

**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»
Кафедра приборов и систем ориентации и навигации**

**Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
«Навигационные приборы и системы»**

Лабораторная работа

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ
ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
С ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ
ПРЯМЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ**

Составитель Мелешко В.В.

Киев 2010

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНС С ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ ПРЯМЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ.

1. Цель работы – изучение основных свойств платформенной инерциальной навигационной системы полуаналитического типа, приобретение навыков моделирования и исследования ИНС.

2. Основные теоретические сведения

Как известно [1], инерциальные навигационные системы (ИНС) реализуют метод счисления пути. Задача счисления пути реализуется данной ИНС в географической системе координат (сопровождающем трехграннике), оси которой направлены на восток, север и по вертикали.

На рис.1.1. приведена структурно-кинематическая схема инерциальной навигационной системы полуаналитического типа с географической ориентацией акселерометров. В этой системе платформа выдерживает положение осей чувствительности акселерометров по осям указанной системы координат. Для этого она вращается в инерциальном пространстве под действием управляющих моментов, формируемых в вычислительном блоке ИНС.

Математической моделью идеальной платформы являются уравнения идеальной работы. При учете различных возмущающих факторов приходят к уравнениям реальной работы. Разность решений уравнений реальной и идеальной работы соответствует уравнениям ошибок. Эта разность может быть получена численно после численного решения указанных уравнений на ЭВМ. Уравнения ошибок могут быть получены аналитически (в данной работе не рассматриваются). Ошибки, полученные численно, должны соответствовать ошибкам, полученным аналитически с небольшой допустимой погрешностью, поскольку и численные и аналитические решения являются приближенными.

В данной работе приведен только конечный вид уравнений идеальной и реальной работы.

Уравнения ИНС с географической ориентацией акселерометров

(рис. 1.1)

В уравнениях используются следующие обозначения:

W_ξ, W_η, W_ζ – горизонтальные ускорения в проекциях на оси географического сопровождающего трехгранника;

$\omega_\xi, \omega_\eta, \omega_\zeta$ – угловые скорости сопровождающего трехгранника;

$U_\xi, U_\eta (U_E, U_N)$ – восточная и северная составляющие относительного ускорения;

v_ζ - вертикальная составляющая скорости;

u - угловая скорость вращения Земли;

φ, λ -- широта и долгота;

R_1, R_2 - радиусы кривизны земного эллипсоида в плоскости первого вертикала и плоскости меридиана;

a - длина большой полуоси земного эллипсоида;

e^2 - квадрат эксцентриситета эллипсоида;

h - высота.

Уравнения идеальной работы:

$$R_1 = a(1 + 1/2e^2 \sin^2 \varphi) + h;$$

$$R_2 = a(1 - e^2 + 3/2e^2 \sin^2 \varphi) + h;$$

$$\omega_\xi = -v_N / R_2; \quad h = h_0 + v_\zeta t;$$

$$\omega_\eta = v_E + u \cos \varphi;$$

$$\omega_\zeta = (v_E / R_1) \operatorname{tg} \varphi + u \sin \varphi;$$

$$W_E = W_\xi + (u \sin \varphi + \omega_\zeta) v_N; \quad W_N = W_\eta - (u \sin \varphi + \omega_\zeta) v_E;$$

$$\dot{v}_N = W_N, \quad v_{N0};$$

$$\dot{v}_E = W_E, \quad v_{E0};$$

$$\dot{\varphi} = v_N / R_2, \quad \varphi_0;$$

$$\dot{\lambda} = v_E / (R_1 \cos \varphi), \quad \lambda_0.$$

Справка

Абсолютное ускорение в проекциях на оси географического трехгранника

$$W_\xi = \dot{v}_E - (u \sin \varphi + \omega_\zeta) v_N + (2u \cos \varphi + \frac{v_E}{R_1}) v_\zeta;$$

$$W_\eta = \dot{v}_N + (u \sin \varphi + \omega_\zeta) v_E + u^2 R_1 \sin \varphi \cos \varphi + \frac{v_N \cdot v_\zeta}{R_2};$$

$$W_\zeta = \dot{v}_\zeta - \frac{v_N^2}{R_2} - \frac{v_E^2}{R_1} - 2u v_E \cos \varphi - u^2 R_1 \cos \varphi.$$

