

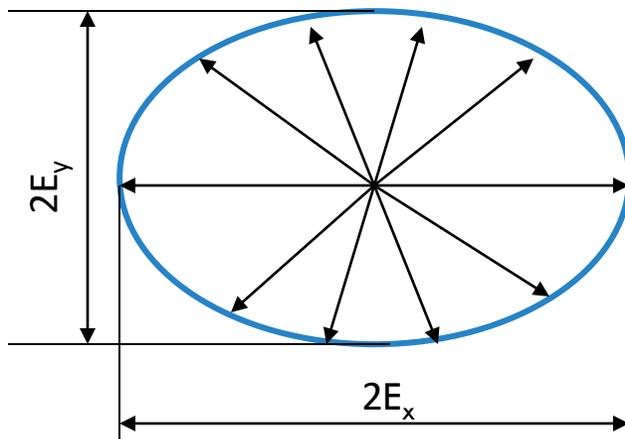


ЮСТИРОВКА И ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ ПОЛЯРИЗАЦИЙ В МИКРОВОЛНОВЫХ РАДИОМЕТРАХ

А.В.Кузьмин, В.В.Стерлядкин

ПОЛЯРИЗАЦИЯ РАДИОТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Параметры Стокса



$$S_0 = \overline{|E_x|^2} + \overline{|E_y|^2}; S_1 = \overline{|E_x|^2} - \overline{|E_y|^2}$$

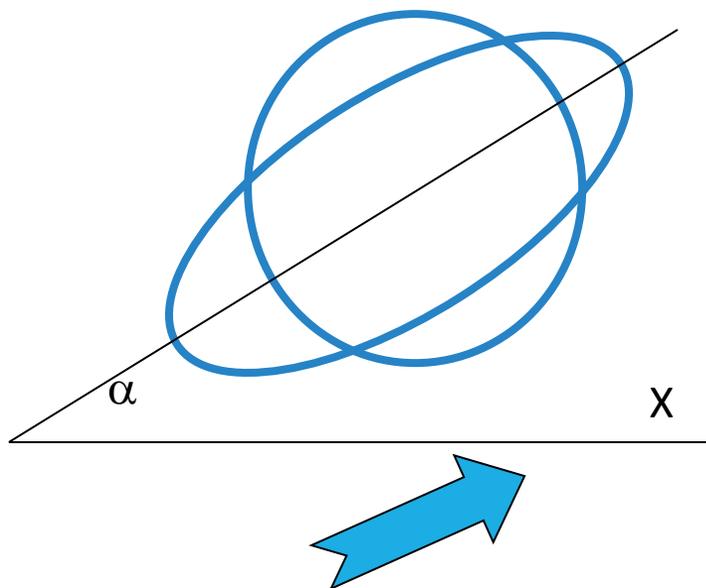
$$S_2 = \overline{E_x E_y^*} + \overline{E_x^* E_y}; S_3 = i(\overline{E_x E_y^*} - \overline{E_x^* E_y})$$

