

60.4.14
НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ
На правах рукописи

МАХМУД АЛЬ-ХУСЕЙН Гассан

**СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ИДЕНТИФИКАЦИИ
СОСТАВЛЯЮЩИХ УХОДОВ ДНГ В СОСТАВЕ БИНС**

05.11.03 – приборы навигации

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва – 2005

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: Доктор технических наук
Егоров Юрий Григорьевич

Официальные оппоненты: Доктор технических наук
Харламов Сергей Анатольевич

Кандидат технических наук
Новиков Леонид Захарович

Ведущая организация: Московский авиационный институт
(государственный технический университет)

Защита диссертации состоится « 23 » ноября 2005 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д212.141.19 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ имени Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан «22» октября 2005 г.

Ваш отзыв в одном экземпляре, заверенный печатью просим направлять по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская имени Н.Э. Баумана. Диссертационный совет Д 212.141.19.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

доктор технических наук

 Бурый Е.В.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для определения ориентации летательного аппарата (ЛА) относительно какой-либо вращающейся опорной системы координат необходимо знать угловую скорость ее вращения в инерциальном пространстве и учитывать эту скорость при вычислениях. При этом решение задачи относительно вращающейся опорной системы координат реализуется в схеме, когда бесплатформенные системы ориентации (БСО) входят в состав бесплатформенных инерциальных навигационных системы (БИНС), определяющий координаты местоположения ЛА и его линейную скорость полета в системе координат, связанной с Землей. Они могут быть использованы и самостоятельно для определения угловой ориентации ЛА относительно какой-либо системы координат, неизменно ориентированной в инерциальном пространстве. В качестве измерителей угловых параметров движения в БСО могут быть использованы одноосные гиросtabilизаторы, датчики угловых скоростей, угловые и линейные акселерометры. Обычно в составе БСО используется блок чувствительных элементов, состоящих из трех датчиков угловой скорости (ДУС), оси чувствительности которых взаимно перпендикулярны. Реагируя на угловые скорости вращения основания, представляющие собой проекции вектора абсолютной угловой скорости вращения ЛА на оси, эти приборы вырабатывают соответствующие сигналы, являющиеся первичными для решения задачи ориентации в БСО. Динамически настраиваемые гироскопы (ДНГ) применяются широко в современных навигационных системах в качестве ДУС вращения ЛА.

Для обеспечения точной работы чувствительных элементов требуется компенсация инструментальных ошибок. Это может быть обеспечено путем идентификации коэффициентов модели инструментальных ошибок и последующей их компенсации.

Широкое распространение БИНС на ДНГ, а также, развития методов и средств идентификации БИНС требует применения автоматизированных методов идентификации с минимальным использованием высокоточного дорогого оборудования. Диссертация посвящена синтезу оптимальных программ идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС инвариантных к ошибкам выставки и инструментальным погрешностям испытательного стенда.

Актуальность работы вытекает из разработки оптимальных программ идентификации параметров ДНГ БИНС, без предъявления высоких требований к испытательному стенду.

Цель диссертационной работы заключается в разработке оптимальных программ идентификации параметров ДНГ БИНС с обеспечением достаточной точности идентификации без предъявления высоких требований к испытательному стенду. Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

1. Разработка математической модели процессов идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС;
2. Исследования условий идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС, инструментальных погрешностей испытательного стенда, и условий инвариантности;
3. Синтез оптимальных программ идентификации ДНГ БИНС инвариантных к ошибкам выставки и инструментальным погрешностям испытательного стенда;
4. Исследование точностных характеристик синтезированных программ идентификации.

Методы исследования. В работе использовались методы теории гироскопических устройств, теории ИНС, теории динамических систем и теория оценивания динамических систем. При расчетах и моделировании применялись пакеты прикладных программ Matlab и Mathcad.

Научная новизна. В диссертационной работе получены новые научные результаты теоретического и прикладного характера:

1. Представлено описание процессов автономной идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС по методу пространства состояний (векторно-матричной форме), что позволяет применить методы современной теории динамических систем для синтеза оптимальных программ идентификации.
2. Применен частотный критерий идентифицируемости, который в случае последовательного применения позволил получить достаточные условия идентифицируемости вектора состояния, а также определены условия инвариантности относительно перекоса осей стенда, азимутальной выставки и горизонтирования наружной оси стенда.
3. Получена полная совокупность достаточных условий идентифицируемости составляющих уходов ДНГ и инструментальных погрешностей стенда на основе различной степени учета информационных свойств матриц наблюдений в зависимости от азимутальной выставки стенда.
4. Применение критерия максимального подавления влияния измерительного шума на результаты идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС позволило получить 6 оптимальных (субоптимальных) программ идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС обладающих различной степенью избыточности в зависимости от различной степени учета информационных свойств матриц измерений. Синтезированные оптимальные программы идентификации составляющих ухода ДНГ обладают свойствами инвариантности относительно ошибок выставки и инструментальных погрешностей стенда.

5. Исследованы точностные характеристики синтезированных программ идентификации, и выделена наиболее полно удовлетворяющая предъявленным требованиям (выполнение критерия максимального подавления влияния измерительного шума и рациональная трудоемкость процесса идентификации) программа идентификации, имеющая минимальное число измерительных положений.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

Предлагаемые программы оптимальной идентификации параметров ДНГ БИНС могут быть использованы:

- в процессе автономных испытаний чувствительных элементов ИНС;
- при идентификации параметров ИНС на аэродромной испытательной базе;
- в процессе проведения предполетной идентификации параметров ИНС.