Уравнения реальной работы

$$\begin{aligned}
R_1' &= a(1 + \frac{1}{2}e^2 \sin^2 \varphi') + h'; & R_2' &= a(1 - e^2 + \frac{3}{2}e^2 \sin^2 \varphi') + h'; \\
\dot{\omega}'_{\xi} &= -\dot{\nu}'_N / R_2'; & h' &= h_0 + \delta h + (\nu_{\zeta} + \delta \nu_{\zeta})t; \\
\dot{\omega}'_{\eta} &= \dot{\nu}'_E / R_1' + u \cos \varphi'; \\
\dot{\omega}'_{\zeta} &= (\dot{\nu}'_E / R_1') \operatorname{tg} \varphi + u \sin \varphi'; \\
a_x &= (W_{\xi} - \alpha(W_{\zeta} + g_0) + \gamma W_{\eta})(1 + \delta h_a) + \delta a; \\
a_y &= (W_{\eta} + \beta(W_{\zeta} + g_0) - \gamma W_{\xi})(1 + \delta h_a) + \delta a; \\
W_E' &= a_X + (u \sin \varphi' + \dot{\omega}'_{\zeta})\dot{\nu}'_N; \\
W_N' &= a_Y - (u \sin \varphi' + \dot{\omega}'_{\zeta})\dot{\nu}'_E; \\
\dot{\nu}'_E &= W_E'(1 + \delta h_u) + \delta \dot{\nu}; & \dot{\nu}'_N &= W_N'(1 + \delta h_u) + \delta \dot{\nu}; \\
\dot{\alpha} &= -\omega_{\eta} - \omega_{\zeta} \beta + \omega_{\xi} \gamma + \dot{\omega}'_{\eta}(1 + \delta h_K) + \delta \omega_Y; \\
\dot{\beta} &= -\omega_{\xi} - \omega_{\eta} \gamma + \omega_{\zeta} \alpha + \dot{\omega}'_{\xi}(1 + \delta h_K) + \delta \omega_X; \\
\dot{\gamma} &= -\omega_{\zeta} - \omega_{\xi} \alpha + \omega_{\eta} \beta + \dot{\omega}'_{\zeta}(1 + \delta h_K) + \delta \omega_Z; \\
\dot{\varphi} &= (\dot{\nu}'_N / R_2')(1 + \delta h_u) + \delta \dot{\varphi}; \\
\dot{\lambda} &= (\dot{\nu}'_E / (R_E \cos \varphi))(1 + \delta h_u) + \delta \dot{\lambda}.
\end{aligned}$$

Знаком “ ’ ” отмечены приборные (измеренные или вычисленные) значения величин.

a_X, a_Y – кажущиеся ускорения, измеряемые акселерометром;

g_0 - гравитационное ускорение;

α, β, γ - углы отклонения осей гиролатформы от географического сопровождающего трехгранника;

$\delta h_a, \delta h_U, \delta h_K$ - нестабильность масштабных коэффициентов (коэффициентов передачи) соответственно акселерометров, интеграторов, контура коррекции;

$\delta \omega_x, \delta \omega_y, \delta \omega_z$ - угловые скорости дрейфов гироскопов;

$\delta \dot{\nu}$ - смещение нуля первых интеграторов;

$\delta \dot{\varphi}, \delta \dot{\lambda}$ - смещение нулей интеграторов широты и долготы;

