

Данні отримані для канату ЛК-Р 6×19 діаметром  $d_k = 2R_2 = 21$  мм;  $z_p = 55.5$  кН;  $R_1 = h_2 R_2 = 0.189$  м;  $R_4 = 0.0126$  м;  $K_2 = 300$  МПа;  $\mu = 0.012$ .

**Висновки:** 1. Зміна коефіцієнта вибору діаметра блока, модуля пружності канату при поперечному стисненні, діаметра цапфи (при незмінній величині коефіцієнта тертя) і кратності (при незмінній вантажопідйомності) практично не впливає на ККД поліспасти; 2. Ствердження проф. Б.С. Ковальського, ми вважаємо можливим приймати більш високі значення ККД поліспасти необхідно признати справедливим і збільшити на 1-2% у порівнянні з даними отриманими Б.С. Ковальським і на 4-5% у порівнянні з довідковими.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник по кранам : В 2т. Т.2 (Александров М. П., Гохберг М. М., Ковин А. А., и др. - Л.: Машиностроение, 1988, - 559 с.
2. Справочник по сопротивлению материалов /Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В., - Киев:Наук.думка, 1988. - 736 с.
3. Бондаренко Л. М. Вибір модулів пружності матеріалів бігових доріжок підшипникових вузлів будівельних машин /Інтенсифікація будівництва.-Київ,1994.- С.42-43.
4. Ковальський Б. С. Потери на блоках канатных полиспаатов //Вестник машиностроения.1980.№6.С. 34-37.

**УДК 53.088**

**И. В. РЫЖКОВ, канд. техн. наук, Е. А. ПОНОМАРЕВА, ассистент**

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, УЧИТЫВАЮЩИХ ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

**Постановка проблемы.** Управление любым технологическим процессом осуществляется на основе сбора, обработки и накопления измерительной информации. Поэтому основными элементами системы управления безотносительно к области

использования являются первичные преобразователи, воспринимающие и преобразующие информацию в электрический сигнал.

**Анализ публикаций.** Для первичных преобразователей инклинометра характерными являются погрешности чувствительности (изменение передаточного коэффициента) и погрешность нуля преобразователя (нулевой сигнал), характеризующего смещенный нуль (сдвиг) и шум канала [1,2,3,4]. При изменении температуры окружающей среды изменяются как передаточный коэффициент преобразователя, так и его нулевой сигнал.

В общем случае инклинометр является совокупностью трех одноосных первичных преобразователей различной физической природы, расположенных осью чувствительности координатных осей декартова трехгранника, связанного с корпусом устройства. Индивидуальные электрические параметры – передаточный коэффициент и нулевой сигнал каждого первичного преобразователя даже в пределах одной серии отличаются друг от друга. Это приводит к ошибке при вычислении искомым углов [5,6].

**Цель.** Повышения эффективности использования инклинометрических устройств предложены обобщенные математические модели инклинометров различной физической природы, учитывающие индивидуальные электрические характеристики первичных преобразователей.

**Основная часть.** Инклинометрические устройства состоят, как правило, из механической части (карданных рамок и подвесов) и первичных преобразователей. В качестве первичных датчиков, преобразующих пространственные угловые повороты корпуса инклинометра в электрический сигнал, находят применение магниточувствительные (феррозонды и магниторезистивные) преобразователи, потенциометрические, сельсины и СКВТ (синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы), резольверы, акселерометры, гироскопические датчики угловой скорости (ДУС) вращения Земли в инерциальном пространстве.

Математические модели первичных одноосных датчиков с выходным сигналом в виде напряжения, запишем следующим образом:

$$U^M = U_0^M + K^M |\vec{T}| \cos(\vec{T}, \vec{i}) \text{ для магниточувствительных датчиков;}$$

$$U^a = U_0^a + K^a |\vec{G}| \cos(\vec{G}, \vec{i}) \text{ для акселерометров;}$$

$$U^\omega = U_0^\omega + K^\omega |\vec{\Omega}| \cos(\vec{\Omega}, \vec{i}) \text{ для ДУС, измеряющих угловую скорость вращения Земли;}$$

$U^c = U_0^c + K^c |\vec{U}_c| \cos(\vec{U}_c, \vec{i})$  для резольвера или СКВТ, где обычно  $U^M, U^a, U^z, U^c, U_0^M, U_0^a, U_0^z, U_0^c$  – выходные и нулевые сигналы датчиков,  $K^M, K^a, K^z, K^c$  – их передаточные коэффициенты;  $|\vec{T}|, |\vec{G}|, |\vec{\Omega}|, |\vec{U}_c|$  – модули векторов магнитного поля Земли  $\vec{T}$ , ускорения силы тяжести  $\vec{G}$ , угловой скорости вращения Земли  $\vec{\Omega}$ , напряжения питания ротора СКВТ  $U_c$ ,  $\vec{i}$  – направленный по оси чувствительности соответствующего датчика.

