УДК 629.7

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕДУРЫ КАЛИБРОВКИ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

М.А. Щипицына

В работе [1] выполнено математическое описание для процедуры калибровки инерциальной навигационной системы (ИНС) на движущемся объекте относительно вращающейся Земли. Следуя методу этой работы и использованным в ней обозначениям, но принимая основное допущение о том, что ИНС-А и ИНС-В функционально можно разделить на три подсистемы, каждая из которых представляет собой одноосную стабилизированную в инерциальном пространстве площадку и установленные на этой площадке два взаимно ортогональных акселерометра, расположенных в плоскости, перпендикулярной оси площадки, найдем решение задачи для одной такой подсистемы, т.е. частной задачи. Изменяя ориентацию оси площадки путем циклической перестановки, получим решение общей задачи для платформенных ИНС-А, ИНС-В.

1. Постановка задач

Платформенные эталонная ИНС-А и калибруемая ИНС-В установлены на объекте так, что начала связанных с ними системы координат (СК) совпадают с заданными точками O_A, $O_в$ объекта (рис. 1).

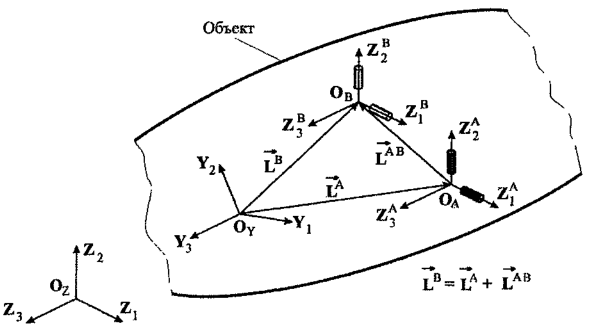


Рис. 1. Расположение на объекте ИНС-А и ИНС-В

Модели погрешностей площадки и акселерометров ИНС-В имеют вид:

$$\Delta\dot{Q} = P_O^Q + P_1^Q a_1^B + P_2^Q a_2^B; \qquad (1)$$

$$\Delta A_i = P_{iO}^A + P_{i1}^A a_1^B + P_{i2}^A a_2^B, \qquad (2)$$

где a_i^B – проекции вектора кажущегося ускорения в СК Z^B связанной с площадкой ИНС-В; P_j^Q, P_{ij}^A, $i = 1,\ 2;\ j = \overline{0,\ 2}$ – подлежащие определению калибровочные коэффициенты (КК), являющиеся постоянными.

Движение объекта в плоскости $O_Z Z_1 Z_2$, связанной с Землей СК, задано функциями:

$$q(t) = \alpha^Q \sin\omega t,\ t \in [t_0, T]; \qquad (3)$$

$$W_i(t) = \alpha_{i2}t^2 + \alpha_{i1}t,\ \ i = 1,\ 2;\ \ t \in [t_0, T], \qquad (4)$$

где q – угол поворота вокруг оси Z_3, перпендикулярной плоскости движения, W_t – проекции вектора ускорения точки O_Y – объекта на оси СК Z.

Задача заключается в разработке:

- имитационной модели (ИМ) для процедуры определения КК площадки и акселерометров ИНС-В и составлении алгоритма функционирования этой ИМ;
- алгоритма определения КК для ИНС-В на основе заданной априорной информации о величине гравитационного ускорения, измерений: сигналов датчиков углов ИНС-А $Q^A \equiv q$, ИНС-В Q^B, сигналов акселерометров ИНС-А $A_i^A \equiv a_i$, сигналов акселерометров ИНС-В A_i^B.

Поставленные задачи будем решать при допущениях:

- не учитываем вращение Земли;
- гравитационное поле в объеме объекта является одинаковым во всех его точках.

