

Файл с локализацией звезд:

Z:\Б...\LocTable БОКЗ-M60 №80.txt

Файл с углами поворотов:

Z:...\20.09.14_16-20-06_Measures.txt

Файл с Дисторсией:

Z:\МБОКЗ-2Р\МБ...\dist_cft_3pow.txt

Файл со значениями линейки:

Z:...\19.04.04_15-29-44_Measures.txt

Файл со значениями зеркала:

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

Фокус прибора:

focus := 60mm

Главная точка:

X0 := 0 Y0 := 0

Размер матрицы:

matrix_size := 512

Размер пикселя:

pixel_size := 0.016mm

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 Т3в:

$$\gamma := \text{DMS}(\text{COMBO}_{7,5}) = 29.943346 \cdot \text{deg}$$

Измерение граней:

$$T1_k1 := \begin{pmatrix} 0 \\ \text{DMS}(\text{COMBO}_{3,6}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 90.261136 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

$$T2_k2 := \begin{pmatrix} 0 \\ \text{DMS}(\text{COMBO}_{4,6}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 90.12048 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

Измерения труба в трубу:

$$T1_T2 := \begin{pmatrix} \text{DMS}(\text{COMBO}_{5,5}) \\ \text{DMS}(\text{COMBO}_{5,6}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 348.013791 \\ 89.881352 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

$$T2_T1 := \begin{pmatrix} \text{DMS}(\text{COMBO}_{6,5}) \\ \text{DMS}(\text{COMBO}_{6,6}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 78.01276 \\ 90.121093 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

☐ Данные для кубика

☑ Определение матрицы поворота

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

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

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

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

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

☐ Определение матрицы поворота

☑ Формулы (ВСК-ТБ)

Подготовка:

$$\text{points} := \text{rows}(\text{file}) = 15$$

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

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:

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

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:

$$\text{points} = 15$$

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 = 0.06 m

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

f = 0.059633 m

Mвск_тб := El(ax, ay, az)

☒ Уравнивание (ВСК-ТБ)

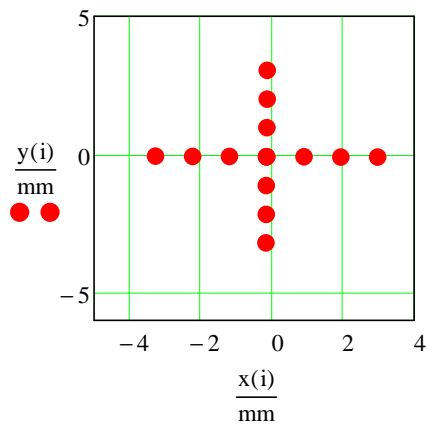
☒ Результат (ВСК-ТБ)

Количество точек:

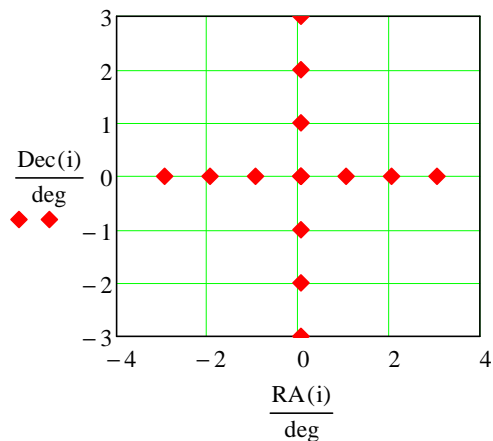
points = 15

Расположение точек:

Точки на матрице



Углы теодолита



ax = -0.347717·deg

ay = -0.076668·deg

az = -0.084385·deg

$$ax = \begin{pmatrix} 0 \\ -20 \\ -51.781543 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad ay = \begin{pmatrix} 0 \\ -4 \\ -36.004322 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad az = \begin{pmatrix} 0 \\ -5 \\ -3.787012 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