Исходные уравнения, описывающие инклинометрические блоки, состоящие из трех или двух первичных одноосных преобразователей и учитывающие их индивидуальные электрические параметры, а также взаимную неортогональность осей чувствительности, запишем, пользуясь исходными ММ первичных датчиков, следующим образом:

для блока из трех магниточувствительных датчиков

$$\left. \begin{aligned} U_1^i &= U_{01}^i + \hat{E}_1^i \hat{O}_\delta \cos \hat{O}_{1\delta}^i + \hat{E}_1^i \hat{O}_y \cos \hat{O}_{1y}^i + K_1^i \hat{O}_z \cos \hat{O}_{1z}^i \\ U_2^i &= U_{02}^i + \hat{E}_2^i \hat{O}_\delta \cos \hat{O}_{2\delta}^i + \hat{E}_2^i \hat{O}_y \cos \hat{O}_{2y}^i + K_2^i \hat{O}_z \cos \hat{O}_{2z}^i \\ U_3^i &= U_{03}^i + \hat{E}_3^i \hat{O}_\delta \cos \hat{O}_{3\delta}^i + \hat{E}_3^i \hat{O}_y \cos \hat{O}_{3y}^i + K_3^i \hat{O}_z \cos \hat{O}_{3z}^i \end{aligned} \right\}; \quad (1)$$

для блока из трех ДУСов

$$\left. \begin{aligned} U_1^{\bar{a}} &= U_{01}^{\bar{a}} + \hat{E}_1^{\bar{a}} \Omega_\delta \cos \hat{O}_{1\delta}^{\bar{a}} + \hat{E}_1^{\bar{a}} \Omega_y \cos \hat{O}_{1y}^{\bar{a}} + K_1^{\bar{a}} \Omega_z \cos \hat{O}_{1z}^{\bar{a}} \\ U_2^{\bar{a}} &= U_{02}^{\bar{a}} + \hat{E}_2^{\bar{a}} \Omega_\delta \cos \hat{O}_{2\delta}^{\bar{a}} + \hat{E}_2^{\bar{a}} \Omega_y \cos \hat{O}_{2y}^{\bar{a}} + K_2^{\bar{a}} \Omega_z \cos \hat{O}_{2z}^{\bar{a}} \\ U_3^{\bar{a}} &= U_{03}^{\bar{a}} + \hat{E}_3^{\bar{a}} \Omega_\delta \cos \hat{O}_{3\delta}^{\bar{a}} + \hat{E}_3^{\bar{a}} \Omega_y \cos \hat{O}_{3y}^{\bar{a}} + K_3^{\bar{a}} \Omega_z \cos \hat{O}_{3z}^{\bar{a}} \end{aligned} \right\}; \quad (2)$$

для блока из трех акселерометров

$$\left. \begin{aligned} U_1^a &= U_{01}^a + \hat{E}_1^a G_\delta \cos \hat{O}_{1\delta}^a + \hat{E}_1^a G_y \cos \hat{O}_{1y}^a + K_1^a G_z \cos \hat{O}_{1z}^a \\ U_2^a &= U_{02}^a + \hat{E}_2^a G_\delta \cos \hat{O}_{2\delta}^a + \hat{E}_2^a G_y \cos \hat{O}_{2y}^a + K_2^a G_z \cos \hat{O}_{2z}^a \\ U_3^a &= U_{03}^a + \hat{E}_3^a G_\delta \cos \hat{O}_{3\delta}^a + \hat{E}_3^a G_y \cos \hat{O}_{3y}^a + K_3^a G_z \cos \hat{O}_{3z}^a \end{aligned} \right\}; \quad (3)$$

