

Файл с локализацией звезд:

Z:\МБ...\LocTable ОГ-32P № 713.txt

Файл с углами поворотов:

Z:...\19.12.25_12-37-59_Measures.txt

Файл с Дисторсией:

Z:\МБОКЗ-2Р\МБ...\dist_cft_3pow.txt

Файл со значениями линейки:

Z:...\19.03.25_15-04-25_Measures.txt

Файл со значениями зеркала:

Z:...\19.01.10_16-05-16_Measures.txt

Фокус прибора:

focus := 32mm

Главная точка:

X0 := 0 Y0 := 0

Размер матрицы:

matrix_size:= 2048

Размер пикселя:

pixel_size:= 0.0055mm

Направление ОХ прибора (ОZ всегда в теодолит):

- ☐ ОХ прибора вниз
- ☒ ОХ прибора вверх (ОГ-32Р)
- ☐ ОХ прибора влево (БОКЗ-МР)
- ☐ ОХ прибора вправо (БОКЗ-М, -М60, -М60/1000)

Включить учет дисторсии:

☐ Учёт дисторсии

☑ Данные для кубика

Горизонтальный угол с Т1 на ТЗв:

$$\gamma := \text{DMS}(\text{COMBO}_{7,5}) = 19.987131 \cdot \text{deg}$$

Измерение граней:

$$T1_k1 := \begin{pmatrix} 0 \\ \text{DMS}(\text{COMBO}_{3,6}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 89.840491 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

$$T2_k2 := \begin{pmatrix} 0 \\ \text{DMS}(\text{COMBO}_{4,6}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 89.77988 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

Измерения труба в трубу:

$$T1_T2 := \begin{pmatrix} \text{DMS}(\text{COMBO}_{5,5}) \\ \text{DMS}(\text{COMBO}_{5,6}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 347.938518 \\ 90.22141 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

$$T2_T1 := \begin{pmatrix} \text{DMS}(\text{COMBO}_{6,5}) \\ \text{DMS}(\text{COMBO}_{6,6}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 77.937942 \\ 89.778657 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

☐ Данные для кубика

☑ Определение матрицы поворота

$$Mper_1 := \begin{cases} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} & \text{if } Xpr = 1 \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} & \text{if } Xpr = 2 \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} & \text{if } Xpr = 3 \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} & \text{if } Xpr = 4 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Mper_3 := \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$Mper := \text{augment}(Mper_1, Mper_3)$$

$$Mper = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{check_matrix}(Mper) = \text{"OK"}$$

☐ Определение матрицы поворота

☑ Формулы (ВСК-ТБ)

Подготовка:

$$\text{points} := \text{rows}(\text{file}) = 19$$

$$i := 1 \dots \text{points}$$

Перевод пикселей в миллиметры:

$$\text{px2mm}(\text{px}) := \left(\text{px} - \frac{\text{matrix_size}}{2} \right) \cdot \text{pixel_size}$$

Координаты X и Y измеренные на матрице прибора:

$$x(i) := \text{px2mm}(\text{file}_1, 2)$$

$$y(i) := \text{px2mm}(\text{file}_1, 3)$$

Учёт дисторсии:

$$\tilde{x}(i) := \begin{cases} x(i) - dx(x(i), y(i)) & \text{if } \text{distr_acc} = 1 \\ x(i) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\tilde{y}(i) := \begin{cases} y(i) - dy(x(i), y(i)) & \text{if } \text{distr_acc} = 1 \\ y(i) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Матрица перехода от ВСК к СК ТЗ:

$$\text{El}(ax, ay, az) := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(ax) & -\sin(ax) \\ 0 & \sin(ax) & \cos(ax) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(ay) & 0 & \sin(ay) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(ay) & 0 & \cos(ay) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(az) & -\sin(az) & 0 \\ \sin(az) & \cos(az) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \text{Мпер}$$

Координаты от теодолита:

$$\text{RA}(i) := -\left[(\text{file}_1, 4) \cdot \text{deg} + \gamma - 180^\circ \right] \quad [\text{RA}, \text{Дес истинные (рад.)}]$$

$$\text{Dec}(i) := (90 - \text{file}_1, 5) \cdot \text{deg}$$

$$\text{LMN}(i) := \begin{pmatrix} \cos(\text{RA}(i)) \cdot \cos(\text{Dec}(i)) \\ \sin(\text{RA}(i)) \cdot \cos(\text{Dec}(i)) \\ \sin(\text{Dec}(i)) \end{pmatrix}$$

$$\text{LMN}_{\text{вск_сктз}}(i, ax, ay, az) := \text{El}(ax, ay, az)^T \cdot \text{LMN}(i)$$

$$X(i, ax, ay, az, f) := -\frac{\text{LMN}_{\text{вск_сктз}}(i, ax, ay, az)_1}{\text{LMN}_{\text{вск_сктз}}(i, ax, ay, az)_3} \cdot f$$

$$Y(i, ax, ay, az, f) := -\frac{\text{LMN}_{\text{вск_сктз}}(i, ax, ay, az)_2}{\text{LMN}_{\text{вск_сктз}}(i, ax, ay, az)_3} \cdot f$$

☐ Формулы (ВСК-ТБ)

☒ Уравнение (ВСК-ТБ)

Первые приближения:

$$ax := 1^\circ \quad f := \text{focus}$$

$$ay := 1^\circ$$

Всего звёзд:

$$\text{points} = 19$$

Настройки решателя:

$$\tilde{\text{TOL}} := 10^{-15}$$

az := 1°

CTOL := 10⁻¹⁵

Уравнивание:

$$\text{resid}(i, ax, ay, az, f) := \left[\sqrt{(X(i, ax, ay, az, f) - x(i))^2 + (Y(i, ax, ay, az, f) - y(i))^2} \right]$$

Resid(i, ax, ay, az, f) := $\left\{ \begin{array}{l} \text{for } i \in 1 \dots \text{rows}(\text{file}) \\ R_i \leftarrow \text{resid}(i, ax, ay, az, f) \\ \text{return } R \end{array} \right.$

Given

0 = Resid(i, ax, ay, az, f)

Уравнивание фокуса:

f = 0.032 m

$\begin{pmatrix} ax \\ ay \\ az \\ f \end{pmatrix} := \text{Minerr}(ax, ay, az, f)$

f = 0.031998 m

Мвск_тб := El(ax, ay, az)