$$f = 59.633082 \cdot \text{mm}$$

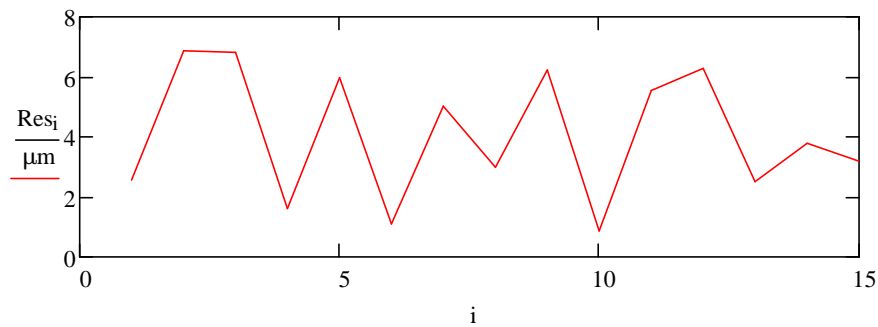
$$\text{check_error(ERR)} = \text{"OK"}$$

Матрица от ВСК к ТБ:

$$\text{El}(ax, ay, az) = \begin{pmatrix} -0.001472799 & -0.001338106 & -0.99999802 \\ -0.999980512 & 0.006068765 & 0.001464653 \\ 0.006066794 & 0.99998069 & -0.001347018 \end{pmatrix} \quad \text{check_matrix}(\text{El}(ax, ay, az)) = \text{"OK"}$$

Невязки решения:

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



$$\text{mean}(\text{Res}) = 0.00409 \cdot \text{mm}$$

$$\text{stdev}(\text{Res}) = 2.057731 \cdot \mu\text{m}$$

$$\text{max}(\text{Res}) = 6.866235 \cdot \mu\text{m}$$

▢ Результат (ВСК-ТБ)

▢ Формулы (ВСК-КУБ)

$$T1_k2 := \begin{pmatrix} T1_T2_1 - T2_T1_1 - 180^\circ \\ T2_k2_2 \end{pmatrix}$$

$$T1_Xk_lmn := \text{norm_vector}(\text{lmn}(T1_k1_1, T1_k1_2))$$

$$T1_Yk_lmn := \text{norm_vector}(\text{lmn}(T1_k2_1, T1_k2_2) \times T1_Xk_lmn)$$

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

$$T1_k2 = \begin{pmatrix} 90.00103 \\ 90.12048 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

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

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

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

Ориентация куба в СК Т1:

$$\text{Мкуб_тб} := \begin{pmatrix} T1_Xk_lmn_1 & T1_Yk_lmn_1 & T1_Zk_lmn_1 \\ T1_Xk_lmn_2 & T1_Yk_lmn_2 & T1_Zk_lmn_2 \\ T1_Xk_lmn_3 & T1_Yk_lmn_3 & T1_Zk_lmn_3 \end{pmatrix} \quad \text{lmn}(T1_k2_1, T1_k2_2) = \begin{pmatrix} -0.000018 \\ -0.999998 \\ -0.002103 \end{pmatrix}$$

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

$$M_{\text{куб_тб}} = \begin{pmatrix} 0.9999896137 & 0.004557664 & -0.000009584 \\ 0 & -0.0021028343 & -0.999997789 \\ -0.0045576741 & 0.9999874028 & -0.0021028124 \end{pmatrix}$$

$$M_{\text{ВСК_куб}} = \begin{pmatrix} -0.0015004343 & -0.0058956785 & -0.9999814947 \\ 0.0081627979 & 0.9999492324 & -0.0059077363 \\ 0.9999655581 & -0.0081715111 & -0.0014522329 \end{pmatrix}$$

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_T2) + (90° - T2_T1), DMS(0, 0, 10)]) = "OK"

check_angle(asin(sin(T1_T2 - T2_T1 + 270°)), DMS(0, 0, 10)) = "OK"

$$M_{\text{ВСК_тб}} = \begin{pmatrix} -0.0014727991 & -0.0013381063 & -0.9999980202 \\ -0.9999805122 & 0.0060687655 & 0.0014646527 \\ 0.0060667936 & 0.9999806896 & -0.0013470183 \end{pmatrix} \quad \text{check_matrix}(M_{\text{ВСК_тб}}) = \text{"OK"}$$