Защищаемые положения. На защиту выносятся следующие новые положения и результаты, полученные в диссертационной работе:

- Математическая модель процессов идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС;
- Результаты исследования условий идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС, инструментальных погрешностей испытательного стенда, и условий инвариантности;
- Методика и результаты синтеза оптимальных программ идентификации ДНГ БИНС инвариантных к ошибкам выставки и инструментальным погрешностям испытательного стенда;
- Результаты исследования точностных характеристик синтезированных программ идентификации.

Внедрение результатов работы. Полученные в диссертационной работе результаты предназначены для применения при разработке программ идентификации параметров БИНС.

Апробация работы и публикации. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на XI международной НТК «Радиолокация, навигация, связь» - (г. Воронеж, Научно-производственная фирма "САКВОЕЕ", 2005 г.), на II и III конференциях молодых ученых, аспирантов и студентов – (М., МГТУ им. Баумана, 2004 и 2005 гг.), на VI научно-практической конференции для иностранных учащихся – «Студенческая весна» - (М., МГТУ им. Баумана, 2004 г.).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, основных выводов и списка литературы. Она изложена на 125 страницах, содержит 38 иллюстраций и 15 таблиц. Список литературы включает 54 библиографических описания.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы его цель и основные задачи, приведены выносимые на защиту научные положения и дано краткое описание глав диссертации.

В первой главе изложены общие требования к идентификации БИНС, рассмотрены в общем виде уравнения погрешности БИНС на ДНГ. Представлена структурная схема формирования ошибок БИНС. Рисунок 1 показывает погрешности БИНС в моделировании горизонтальной системы координат с географической ориентации осей (географического сопровождающего ТГ) ENh.

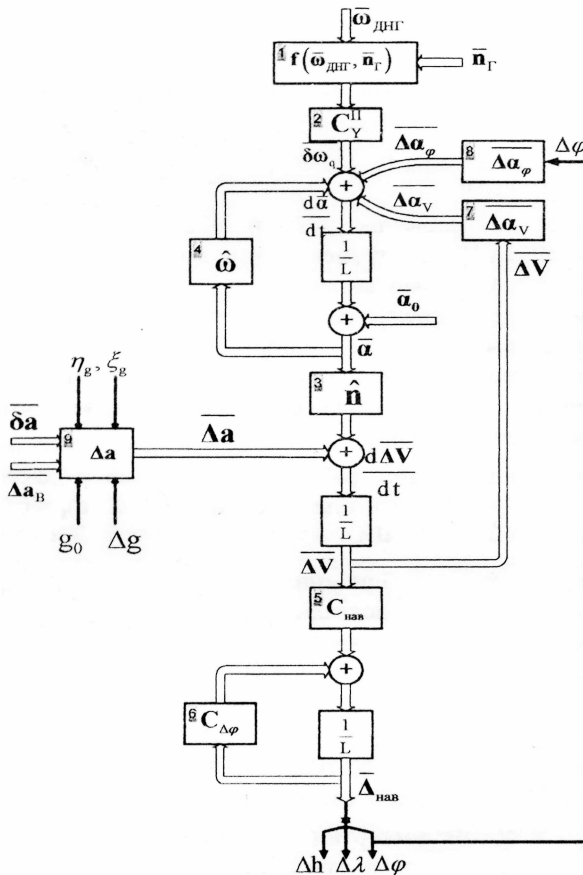


Рис. 1. Структурная схема формирования ошибок БИНС на ДНГ

Структурная схема построена на основе системы обобщенных уравнений ошибок. В структурной схеме: $\vec{\omega}_{\text{ДНГ}}$ - вектор, составленный из коэффициентов уходов ДНГ; $\vec{p}_r$ - вектор перегрузки в осях связанного гироскопического трехгранника (ТГ); $\vec{a}$ - ВМП, описывающий ошибки моделирования БИНС ТГ ENh; $\hat{\omega}$ - кососимметричная матрица, соответствующая вектору угловой скорости вращения ENh относительно инерциального пространства; $\vec{\Delta a}_v$ - вектор ошибки в угловой скорости, обусловленный ошибками в выработке путевой скорости; $\vec{\Delta a}_\varphi$ - вектор ошибок в угловой скорости, обусловленный ошибкой в выработке широты места объекта; $\vec{\Delta V}$ - вектор ошибок выработки путевой скорости; $\hat{n}$ - кососимметричная матрица, соответствующая вектору кажущегося ускорения $\vec{n}$ в осях ТГ ENh; $\vec{\Delta a}$ - вектор погрешности в измерении и компенсации ускорения БИНС; $\vec{\Delta}_{\text{нав}}$ - вектор ошибки БИНС в навигации объекта; $C_{\Delta\varphi}$ - матрица, описывающая скорости изменения вектора $\vec{\Delta}_{\text{нав}}$, обусловленная погрешностью БИНС в выработке географических широты ($\Delta\varphi$); $C_{\text{нав}}$ - матрица, описывающая скорости изменения вектора $\vec{\Delta}_{\text{нав}}$, обусловленная вектором $\vec{\Delta V}$; $\vec{a}_0$ - вектор ошибки начальной выставки БИНС.