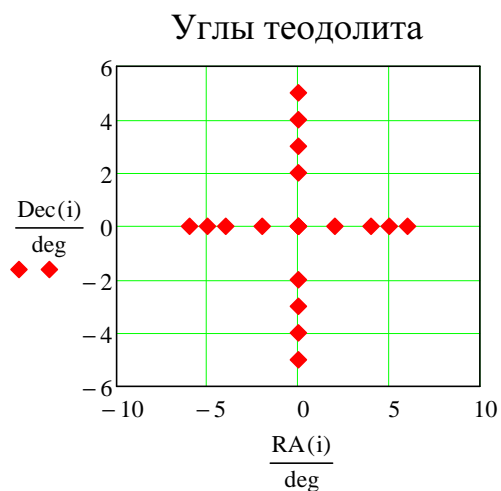
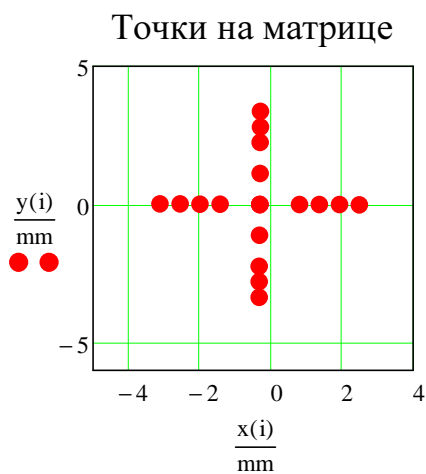
☒ Уравнивание (ВСК-ТБ)

☒ Результат (ВСК-ТБ)

Количество точек:

points = 19

Расположение точек:



ax = -0.320354·deg

ay = -0.559158·deg

az = 0.00495·deg

$$ax = \begin{pmatrix} 0 \\ -19 \\ -13.273501 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad ay = \begin{pmatrix} 0 \\ -33 \\ -32.968891 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad az = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 17.821395 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

$$f = 31.997535 \cdot \text{mm}$$

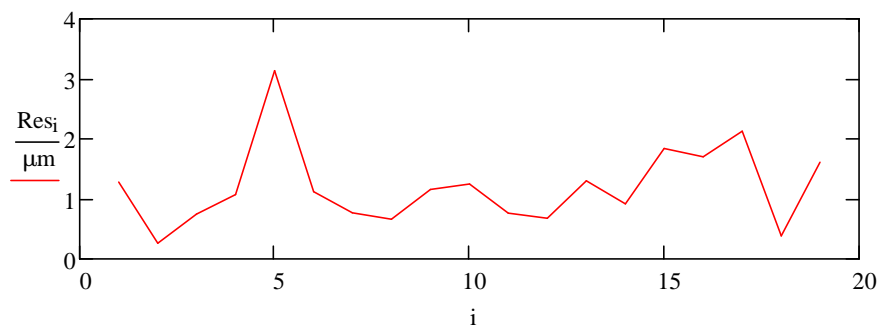
$$\text{check_error(ERR)} = \text{"OK"}$$

Матрица от ВСК к ТБ:

$$\text{El}(ax, ay, az) = \begin{pmatrix} -0.009758994 & -0.000086396 & -0.999952376 \\ 0.005590932 & 0.999984361 & -0.000140964 \\ 0.99993675 & -0.005592042 & -0.009758358 \end{pmatrix} \quad \text{check_matrix}(\text{El}(ax, ay, az)) = \text{"OK"}$$

Невязки решения:

$$\begin{aligned} \text{residX}(i, ax, ay, az, f) &:= (X(i, ax, ay, az, f) - x(i)) \\ \text{Res}_i &:= \text{resid}(i, ax, ay, az, f) \\ \text{residY}(i, ax, ay, az, f) &:= (Y(i, ax, ay, az, f) - y(i)) \end{aligned}$$



$$\text{mean}(\text{Res}) = 0.001198 \cdot \text{mm}$$

$$\text{stdev}(\text{Res}) = 0.65921 \cdot \mu\text{m}$$

$$\text{max}(\text{Res}) = 3.134421 \cdot \mu\text{m}$$

▣ Результат (ВСК-ТБ)

▣ Формулы (ВСК-КУБ)

$$T1_k2 := \begin{pmatrix} T1_T21 - T2_T11 - 180^\circ \\ T2_k22 \end{pmatrix}$$

$$T1_Xk_lmn := \text{norm_vector}(\text{lmn}(T1_k11, T1_k12))$$

$$T1_Yk_lmn := \text{norm_vector}(\text{lmn}(T1_k21, T1_k22) \times T1_Xk_lmn)$$

$$T1_Zk_lmn := \text{norm_vector}(T1_Xk_lmn \times T1_Yk_lmn)$$

$$T1_k2 = \begin{pmatrix} 90.000577 \\ 89.779878 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

$$\text{check_vector}(T1_Xk_lmn) = \text{"OK"}$$

$$\text{check_vector}(T1_Yk_lmn) = \text{"OK"}$$

$$\text{check_vector}(T1_Zk_lmn) = \text{"OK"}$$

Ориентация куба в СК Т1:

$$M_{\text{куб_тб}} := \begin{pmatrix} T1_Xk_lmn1 & T1_Yk_lmn1 & T1_Zk_lmn1 \\ T1_Xk_lmn2 & T1_Yk_lmn2 & T1_Zk_lmn2 \\ T1_Xk_lmn3 & T1_Yk_lmn3 & T1_Zk_lmn3 \end{pmatrix} \quad \text{lmn}(T1_k21, T1_k22) = \begin{pmatrix} -0.00001 \\ -0.999993 \\ 0.003842 \end{pmatrix}$$

$$M_{\text{ВСК_куб}} := M_{\text{куб_тб}}^T \cdot M_{\text{ВСК_тб}}$$

$$M_{\text{куб_тб}} = \begin{pmatrix} 0.9999961248 & -0.0027839303 & -0.0000106955 \\ 0 & 0.0038418589 & -0.99999262 \\ 0.0027839508 & 0.9999887449 & 0.003841844 \end{pmatrix}$$

$$M_{\text{ВСК_куб}} = \begin{pmatrix} -0.0069751811 & -0.0001019641 & -0.9999756679 \\ 0.9999741433 & -0.0017499395 & -0.006974992 \\ -0.0017491857 & -0.9999984637 & 0.0001141676 \end{pmatrix}$$

check_matrix(M_куб_тб) = "OK"

check_matrix(M_ВСК_куб) = "OK"