2. Математическое описание для решения поставленных задач

Модель погрешности площадки (1) представляет собой дрейф (уход) площадки от идеальной стабилизации в горизонтальной плоскости, определяемой площадкой ИНС-А, а поэтому на основе ΔQ необходимо определить $\Delta\dot{Q}$. А так как количество неизвестных КК площадки ИНС-В равно трем, то нужно иметь величины $\Delta\dot{Q}$, определенные для трех разных моментов времени, и для определения КК площадки следует использовать систему уравнений

$$\begin{cases} P_0^Q + P_1^Q a_{11}^B + P_2^Q a_{21}^B = \Delta\dot{Q}_1; \\ P_0^Q + P_1^Q a_{12}^B + P_2^Q a_{22}^B = \Delta\dot{Q}_2; \\ P_0^Q + P_1^Q a_{13}^B + P_2^Q a_{23}^B = \Delta\dot{Q}_3. \end{cases} \qquad (5)$$

В рассматриваемой задаче принято $\Delta Q = (\sin Q^B - \sin q)/\cos q$, где $q = Q^A$.

Найдем решение системы (19) в виде:

$$P_j^Q = D_j^Q / D^Q,\ j = \overline{0, 2}, \qquad (6)$$

где D^Q – определитель системы; D_j^Q – определитель, получаемый из D^Q заменой элементов j-го столбца свободными членами системы.

Для решения задачи по определению КК акселерометров ИНС-В в качестве исходной информации используем известные векторные равенства, выражающие зависимости векторов ускорений точек O_A, O_B твердого тела от ускорения точки O_Y этого тела (в нашем случае – объекта):

$$\overrightarrow{\tilde{W}^A} = \vec{W} + \vec{\varepsilon} \times \overrightarrow{L^A} + \vec{\Omega} \times \left(\vec{\Omega} \times \overrightarrow{L^A}\right), \qquad (7)$$

$$\overrightarrow{\tilde{W}^B} = \vec{W} + \vec{\varepsilon} \times \overrightarrow{L^B} + \vec{\Omega} \times \left(\vec{\Omega} \times \overrightarrow{L^B}\right), \qquad (8)$$

где $\vec{W}$ – вектор ускорения точки O_Y объекта; $\vec{\Omega}$, $\vec{\varepsilon}$ – векторы угловой скорости и углового ускорения объекта соответственно; $\overrightarrow{L^A} = \overrightarrow{O_Y O_A}$, $\overrightarrow{L^B} = \overrightarrow{O_Y O_B}$ – радиус-векторы положения точек O_A, O_B относительно точки O_Y (рис. 1).

$$\overrightarrow{\tilde{W}^A} = \overrightarrow{A^A} + \vec{g}; \qquad (9)$$

$$\overrightarrow{\tilde{W}^B} = \overrightarrow{A^B} + \vec{g}, \qquad (10)$$

где, согласно допущению, $\vec{g}$ – вектор гравитационного ускорения любой точки объекта; $\overrightarrow{A^A}$, $\overrightarrow{A^B}$ – векторы кажущихся ускорений точек O_A, O_B объекта.

Обозначим символами $\overrightarrow{W^A}$, $\overrightarrow{W^B}$ вектор $\vec{W}$, входящий соответственно в первое и второе полученные равенства, фиксируя этими обозначениями факт «определения» этого вектора на основе информации соответственно с ИНС-А, ИНС-В. Критерием неидеальности является вектор

$$\Delta\vec{W} = \overrightarrow{W^B} - \overrightarrow{W^A}. \qquad (11)$$

С учетом (9), (10) перепишем (7), (8):

$$\overrightarrow{W^A} = \overrightarrow{A^A} + \vec{g} - \vec{\varepsilon} \times \overrightarrow{L^A} - \vec{\Omega} \times \left(\vec{\Omega} \times \overrightarrow{L^A}\right), \qquad (12)$$

$$\overrightarrow{W^B} = \overrightarrow{A^B} + \vec{g} - \vec{\varepsilon} \times \overrightarrow{L^B} - \vec{\Omega} \times \left(\vec{\Omega} \times \overrightarrow{L^B}\right). \qquad (13)$$