$$M_{\text{куб_тб}} = \begin{pmatrix} 0.9999896137 & 0.0045576640 & -0.0000095840 \\ 0.0000000000 & -0.0021028343 & -0.9999977890 \\ -0.0045576741 & 0.9999874028 & -0.0021028124 \end{pmatrix} \quad \text{check_matrix}(M_{\text{куб_тб}}) = \text{"OK"}$$

$$M_{\text{ВСК_куб}} = \begin{pmatrix} -0.0015004343 & -0.0058956785 & -0.9999814947 \\ 0.0081627979 & 0.9999492324 & -0.0059077363 \\ 0.9999655581 & -0.0081715111 & -0.0014522329 \end{pmatrix} \quad \text{check_matrix}(M_{\text{ВСК_куб}}) = \text{"OK"}$$

$$\text{angle_M} \left[M_{\text{ВСК_куб}}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} -28.077094 \\ -5.075349 \\ 20.288926 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{deg}}{60}$$

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

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

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

$$T1_k2_L := \begin{pmatrix} T1_T2_L1 - T2_T1_L1 - 180^\circ \\ T2_k2_L2 \end{pmatrix} \quad T1_k2_L = \begin{pmatrix} 90.001884 \\ 89.805984 \end{pmatrix} \cdot deg$$

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

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

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

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

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

Нормаль зеркала линейки в ТБ:

$$T1_Xk_L := lmn(T1_mir_L1, T1_mir_L2) \quad T1_Xk_L = \begin{pmatrix} 0.99996 \\ 0.000437 \\ 0.008949 \end{pmatrix}$$

Нормаль зеркала линейки в кубике:

$$mir_k_L := M_{куб_тб_L}^T \cdot T1_Xk_L \quad mir_k_L = \begin{pmatrix} -0.006353 \\ 0.99998 \\ -0.000415 \end{pmatrix}$$

☑ 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 T1:

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

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)

$$mirP_r = \begin{pmatrix} 0.99998 \\ 0.006324 \\ 0.00089 \end{pmatrix} \quad mir_k_L = \begin{pmatrix} -0.006353 \\ 0.99998 \\ -0.000415 \end{pmatrix}$$

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

$$X_{пск} := norm_vector(mir_k_L \times Z_{пск}) \quad X_{пск} = \begin{pmatrix} -0.000893 \\ 0.00041 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Y_{пск} := norm_vector(Z_{пск} \times X_{пск}) \quad Y_{пск} = \begin{pmatrix} -0.006324 \\ 0.99998 \\ -0.000415 \end{pmatrix}$$

$$M_{пск_куб} := augment(X_{пск}, Y_{пск}, Z_{пск}) = \begin{pmatrix} -0.000893 & -0.006324 & -0.99998 \\ 0.00041 & 0.99998 & -0.006324 \\ 1 & -0.000415 & -0.00089 \end{pmatrix}$$

$$M_{\text{ВСК_ПСК}} := M_{\text{ПСК_КУБ}}^T \cdot M_{\text{ВСК_КУБ}} = \begin{pmatrix} 0.99997 & -0.007757 & -0.000562 \\ 0.007757 & 0.99997 & 0.000417 \\ 0.000558 & -0.000421 & 1 \end{pmatrix}$$

▢ 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):

$f = 59.6331 \cdot \text{mm}$ - стенд

$X0 = 0 \quad Y0 = 0$

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

Матрица перехода ВСК-ПСК (стенд):

$$M_{\text{ВСК_ПСК}} = \begin{pmatrix} 0.99996976 & -0.00775664 & -0.00056164 \\ 0.00775687 & 0.99996983 & 0.00041688 \\ 0.00055839 & -0.00042123 & 0.99999976 \end{pmatrix} \quad D = 0$$

Матрица перехода ВСК-ПСК (небо):

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

Параметры перехода (стенд), ° " :

$$ax1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ -26.437168 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad ay1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ -55.512917 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad az1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 26 \\ 39.961639 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

Параметры перехода (небо), ° " :

$$ax2 = \begin{pmatrix} 0 \\ -4 \\ -39.396125 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad ay2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 8.421796 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad az2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 23.993927 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

Разницы углов стенд-небо, ° " :

$$dx = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 13.047216 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad dy = \begin{pmatrix} 0 \\ -2 \\ -2.893688 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad dz = \begin{pmatrix} 0 \\ 23 \\ 16.04741 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

Параметры уравнивания (стенд):

points = 15

ERR = 0.000018

stdev(Res) = 2.057731·μm

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 БОКЗ-М60 зав. № 80

Дата проведения измерений 14.09.2020

Оператор: Будков В.А.