Формулы (ВСК-КУБ)

Результат (ВСК-КУБ)

Проверка ГУ и ВУ с теодолитов (должен быть не более 10 угл. с):

check_angle([90° - T1_T2₂) + (90° - T2_T1₂), DMS(0, 0, 10)] = "OK"

check_angle(asin(sin(T1_T2₁ - T2_T1₁ + 270°)), DMS(0, 0, 10)) = "OK"

$$M_{\text{ВСК_тб}} = \begin{pmatrix} -0.0097589937 & -0.0000863964 & -0.9999523762 \\ 0.0055909323 & 0.9999843607 & -0.0001409637 \\ 0.9999367498 & -0.0055920417 & -0.009758358 \end{pmatrix} \quad \text{check_matrix}(M_{\text{ВСК_тб}}) = \text{"OK"}$$

$$M_{\text{куб_тб}} = \begin{pmatrix} 0.9999961248 & -0.0027839303 & -0.0000106955 \\ 0.0000000000 & 0.0038418589 & -0.9999926200 \\ 0.0027839508 & 0.9999887449 & 0.0038418440 \end{pmatrix} \quad \text{check_matrix}(M_{\text{куб_тб}}) = \text{"OK"}$$

$$M_{\text{ВСК_куб}} = \begin{pmatrix} -0.0069751811 & -0.0001019641 & -0.9999756679 \\ 0.9999741433 & -0.0017499395 & -0.006974992 \\ -0.0017491857 & -0.9999984637 & 0.0001141676 \end{pmatrix} \quad \text{check_matrix}(M_{\text{ВСК_куб}}) = \text{"OK"}$$

$$\text{angle_M} \left[M_{\text{ВСК_куб}}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} -5405.990725 \\ -18.545542 \\ 19.129242 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{deg}}{60}$$

Результат (ВСК-КУБ)

Данные для калибровочной матрицы (ЛИНЕЙКА)

Измерение граней кубика:

$$T1_k1_L := \begin{pmatrix} \text{DMS}(\text{ruler}_1, 6) \\ \text{DMS}(\text{ruler}_1, 7) \end{pmatrix}$$

$$T2_k2_L := \begin{pmatrix} \text{DMS}(\text{ruler}_2, 6) \\ \text{DMS}(\text{ruler}_2, 7) \end{pmatrix}$$

Измерения труба в трубу:

$$T1_T2_L := \begin{pmatrix} \text{DMS}(\text{ruler}_6, 6) \\ \text{DMS}(\text{ruler}_6, 7) \end{pmatrix}$$

$$T2_T1_L := \begin{pmatrix} \text{DMS}(\text{ruler}_7, 6) \\ \text{DMS}(\text{ruler}_7, 7) \end{pmatrix}$$

Зеркало на линейке:

$$T1_mir_L := \begin{pmatrix} DMS(ruler3, 6) \\ DMS(ruler3, 7) \end{pmatrix}$$

▣ Данные для калибровочной матрицы (ЛИНЕЙКА)

▣ ЛИНЕЙКА формулы

$$check_angle[(90^\circ - T1_T2_L2) + (90^\circ - T2_T1_L2), DMS(0, 0, 15)] = "OK"$$

$$check_angle(asin(\sin(T1_T2_L1 - T2_T1_L1 + 270^\circ)), DMS(0, 0, 20)) = "OK"$$

$$T1_k2_L := \begin{pmatrix} T1_T2_L1 - T2_T1_L1 - 180^\circ \\ T2_k2_L2 \end{pmatrix} \quad T1_k2_L = \begin{pmatrix} 90.0022 \\ 89.834191 \end{pmatrix} \cdot deg$$

$$T1_Xk_L_lmn := norm_vector(lmn(T1_k1_L1, T1_k1_L2))$$

$$T1_Yk_L_lmn := norm_vector(lmn(T1_k2_L1, T1_k2_L2) \times T1_Xk_L_lmn)$$

$$T1_Zk_L_lmn := norm_vector(T1_Xk_L_lmn \times T1_Yk_L_lmn)$$

Ориентация куба в СК T1 (добавлен поворот вокруг оси OY T1, т.к. кронштейн положили):

$$M_{куб_тб_L} := \begin{pmatrix} T1_Xk_L_lmn1 & T1_Yk_L_lmn1 & T1_Zk_L_lmn1 \\ T1_Xk_L_lmn2 & T1_Yk_L_lmn2 & T1_Zk_L_lmn2 \\ T1_Xk_L_lmn3 & T1_Yk_L_lmn3 & T1_Zk_L_lmn3 \end{pmatrix} \cdot El(0, 90^\circ, 0) \cdot El(180^\circ, 0, 0)$$

Нормаль зеркала линейки в ТБ:

$$T1_Xk_L := lmn(T1_mir_L1, T1_mir_L2) \quad T1_Xk_L = \begin{pmatrix} 0.999971 \\ -9.135982 \times 10^{-6} \\ 0.007563 \end{pmatrix}$$

Нормаль зеркала линейки в кубике:

$$mir_k_L := M_{куб_тб_L}^T \cdot T1_Xk_L \quad mir_k_L = \begin{pmatrix} -0.000023 \\ -0.004926 \\ -0.999988 \end{pmatrix}$$

▣ ЛИНЕЙКА формулы

▣ Данные для калибровочной матрицы (ЗЕРКАЛО)