Параметры Стокса в терминах
радиоярких температур

$$S_0 = \frac{T_x + T_y}{T_0} A; S_1 = \frac{T_x - T_y}{T_0} A;$$

$$S_2 = \frac{T_{-45} - T_{45}}{2T_0} A; S_3 = -\frac{T_l - T_r}{2T_0} A$$

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА ПРИ ЗОНДИРОВАНИИ В НАДИР



Скорость

$$\Delta T_a = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2} = AV^2;$$

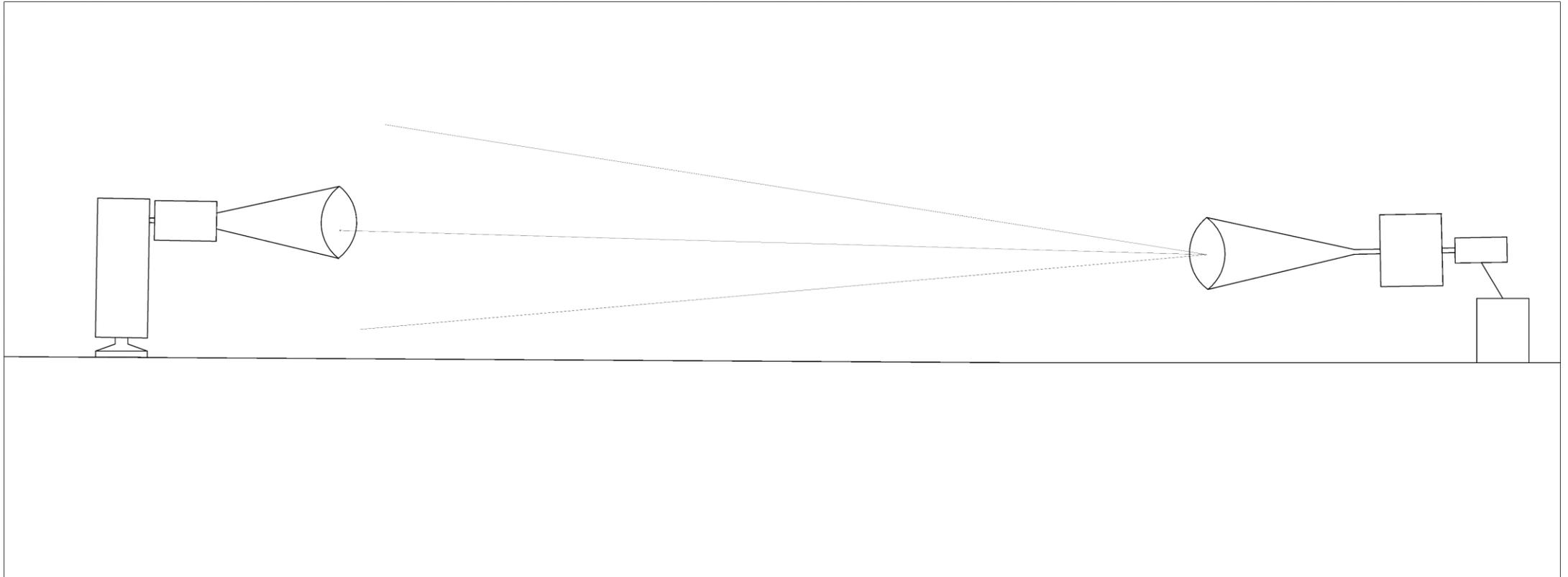
$$A = \begin{cases} 19,06 \cdot 10^{-3} \text{K} \cdot \text{c}^2/\text{M}^2 & \text{для } \lambda = 8 \text{ мм} \\ 16,38 \cdot 10^{-3} \text{K} \cdot \text{c}^2/\text{M}^2 & \text{для } \lambda = 15 \text{ мм} \\ 13,51 \cdot 10^{-3} \text{K} \cdot \text{c}^2/\text{M}^2 & \text{для } \lambda = 20 \text{ мм} \end{cases}$$

Направление

$$\begin{cases} T_x - T_y = \Delta T_a \cdot \cos 2\alpha; \\ T_{-45} - T_{45} = \Delta T_a \cdot \sin 2\alpha; \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{T_{-45} - T_{45}}{T_x - T_y} = \frac{1}{2} \arctan \frac{S_2}{S_1}$$