Представлена функциональная схема автономной идентификации параметров БИНС на ДНГ на рисунке 2. БИНС установлена на вращающейся платформе стенда. Стенд имеет 2 оси вращения, одна из них горизонтирована. Сигналы от датчиков углов стенда через аналого-цифровые преобразователи поступают на блок алгоритмов идентификации. От блока алгоритмов идентификации информация поступает на блок алгоритмов управления, который формирует сигнал управления двигателями вращения наружной и внутренней осей стенда. На блок алгоритмов идентификации также поступают выходные сигналы БИНС для выполнения расчетов идентифицируемых параметров ДНГ БИНС.

Инструментальные погрешности ДНГ БИНС представлены математической моделью в зависимости от перегрузок, действующих по связанным с ДНГ осям.

Введены основные инструментальные погрешности испытательного оборудования (стенда). Поскольку, ошибки испытательного стенда имеют место и могут ухудшать точность оценки погрешности ДНГ, то требуются их принять в рассмотрении при проведении испытаний. Рассмотрены следующие погрешности испытательного стенда:

1. Погрешность выставки наружной оси испытательного стенда по азимуту ΔA относительно географического ТГ (ONLE), или ошибка азимутального угла A .

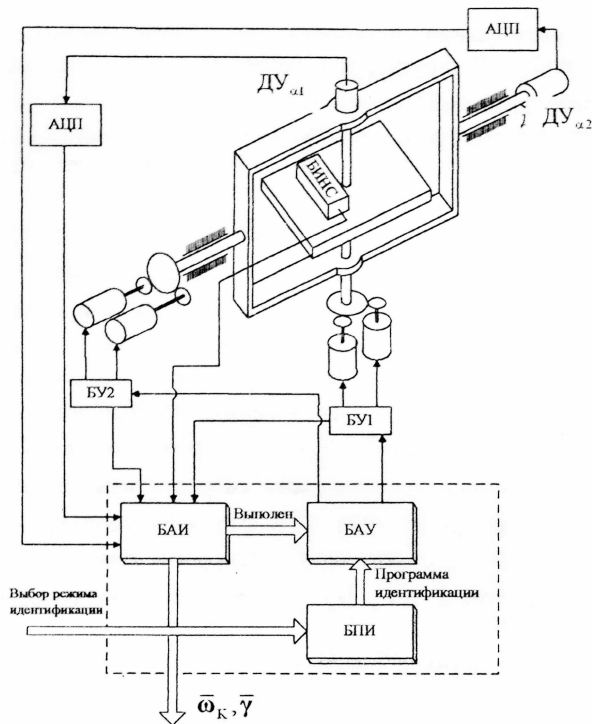


Рис. 2. Функциональная схема системы идентификации БИНС

2. Погрешность горизонтирования наружной оси испытательного стенда $\varepsilon_{ГЗ}$. Это угол между плоскостью горизонта и наружной осью стенда.
3. Ошибка перекоса осей испытательного стенда $\gamma_{П}$. Это малый угол перекоса между наружной и внутренней осями стенда.
4. Ошибки установки БИНС на платформе испытательного стенда $\bar{\Psi}^1 = [\psi_x \ \psi_y \ \psi_z]^T$. Это малые углы между фактическим расположением БИНС на стенде и расчетным.

Эти ошибки следует включить в модель оценивания, чтобы исключить их влияние на результаты идентификации параметров БИНС на ДНГ.

Для корректного описания параметров введены 22 системы координат. На рисунке 3 Представлены связи между этими матрицами, где:

ONLE - географическая система координат;

$OX_{CA}Y_{CA}Z_{CA}$ - система координат, характеризующая положение испытательного стенда относительно трехгранника ONLE по азимуту;

$OX_{Г3}Y_{Г3}Z_{Г3}$, $OX_{Г1}Y_{Г1}Z_{Г1}$ - системы координат, характеризующие ошибки горизонтирования испытательного стенда;

$OX_{C2}Y_{C2}Z_{C2}$, $OX_{C1}Y_{C1}Z_{C1}$ - системы координат, описывающие поворот стенда вокруг наружной и внутренней осей стенда;

$OX_PY_PZ_P$ - система координат, характеризующая перекося осей испытательного стенда;

$OX_{П1}Y_{П1}Z_{П1}$ - приборная система координат (возможны три основных варианта установки БИНС на стенде);

$OX_1Y_1Z_1$, $OX_2Y_2Z_2$ - системы координат связанная первым и вторым ДНГ;

$OX_{P1}Y_{P1}Z_{P1}$, $OX_{P2}Y_{P2}Z_{P2}$ - системы координат характеризующие неортогольность измерительных осей первого и второго ДНГ.

Матрицы перехода являются функцией следующих параметров:

A – азимут наружной оси испытательного стенда;

$\varepsilon_{Г3}$ - малый угол ошибки горизонтирования наружной оси испытательного стенда;

$\varepsilon_{Г1}$ - малый угол ошибки горизонтирования внутренней оси стенда;