ЗЕРКАЛО измерение граней кубика

$$T1_k1_M := \begin{pmatrix} 0^\circ \\ DMS(mirror3, 7) \end{pmatrix}$$

$$T2_k2_M := \begin{pmatrix} 0^\circ \\ DMS(mirror4, 7) \end{pmatrix}$$

Измерения труба в трубу

$$T1_T2_M := \begin{pmatrix} DMS(mirror5, 6) \\ DMS(mirror5, 7) \end{pmatrix}$$

$$T2_T1_M := \begin{pmatrix} DMS(mirror6, 6) \\ DMS(mirror6, 7) \end{pmatrix}$$

ЗЕРКАЛО перестановка теодолитов

$$T2_mir_M1 := \begin{pmatrix} 0^\circ \\ DMS(mirror9, 7) \end{pmatrix}$$

$$T2_mir_M2 := \begin{pmatrix} DMS(mirror10, 6) \\ DMS(mirror10, 7) \end{pmatrix}$$

$$T2_mir_M3 := \begin{pmatrix} DMS(mirror11, 6) \\ DMS(mirror11, 7) \end{pmatrix}$$

$$T2_mir_M4 := \begin{pmatrix} DMS(mirror12, 6) \\ DMS(mirror12, 7) \end{pmatrix}$$

$$T2_mir_M1 := lmn(T2_mir_M1_1, T2_mir_M1_2)$$

$$T2_mir_M2 := lmn(T2_mir_M2_1, T2_mir_M2_2)$$

$$T2_mir_M3 := lmn(T2_mir_M3_1, T2_mir_M3_2)$$

$$T2_mir_M4 := lmn(T2_mir_M4_1, T2_mir_M4_2)$$

$$lmn2V(lmn) := 90^\circ - \text{asin}(lmn_3)$$

$$lmn2Hz(lmn) := -\text{atan2}(lmn_1, lmn_2)$$

$$\text{mean_vector4}(lmn1, lmn2, lmn3, lmn4) := \text{norm_vector}(lmn1 + lmn2 + lmn3 + lmn4)$$

$$T2_mir_M_1 := \text{mean_vector4}(T2_mir_M1, T2_mir_M2, T2_mir_M3, T2_mir_M4)$$

$$HZ := lmn2Hz(T2_mir_M_1) = 0.0034495899 \cdot \text{deg}$$

$$V := lmn2V(T2_mir_M_1) = 89.4918949044 \cdot \text{deg}$$

$$T2_mir_M := \begin{pmatrix} HZ \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0034495899 \\ 89.4918949044 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

Измерения труба в трубу, после перестановки ТИ

$$T1_T2_M_2 := \begin{pmatrix} DMS(mirror13, 6) \\ DMS(mirror13, 7) \end{pmatrix}$$

$$T2_T1_M_2 := \begin{pmatrix} DMS(mirror14, 6) \\ DMS(mirror14, 7) \end{pmatrix}$$

▣ Данные для калибровочной матрицы (ЗЕРКАЛО)

▣ ЗЕРКАЛО формулы

$$\text{check_angle}[(90^\circ - T1_T2_M_2) + (90^\circ - T2_T1_M_2), DMS(0, 0, 10)] = \text{"OK"}$$

$$\text{check_angle}[\text{asin}(\sin(T1_T2_M_1 - T2_T1_M_1 + 270^\circ)), DMS(0, 0, 20)] = \text{"OK"}$$

$$\text{check_angle}[(90^\circ - T1_T2_M_2) + (90^\circ - T2_T1_M_2), DMS(0, 0, 10)] = \text{"OK"}$$

$$T1_k2_M := \begin{pmatrix} T1_T2_M_1 - T2_T1_M_1 - 180^\circ \\ T2_k2_M_2 \end{pmatrix} \quad T1_k2_M = \begin{pmatrix} 90.001264 \\ 89.776972 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

$$T1_Xk_M_lmn := lmn(T1_k1_M1, T1_k1_M2)$$

$$T1_Yk_M_lmn := norm_vector(lmn(T1_k2_M1, T1_k2_M2) \times T1_Xk_M_lmn)$$

$$T1_Zk_M_lmn := norm_vector(T1_Xk_M_lmn \times T1_Yk_M_lmn)$$

Ориентация куба в СК Т1:

$$M_{куб_тб_M} := \begin{pmatrix} T1_Xk_M_lmn1 & T1_Yk_M_lmn1 & T1_Zk_M_lmn1 \\ T1_Xk_M_lmn2 & T1_Yk_M_lmn2 & T1_Zk_M_lmn2 \\ T1_Xk_M_lmn3 & T1_Yk_M_lmn3 & T1_Zk_M_lmn3 \end{pmatrix}$$

Измеряем нормаль зеркала через перестановку 2го теодолита:

$$T1_mir_M := \begin{pmatrix} T1_T2_M_21 - T2_T1_M_21 + 180^\circ + T2_mir_M1 \\ T2_mir_M2 \end{pmatrix} \quad T1_mir_M = \begin{pmatrix} 0.049608 \\ 89.491895 \end{pmatrix} \cdot deg$$

Нормаль зеркала в ТБ:

$$T1_Xk_M := lmn(T1_mir_M1, T1_mir_M2) \quad T1_Xk_M = \begin{pmatrix} 0.99996 \\ -0.000866 \\ 0.008868 \end{pmatrix}$$

Нормаль зеркала в кубике:

$$mirP_r := M_{куб_тб_M}^T \cdot T1_Xk_M \quad mirP_r = \begin{pmatrix} 0.99998 \\ 0.006324 \\ 0.00089 \end{pmatrix}$$

☒ ЗЕРКАЛО формулы

☒ Формулы (ВСК-ПСК)

$$mirP_r = \begin{pmatrix} 0.99998 \\ 0.006324 \\ 0.00089 \end{pmatrix} \quad mir_k_L = \begin{pmatrix} -0.000023 \\ -0.004926 \\ -0.999988 \end{pmatrix}$$

$$Z_{пск} := norm_vector(-mirP_r) = \begin{pmatrix} -0.99998 \\ -0.006324 \\ -0.00089 \end{pmatrix} \quad Z_{пск} = \begin{pmatrix} -0.99998 \\ -0.006324 \\ -0.00089 \end{pmatrix}$$

$$X_{пск} := norm_vector(mir_k_L \times Z_{пск}) \quad X_{пск} = \begin{pmatrix} -0.00632 \\ 0.999968 \\ -0.004925 \end{pmatrix}$$

$$Y_{пск} := norm_vector(Z_{пск} \times X_{пск}) \quad Y_{пск} = \begin{pmatrix} 0.000922 \\ -0.00492 \\ -0.999987 \end{pmatrix}$$

$$M_{пск_куб} := augment(X_{пск}, Y_{пск}, Z_{пск}) = \begin{pmatrix} -0.00632 & 0.000922 & -0.99998 \\ 0.999968 & -0.00492 & -0.006324 \\ -0.004925 & -0.999987 & -0.00089 \end{pmatrix}$$

$$M_{\text{вск_пск}} := M_{\text{пск_куб}}^T \cdot M_{\text{вск_куб}} = \begin{pmatrix} 0.999995 & 0.003176 & -0.000656 \\ -0.003177 & 0.999994 & -0.001001 \\ 0.000652 & 0.001003 & 0.999999 \end{pmatrix}$$

Формулы (ВСК-ПСК)

Результаты определения матриц перехода прибора XXXXXX зав. № XXXX

Дата проведения измерений
XX.XX.XXXX

Оператор: Будков В.А.