для СКВТ или резольверов, закрепленных на осях вращения магнитной стрелки, внутренней и наружной карданных рамок

$$\left. \begin{aligned} U_1^{ca} &= U_{01}^{ca} + \hat{E}_1^{ca} U_{px}^a \cos \hat{O}_{1\delta}^a + \hat{E}_1^{ca} U_{py}^a \cos \hat{O}_{1y}^a \\ U_2^{ca} &= U_{02}^{ca} + K_2^{ca} U_{px}^a \cos \hat{O}_{2x}^a + K_2^{ca} U_{py}^a \cos \hat{O}_{2y}^a \end{aligned} \right\}; \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} U_1^{c\zeta} &= U_{01}^{c\zeta} + \hat{E}_1^{c\zeta} U_{px}^\zeta \cos \hat{O}_{1\delta}^{\zeta} + \hat{E}_1^{c\zeta} U_{pz}^\zeta \cos \hat{O}_{1z}^{\zeta} \\ U_2^{c\zeta} &= U_{02}^{c\zeta} + K_2^{c\zeta} U_{px}^\zeta \cos \hat{O}_{2x}^{\zeta} + K_2^{c\zeta} U_{pz}^\zeta \cos \hat{O}_{2z}^{\zeta} \end{aligned} \right\}; \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} U_1^{c\hat{a}} &= U_{01}^{c\hat{a}} + \hat{E}_1^{c\hat{a}} U_{px}^{\hat{a}} \cos \hat{O}_{1\bar{o}}^{\hat{n}\hat{a}} + \hat{E}_1^{c\hat{a}} U_{py}^{\hat{a}} \cos \hat{O}_{1y}^{c\hat{a}} \\ U_2^{c\hat{a}} &= U_{02}^{c\hat{a}} + K_2^{c\hat{a}} U_{px}^{\hat{a}} \cos \hat{O}_{2x}^{c\hat{a}} + K_2^{c\hat{a}} U_{py}^{\hat{a}} \cos \hat{O}_{2y}^{c\hat{a}} \end{aligned} \right\}; \quad (6)$$

где «са», «сз», «св» – индексы параметров СКВТ, используемых в качестве датчиков азимута «са», зенитного «сз» и визирного «св» углов инклинометра.

Эти системы уравнений (1) – (6), описывающих математические модели первичных преобразователей инклинометрических устройств запишем более компактно в матричной форме:

$$U^i = U_0^i + \hat{E}^i \hat{O}^i \hat{O}; \quad (7)$$

$$U^{\bar{a}} = U_0^{\bar{a}} + \hat{E}^{\bar{a}} \hat{O}^{\bar{a}} \Omega; \quad (8)$$

$$U^{\hat{a}} = U_0^{\hat{a}} + \hat{E}^{\hat{a}} \hat{O}^{\hat{a}} G; \quad (9)$$

$$U^{\bar{n}\hat{a}} = U_0^{\bar{n}\hat{a}} + \hat{E}^{\bar{n}\hat{a}} \hat{O}^{\bar{n}\hat{a}} U_{\delta}^{\hat{a}}; \quad (10)$$

$$U^{\bar{n}\zeta} = U_0^{\bar{n}\zeta} + \hat{E}^{\bar{n}\zeta} \hat{O}^{\bar{n}\zeta} U_{\delta}^{\zeta}; \quad (11)$$

$$U^{\bar{n}\hat{a}} = U_0^{\bar{n}\hat{a}} + \hat{E}^{\bar{n}\hat{a}} \hat{O}^{\bar{n}\hat{a}} U_{\delta}^{\hat{a}}; \quad (12)$$

где обозначено:

$$\begin{aligned} U^M &= \left\| U_1^M \quad U_2^M \quad U_3^M \right\|', & U^z &= \left\| U_1^z \quad U_2^z \quad U_3^z \right\|', & U^a &= \left\| U_1^a \quad U_2^a \quad U_3^a \right\|', \\ U^{ca} &= \left\| U_1^{ca} \quad U_2^{ca} \right\|', & U^{c3} &= \left\| U_1^{c3} \quad U_2^{c3} \right\|', & U^{c6} &= \left\| U_1^{c6} \quad U_2^{c6} \right\|', & U_0^M &= \left\| U_{01}^M \quad U_{02}^M \quad U_{03}^M \right\|', \\ U_0^z &= \left\| U_{01}^z \quad U_{02}^z \quad U_{03}^z \right\|', & U_0^a &= \left\| U_{01}^a \quad U_{02}^a \quad U_{03}^a \right\|', & U_0^{ca} &= \left\| U_{01}^{ca} \quad U_{02}^{ca} \right\|', \\ U_0^{c3} &= \left\| U_{01}^{c3} \quad U_{02}^{c3} \right\|', & U_0^{c6} &= \left\| U_{01}^{c6} \quad U_{02}^{c6} \right\|', & T &= \left\| T_x \quad T_y \quad T_z \right\|', & \Omega &= \left\| \Omega_x \quad \Omega_y \quad \Omega_z \right\|', \\ G &= \left\| G_x \quad G_y \quad G_z \right\|', & U_p^a &= \left\| U_{px}^a \quad U_{py}^a \right\|', & U_p^3 &= \left\| U_{pz}^3 \quad U_{pz}^3 \right\|', & U_p^6 &= \left\| U_{px}^6 \quad U_{py}^6 \right\|' \end{aligned}$$