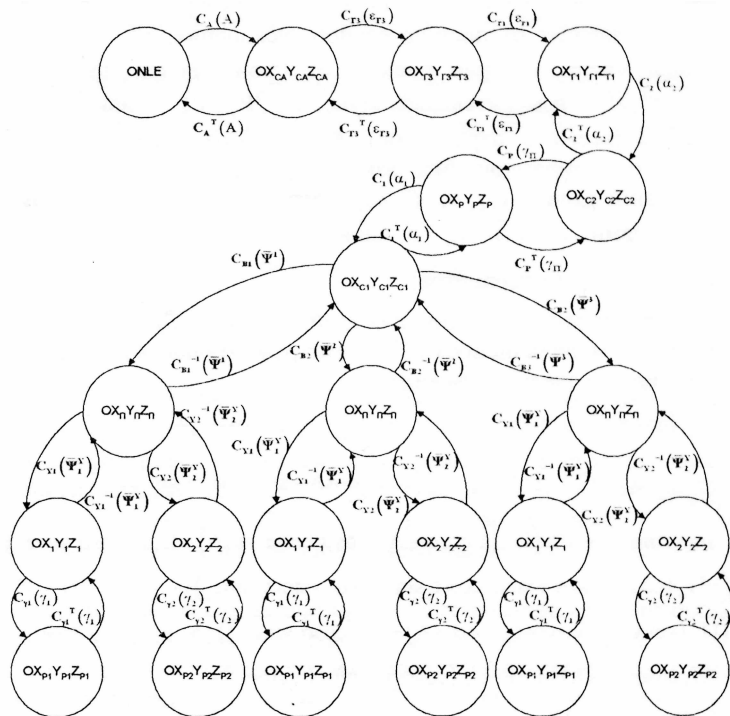


Рис. 3. Взаимосвязь между введенными системами координат

α_2 - угол вращения стенда вокруг наружной оси;

γ_{Π} - малый угол перекоса между наружной и внутренней осями стенда;

α_1 - угол поворота стенда вокруг внутренней оси;

Ψ^1, Ψ^2, Ψ^3 - вектор малого поворота, ошибки выставки БИНС на стенде по различным вариантам;

$\bar{\Psi}_1^y$ - вектор малого поворота, ошибки выставки первого и второго ДНГ на платформе;

γ_1, γ_2 - малые углы перекоса измерительных осей первого и второго ДНГ соответственно.

Ввиду того, что измерения в процессе автономной идентификации ДНГ БИНС проводятся в квазистатическом режиме в каждом измерительном положении, то достаточно ограничиться уравнениями прецессионной теории ДНГ в режиме ДУС. В математической модели инструментальных погрешностей ДНГ БИНС учтены: составляющие ухода ДНГ в функции от перегрузок и по измерительным осям (всего 15 параметров): ω_0^i - независимая составляющая ухода; $\omega_x^i, \omega_y^i, \omega_z^i$ - коэффициенты составляющей ухода, которые зависят от поступательного ускорения; ω_z^i - коэффициент составляющей ухода, которая зависит от произведения поступательных ускорений; v^x, v^y - измерительный шум; $\Psi_{xi}^y, \Psi_{yi}^y, \Psi_{zi}^y$ - ошибки выставки ДНГ в БИНС (всего 6 параметров). Кроме того, учтены погрешности испытательного стенда: ошибка азимутальной выставки ΔA ; ошибки горизонтирования стенда $\varepsilon_{Г3}, \varepsilon_{Г1}$ (3 параметра); перекося между наружной и внутренней осями стенда γ_{Π} и ошибки выставки БИНС на стенде

$$\bar{\Psi}^1 = [\Psi_x \quad \Psi_y \quad \Psi_z]^T \text{ (3 параметра).}$$

Математическая модель измерений для идентификации ДНГ БИНС с учетом матриц перехода, модели ошибок ДНГ и инструментальных погрешностей стенда получается в следующем виде