После записи векторных равенств (12), (13) в скалярной форме, получим (i= 1, 2):

$$\Delta W_i = \sum_{j=1}^{2} H_{ij}^{AB} A_j^B - a_i - W_i^L = W_i^B - W_i^A, \qquad (14)$$

где

$$W_i^L = L_1^{AB}(H_{i2}^A \varepsilon - H_{i1}^A \Omega^2) - L_2^{AB}(H_{i2}^A \Omega^2 + H_{i1}^A \varepsilon), \qquad (15)$$

L_i^A, L_i^B, g_i – заданные величины, Ω, ε – вычисляемые величины на основе измерений угла $Q^A = q$ датчиком угла ИНС-А путем дифференцирования по времени:

$$\Omega = \dot{q}; \qquad (16)$$

$$\varepsilon = \ddot{q}. \qquad (17)$$

На основе сравнения этих величин можно определить выражения для ΔA_j^B, после чего можно определить КК акселерометров ИНС-В.

Сигналы A_j^B акселерометров ИНС-В имеют погрешности ΔA_j^B, что можно записать в виде:

$$A_j^B = a_j^B + \Delta A_j^B, \qquad (18)$$

где a_j^B – точные значения проекции вектора кажущегося ускорения точки O_B объекта в СК Z^B, входящие в выражения моделей (1), (2).

Тогда из (14) получим:

$$\sum_{j=1}^{2} H_{ij}^{AB} \Delta A_j^B = $$

$$= a_i - \sum_{j=1}^{2} H_{ij}^{AB} a_j^B + \Delta W_i + W_i^L, \quad i = 1,\ 2. \qquad (19)$$

Уравнения (19) запишем в виде:

$$\begin{cases} H_{11}^{AB} \Delta A_1^B + H_{12}^{AB} \Delta A_2^B = F_1; \\ H_{21}^{AB} \Delta A_1^B + H_{22}^{AB} \Delta A_2^B = F_2, \end{cases}$$

где $F_i = \Delta Q_i \cos q_i$.

Решив эту систему, найдем:

$$\begin{cases} \Delta A_1^B = H_{22}^{AB} F_1 - H_{12}^{AB} F_2; \\ \Delta A_2^B = H_{11}^{AB} F_2 - H_{21}^{AB} F_1, \end{cases} \qquad (20)$$

где

$$F_i = a_i + \Delta W_i + W_i^L - (H_{i1}^{AB} a_1^B + H_{i2}^{AB} a_2^B), \ i = 1, 2. \ (21)$$

Имеет место векторное равенство:

$$\overrightarrow{a^B} = \overrightarrow{a^A} - \vec{\varepsilon} \times \overrightarrow{L^{AB}} - \vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \overrightarrow{L^{AB}}), \qquad (22)$$

которое в скалярной форме есть:

$$a_i^B = \sum_{j=1}^{2} H_{ji}^{AB} a_j + W_i^L, \quad i = 1,\ 2. \qquad (23)$$

Таким образом, правые части уравнений (2) известны.

Найдем КК акселерометров ИНС-В, используя переобозначение:

$$\Delta A_i \equiv \Delta A_i^B, \quad i = 1,\ 2. \qquad (24)$$

Используем уравнения (2), где величины ΔA_i определены для трех разных моментов времени t_k, $k = \overline{1,\ 3}$.

$$\begin{cases} P_{i0}^A + P_{i1}^A a_{11}^B + P_{i2}^A a_{21}^B = \Delta A_{i1}; \\ P_{i0}^A + P_{i1}^A a_{12}^B + P_{i2}^A a_{22}^B = \Delta A_{i2}; \\ P_{i0}^A + P_{i1}^A a_{13}^B + P_{i2}^A a_{23}^B = \Delta A_{i3}, \quad i = 1,\ 2. \end{cases} \qquad (25)$$

Найдем решение систем (25) в виде:

$$P_{ij}^A = D_{ij}^A / D^A, \quad i = 1,\ 2,\ j = \overline{0,\ 2}. \qquad (26)$$

где D^A – определитель системы; D_j^A – определитель, получаемый из D^A заменой элементов j-го столбца свободными членами системы.