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА УСТАНОВКИ ПОЛЯРИЗАЦИЙ



Точность угла установки поляризации излучателя не лучше $1 \div 3$ градуса

СХЕМА ИЗМЕРЕНИЙ

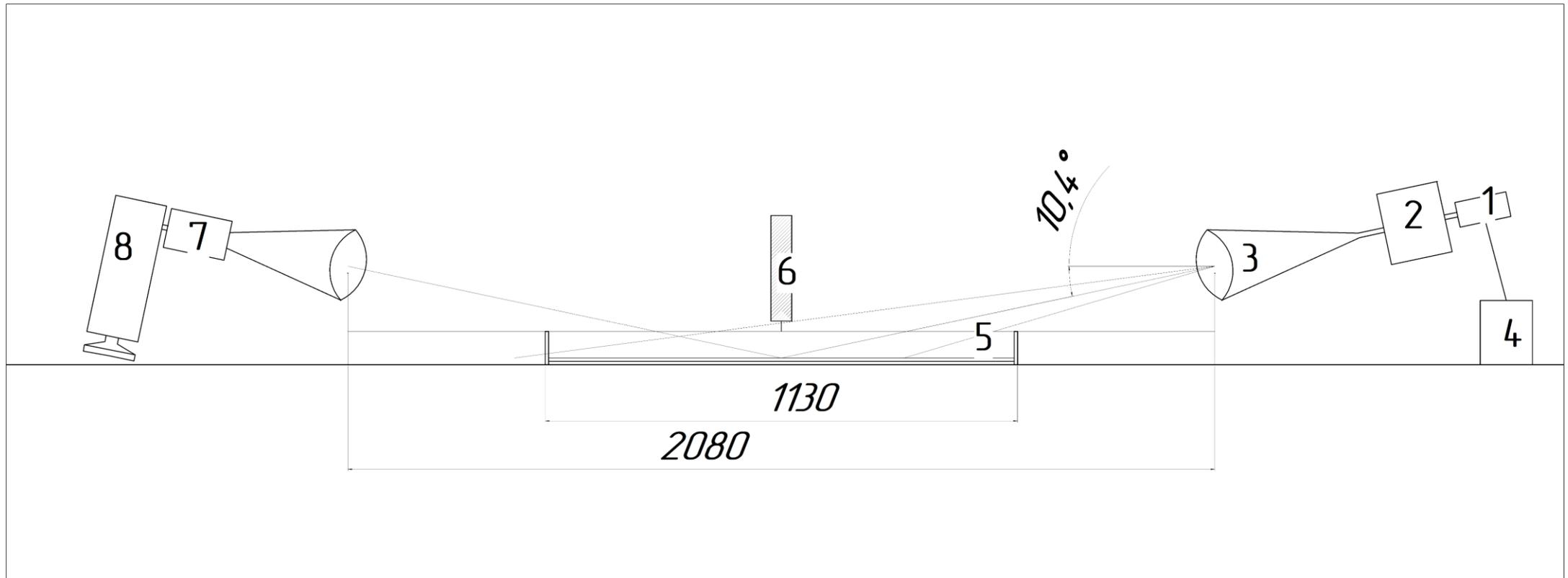
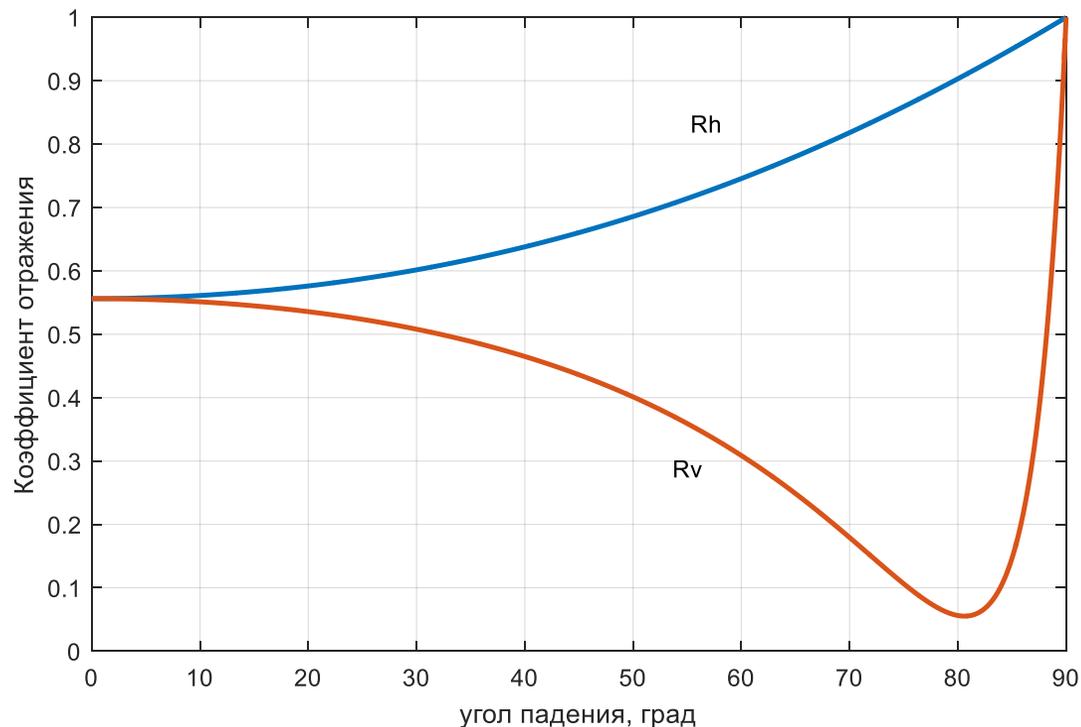