$$\begin{aligned} \dot{X}_i^1 = & \omega_0^{x1} + \omega_x^{x1}(\cos\alpha_1 \sin\alpha_2) + \omega_y^{x1}(-\sin\alpha_1 \sin\alpha_2) + \omega_z^{x1}(-\cos\alpha_2) + \\ & + \omega_{xz}^{x1} \left(-\frac{1}{2} \cos\alpha_1 \sin 2\alpha_2 \right) + \Psi_{zi}^y (-U_N(\cos\alpha_1 \cos A + \sin\alpha_1 \cos\alpha_2 \sin A) - \\ & - U_L(\sin\alpha_1 \sin\alpha_2)) + \Psi_{xi}^y (U_N(\sin\alpha_1 \cos A - \cos\alpha_1 \cos\alpha_2 \sin A) + U_L(-\cos\alpha_1 \sin\alpha_2)) + \\ & + \Psi_z^1 (-U_N(\cos\alpha_1 \cos A + \sin\alpha_1 \cos\alpha_2 \sin A) - U_L(\sin\alpha_1 \sin\alpha_2)) + \\ & + \Psi_x^1 (U_N(\sin\alpha_1 \cos A - \cos\alpha_1 \cos\alpha_2 \sin A) - U_L(\cos\alpha_1 \sin\alpha_2)) + \gamma_{\Pi} (-U_N \cos A) + \\ & + \varepsilon_{Г3} (-U_N \cos\alpha_2 \cos A) + \varepsilon_{Г1} (-U_N(\cos\alpha_2 \sin A) - U_L \sin\alpha_2) + \\ & + \gamma_1^x (U_N \sin\alpha_1 \cos A - U_N \cos\alpha_1 \cos\alpha_2 \sin A - U_L \cos\alpha_1 \sin\alpha_2) - \\ & - U_N \sin\alpha_2 \sin A + U_L \cos\alpha_2 + v^{x1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\dot{I}_X^2 = & \omega_0^{X2} + \omega_X^{X2} (-\sin \alpha_1 \sin \alpha_2) + \omega_Y^{X2} (-\cos \alpha_2) + \omega_Z^{X2} (\cos \alpha_1 \sin \alpha_2) + \\
& + \omega_{XZ}^{X2} \left(-\frac{1}{4} \sin 2\alpha_1 (1 - \cos 2\alpha_2) \right) + \Psi_{Z2}^Y (U_N (-\sin \alpha_2 \sin A) + U_L (\cos \alpha_2)) + \\
& + \Psi_{Y2}^Y (-U_N (\sin \alpha_1 \cos A - \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \sin A) + U_L (\cos \alpha_1 \sin \alpha_2)) + \\
& + \Psi_Z^1 (-U_N (\sin \alpha_2 \sin A) + U_L (\cos \alpha_2)) + \Psi_Y^1 (-U_N (\sin \alpha_1 \cos A - \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \sin A) + \\
& + U_L (\cos \alpha_1 \sin \alpha_2)) + \varepsilon_{\Gamma 3} (U_N (-\sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos A) + U_L (\cos \alpha_1)) + \\
& + \varepsilon_{\Gamma 1} (U_N (-\sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin A) + U_L (\sin \alpha_1 \cos \alpha_2)) + \\
& + \gamma_{\Pi} (U_N (-\cos \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin A) + U_L (\cos \alpha_1 \cos \alpha_2)) + \\
& + \gamma_2^X (-U_N \sin \alpha_2 \sin A + U_L \cos \alpha_2) + \\
& + U_N (\cos \alpha_1 \cos A + \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 \sin A) + U_L (\sin \alpha_1 \sin \alpha_2) + v^{X2}, \\
\dot{I}_Y^2 = & \omega_0^{Y2} + \omega_X^{Y2} (-\sin \alpha_1 \sin \alpha_2) + \omega_Y^{Y2} (-\cos \alpha_2) + \omega_Z^{Y2} \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 + \\
& + \omega_{YZ}^{Y2} \left(-\frac{1}{2} \cos \alpha_1 \sin 2\alpha_2 \right) - \Psi_{Z2}^Y (U_N (\cos \alpha_1 \cos A + \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 \sin A) + \\
& + U_L (\sin \alpha_1 \sin \alpha_2)) + \Psi_{X2}^Y (U_N (\sin \alpha_1 \cos A - \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \sin A) - U_L (\cos \alpha_1 \sin \alpha_2)) - \\
& - \Psi_Z^1 (U_N (\cos \alpha_1 \cos A + \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 \sin A) + U_L (\sin \alpha_1 \sin \alpha_2)) + \\
& + \Psi_X^1 (U_N (\sin \alpha_1 \cos A - \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \sin A) - U_L (\cos \alpha_1 \sin \alpha_2)) + \\
& + \varepsilon_{\Gamma 3} (U_N (-\cos \alpha_2 \cos A)) + \varepsilon_{\Gamma 1} (U_N (-\cos \alpha_2 \sin A) + U_L (-\sin \alpha_2)) + \\
& + \gamma_{\Pi} (U_N (-\cos A)) + \gamma_2^Y (U_N \cos \alpha_1 \cos A + U_N \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 \sin A + U_L \sin \alpha_1 \sin \alpha_2) + \\
& + U_N (-\sin \alpha_2 \sin A) + U_L (\cos \alpha_2) + v^{Y2},
\end{aligned} \tag{1}$$

где: $\dot{I}_X^1, \dot{I}_X^2, \dot{I}_Y^2$ - нормированные выходные сигналы ДНГ БИНС по соответствующим каналам измерений.

Во второй главе рассматриваются уравнения состояния и наблюдения для идентификации БИНС на ДНГ и условия идентифицируемости составляющих ухода ДНГ и инструментальных погрешностей испытательного стенда на примере одного канала ДНГ БИНС. Это канал Y второго гироскопа.

Описание процессов автономной идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС рационально представить по методу пространства состояний (векторно-матричной форме), что позволяет применить методы современной теории динамических систем для синтеза оптимальных программ идентификации. В вектор состояния в данной статической параметрической задаче для каждого из каналов ДНГ целесообразно включить пять

составляющих ухода ДНГ, перекося осей стенда, ошибки горизонтирования стенда, ошибки вставки. Влияния ошибки азимутальной выставки наружной оси стенда и погрешностей датчиков углов удобно проанализировать по соответствующим матрицам наблюдений.

Математическая модель процессов автономной идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС для одного из трех каналов БИНС:

$$\dot{I}_Y^2 = \mathbf{H}_{a1}^{Y2} \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{\omega 2}^{Y2} & | & \mathbf{H}_{\gamma 2}^{Y2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\omega}_K^{Y2} \\ \bar{\gamma}^{Y2} \end{bmatrix} + U_B(a_2, A) + v^{Y2}, \quad (2)$$

$(1 \times 3) \quad (3 \times 10) \quad (10 \times 1)$

где:

$$\mathbf{H}_{a1}^{Y2} = \begin{bmatrix} 1 & \sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 \end{bmatrix}$$

- матрица зависящая от угла поворота вокруг внутренней оси испытательного стенда;

$$\mathbf{H}_{\omega 2}^{Y2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\cos \alpha_2 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin \alpha_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \alpha_2 & -\frac{1}{2} \sin 2\alpha_2 \end{bmatrix}$$