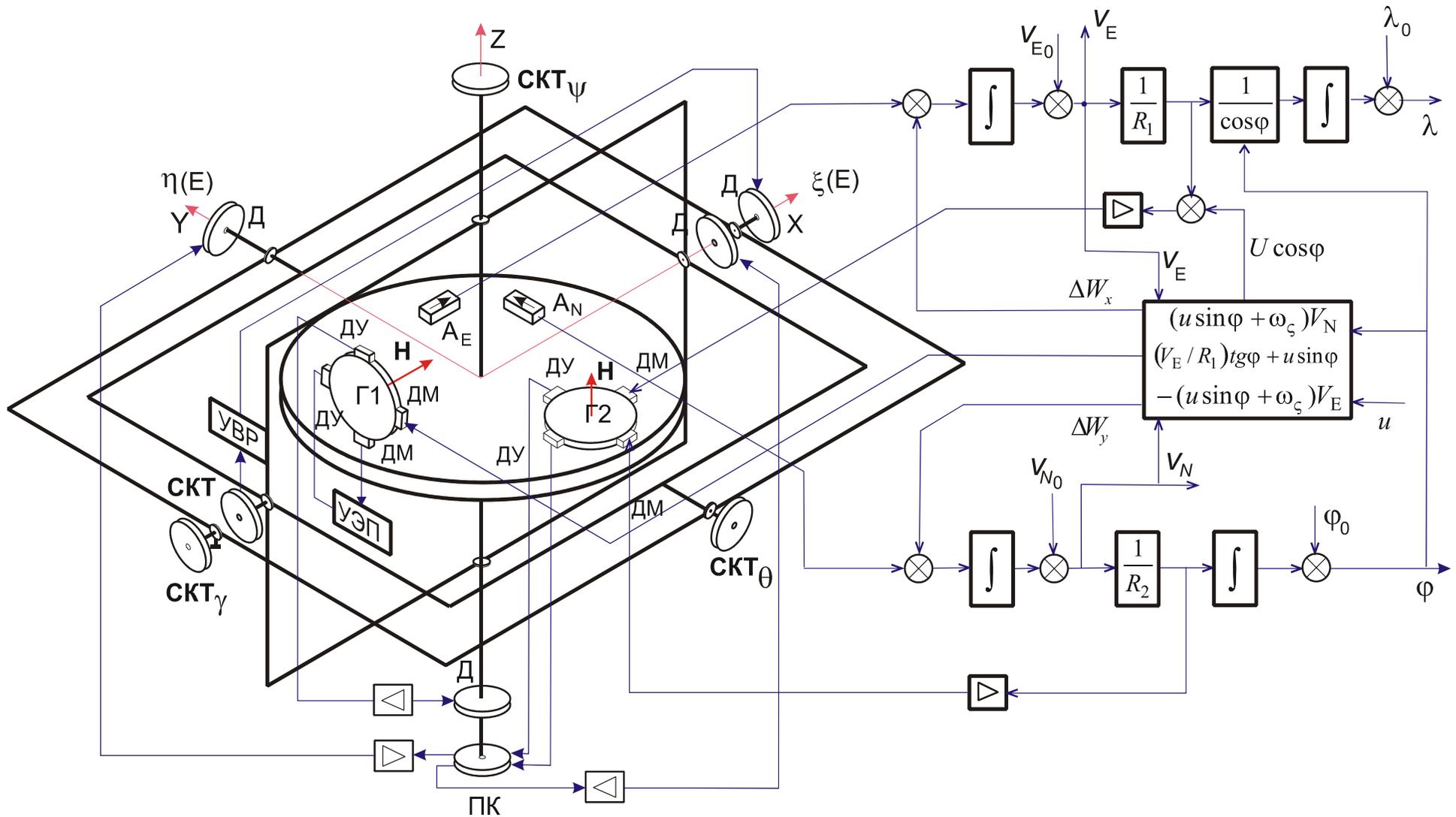


Рис.1.1. ИНС с географической ориентацией акселерометров

Рассмотрим более детально причины отсутствия в выражениях для W_η, W_ζ составляющих, обусловленных угловой скоростью вращения Земли.