матрицы-строки выходных и нулевых сигналов первичных электрических преобразователей, применяемых в инклинометрическом устройстве, проекции на оси чувствительности первичных преобразователей векторов магнитного поля Земли  $\vec{T}$ , угловой скорости вращения Земли  $\Omega$ , ускорения силы тяжести  $\vec{G}$ , азимутального  $\vec{U}^{ca}$ , зенитного  $\vec{U}^{c3}$ , визирного  $\vec{U}^{c6}$  синусно-косинусного вращающегося трансформатора, «'» – символ транспонирования;

диагональные матрицы передаточных коэффициентов первичных преобразователей:

$$K^M = \begin{vmatrix} K_1^M & 0 & 0 \\ 0 & K_2^M & 0 \\ 0 & 0 & K_3^M \end{vmatrix}, K^c = \begin{vmatrix} K_1^c & 0 & 0 \\ 0 & K_2^c & 0 \\ 0 & 0 & K_3^c \end{vmatrix}, K^a = \begin{vmatrix} K_1^a & 0 & 0 \\ 0 & K_2^a & 0 \\ 0 & 0 & K_3^a \end{vmatrix},$$

$$K^{ca} = \begin{vmatrix} K_1^{ca} & 0 \\ 0 & K_2^{ca} \end{vmatrix}, K^{c3} = \begin{vmatrix} K_1^{c3} & 0 \\ 0 & K_2^{c3} \end{vmatrix}, K^{c6} = \begin{vmatrix} K_1^{c6} & 0 \\ 0 & K_2^{c6} \end{vmatrix};$$

матрицы направляющих косинусов, учитывающих неортогональность осей чувствительности первичных преобразователей исходной системы координат:

$$\Phi^M = \begin{vmatrix} \cos \Phi_{1x}^M & \cos \Phi_{1y}^M & \cos \Phi_{1z}^M \\ \cos \Phi_{2x}^M & \cos \Phi_{2y}^M & \cos \Phi_{2z}^M \\ \cos \Phi_{3x}^M & \cos \Phi_{3y}^M & \cos \Phi_{3z}^M \end{vmatrix}, \Phi^c = \begin{vmatrix} \cos \Phi_{1x}^c & \cos \Phi_{1y}^c & \cos \Phi_{1z}^c \\ \cos \Phi_{2x}^c & \cos \Phi_{2y}^c & \cos \Phi_{2z}^c \\ \cos \Phi_{3x}^c & \cos \Phi_{3y}^c & \cos \Phi_{3z}^c \end{vmatrix},$$

$$\Phi^a = \begin{vmatrix} \cos \Phi_{1x}^a & \cos \Phi_{1y}^a & \cos \Phi_{1z}^a \\ \cos \Phi_{2x}^a & \cos \Phi_{2y}^a & \cos \Phi_{2z}^a \\ \cos \Phi_{3x}^a & \cos \Phi_{3y}^a & \cos \Phi_{3z}^a \end{vmatrix}, \Phi^{ca} = \begin{vmatrix} \cos \Phi_{1x}^{ca} & \cos \Phi_{1y}^{ca} \\ \cos \Phi_{2x}^{ca} & \cos \Phi_{2y}^{ca} \end{vmatrix},$$

$$\Phi^{c3} = \begin{vmatrix} \cos \Phi_{1x}^{c3} & \cos \Phi_{1z}^{c3} \\ \cos \Phi_{2x}^{c3} & \cos \Phi_{2z}^{c3} \end{vmatrix}, \Phi^{c6} = \begin{vmatrix} \cos \Phi_{1x}^{c6} & \cos \Phi_{1y}^{c6} \\ \cos \Phi_{2x}^{c6} & \cos \Phi_{2y}^{c6} \end{vmatrix}.$$