- матрица зависящая от угла поворота вокруг внешней оси испытательного стенда;

$$\mathbf{H}_{\gamma 2}^{Y2} = \begin{bmatrix} -U_L \sin \alpha_2 - & -U_N \cos \alpha_2 \cos A & -U_N \cos A & 0 & 0 \\ -U_N \cos \alpha_2 \sin A & & & & \\ 0 & 0 & 0 & U_N \cos A & -U_L \sin \alpha_2 - \\ & & & & -U_N \cos \alpha_2 \sin A \\ 0 & 0 & 0 & -U_L \sin \alpha_2 - & -U_N \cos A \\ & & & -U_N \cos \alpha_2 \sin A & \end{bmatrix}$$

- матрица зависящая от угла поворота вокруг внешней оси испытательного стенда;

$$\bar{\omega}_K^{Y2} = [\omega_0^{Y2} \quad \omega_X^{Y2} \quad \omega_Y^{Y2} \quad \omega_Z^{Y2} \quad \omega_{YZ}^{Y2}]^T$$

- вектор собственных уходов ДНГ;

$$\bar{\gamma}^{Y2} = [\varepsilon_{Г1} \quad \varepsilon_{Г3} \quad \gamma_{П} \quad \Psi_X^1 \quad \Psi_Z^1]^T$$

- вектор геометрических инструментальных ошибок испытательного стенда;

$$U_B^{Y2}(a_2, A) = -U_N \sin \alpha_2 \sin A + U_L \cos \alpha_2$$

- члены, не зависящие от собственных уходов ДНГ и от геометрических инструментальных ошибок испытательного стенда.

Показано, что условие инвариантности для идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС относительно ошибки азимутальной выставки (ΔA), инструментальных погрешностей стенда $\epsilon_{Г3}$ (ошибка горизонтирования) и $\gamma_{П}$ (перекоса осей стенда) выполняется при $A = 90^\circ$. Точность идентификации может достигать 10^{-3} угл. сек./с при ошибке определения азимута порядка $\Delta A \leq 1^\circ$.

Для исследования условий идентифицируемости составляющих уходов ДНГ БИНС и инвариантности проведена декомпозиция задачи идентификации составляющих векторов $\bar{\omega}_K^{Y2}$ и $\bar{\gamma}^{Y2}$. Для исследования условий идентифицируемости применен частотный критерий. Результаты исследования влияния углов A , α_1 , α_2 на идентифицируемость составляющих векторов $\bar{\omega}_K^{Y2}$ и $\bar{\gamma}^{Y2}$ представлены в таблице 1. Из, которой следует, что: ω_0^{Y2} - не модулируется углами A , α_1 , α_2 ; ω_Y^{Y2} - модулируется только углом α_2 ; $\gamma_{П}$ - модулируется только углом A ; $\epsilon_{Г1}, \epsilon_{Г3}$ - модулируются углами α_2 и A ; ω_X^{Y2} , ω_Z^{Y2} , ω_{YZ}^{Y2} - модулируются углами α_1 и α_2 ; Ψ_X^1, Ψ_Z^1 - модулируются всеми тремя углами α_1 , α_2 , A .

Таблица 1.

Влияния углов A , α_1 , α_2 на идентифицируемость составляющих векторов $\bar{\omega}_K^{Y2}$ и $\bar{\gamma}^{Y2}$

Модулирующие углы	Идентифицированные параметры $\bar{X}_2^{Y2}$ и $\bar{X}_3^{Y2}$									
	ω_0^{Y2}	ω_X^{Y2}	ω_Y^{Y2}	ω_Z^{Y2}	ω_{YZ}^{Y2}	$\epsilon_{Г1}$	$\epsilon_{Г3}$	$\gamma_{П}$	Ψ_X^1	Ψ_Z^1
A	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
α_1	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+
α_2	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+

По результатам данного анализа определена полная совокупность необходимых условий идентифицируемости составляющих уходов ДНГ и $\bar{\gamma}$ на основе различной степени учета информационных свойств матриц наблюдений в зависимости от A , α_2 и α_1 . Которая для дискретного случая идентификации векторов $\bar{\omega}_K^{Y2}$ и $\bar{\gamma}^{Y2}$ с выполнением условий инвариантности по отношению к составляющим $\epsilon_{Г3}$ и $\gamma_{П}$ имеет следующий вид:

- при полном учете информационных свойств матриц измерений – необходимо три различных значений угла α_1 и шесть различных значений угла α_2 ;

б) при неполном учете информационных свойств матриц измерений (построение субоптимальных программ идентификации) – в программах идентификации может быть три различных значений угла α_1 и 3, 4 или 5 различных значений углов α_2 .

В третьей главе изложены критерий и условия синтеза оптимальных программ идентификации ДНГ БИНС, проведен синтез оптимальных программ идентификации ДНГ БИНС инвариантных к ошибкам выставки и инструментальным погрешностям испытательного стенда и исследованы точностные характеристики синтезированных программ идентификации.

Синтез оптимальных программ идентификации ДНГ БИНС произведен с использованием результатов исследований условий идентифицируемости

Таблица 2.
Измерительные положения
программы I (18 полож.)