3. К решению задачи разработки имитационной модели процедуры определения КК ИНС-В

Для решения задачи разработки ИМ определения КК необходимо задать:

- модели (имитаторы) измеренных величин: сигналов датчиков углов и сигналов акселерометров ИНС-А, ИНС-В;
- модели (имитаторы) определяемых КК площадки и акселерометров ИНС-В;
- критерии точности определения КК.

Модели сигналов датчика угла площадки и акселерометров ИНС-А зададим в виде:

$$\tilde{Q}^A \equiv q = \alpha^Q \sin \omega t; \tag{27}$$

$$a_i = \alpha_{i2} t^2 + \alpha_{i1} t - g_i, \quad i = 1,\ 2. \tag{28}$$

Для задания сигналов датчика угла площадки и акселерометров ИНС-В необходимо вначале задать соответствующие модели погрешностей дрейфа площадки

$$\Delta\dot{\tilde{Q}}^B = \tilde{P}_0^Q + \tilde{P}_1^Q a_1^B + \tilde{P}_2^Q a_2^B, \tag{29}$$

где $\tilde{P}_j^Q$, $j = \overline{0,\ 2}$ – модели (имитаторы) КК площадки ИНС-В, и акселерометров:

$$\Delta\tilde{A}_i \equiv \Delta\tilde{A}_i^B = \tilde{P}_{i0}^A + \tilde{P}_{i1}^A a_1 + \tilde{P}_{i2}^A a_2, \quad i = 1,\ 2, \tag{30}$$

где $\tilde{P}_{ij}^A$, $i = 1,\ 2$, $j = \overline{0,\ 2}$ – модели (имитаторы) КК акселерометров ИНС-В.

Модель погрешности для угла площадки ИНС-В имеет вид:

$$\Delta\tilde{Q}^B = \Delta\tilde{Q}^B(t_0) + \int_{t_0}^{t} \Delta\dot{\tilde{Q}}^B(t)dt, \tag{31}$$

а значит, модель сигнала датчика угла площадки ИНС-В:

$$Q^B = q + \Delta\tilde{Q}^B. \tag{32}$$

Имея (30), можно определить модели сигналов акселерометров ИНС-В

$$A_i^B = a_i^B + \Delta\tilde{A}_i, \quad i = \overline{1,\ 2}. \tag{33}$$

В качестве критериев точности определения КК введем величины относительных погрешностей КК:

$$S_J^Q = \left|P_J^Q - \tilde{P}_J^Q\right| / \tilde{P}_J^Q, \quad j = \overline{0,\ 2}; \tag{34}$$

$$S_{ij}^A = \left|P_{ij}^A - \tilde{P}_{ij}^A\right| / \tilde{P}_{ij}^A, \quad i = 1,\ 2,\ j = \overline{0,\ 2}, \tag{35}$$

где в качестве эталонных значений выступают заданные модели (имитаторы) КК: $\tilde{P}_J^Q$, $\tilde{P}_{ij}^A$.

Введем величины вида:

$$S^Q = \frac{1}{3}\sum_{j=0}^{2} S_J^Q; \tag{36}$$

$$S^A = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=0}^{2} S_{ij}^A, \tag{37}$$

представляющие собой средние арифметические величины относительных погрешностей всех КК площадки (S^Q) и относительных погрешностей всех КК акселерометров (S^A) и принимаемые в качестве обобщенных критериев точности алгоритма функционирования имитационной модели (ИМ) процедуры калибровки.