Рис.1. Схема (верхний рисунок) и фотография (нижнее изображение) эксперимента. Цифрами обозначено: 1 – газоразрядный генератор шума Я5Х-272; 2- прецизионный аттенюатор ДЗ-36; 3 – скалярная рупорная антенна; 4 - блок питания генератора шума; 5 – ванна с водой; 6 – поглотители микроволнового диапазона; 7 – радиометр с антенной; 8 – поворотное устройство Траверс-2; 9 – лазерная указка, установленная для юстировки измерительной системы.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТРАЖЕНИЯ НА ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЯХ



$$R_h = \left| \frac{\sqrt{\varepsilon - \sin^2(\theta)} - \cos(\theta)}{\sqrt{\varepsilon - \sin^2(\theta)} + \cos(\theta)} \right|^2$$

$$R_v = \left| \frac{\varepsilon \cdot \cos(\theta) - \sqrt{\varepsilon - \sin^2(\theta)}}{\varepsilon \cdot \cos(\theta) + \sqrt{\varepsilon - \sin^2(\theta)}} \right|^2$$

$\varepsilon = 21,7 + i \cdot 29,96$ Для пресной воды

Вблизи от угла Брюстера ($\theta = 80,5^\circ$) коэффициенты

$$R_h = 0,91 \quad R_v = 0,056$$

ФОТОГРАФИЯ УСТАНОВКИ



ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ФИЛЬТР

Несмотря на широкие диаграммы направленности излучателя и приемника ($\Delta\theta = 9^\circ$), интегрирование сигнала на приемнике осуществлялось в интервале углов $\pm 2^\circ$, который определялся отношением диаметра приемной апертуры $D = 140$ мм к расстоянию между излучателем и приемником $L = 2080$ мм. В нашем эксперименте угол падения составлял $\theta = 79,6^\circ \pm 2^\circ$, что по сравнению с углом Брюстера немного увеличило коэффициент отражения для вертикальной поляризации и уменьшило коэффициент отражения на горизонтальной поляризации:

$$R_h = 0,9 \quad R_v = 0,058$$

Это означает, что в отраженном от водной поверхности излучении вклад вертикальной поляризации уменьшается по сравнению с горизонтальной на -12 дБ. Учтем, что в падающее на поверхность излучение уже имеет горизонтальную поляризацию с точностью установки $\pm 3^\circ$. Это дает подавление вертикальной составляющей в падающем на поверхность излучении на -22 дБ мощности. Результирующее подавление вертикальной составляющей излучения по отношению к ее горизонтальной части составит более 30 дБ.

- поверхность воды служит своеобразным поляризационным фильтром
- отраженное от воды излучение четко привязано к горизонту, поскольку поверхность воды горизонтальна с высокой точностью.

ИЗМЕРЕНИЯ

□ Положение плоскости поляризации радиометра измерялось по изменению сигнала при вращении радиометра вокруг продольной оси рупорной антенны с помощью поворотной платформы, на которой был закреплен радиометр. Полный угол поворота радиометра составлял 220° и регистрировался с помощью внутреннего углового датчика радиометра с точностью $0,1$ градуса. При измерениях скорость вращения составляла $1,8$ $^\circ/\text{с}$.