Параметры ВСК прибора:

Фокусное расстояние (f):

Координаты главной точки (X0, Y0):

Дисторсия (D):

f = 59.6331·mm

X0 = 0

Y0 = 0

D = 0

Матрица перехода ВСК-ПСК стенда:

$$M_{\text{ВСК_ПСК}} = \begin{pmatrix} 0.99996976 & -0.00775664 & -0.00056164 \\ 0.00775687 & 0.99996983 & 0.00041688 \\ 0.00055839 & -0.00042123 & 0.99999976 \end{pmatrix}$$

Параметры уравнивания стенда:

points = 15

ERR = 0.000018

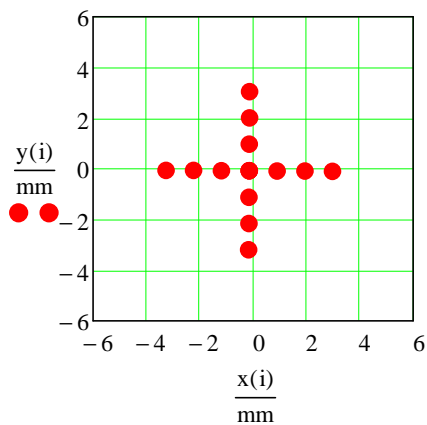
stdev(Res) = 2.057731·μm

mean(Res) = 4.09·μm

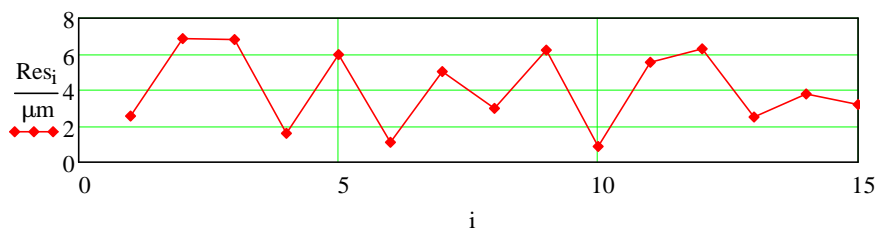
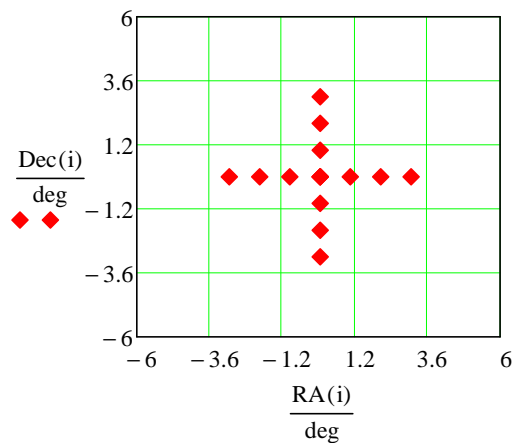
Параметры перехода стенда, °' ":

$$ax1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ -26.437168 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad ay1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ -55.512917 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS} \quad az1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 26 \\ 39.961639 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

Точки на матрице



Углы теодолита



Будков В.А.

Строилов Н.А.