4. Решение задачи разработки алгоритма функционирования ИМ процедуры определения КК

Предполагаем, что:

- процедура калибровки ИНС-В начинается сразу после окончания процедуры выставки ИНС-В на основе информации с ИНС-А;
- в первую очередь осуществляется калибровка акселерометров ИНС-В, а затем – калибровка площадки ИНС-В;
- калибровка акселерометров осуществляется за малое время. В этом случае можно допустить, что в течение всего интервала времени калибровки акселерометров ориентация площадки ИНС-В совпадает с ориентацией площадки ИНС-А, а значит, в этом случае $\Delta Q = 0$.

Определим значения исходных параметров.

Значения моделей КК площадки ИНС-В зададим такими, чтобы выполнялись условия:

$$\left|\tilde{P}_0^Q + \tilde{P}_1^Q g + \tilde{P}_2^Q g\right| \le \Delta\dot{Q}_*, \tag{38}$$

где $\Delta\dot{Q}_*$ – заданная модельная величина дрейфа (ухода) площадки ИНС В. Из (38):

$$\begin{cases} \tilde{P}_0^Q \cong 1/3\,\Delta\dot{Q}_*, \ (\text{с}^{-1}); \\ \tilde{P}_1^Q \cong 1/3 \cdot \Delta\dot{Q}_*/g, \ (\text{с/м}); \\ \tilde{P}_2^Q \cong 1/3 \cdot \Delta\dot{Q}_*/g, \ (\text{с/м}). \end{cases} \tag{39}$$

Значения моделей КК акселерометров ИНС-В зададим из условий

$$\left|\tilde{P}_{i0}^A + \tilde{P}_{i1}^A g + \tilde{P}_{i2}^A g\right| \le \Delta A_*, \tag{40}$$

где ΔA_* – заданная модельная величина абсолютной погрешности измерения ускорения. Из (40)

$$\begin{cases} \tilde{P}_{i0}^A \cong 1/3\,\Delta A_*, \ (\text{м/с}^2); \\ \tilde{P}_{i1}^A \cong 1/3 \cdot \Delta A_*/g, \ (\text{безразмерная}); \\ \tilde{P}_{i2}^A \cong 1/3 \cdot \Delta A_*/g, \ (\text{безразмерная}). \end{cases} \tag{41}$$

В качестве исходных параметров о проекциях вектора кажущегося ускорения целесообразно иметь средние значения соответствующих проекций на интервалах времени $[0;\ t_2]$, $[0;\ t_3]$, т.е. величины вида

$$a_{ik}^c = \frac{1}{t_k}\int_0^{t_k} a_i(t)dt, \quad i = 1, 2, \ k = 2, 3. \tag{42}$$

Подставив (28) в (42), получим:

$$a_{ik}^c = \frac{1}{t_k}\int_0^{t_k} (\alpha_{i2} t^2 + \alpha_{i1} t - g_i)dt,$$

или

$$a_{ik}^c = 1/t_k \left(1/3\,\alpha_{i2} t_k^3 + 1/2\,\alpha_{i1} t_k^2 - g_i t_k\right),$$

или

$$a_{ik}^c = 1/3\,\alpha_{i2} t_k^2 + 1/2\,\alpha_{i1} t_k - g_i, \quad i = 1, 2, \ k = 2, 3. \tag{43}$$

Полагая $k = 2,\ 3$, запишем (43):

$$\begin{cases} \left(1/3\, t_2^2\right)\alpha_{i2} + \left(1/2\, t_2\right)\alpha_{i1} = a_{i2}^c + g_i; \\ \left(1/3\, t_3^2\right)\alpha_{i2} + \left(1/2\, t_3\right)\alpha_{i1} = a_{i3}^c + g_i. \end{cases} \tag{44}$$

Решая систему (44) относительно α_{i1}, α_{i2}, получаем

$$\alpha_{ij} = D_{ij}^{ca} / D_{00}^{ca}, \quad (45)$$

где обозначено:

$$D_{00}^{ca} = -1/6(t_3 - t_2)t_2 t_3; \quad (46)$$

$$D_{i1}^{ca} = 1/2 t_2^2 \left(a_{i3}^c + g_i\right) - 1/2 t_3^2 \left(a_{i2}^c + g_i\right); \quad (47)$$

$$D_{i2}^{ca} = 1/2 t_3 \left(a_{i2}^c + g_i\right) - 1/2 t_2 \left(a_{i3}^c + g_i\right). \quad (48)$$