Параметры ВСК:

Фокусное расстояние:

Координаты главной точки:

Дисторсия (D):

$f = 31.9975 \cdot \text{mm}$ - стенд

$X_0 = 0 \quad Y_0 = 0$

$f_k = 60.131 \cdot \text{mm}$ - небо ВСК

Матрица перехода ВСК-ПСК (стенд):

$$M_{\text{вск_пск}} = \begin{pmatrix} 0.99999474 & 0.00317622 & -0.00065556 \\ -0.00317687 & 0.99999445 & -0.00100137 \\ 0.00065238 & 0.00100345 & 0.99999928 \end{pmatrix}$$

Матрица перехода ВСК-ПСК (небо):

D =

	1	2
1	-0.00191	-0.000497
2	0.000039	$8.694606 \cdot 10^{-6}$
3	0.000042	-0.000042
4	0.000218	0.000018
5	0.000037	0.000151
6	0.000052	0.000044
7	$7.271266 \cdot 10^{-6}$	$1.471158 \cdot 10^{-6}$
8	$4.296558 \cdot 10^{-7}$	$5.501426 \cdot 10^{-6}$
9	$3.211019 \cdot 10^{-6}$	$-1.230586 \cdot 10^{-6}$
10	$-8.849768 \cdot 10^{-7}$	0.000011

$$M_{\text{небо}} := \begin{pmatrix} 0.99999951 & -0.00098902 & 0.00004016 \\ 0.00098896 & 0.99999859 & 0.00135457 \\ -0.00004150 & -0.00135453 & 0.99999908 \end{pmatrix}$$

Параметры перехода (стенд), ° " :

$$a_{x1} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 26.761781 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad a_{y1} = \begin{pmatrix} 0 \\ -2 \\ -14.891169 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad a_{z1} = \begin{pmatrix} 0 \\ -10 \\ -55.210243 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

Параметры перехода (небо), ° " :

$$a_{x2} = \begin{pmatrix} 0 \\ -4 \\ -39.396125 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad a_{y2} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 8.421796 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad a_{z2} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 23.993927 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

Разницы углов стенд-небо, ° " :

$$dx = \begin{pmatrix} 0 \\ 8 \\ 6.211098 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad dy = \begin{pmatrix} 0 \\ -2 \\ -23.654494 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad dz = \begin{pmatrix} 0 \\ -14 \\ -19.117006 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

Параметры уравнивания (стенд):

$$\text{points} = 19 \quad \text{ERR} = 5.95945 \times 10^{-6} \quad \text{stdev(Res)} = 0.65921 \cdot \mu\text{m}$$

Параметры уравнивания (небо):

$$\varphi = \begin{pmatrix} 55 \\ 39 \\ 18.69 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad \sigma\varphi = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.92 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

_____ Будков В.А.

_____ Строилов Н.А.

Результаты определения матриц перехода прибора ОГ-32Р зав. № 713

Дата проведения измерений 25.12.2019

Оператор: Будков В.А.

Параметры ВСК прибора:

Фокусное расстояние (f): Координаты главной точки (X0, Y0): Дисторсия (D):

f = 31.9975·mm X0 = 0 Y0 = 0

Матрица перехода ВСК-ПСК стенда:

$$M_{\text{ВСК_ПСК}} = \begin{pmatrix} 0.99999474 & 0.00317622 & -0.00065556 \\ -0.00317687 & 0.99999445 & -0.00100137 \\ 0.00065238 & 0.00100345 & 0.99999928 \end{pmatrix}$$

Параметры уравнивания стенда:

$$D =$$

	1	2
1	-0.00191	-0.000497
2	0.000039	8.694606·10 ⁻⁶
3	0.000042	-0.000042
4	0.000218	0.000018
5	0.000037	0.000151
6	0.000052	0.000044
7	7.271266·10 ⁻⁶	1.471158·10 ⁻⁶
8	4.296558·10 ⁻⁷	5.501426·10 ⁻⁶
9	3.211019·10 ⁻⁶	-1.230586·10 ⁻⁶

points = 19

ERR = 5.95945×10^{-6}

	5.95945×10^{-6}	1.255500×10^{-5}
10	$-8.849768 \cdot 10^{-7}$	0.000011

stdev(Res) = $0.65921 \cdot \mu\text{m}$

mean(Res) = $1.198 \cdot \mu\text{m}$

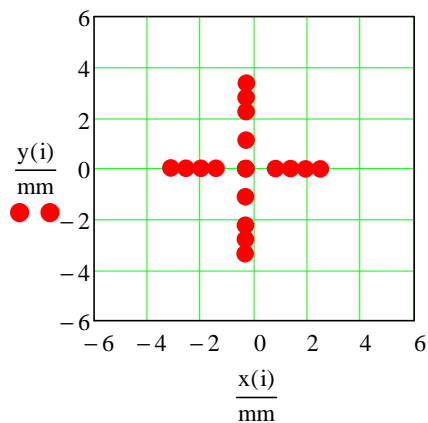
Параметры перехода станда, " ' ":

$$ax1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 26.761781 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