Акселерометр измеряет проекцию кажущегося ускорения $\bar{a} = \bar{W} - \bar{g}_0$ на его ось чувствительности (\bar{W} - вектор абсолютного ускорения; \bar{g}_0 - вектор гравитационного ускорения).

Рассмотрим проекции гравитационного ускорения на оси сопровождающего трехгранника (рис.1.2):

$$g_{0\eta} = u^2 R_1 \cos \varphi \sin \varphi; \quad g_{0\zeta} = -(g + u^2 R_1 \cos^2 \varphi),$$

где $g = g_0 - u^2 R_1 \cos^2 \varphi$ - ускорение силы тяжести.

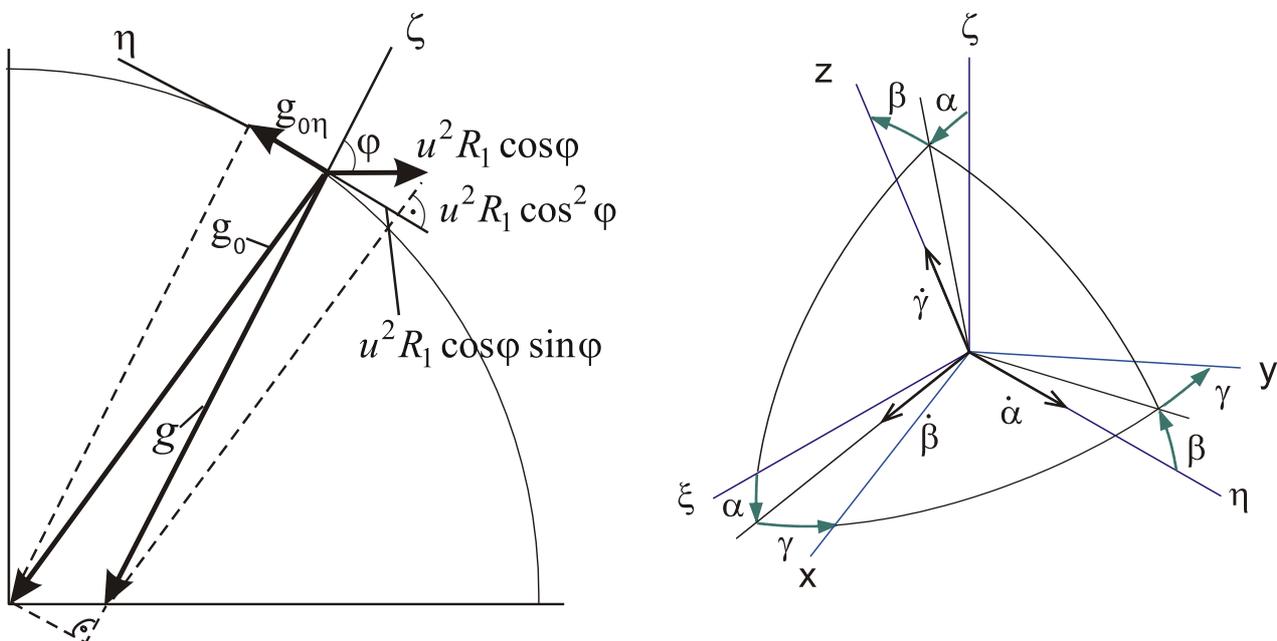


Рис.1.2. Векторы ускорений и углы поворота платформы

Ускорение движущегося горизонтально объекта можно записать так:

$$W_\xi = \dot{v}_E - (u \sin \varphi + \omega_\zeta) v_N;$$

$$W_\eta = \dot{v}_N + (u \sin \varphi + \omega_\xi) v_E + u^2 R_1 \sin \varphi \cos \varphi;$$

$$W_\zeta = -v_N^2 / R_2 - v_E^2 / R_1 - 2u v_E \cos \varphi - u^2 R_1 \cos \varphi .$$