Если ввести коэффициенты кратности g, то

$$a_{ik}^c = K_{ik}^{ca} g, \; i = 1, 2, \; k = 2, 3. \quad (49)$$

Задавая K_{ik}^{ca}, вычисляем a_{ik}^c по формулам (49), затем вычисляем D_{00}^{ca}, D_{ij}^{ca} по формулам (46)–(48) и находим коэффициенты α_{ij}, необходимые для получения модели сигналов акселерометров ИНС-А.

Алгоритм функционирования ИМ процедуры определения КК представляет собой последовательность действий:

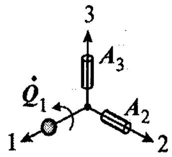
1. Задать: g – модуль $\vec{g}$ (м/с^2); $t_0 = 0$ – начальный момент времени (с); t_1, t_2, t_3 – первый, второй, третий моменты времени (с); T – конечный момент времени; N_B, N_L – количество точек решения, вывода; α^Q – амплитуда угловых колебаний (рад); ω – частота угловых колебаний (с$^{-1}$); K_{12}^{ca}, K_{13}^{ca}, K_{22}^{ca}, K_{23}^{ca} (–); L_1^A, L_2^A, L_1^B, L_2^B (м); $\tilde{P}_0^Q$, (с$^{-1}$); $\tilde{P}_1^Q$, $\tilde{P}_2^Q$ (м/с); $\tilde{P}_{10}^A$, $\tilde{P}_{20}^A$, (м/с^2); $\tilde{P}_{11}^A$, $\tilde{P}_{21}^A$, $\tilde{P}_{12}^A$, $\tilde{P}_{22}^A$ (–).
2. $\Delta t = (T - t_0)/N_B$; a_{ik}^c по (49); D_{00}^{ca}, D_{i1}^{ca}, D_{i2}^{ca} по (46)–(48); α_{ij} по (45); $L_i^{AB} = L_i^B - L_i^A$, $i = 1, 2$; $t = t_0$.
3. $\Delta\tilde{Q}^B = 0$, $\Delta Q = 0$.
4. $t_p = t + \Delta t$, $t_{pp} = t + 2\Delta t$.
5. $q = \alpha^Q \sin\omega t$, $q_p = \alpha^Q \sin\omega t_p$, $q_{pp} = \alpha^Q \sin\omega t_{pp}$ по (27); a_i по (28).
6. $\Omega = (q_p - q)/\Delta t$; $\varepsilon = (q_{pp} - 2q_p + q)/(\Delta t)^2$ (численное дифференцирование (ЧД)), $H_{11}^A = \cos q$, $H_{12}^A = -\sin q$, $H_{21}^A = \sin q$, $H^A{}_{22} = \cos q$, $H_{11}^{AB} = \cos(\Delta Q)$, $H_{12}^{AB} = -\sin(\Delta Q)$, $H_{21}^{AB} = \sin(\Delta Q)$, $H_{22}^{AB} = \cos(\Delta Q)$.
7. $H_{ij}^B = \sum_{m=1}^{2} H_{mi}^{AB} H_{mj}^A$, $i, j = 1, 2$; W_i^L по (15).
8. a_i^B по (23).
9. $\Delta\tilde{\dot{Q}}^B$, $\Delta\tilde{A}_i$ по (29), (30).
10. $\Delta\tilde{Q}^B = \Delta\tilde{Q}^B + \Delta\tilde{\dot{Q}}^B \Delta t$ (ЧД).
11. $Q^B = q + \Delta\tilde{Q}^B$; $A_i^B = a_i^B + \Delta\tilde{A}_i$, $i = 1, 2$ по (32), (33).
12. $\Delta Q = (\sin Q^B - \sin q)/\cos q$; W_i^A, W_i^B, ΔW_i по (14).
13. $\Delta W_i = W_i^B - W_i^A$, $i = 1, 2$; F_i по (21).
14. ΔA_i по (20).