Для двух или трехосных первичных преобразователей, выполненных на одном кристалле, например, магниторезистивных преобразователей МПЗ или микромеханических акселерометров перекосы их осей чувствительности, образующий двух или трехгранник осей, практически отсутствуют. В этом случае квадратная матрица  $\Phi$  направляющих косинусов является единичной  $\Phi=E$ , поэтому ММ таких первичных преобразователей запишутся следующим образом:

$$U^M = U_0^M + K^M T, \quad (13)$$

$$U^a = U_0^a + K^a G. \quad (14)$$

Если не детализировать природу первичных преобразователей, составляющих инклинометрическое устройство, то обобщенная математическая модель устройства имеет одинаковый вид для любого преобразователя:

$$U = U_0 + K \cdot N; \quad (15)$$

$$U = U_0 + K\Phi, \quad (16)$$

где матрица-столбец  $N$  является или матрицей  $T$ , или  $G$ ,  $\Omega$ , ... в зависимости от типа используемого преобразователя. Соответственно  $U$ ,  $U_0$  – матрицы столбцы выходных и нулевых сигналов преобразователей, а  $K = \left\| K_i \delta_j^i \right\|_1^3$ , где

$\delta_j^i = \begin{cases} 1, (i = j) \\ 0 (i \neq j) \end{cases}$   $i, j = 1, 2, \dots$  символ Кронекера, является диагональной матрицей

передаточных коэффициентов первичных преобразователей различной физической природы, матрица  $\Phi$  является матрицей направляющих косинусов.

Выражение (16) с использованием однородных координат запишем в более компактном виде

$$U = K^* \cdot N^T, \quad (17)$$

где  $U = \left\| U_1 \ U_2 \ U_3 \ 1 \right\|'$ ,  $N^* = \left\| N_x \ N_y \ N_z \ 1 \right\|'$ ,

$$K^* = \begin{vmatrix} K_1 \cos \Phi_{1x} & K_1 \cos \Phi_{1y} & K_1 \cos \Phi_{1z} & U_{01} \\ K_2 \cos \Phi_{2x} & K_2 \cos \Phi_{2y} & K_2 \cos \Phi_{2z} & U_{02} \\ K_3 \cos \Phi_{3x} & K_3 \cos \Phi_{3y} & K_3 \cos \Phi_{3z} & U_{03} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Таким образом, полученные матричные уравнения (15), (16), (17) являются обобщенной математической моделью, описывающей инклинометрическое устройство, созданное на основе первичных датчиков различной физической природы, учитывающие неидентичность их электрических параметров и отклонение от взаимной ортогональности осей чувствительности преобразователей.

Решим уравнения (16), (17) относительно искомым матриц  $N$ ,  $N^*$ , умножая правые и левые части уравнений на обратные матрицы  $K^{-1}$ ,  $\Phi^{-1}$ ,  $K^{*-1}$ :

$$N = \hat{O}^{-1} \hat{E}^{-1} (U - U_0) \quad (18)$$

$$N^* = K^{*-1} U. \quad (19)$$

Отсюда следует, что для определения искомым элементов матриц  $N$ ,  $N^*$  требуется вычислить обратные матрицы  $\Phi^{-1}$  направляющих косинусов,  $K^{-1}$  передаточных коэффициентов и нулевых сигналов  $U_0$  первичных преобразователей, составляющих инклинометрическое устройство. Обратные матрицы  $K^{-1}$ ,  $\Phi^{-1}$ ,  $K^{*-1}$  размерности  $3 \times 3$  и  $4 \times 4$  назовем корректирующими матрицами, элементы которых являются поправками при вычислении азимута, зенитного и визирного углов.