□ Измеренные данные аппроксимировались законом Малюса, функцией вида

$$A \cdot \text{Cos}^2(\varphi + B) + C$$

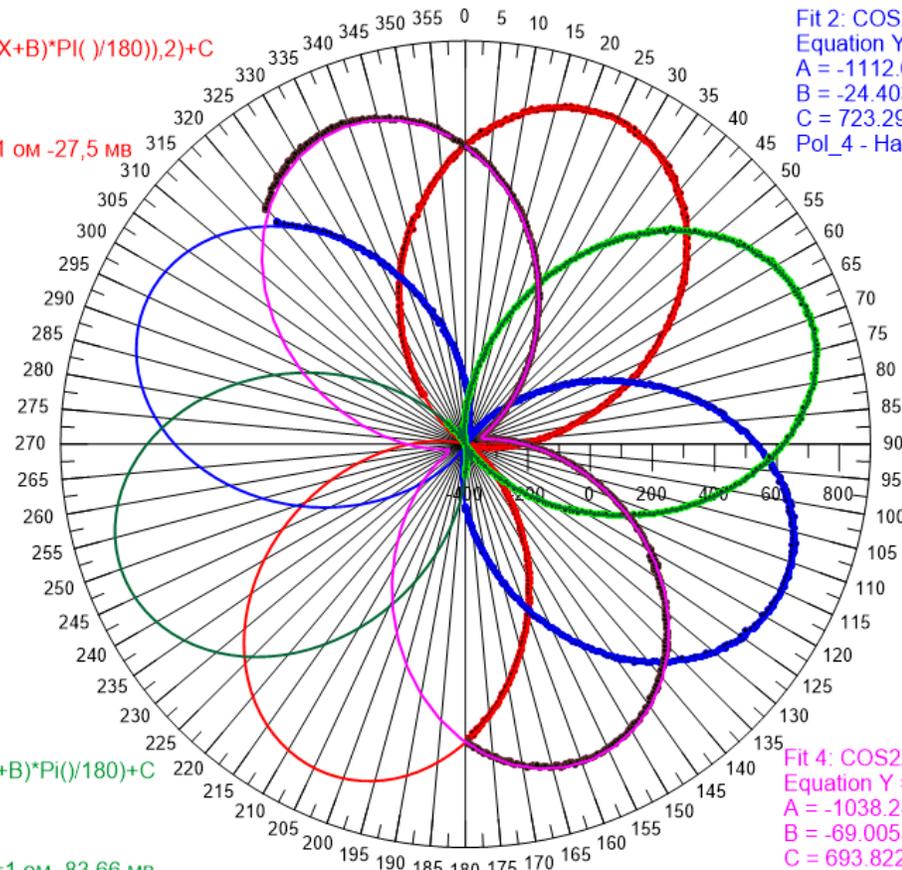
в которой коэффициент B определял угол установки плоскости поляризации у данного канала радиометра. Измерение повторялось несколько раз, определялся средний коэффициент B , на каждом канале. Затем проводилась подстройка токов, проходящих через ячейку Фарадея в каждом канале так, чтобы углы B между собой отличались на -45° , $+45^\circ$ и 90° .

ПОЛЯРНЫЕ КООРДИНАТЫ

R08P1, Измерения 16.02.2023 15:30 с переотражением от воды,
без поляризатора, угол наклона излучателя и приемника 10,4+/-0.2 град.

Fit 1: COS2X_VP
Equation $Y = A * \text{POW}(\cos((X+B) * \text{PI}() / 180), 2) + C$
A = -1163.243233
B = -113.8583658
C = 751.5117035
Pol_1 - Напряжение на R=1 ом -27,5 мВ
Pol_1 - Pol_4 = 89.45 град.