15. $t = t + \Delta t$, $t_p = t + \Delta t$, $t_{pp} = t + 2\Delta t$.
16. $q = \alpha^Q \sin\omega t$, $q_p = \alpha^Q \sin\omega t_p$, $q_{pp} = \alpha^Q \sin\omega t_{pp}$ по (27).
17. $\Omega = (q_p - q)/\Delta t$; $\varepsilon = (q_{pp} - 2q_p + q)/(\Delta t)^2$; $H_{11}^A = \cos q$, $H_{12}^A = -\sin q$, $H_{21}^A = \sin q$, $H_{22}^A = \cos q$; $H_{11}^{AB} = \cos(\Delta Q)$, $H_{12}^{AB} = -\sin(\Delta Q)$, $H_{21}^{AB} = \sin(\Delta Q)$, $H_{22}^{AB} = \cos(\Delta Q)$.
18. $H_{ij}^B = \sum_{m=1}^{2} H_{mi}^{AB} H_{mj}^A$, $i, j = 1, 2$; W_i^L, a_i по (15), (28).
19. a_i^B по (23).
20. $\Delta\tilde{\dot{Q}}^B$ по (29).
21. $\Delta\tilde{Q}^B = \Delta\tilde{Q}^B + \Delta\tilde{\dot{Q}}^B \Delta t$ по п. 10.
22. $Q^B = q + \Delta\tilde{Q}^B$ по п. 11.
23. $\Delta Q_p = (\sin Q^B - \sin q)/\cos q$.
24. $\Delta\dot{Q} = (\Delta Q_p - \Delta Q)/\Delta t$ (ЧД).
25. Если $(t > t_1 - 0{,}5\Delta t)$ и $(t < t_1 + 0{,}5\Delta t)$, то $\Delta\dot{Q}_1 = \Delta\dot{Q}$; $\Delta A_{i1} = \Delta A_i$; $a_{i1}^B = a_i^B$, $i = 1, 2$.
26. Если $(t > t_2 - 0{,}5\Delta t)$ и $(t < t_2 + 0{,}5\Delta t)$, то $\Delta\dot{Q}_2 = \Delta\dot{Q}$; $\Delta A_{i2} = \Delta A_i$; $a_{i2}^B = a_i^B$, $i = 1, 2$.
27. Если $(t > t_3 - 0{,}5\Delta t)$ и $(t < t_3 + 0{,}5\Delta t)$, то $\Delta\dot{Q}_3 = \Delta\dot{Q}$; $\Delta A_{i3} = \Delta A_i$; $a_{i3}^B = a_i^B$, $i = 1, 2$.
28. $t = t + \Delta t$.
29. Если $t \le T$, то п. 4.
30. P_j^Q, P_{ij}^A по (6), (26).
31. S_j^Q, S_{ij}^A по (34), (35).
32. S^Q, S^A по (36), (37).
33. Вывести: P_j^Q, S_j^Q, S^Q, P_{ij}^A, S_{ij}^A, S^A.
34. Закончить.

Заключение

На основе этого алгоритма разработана программа, реализующая имитационную модель процедуры определения КК для трехосной стабилизированной платформы (ГСП) и трех акселерометров ИНС-В (рис. 2), на вход которой подается информация о номерах акселерометров (i), а значит, и об ориентации оси площадки, о проекциях вектора гравитационного ускорения (G_i) и проекциях радиус-векторов начал связанных с ИНС-А, ИНС-В систем координат *(L_i)*, моделях сигналов датчиков углов

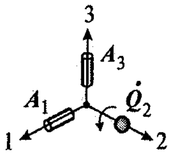
ИНС-А, ИНС-В (q_i, Q_i) и моделях сигналов акселерометров ИНС-А, ИНС-В (a_i, A_i), а выход которой – величины КК платформы и акселерометров (рис. 3).