	1	2	3	4	5
1	1	246.666382	251.020462	150	90
2	1	312.283478	250.499359	151	90
3	1	377.390411	250.268692	152	90
4	1	442.130981	249.950516	153	90
5	1	181.404388	251.341568	149	90
6	1	116.728165	251.800491	148	90
7	1	51.777843	252.304382	147	90
8	1	246.65126	250.968353	150	90
9	1	246.322006	185.604507	150	91
10	1	246.029907	120.824768	150	92
11	1	245.601593	56.040913	150	93
12	1	247.074417	316.453613	150	89
13	1	247.55043	381.322174	150	88
14	3	248.055191	446.1138	150	87
15	1	246.636642	250.970612	150	90
16					
17					
18					
19					

file =

	1	2
1	-0.000028	0.000231
2	0.000959	-0.000073
3	-0.000072	0.001005
4	0.000036	-0.00004
5	0.000032	0.000069
6	-0.000036	$-9.330897 \cdot 10^{-6}$
7	-0.00006	$1.433287 \cdot 10^{-6}$
8	$1.452706 \cdot 10^{-6}$	-0.000059
9	-0.000059	$3.175579 \cdot 10^{-7}$
10	$8.67086 \cdot 10^{-7}$	-0.000061

D =

D := 0

Примечания:

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

$(file_i, 6) \cdot \text{deg} + \gamma - 180^\circ$

$180^\circ - [(file_i, 6) \cdot \text{deg} + \gamma - 180^\circ]$

[ГК на звезду в СК ТБ]

$RA(1) = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 23.95281 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$	$RA(i) =$	$Dec(i) =$																		
	<table><tr><td>0.056654</td></tr><tr><td>-0.943346</td></tr><tr><td>-1.943346</td></tr><tr><td>-2.943346</td></tr><tr><td>1.056654</td></tr><tr><td>2.056654</td></tr><tr><td>3.056654</td></tr><tr><td>0.056654</td></tr><tr><td>...</td></tr></table>	0.056654	-0.943346	-1.943346	-2.943346	1.056654	2.056654	3.056654	0.056654	...	<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>	0	0	0	0	0	0	0	0	...
0.056654																				
-0.943346																				
-1.943346																				
-2.943346																				
1.056654																				
2.056654																				
3.056654																				
0.056654																				
...																				
0																				
0																				
0																				
0																				
0																				
0																				
0																				
0																				
...																				

Примечания:

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

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

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

$$M_{\text{ky}\delta_{\text{r}\delta}} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} 0.99999 & 9.584033 \times 10^{-6} & 0.004558 \\ 0 & 0.999998 & -0.002103 \\ -0.004558 & 0.002103 & 0.999987 \end{pmatrix}$$

$$M_{\text{ky}\delta_{\text{r}\delta} \cdot \text{Andr}}^T = \begin{pmatrix} 0.999986 & 0.004568 & -0.002809 \\ -0.002816 & 0.001531 & -0.999995 \\ -0.004564 & 0.999988 & 0.001543 \end{pmatrix}$$

check_vector(T1_Xk_L_lmn) = "OK"

check_vector(T1_Yk_L_lmn) = "OK"

check_vector(T1_Zk_L_lmn) = "OK"

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

check_matrix(Mkyδ_τδ_L) = "OK"

check_vector(T1_Xk_L) = "OK"

$$Mky\delta_{\tau\delta}_L = \begin{pmatrix} 0.002597 & 0.999997 & -8.795119 \times 10^{-6} \\ -0.003386 & 7.661963 \times 10^{-10} & -0.999994 \\ -0.999991 & 0.002597 & 0.003386 \end{pmatrix}$$

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"

$$M_{\text{пск_куб}} = \begin{pmatrix} -0.0008930267 & -0.0063240146 & -0.9999796045 \\ 0.0004096258 & 0.999979917 & -0.0063243824 \\ 0.9999995174 & -0.0004152652 & -0.0008904182 \end{pmatrix}$$

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) = "OK"

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) = "!!!!!!!!!!!! BAD !!!!!!!!!!"

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) = "!!!!!!!!!!!! BAD !!!!!!!!!!"

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:

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

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

$$\text{DMS}(\text{COMBO}_{5,5} - \text{COMBO}_{11,5}) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.528917 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

$$\text{DMS}(\text{COMBO}_{5,6} + \text{COMBO}_{6,6} - 180) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 8.801781 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

$$\text{DMS}(\text{COMBO}_{6,5} - \text{COMBO}_{12,5}) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.316018 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

$$\text{DMS}(\text{COMBO}_{11,6} + \text{COMBO}_{12,6} - 180) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 9.72121 \end{pmatrix} \cdot \text{DMS}$$

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

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

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

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

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