Кажущиеся ускорения, измеряемые акселерометрами платформы при ее отклонении на углы α, β, γ от сопровождающего трехгранника,

$$a_X = W_\xi - (W_\zeta - g_{0\zeta})\alpha + (W_\eta - g_{0\eta})\gamma; \quad (1.1)$$

$$a_y = (W_\eta - g_{0\eta}) + (W_\zeta - g_{0\zeta})\beta - W_\xi\gamma.$$

Численное сравнение W_ζ с $g_{0\zeta}$ показывает, что значение W_ζ для расчетных условий не превышает 1% величины $g_{0\zeta}$, поэтому в программе не учитывается. При подстановке W_η и $g_{0\eta}$ в (1.1) члены, описывающие влияние центробежных ускорений, уничтожаются. Поэтому в уравнениях работы (выражениях для ускорений) они отсутствуют.

3. Задание к работе

1. Выполнить численное исследование, составить и исследовать математическую модель, сопоставить результаты численного и аналитического исследования влияния следующих факторов на погрешности ИНС:

- 1) погрешностей начального горизонтирования;
- 2) погрешностей начальной выставки в азимуте;
- 3) погрешностей начальной выставки скоростей;
- 4) погрешностей начальной выставки широты и долготы;
- 5) угловой скорости дрейфов гироскопов горизонтальных каналов;
- 6) угловой скорости дрейфа гироскопа азимутального канала;
- 7) смещения нуля акселерометров;
- 8) смещения нулей первых интеграторов;
- 9) смещения нулей вторых интеграторов;
- 10) нестабильности масштабного коэффициента (коэффициента передачи) акселерометров;
- 11) нестабильности коэффициента передачи первых интеграторов;
- 12) нестабильности коэффициента передачи вторых интеграторов;
- 13) нестабильности коэффициента передачи контура коррекции.

2. Выработать требования к элементам ИНС, обеспечивающие указанные преподавателем характеристики точности ИНС.

3. Численно исследовать погрешности ИНС по уравнениям ошибок и прямым моделированием по пп.1.1-1.13. Сопоставить результаты.

4. Численно исследовать погрешности от переносных и кориолисовых ускорений при различных скоростях и направлениях движения.

5. Численно исследовать влияние пренебрежением высотой полета.

6. Численно исследовать влияние пренебрежением несферичностью Земли.

7. Численно исследовать влияние вертикальной скорости.

8. Исследовать влияние обрыва цепи выработки сигнала горизонтальной составляющей Земли ($u \cos \varphi$) в восточном канале ИНС.

9. Исследовать поведение ИНС при изменении полярности сигнала коррекции на датчик момента гироскопа.

10. Исследовать поведение ИНС при погрешности ввода радиуса Земли (радиусов кривизны эллипсоида) в 1%, 5%.

11. Численно исследовать погрешности ИНС в течение суток. Сравнить результаты с результатами аналитических исследований.

12. Исследовать влияние погрешности задания угловой скорости вращения Земли на погрешности ИНС. Оценить допустимую погрешность задания угловой скорости вращения Земли.

Программа для исследования погрешностей в пакете MatLab приведена в приложении

4. Контрольные вопросы

1. Чем уравнения реальной работы отличаются от уравнений идеальной работы?
2. Как получают уравнения идеальной работы?
3. Как в системе используют гироскопы?
4. Как в системе используют акселерометры?
5. Что такое «кажущееся ускорение»?
6. Какую задачу решает преобразователь координат?
7. Как платформу располагают на объекте?
8. Зачем в системе нужны интеграторы?
9. Как компенсируется влияние переносных и кориолисовых ускорений?

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать ответы на поставленные вопросы в виде текста, иллюстраций. При изменениях в программах необходимо привести фрагменты измененных программ. Объем отчета не должен превышать 10 стр.

6. Литература

1. Самошкин Б.Б., Мелешко В.В., Степанковский Ю.В. Навигационные приборы и системы.-К.:Вища школа, 1986.-324 с.