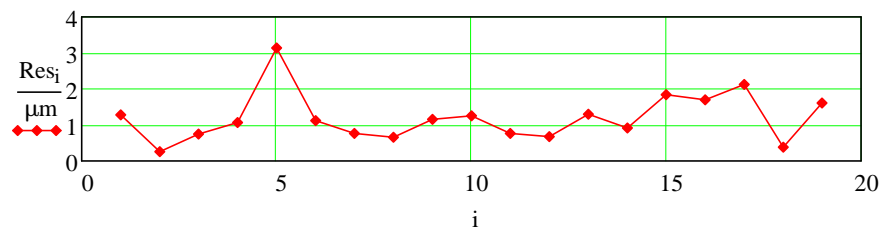
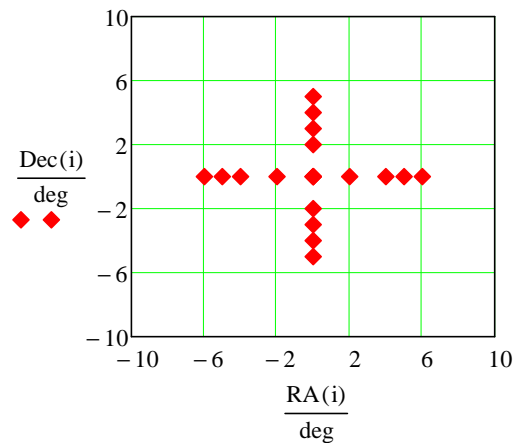
$$ay1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -2 \\ -14.891169 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

$$az1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -10 \\ -55.210243 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

Точки на матрице



Углы теодолита



_____ Будков В.А.

_____ Строилов Н.А.

file =

	1	2	3	4	5
1	1	967.225952	1024.571167	160	90
2	1	966.055481	821.610107	162	90
3	1	964.873352	618.086731	164	90
4	1	964.395874	516.000122	165	90
5	1	963.816223	413.891357	166	90
6	1	968.406372	1228.170044	158	90
7	1	969.5	1431.77417	156	90
8	1	969.961609	1533.773926	155	90
9	1	970.612854	1636.089844	154	90
10	1	967.178101	1024.582886	160	90
11	1	763.873474	1025.857666	160	92
12	1	662.032776	1026.529663	160	93
13	1	559.878723	1027.153809	160	94
14	1	457.601349	1027.654175	160	95
15	1	1170.598022	1023.460632	160	88
16	1	1272.281982	1022.991699	160	87
17	1	1374.185059	1022.564819	160	86
18	1	1475.821045	1022.02887	160	85
19	1	967.185974	1024.514526	160	90

D =

	1	2
1	-0.00191	-0.000497
2	0.000039	$8.694606 \cdot 10^{-6}$
3	0.000042	-0.000042
4	0.000218	0.000018
5	0.000037	0.000151
6	0.000052	0.000044
7	$7.271266 \cdot 10^{-6}$	$1.471158 \cdot 10^{-6}$
8	$4.296558 \cdot 10^{-7}$	$5.501426 \cdot 10^{-6}$
9	$3.211019 \cdot 10^{-6}$	$-1.230586 \cdot 10^{-6}$
10	$-8.849768 \cdot 10^{-7}$	0.000011

Примечания:

$$El(ax, ay, az) := \begin{pmatrix} -\cos(az) \cdot \sin(ax) - \sin(az) \cdot \cos(ax) \cdot \sin(ay) & \sin(az) \cdot \sin(ax) - \cos(az) \cdot \cos(ax) \cdot \sin(ay) & \cos(az) \cdot \sin(ax) + \sin(az) \cdot \cos(ax) \cdot \sin(ay) \\ \cos(az) \cdot \cos(ax) - \sin(az) \cdot \sin(ax) \cdot \sin(ay) & -\sin(az) \cdot \cos(ax) - \cos(az) \cdot \sin(ax) \cdot \sin(ay) & \cos(az) \cdot \sin(ax) + \sin(az) \cdot \cos(ax) \cdot \sin(ay) \\ \sin(az) \cdot \cos(ay) & \cos(az) \cdot \cos(ay) & \sin(az) \cdot \sin(ay) + \cos(az) \cdot \sin(ay) \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} & (file_i, 6) \cdot \text{deg} + \gamma - 180^\circ \\ & 180^\circ - [(file_i, 6) \cdot \text{deg} + \gamma - 180^\circ] \end{aligned} \quad \text{[ГК на звезду в СК ТБ]}$$

$RA(1) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 46.329568 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$	$RA(i) =$	$Dec(i) =$																		
	<table><tr><td>0.012869</td></tr><tr><td>-1.987131</td></tr><tr><td>-3.987131</td></tr><tr><td>-4.987131</td></tr><tr><td>-5.987131</td></tr><tr><td>2.012869</td></tr><tr><td>4.012869</td></tr><tr><td>5.012869</td></tr><tr><td>...</td></tr></table> ·deg	0.012869	-1.987131	-3.987131	-4.987131	-5.987131	2.012869	4.012869	5.012869	...	<table><tr><td>0</td></tr><tr><td>0</td></tr><tr><td>0</td></tr><tr><td>0</td></tr><tr><td>0</td></tr><tr><td>0</td></tr><tr><td>0</td></tr><tr><td>0</td></tr><tr><td>...</td></tr></table> ·deg	0	0	0	0	0	0	0	0	...
0.012869																				
-1.987131																				
-3.987131																				
-4.987131																				
-5.987131																				
2.012869																				
4.012869																				
5.012869																				
...																				
0																				
0																				
0																				
0																				
0																				
0																				
0																				
0																				
...																				
$RA(3) = \begin{pmatrix} -3 \\ -59 \\ -13.670432 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$																				
$RA(4) = \begin{pmatrix} -4 \\ -59 \\ -13.670432 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$																				

Примечания:

$$\begin{pmatrix} 0.9999960351 & -0.0028159805 & 0.000010158 \\ -0.0000000739 & -0.0036334852 & -0.9999933989 \\ 0.0028159988 & 0.999989434 & -0.003633471 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.9999960351 & 0.0028159805 & -0.000010158 \\ -0.0000000739 & 0.0036334852 & 0.9999933989 \\ 0.0028159988 & -0.999989434 & 0.003633471 \end{pmatrix}$$

$$\text{Andr} := \begin{pmatrix} 0.99999604 & 0.00000000 & 0.00281579 \\ 0.00001023 & 0.99999340 & -0.00363338 \\ -0.00281578 & 0.00363340 & 0.99998943 \end{pmatrix}$$

$$M_{\text{ky}\delta_{\text{r}\delta}} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} 0.999996 & 0.000011 & -0.002784 \\ 0 & 0.999993 & 0.003842 \\ 0.002784 & -0.003842 & 0.999989 \end{pmatrix}$$