1



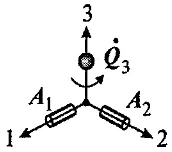
$$\begin{cases} \Delta\dot{Q}_1 = P_{10}^Q + P_{12}^Q a_2 + P_{13}^Q a_3; \\ \Delta A_2 = P_{20}^A + P_{22}^A a_2 + P_{23}^A a_3; \\ \Delta A_3 = P_{30}^A + P_{32}^A a_2 + P_{33}^A a_3. \end{cases}$$

2



$$\begin{cases} \Delta\dot{Q}_2 = P_{20}^Q + P_{21}^Q a_1 + P_{23}^Q a_3; \\ \Delta A_1 = P_{10}^A + P_{11}^A a_1 + P_{13}^A a_3; \\ \Delta A_3 = P_{30}^A + P_{31}^A a_1 + P_{33}^A a_3. \end{cases}$$

3



$$\begin{cases} \Delta\dot{Q}_3 = P_{30}^Q + P_{31}^Q a_1 + P_{32}^Q a_2; \\ \Delta A_1 = P_{10}^A + P_{11}^A a_1 + P_{12}^A a_2; \\ \Delta A_2 = P_{20}^A + P_{21}^A a_1 + P_{22}^A a_2. \end{cases}$$

Рис. 2. Варианты установки датчиков и математические описания для подсистем 1, 2 и 3

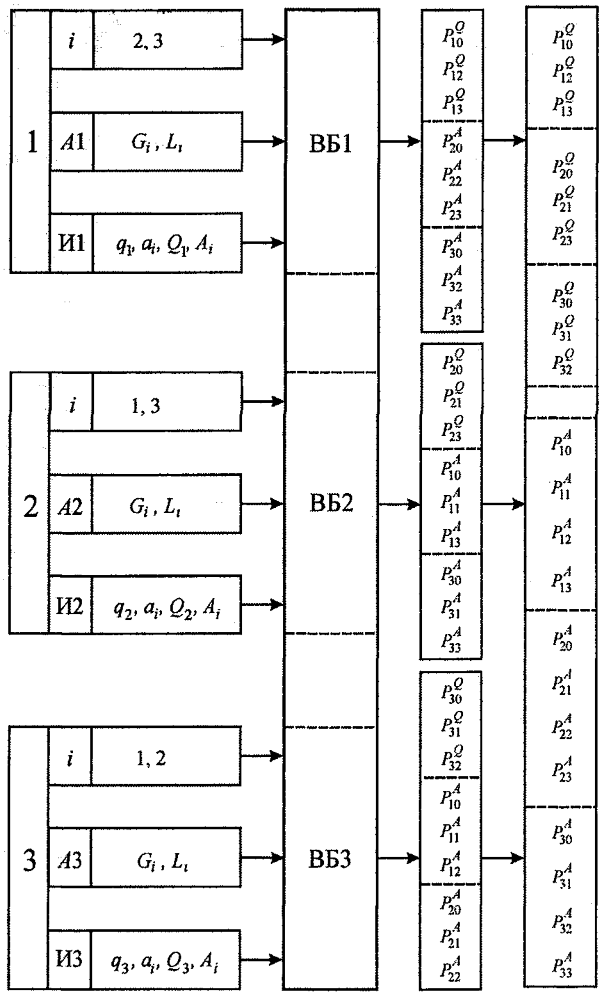


Рис. 3. Блок-схема определения КК ТСП

Литература

1. Щипицын, А. Г. Математическое описание для процедуры калибровки инерциальной навигационной системы / А. Г. Щипицын // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». — 2007. — Вып. 5, № 7(79). - С. 52-61.

2. Лурье, А. И. Аналитическая механика / А. И. Лурье. -М.: ГИФМЛ, 1961. - 824 с.