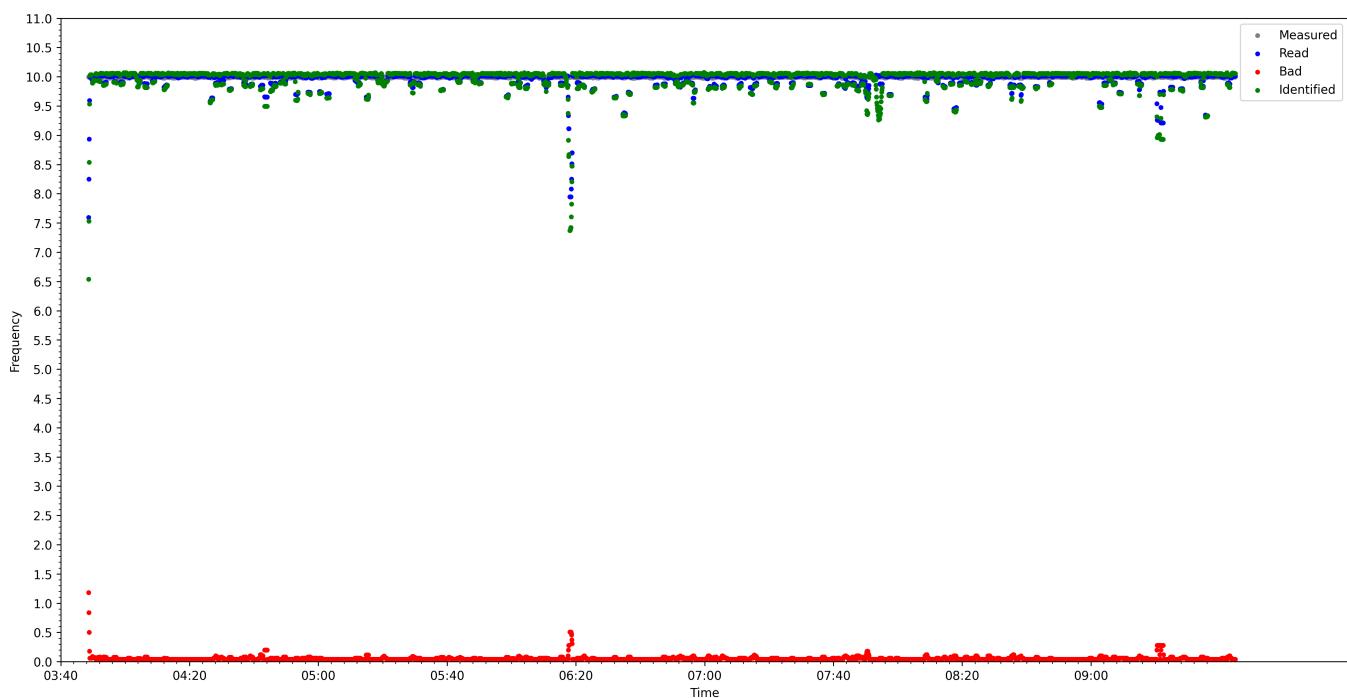


Рис. 27 Частота выдачи МЗД А3ДК-1 кадров по статистическим данным.

Красными точками обозначены «плохие» кадры, синими – прочитанные кадры, зелеными – кадры с успешными отождествлениями