$$M_{\text{ky}\delta_{\text{r}\delta} \cdot \text{Andr}}^T = \begin{pmatrix} 0.999992 & -0.002774 & -0.002837 \\ -0.002816 & 0.007475 & -0.999968 \\ 0.002795 & 0.999968 & 0.007467 \end{pmatrix}$$

check_vector(T1_Xk_L_lmn) = "OK"

check_vector(T1_Yk_L_lmn) = "OK"

check_vector(T1_Zk_L_lmn) = "OK"

$$El(0, 90^\circ, 0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

check_matrix(Mkyδ_τδ_L) = "OK"

check_vector(T1_Xk_L) = "OK"

$$Mky\delta_{\tau\delta}_L = \begin{pmatrix} 7.772471 \times 10^{-6} & 0.002637 & -0.999997 \\ 0.999996 & -0.002894 & 1.412455 \times 10^{-7} \\ -0.002894 & -0.999992 & -0.002637 \end{pmatrix}$$

check_vector(mir_k_L) = "OK"

check_vector(T1_Xk_M_lmn) = "OK"

check_vector(T1_Yk_M_lmn) = "OK"

check_vector(T1_Zk_M_lmn) = "OK"

check_matrix(Mkyб_тб_M) = "OK"

check_vector(T1_Xk_M) = "OK"

check_vector(mirP_r) = "OK"

$$M_{\text{пск_кyб}} = \begin{pmatrix} -0.0063199225 & 0.0009215402 & -0.9999796045 \\ 0.9999678987 & -0.0049197336 & -0.0063243824 \\ -0.0049254615 & -0.9999874734 & -0.0008904182 \end{pmatrix}$$

check_matrix(Мпск_куб) = "OK"

Ввод данных для отчета по небу:

$f_k := 60.131\text{mm}$

$\varphi := \text{DMS}(55, 39, 18.69)$

$\sigma\varphi := \text{DMS}(0, 0, 2.92)$

$$\begin{pmatrix} ax1 \\ ay1 \\ az1 \end{pmatrix} := \text{angle_M}(\text{Мвск_пск}, M1)$$

$$\begin{pmatrix} ax2 \\ ay2 \\ az2 \end{pmatrix} := \text{angle_M}(\text{Мнебо}, \text{М1})$$

$$\begin{pmatrix} \text{dx} \\ \text{dy} \\ \text{dz} \end{pmatrix} := \text{angle_M}(\text{Мвск_пск}, \text{Мнебо})$$

Экспорт матриц для расчета ПСК-СКОК:

..\Мпск_куб.dat
Мпск_куб

..\Мвск_пск.dat
Мвск_пск

Проверка компенсаторов:

$$s10 := \frac{10^\circ}{3600}$$

В начале:

check_angle(DMS(COMBO1,5),s10) = "OK"
check_angle(DMS(COMBO1,6),s10) = "OK"
check_angle(DMS(COMBO2,5),s10) = "OK"
check_angle(DMS(COMBO2,6),s10) = "OK"

В конце:

check_angle(DMS(COMBO15,5),s10) = "OK"
check_angle(DMS(COMBO15,6),s10) = "OK"
check_angle(DMS(COMBO16,5),s10) = "OK"
check_angle(DMS(COMBO16,6),s10) = "OK"

Проверка углов:

$$s5 := \frac{5^\circ}{3600}$$

T1 - Куб Д check_angle(DMS(COMBO_{3,6} - COMBO_{13,6}), s5) = "OK"

T2 - Куб В check_angle(DMS(COMBO_{4,6} - COMBO_{14,6}), s5) = "!!!!!!!!!!!! BAD !!!!!!!!!!!!!"

T1 - T2 Г check_angle(DMS(COMBO_{5,5} - COMBO_{11,5}), s5) = "OK"

T1 - T2 В check_angle(DMS(COMBO_{5,6} + COMBO_{6,6} - 180), s5) = "OK"

T2 - T1 Г check_angle(DMS(COMBO_{6,5} - COMBO_{12,5}), s5) = "OK"

T2 - T1 В check_angle(DMS(COMBO_{11,6} + COMBO_{12,6} - 180), s5) = "OK"

T1 - 3В Г check_angle(DMS(COMBO_{7,5} - COMBO_{10,5}), s5) = "OK"

T1 - 3В В check_angle(DMS(COMBO_{7,6} - COMBO_{10,6}), s5) = "OK"

ORIGIN := 1

Проверка матриц и векторов:

$$\text{check_vector}(V) := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } 1 - \sqrt{(V_1)^2 + (V_2)^2 + (V_3)^2} \leq 10^{-15} \\ \text{"!!!!!!!!!!!!!! BAD !!!!!!!!!!!!!!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$\text{check_matrix}(M) := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } 1 - |M| \leq 10^{-15} \wedge 1 - |M \cdot M^T| \leq 10^{-15} \wedge |M^{-1} - M^T| \leq 10^{-30} \\ \text{"!!!!!!!!!!!!!! BAD !!!!!!!!!!!!!!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$\text{check_matrix_andr}(M) := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } 1 - |M| \leq 10^{-7} \wedge 1 - |M \cdot M^T| \leq 10^{-7} \wedge |M^{-1} - M^T| \leq 10^{-7} \\ \text{"!!!!!!!!!!!!!! BAD !!!!!!!!!!!!!!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$\text{check_angle}(\text{angle}, \text{max}) := \begin{cases} \text{"!!!!!!!!!!!!!! BAD !!!!!!!!!!!!!!!"} & \text{if } |\text{angle}| > \text{max} \\ \text{"OK"} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$\text{check_error}(\text{err}) := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \text{err} < 0.0003 \\ \text{"!!!!!!!!!!!!!! BAD !!!!!!!!!!!!!!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Формулы учёта дисторсии:

$$\text{ax} := \begin{cases} \text{submatrix}(D, 1, 10, 1, 1) & \text{if } \text{distr_acc} = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$\text{ay} := \begin{cases} \text{submatrix}(D, 1, 10, 2, 2) & \text{if } \text{distr_acc} = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$\text{dx}(x, y) := \text{ax}_1 \cdot \text{mm} + \text{ax}_2 \cdot x + \text{ax}_3 \cdot y + \frac{\text{ax}_4 \cdot x^2}{\text{mm}} + \frac{\text{ax}_5 \cdot x \cdot y}{\text{mm}} + \frac{\text{ax}_6 \cdot y^2}{\text{mm}} + \frac{\text{ax}_7 \cdot x^3}{\text{mm}^2} + \frac{\text{ax}_8 \cdot x^2 \cdot y}{\text{mm}^2} + \frac{\text{ax}_9 \cdot x \cdot y^2}{\text{mm}^2} + \frac{\text{ax}_{10} \cdot y^3}{\text{mm}^2}$$
$$\text{dy}(x, y) := \text{ay}_1 \cdot \text{mm} + \text{ay}_2 \cdot x + \text{ay}_3 \cdot y + \frac{\text{ay}_4 \cdot x^2}{\text{mm}} + \frac{\text{ay}_5 \cdot x \cdot y}{\text{mm}} + \frac{\text{ay}_6 \cdot y^2}{\text{mm}} + \frac{\text{ay}_7 \cdot x^3}{\text{mm}^2} + \frac{\text{ay}_8 \cdot x^2 \cdot y}{\text{mm}^2} + \frac{\text{ay}_9 \cdot x \cdot y^2}{\text{mm}^2} + \frac{\text{ay}_{10} \cdot y^3}{\text{mm}^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} x) \cdot \cos(ay) \\ y) \cdot \sin(ax) \\ n(ay) \end{array} \right) \blacksquare$$

$$\text{DMS}(\text{COMBO}_{4,6} - \text{COMBO}_{14,6}) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.862323 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

$$\text{DMS}(\text{COMBO}_{5,5} - \text{COMBO}_{11,5}) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -2.15549 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

$$\text{DMS}(\text{COMBO}_{5,6} + \text{COMBO}_{6,6} - 180) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.241058 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

$$\text{DMS}(\text{COMBO}_{6,5} - \text{COMBO}_{12,5}) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.080303 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

$$\text{DMS}(\text{COMBO}_{11,6} + \text{COMBO}_{12,6} - 180) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1.235721 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

Длина вестора:

$$\text{vector_lenth}(V) := \sqrt{(V_1)^2 + (V_2)^2 + (V_3)^2}$$

Нормирование вектора:

$$\text{norm_vector}(V) := \frac{V}{\text{vector_lenth}(V)}$$

Направляющие cos для теодолита:

$$\text{lmn}(Hz, V) := \begin{bmatrix} \cos(-Hz) \cdot \cos((90^\circ - V)) \\ \sin(-Hz) \cdot \cos((90^\circ - V)) \\ \sin((90^\circ - V)) \end{bmatrix} \quad M1 := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Углы из матрицы ВСК ИСК:

$$M2\text{angle}(A) := \begin{pmatrix} \text{angle}(A_{3,1}, A_{3,2}) \\ \text{asin}(A_{3,3}) \\ \text{angle}(A_{2,3}, A_{1,3}) \end{pmatrix}$$

Углы между двумя матрицами:

$$\text{angle_M}(A1, A2) := \left| \begin{array}{l} \text{rot} \leftarrow A1 \cdot A2^T \\ \alpha \leftarrow \arccos \left[\frac{1}{2} \cdot (\text{rot}_{1,1} + \text{rot}_{2,2} + \text{rot}_{3,3} - 1) \right] \\ ax \leftarrow \alpha \cdot \frac{\text{rot}_{3,2} - \text{rot}_{2,3}}{2 \sin(\alpha)} \\ ay \leftarrow \alpha \cdot \frac{\text{rot}_{1,3} - \text{rot}_{3,1}}{2 \sin(\alpha)} \\ az \leftarrow \alpha \cdot \frac{\text{rot}_{2,1} - \text{rot}_{1,2}}{2 \sin(\alpha)} \\ \text{return} \begin{pmatrix} ax \\ ay \\ az \end{pmatrix} \end{array} \right|$$

$$\begin{array}{l} \text{angle_M} \begin{bmatrix} 0.99999656 & 0.00000344 \\ -0.00027502 & 0.00027502 \\ -0.00261008 & 0.00261008 \end{bmatrix} \\ \text{angle_M} \begin{bmatrix} 0.99999630 & -0.00000370 \\ 0.00270021 & 0.00270021 \\ 0.00032110 & 0.00032110 \end{bmatrix} \\ \text{angle_M} \begin{bmatrix} 0.99999743 & -0.00000257 \\ 0.00224433 & 0.00224433 \\ -0.00030966 & 0.00030966 \end{bmatrix} \\ \text{angle_M} \begin{bmatrix} 0.99999468 & 0.00000532 \\ -0.00304335 & 0.00304335 \\ -0.00117261 & 0.00117261 \end{bmatrix} \end{array}$$

ИЕБО

COMBO

$$\begin{pmatrix} 00027634 & 0.00260994 \\ 99999983 & -0.00050876 \\ 00050804 & 0.99999646 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0.99999244 & 0.00392060 & 0.00080693 \\ -0.00392052 & 0.99999232 & -0.00068206 \\ -0.00080958 & 0.00067889 & 0.99999914 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.574349 \\ 6.190865 \\ 12.532545 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{deg}}{60} \text{ для № 53}$$

$$\begin{pmatrix} 00270041 & -0.00031940 \\ 9999616 & -0.00063111 \\ 0063025 & 0.99999975 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0.99999762 & 0.00091891 & -0.00219316 \\ -0.00092152 & 0.99999934 & -0.00097895 \\ 0.00219228 & 0.00098096 & 0.99999681 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.211403 \\ 6.431535 \\ 12.448298 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{deg}}{60} \text{ для № 54}$$

$$\begin{pmatrix} 000224468 & 0.00030707 \\ 99999681 & 0.00115505 \\ 000115436 & 0.99999929 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0.99999841 & 0.00137693 & -0.00147991 \\ -0.00137607 & 0.99999889 & 0.00089620 \\ 0.00148117 & -0.00089416 & 0.99999820 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.897165 \\ 6.155991 \\ 12.444696 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{deg}}{60} \text{ для № 55}$$

$$\begin{pmatrix} 00304462 & 0.00116928 \\ 99999477 & -0.00109322 \\ 00108966 & 0.99999872 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0.99999553 & 0.00304496 & -0.00075236 \\ -0.00304659 & 0.99999441 & -0.00154543 \\ 0.00074767 & 0.00154771 & 0.99999822 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.554567 \\ 6.606153 \\ 0.010671 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{deg}}{60} \text{ для № 56 с правильным аз}$$