№ измерит. полож.	Величина угла α_1	Величина угла α_2
1	0	45
2	120	45
3	240	45
4	0	123.8
5	120	123.8
6	240	123.8
7	0	135
8	120	135
9	240	135
10	0	165
11	120	165
12	240	165
13	0	285
14	120	285
15	240	285
16	0	326.2
17	120	326.2
18	240	326.2

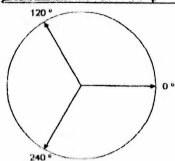


Диаграмма
значений угла α_1

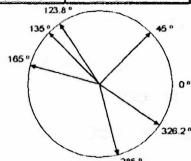


Диаграмма
значений угла α_2

Таблица 3.
Измерительные положения
программы II (12 полож.)

№ измерит. полож.	Величина угла α_1	Величина угла α_2
1	0	45
2	120	45
3	240	45
4	0	141.3
5	120	141.3
6	240	141.3
7	0	285
8	120	285
9	240	285
10	0	326.2
11	120	326.2
12	240	326.2

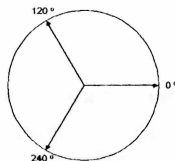


Диаграмма
значений угла α_1

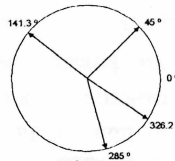


Диаграмма
значений угла α_2

Таблица 4.

Измерительные положения
программы III (9 полож.)

№ измерит. полож.	Величина угла α_1	Величина угла α_2
1	0	45
2	120	45
3	240	45
4	0	135
5	120	135
6	240	135
7	0	315
8	120	315
9	240	315

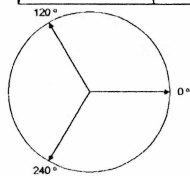
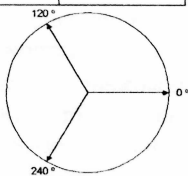
Диаграмма
значений угла α_1 Диаграмма
значений угла α_1

Таблица 5.

Измерительные положения
программы IV (9 полож.)

№ измерит. полож.	Величина угла α_1	Величина угла α_2
1	0	45
2	120	45
3	240	45
4	0	225
5	120	225
6	240	225
7	0	315
8	120	315
9	240	315

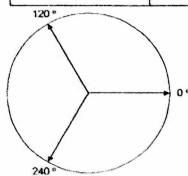
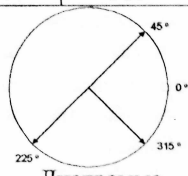
Диаграмма
значений угла α_1 Диаграмма
значений угла α_2

Таблица 6.

Измерительные положения
программы V (9 полож.)

№ измерит. полож.	Величина угла α_1	Величина угла α_2
1	0	317.6
2	120	317.6
3	240	317.6
4	0	52.7
5	120	52.7
6	240	52.7
7	0	218
8	120	218
9	240	218

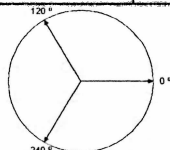
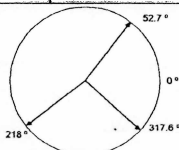
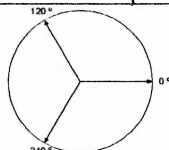
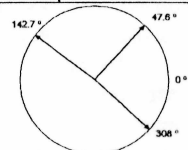
Диаграмма
значений угла α_1 Диаграмма
значений угла α_2

Таблица 7.

Измерительные положения
программы VI (9 полож.)

№ измерит. полож.	Величина угла α_1	Величина угла α_2
1	0	142.7
2	120	142.7
3	240	142.7
4	0	47.6
5	120	47.6
6	240	47.6
7	0	308
8	120	308
9	240	308

Диаграмма
значений угла α_1 Диаграмма
значений угла α_2

составляющих векторов $\bar{\omega}_k^{Y^2}$ и $\bar{\gamma}^{Y^2}$ с использованием критерия максимального подавления влияния измерительного шума. Критерий максимального подавления влияния измерительного шума на результаты идентификации в данной задаче соответствует достижению максимумов определителей матриц наблюдений с обеспечением условий инвариантности относительно инструментальных погрешностей стенда и выставки БИНС на стенде.

Применение критерия максимального подавления влияния измерительного шума на результаты идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС позволило получить 6 оптимальных (субоптимальных) программ идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС обладающих различной степенью избыточности в зависимости от различной степени учета информационных свойств матриц измерений. Результаты синтеза оптимальных программ идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС представлены в таблицах 2 – 7, в которых указано число измерительных положений и значения математических параметров (углов α_1 и α_2), определяющих данные измерительные положения в каждой из полученных программ идентификации. Для обеспечения наглядности результатов синтеза оптимальных программ идентификации, принимаемые значения углов α_1 и α_2 в каждой программе идентификации представлены соответствующими диаграммами.

В первой программе идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС (таблица 2) при полном учете информационных свойств матриц измерений, необходимо иметь 18 измерительных положений при трех различных значения угла α_1 и шести различных значений угла α_2 . Вторая, третья, четвертая, пятая и шестая программы идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС получены при неполном учете информационных свойств матриц измерений (построение субоптимальных программ идентификации). Синтезированные оптимальные программы идентификации составляющих ухода ДНГ обладают свойствами инвариантности относительно ошибок выставки и инструментальных погрешностей стенда.

Исследования точностных характеристик синтезированных программ идентификации проводились путем вычисления отношений дисперсии ошибки оценки параметров к дисперсии измерительного шума для каждой из программ. На рисунке 4 приведена гистограмма отношений дисперсий ошибки оценки параметров к дисперсии измерительного шума для первой программы идентификации (коэффициент s).