Обратимся к вычислению обратных матриц. Матрица передаточных коэффициентов датчиков  $K$  является диагональной, а потому обратная матрица  $K^{-1}$  запишется так  $K^{-1} = \text{diag}[(K_{ij})^{-1}]$  или в развернутом виде:

$$K^{-1} = \begin{vmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} \end{vmatrix}.$$

Матрица  $K^{*-1}$  для уравнений (19) в блочной записи имеет вид

$$K^{*-1} = \left\| \begin{array}{c|c} K^{-1} & -K^{-1}U_0 \\ \hline 0 & 1 \end{array} \right\|, \text{ или } K^{*-1} = \begin{vmatrix} \frac{1}{K_1} & 0 & 0 & -\frac{U_{01}}{K_1} \\ 0 & \frac{1}{K_2} & 0 & -\frac{U_{02}}{K_2} \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_3} & -\frac{U_{03}}{K_3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Матрица  $\Phi$  направляющих косинусов, считая, что перекосы осей чувствительности первичных преобразователей, обозначенные через  $\chi$  малы, т.е.  $\sin \chi = \chi$ ,  $\cos \chi = 1$ , примет вид:

$$\Phi = \begin{vmatrix} 1 & \chi_{13} & -\chi_{12} \\ -\chi_{23} & 1 & \chi_{21} \\ \chi_{32} & -\chi_{31} & 1 \end{vmatrix},$$

а обратная ей, считая, что матрица  $\Phi$  является ортогональной, найдется как транспонированная ей:

$$\Phi^{-1} = \begin{vmatrix} 1 & -\chi_{23} & \chi_{32} \\ \chi_{13} & 1 & -\chi_{31} \\ -\chi_{12} & \chi_{21} & 1 \end{vmatrix},$$

где обозначено  $\chi_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ),  $i$  – номер первичного преобразователя,  $j$  – поворот вокруг первой ( $x$ ), второй ( $y$ ) или третьей ( $z$ )оси.

Соответственно произведение обратных матриц  $\Phi^{-1} \cdot K^{-1}$  равно:

$$\Phi^{-1} K^{-1} = \begin{vmatrix} \frac{1}{K_1} & -\frac{\chi_{23}}{K_2} & \frac{\chi_{32}}{K_3} \\ \frac{\chi_{13}}{K_1} & \frac{1}{K_2} & -\frac{\chi_{31}}{K_3} \\ -\frac{\chi_{12}}{K_1} & \frac{\chi_{21}}{K_2} & \frac{1}{K_3} \end{vmatrix}.$$

Наконец, обобщенная ММ инклинометрического устройства на основе первичных датчиков различной физической природ, записанная в скалярном виде такова:

$$\left. \begin{aligned} N_x &= \frac{U_1 - U_{01}}{K_1} - \chi_{23} \frac{U_2 - U_{02}}{K_2} + \chi_{32} \frac{U_3 - U_{03}}{K_3}, \\ N_y &= \frac{U_2 - U_{02}}{K_2} - \chi_{13} \frac{U_1 - U_{01}}{K_1} - \chi_{31} \frac{U_3 - U_{03}}{K_3}, \\ N_z &= \frac{U_3 - U_{03}}{K_3} - \chi_{12} \frac{U_1 - U_{01}}{K_1} + \chi_{21} \frac{U_2 - U_{02}}{K_2}. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

**Выводы.** На основании проведенных исследований были получены уравнения, позволяющие при вычислении магнитного и географического азимута, зенитного и визирного углов, модуля векторов  $T$ ,  $\Omega$ ,  $G$ , магнитного наклона и широты места исследования учесть индивидуальные электрические параметры первичных преобразователей и отклонения от взаимной ортогональности их осей чувствительности, если они предварительно экспериментально определены, что приводит к повышению эффективности использования инклинометрических устройств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Блюменцев А.М. Метрологическое обеспечение геофизических исследований скважин / А.М. Блюменцев, Г.А. Калистратов, В.П. Цирульников // Законодательная и прикладная метрология. 1993. – № 3. – С. 20 – 22.
2. Исаченко В.Х. Инклинометрия скважин. – М.:Недра, 1987. – 216с.
3. Ковшов Г.Н. Инклинометры. (Основы теории и проектирования) / Ковшов Г.Н. Алимбеков Р.И., Жибер А.В. – Уфа: Гилем, 1998. – 380 с.
4. Ковшов Г.Н. Приборы контроля пространственной ориентации скважин при бурении / Г.Н. Ковшов, Г.Ю. Коловертнов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. – 228 с.
5. Миловзоров Г.В. Моделирование и исследование инструментальных погрешностей трехкомпонентного акселерометрического преобразователя наклона / Г.В. Миловзоров // Измерительная техника. – 1996. - № 10. – С. 22-26.
6. Рыжков И.В. Погрешности магнитометрических датчиков ориентации и методы их снижения // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2004. - № 6. - С. 37- 45.