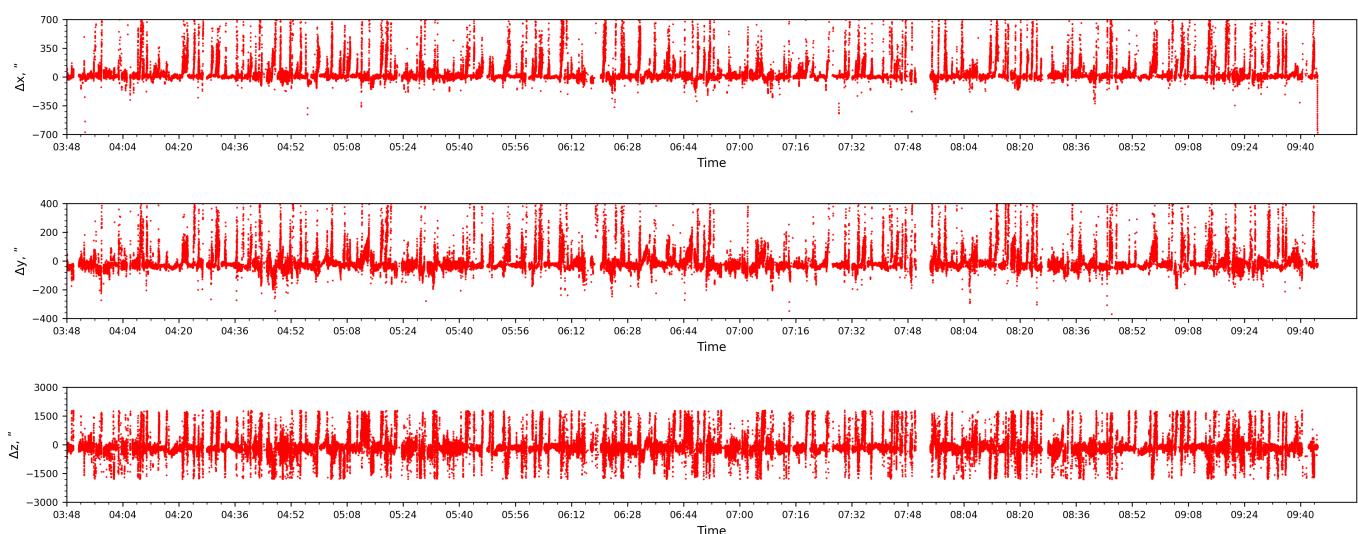


Рис. 28 Разница углов ориентации между измерениями в МЗД и установкой в ОДС в приборной системе координат.

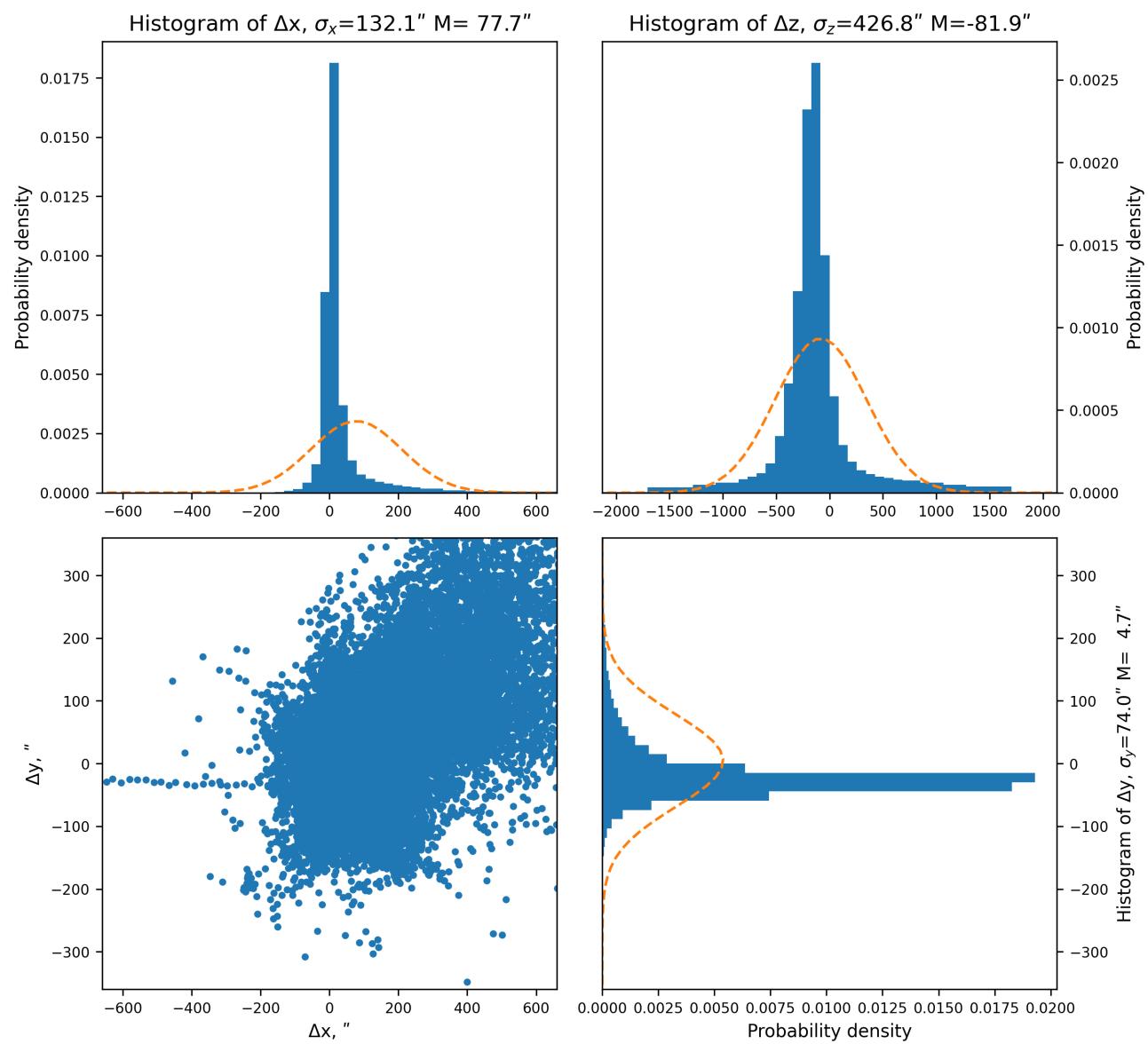


Рис. 29 Компонент кватерниона  $y$ , измеренного в МЗД (красные точки) и компонент кватерниона, установленного в ОДС (синяя линия).