Проведен сравнительный анализ свойств синтезированных оптимальных программ идентификации. Результаты данных исследований представлены соответствующей гистограммой на рисунке 5, на которой показаны отношения дисперсий ошибок оценки идентифицируемых параметров для каждой из программ идентификации (коэффициент s).

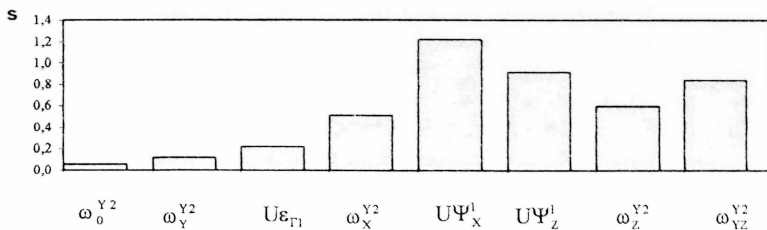


Рис. 4. Гистограмма отношений дисперсий ошибок оценки параметров к дисперсии измерительного шума для первой программы

Наилучшими точностными характеристиками обладает программа № 1, состоящая из 18 измерительных положений, но имеющую высокую степень избыточности (2,5).

Синтезированные оптимальные программы идентификации № 2, 3, 4, 5 и 6 из 12 и 9 измерительных положений обеспечивают меньшую точность идентификации, но и имеют меньшую степень избыточности (1,5 и 1,1) соответственно, что может быть использовано для существенного снижения трудоемкости процедуры идентификации параметров БИНС. Наиболее полно предъявленным требованиям (выполнение критерия максимального подавления влияния измерительного шума и рациональная трудоемкость процесса идентификации) удовлетворяет, синтезированная программа идентификации № 6, состоящая из 9 измерительных положений.

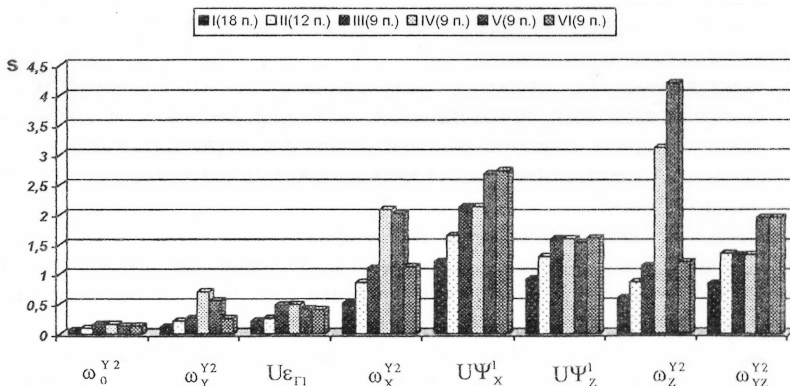


Рис. 5. Гистограмма отношений дисперсий ошибок оценки параметров к дисперсии измерительного шума для синтезируемых программ идентификации

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Показано условие инвариантности для идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС относительно азимутальной выставки, инструментальных погрешностей стенда и перекося осей стенда.
2. Получена полная совокупность достаточных условий идентифицируемости составляющих уходов ДНГ и инструментальных погрешностей стенда на основе различной степени учета информационных свойств матриц наблюдений в зависимости от азимутальной выставки стенда, и углов поворота осей испытательного стенда вокруг наружной и внутренней осей.
3. Применение критерия максимального подавления влияния измерительного шума на результаты идентификации составляющих уходов ДНГ БИНС позволило получить 6 оптимальных (субоптимальных) программ идентификации, обладающих различной степенью избыточности в зависимости от различной степени учета информационных свойств матриц измерений.
4. Синтезированные оптимальные программы идентификации обладают свойствами инвариантности относительно ошибок выставки и инструментальных погрешностей стенда.
5. Выделена наиболее полно удовлетворяющая предъявленным требованиям программа идентификации, состоящая из 9 измерительных положений.

Публикации по теме диссертации

1. Махмуд Аль-хуссейн Г. Математическая модель процесса идентификации ИНС на ДНГ // Информатика и системы управления: Сборник трудов молодых ученых, аспирантов и студентов. – М., 2004. – № 2. – С. 34.
2. Егоров Ю. Г., Махмуд Аль-хуссейн Г. Идентифицируемость инструментальных погрешностей бесплатформенной инерциальной навигационной системы и испытательного стенда // Радиолокация, навигация, связь. Сборник XI международной НТК. – Воронеж, 2005. – С. 1304 - 1308.

Кроме того, находятся в печати работы автора:

1. Егоров Ю. Г., Махмуд Аль-хуссейн Г. Условия идентифицируемости инструментальных погрешностей БИНС на ДНГ // Вестник МГТУ имени Н. Э. Баумана. Приборостроение.
2. Махмуд Аль-хуссейн Г. Синтез оптимальных программ идентификации БИНС на ДНГ // Информатика и системы управления: Сборник трудов Молодых ученых, аспирантов и студентов. – М. 2005.
3. Махмуд Аль-хуссейн Г. Оценка точностных характеристик программ идентификации БИНС на ДНГ // Информатика и системы управления: Сборник трудов Молодых ученых, аспирантов и студентов. – М. 2005.

У1738198

Махмуд Аль-Хусейн...

Синтез оптимальных
программ идентификации
составляющих уходов ДНГ в
составе БИНС

2005

0-00

У 1738198

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ

обозначенного здесь срока