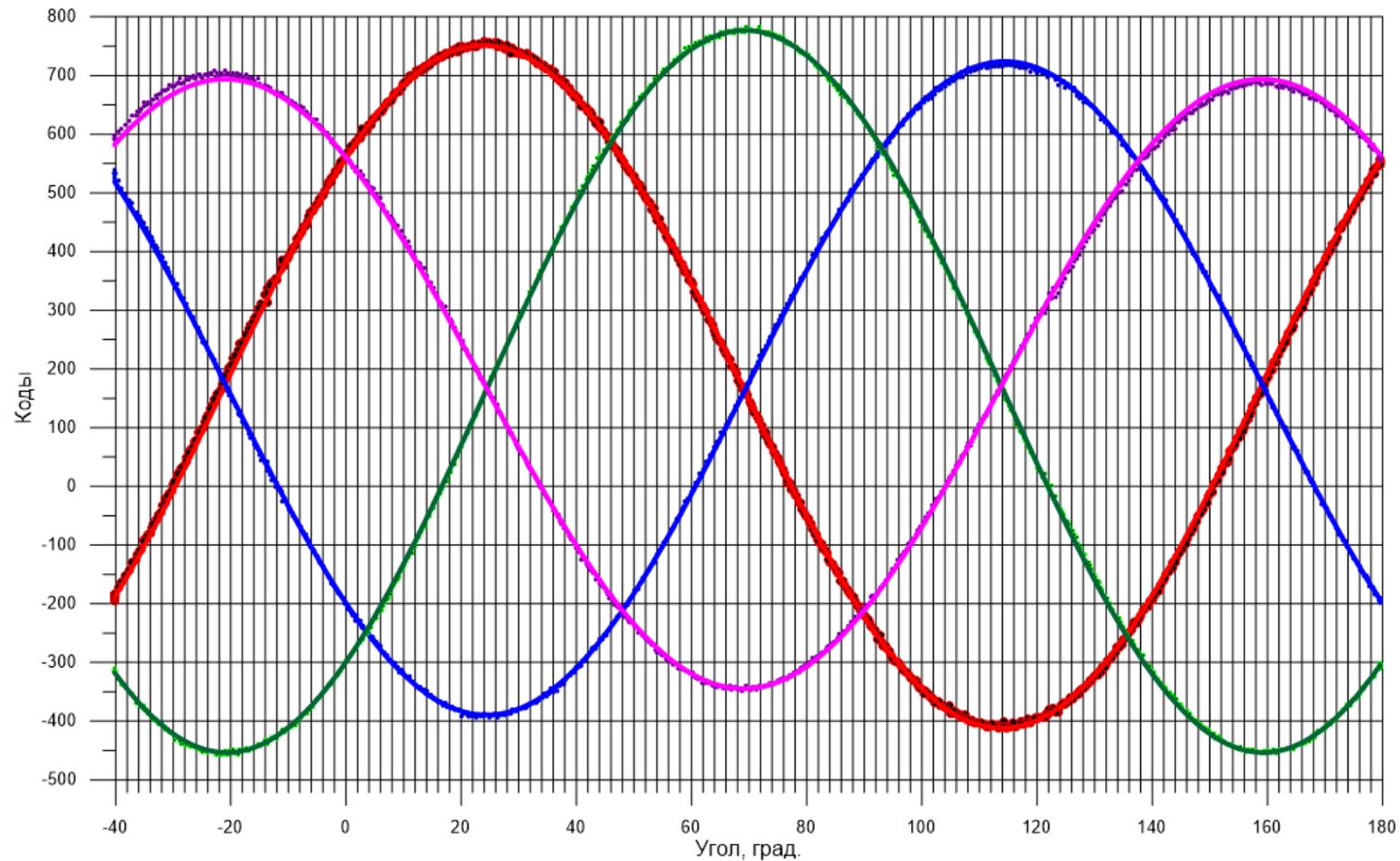
Fit 2: COS2X_HP
Equation $Y = A * \text{COS}(2 * (X+B) * \text{PI}() / 180) + C$
A = -1112.6183
B = -24.40364513
C = 723.29009874
Pol_4 - Напряжение на R=1 ом +78,90 мВ



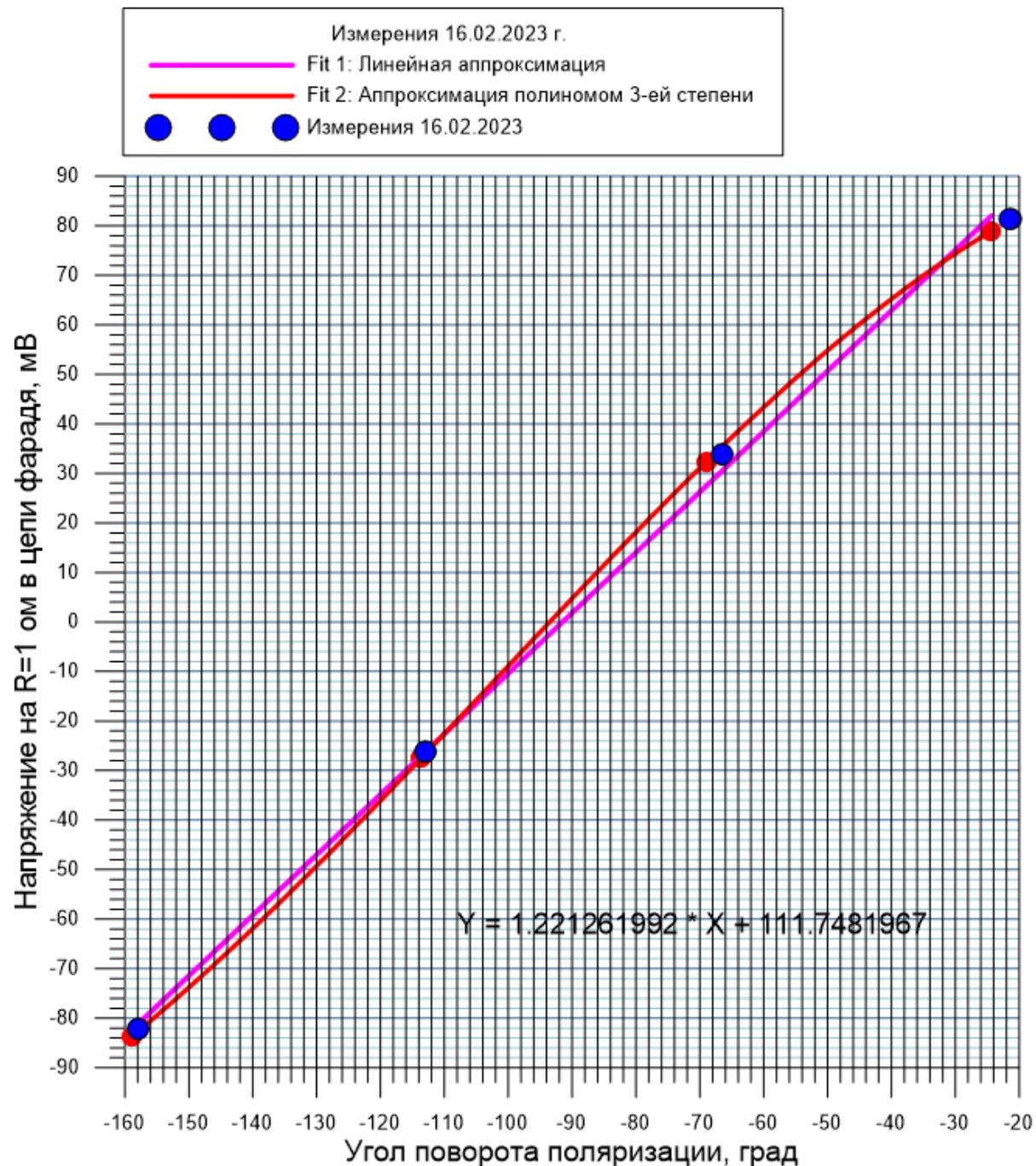
Fit 3: COS2X_D1_P
Equation $Y = A * \text{COS}(2 * (X+B) * \text{PI}() / 180) + C$
A = -1230.370112
B = -159.2378124
C = 776.8968158
Pol_2 - Напряжение на R=1 ом -83,66 мВ
Pol_3 - Pol_2 = 90,23 град.

Fit 4: COS2X_D2_P
Equation $Y = A * \text{COS}(2 * (X+B) * \text{PI}() / 180) + C$
A = -1038.284886
B = -69.00530567
C = 693.8221465
Pol_3 - Напряжение на R=1 ом +32,346 мВ
Pol_4 - Pol_3 = 44.60 град.
Pol_1 - Pol_3 = 44.85 град.

ДЕКАРТОВЫ КООРДИНАТЫ



ЗАВИСИМОСТЬ УГЛА ПОВОРОТА ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИИ 1 ОМ В ЦЕПИ ПИТАНИЯ ФВПП



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В предлагаемой схеме измерений используется сигнал излучения горизонтальной поляризации, отраженный от водной поверхности при угле Брюстера, что обеспечивает дополнительное подавление вертикальной составляющей излучения на -12 дБ;
- После отражения от воды формируется сигнал строго горизонтальной поляризации отраженной волны, поскольку поверхность воды в кювете горизонтальна с высокой точностью;
- В традиционных методах точность установки углов поляризации составляет 1-3 градуса;
- Точность установки плоскости поляризации в предложенном методе составляет $\pm 0,3^\circ$ градуса;
- Измерение углов установки плоскости поляризации, которые управляются токами через ячейку Фарадея, проводится посредством вращения радиометра вокруг продольной оси приемной антенны и аппроксимации данных законом Малюса.