

ГИРОПОЛУКОМПАС С АНАЛИТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ КАРДАНОВОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ БПЛА САМОЛЁТНОГО ТИПА

О.А. КУДРЯШОВ

Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А. Н. Туполева – КАИ
Казань, Россия

В статье рассматривается построение аналитической компенсации кардановой погрешности гиropolукомпаса для беспилотного летательного аппарата самолётного типа, отличительной чертой которого является достаточные габаритные размеры и масса. Повышение точности компенсации кардановой погрешности обеспечивается путём коррекции сигнала системного датчика (СДУ) угла курса гиropolукомпаса (ГПК), с использованием сигналов штатного оборудования: датчиков угловой скорости по нормальной и поперечной осям и датчика угла крена гировертикали.

ГПК является гироскопическим навигационным прибором, обеспечивающим по сигналу СДУ полёт летательного аппарата вдоль выбранного направления и совершение разворотов на заданные углы.

Однако при разворотах, которые происходят с креном, ось наружной рамы ГПК, на которой установлен СДУ, отклоняется от местной вертикали, что приводит к возникновению методической погрешности в измерении углов разворота в азимуте [1]. Погрешность носит геометрический характер, является проявлением свойства карданного подвеса, называется кардановой погрешностью (КП) и определяется по формуле

$$\Delta\psi = \psi \cdot \arctg(\cos\gamma \cdot \operatorname{tg}\psi),$$

где ψ, γ - углы курса и крена соответственно; $\Delta\psi$ - кардановая погрешность.

Существует устройства компенсации кардановой погрешности, когда ГПК осью подвеса наружной рамы устанавливаются либо в одноосный, либо в двухосный подвес, которые играют роль следящих систем, корректируемых по сигналам гировертикали [2]. Недостатком данной схемы компенсации является громоздкость ГПК и увеличение массы, что нежелательно для применения на БПЛА. Применяются такие устройства на самолетах.

Для БПЛА самолётной схемы в качестве курсового прибора предлагается использовать ГПК, в котором вместо электромеханической следящей системы применена аналитическая компенсация кардановой погрешности с использованием сигналов датчиков, которые входят в систему автоматического управления БПЛА [3].

Для применения такой схемы ГПК может подойти, например, воздушная мишень «Дань» [4].

Аналитический метод компенсации КП позволяет упростить конструкцию ГПУ при сохранении точности работы. На рис.1 приведена блок-схема устройства.

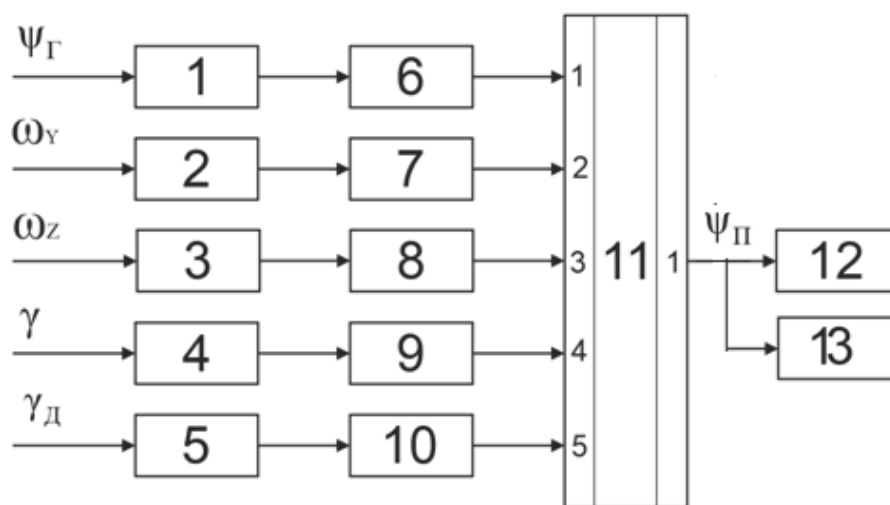


Рис.1. Блок-схема устройства

ГПК 1 не имеет следящей системы для компенсации КП, поэтому СДУ курса измеряет угол поворота летательного аппарата Ψ_{Γ} вокруг нормальной оси. Штатные датчики угловых скоростей: 2 и 3 измеряют угловые скорости ω_y и ω_z вокруг нормальной и поперечной осей. СДУ крена гировертикали 4 измеряет крен γ летательного аппарата. Датчик допустимого угла крена 5 ограничивает непосредственное использование сигнала СДУ гирополукомпаса 1 при разворотах летательного аппарата. Для преобразования измеренных сигналов в двоичный код служат преобразователи аналог-код 6÷10. При этом преобразователь 6 является специальным (ПОН – преобразователь отношений напряжений), так как преобразует сигнал СКТ, а преобразователи 7÷10 являются преобразователями сигналов постоянного напряжения в двоичный код. Информацию об угле поворота летательного аппарата в горизонтальной плоскости Ψ_{Π} микроконтроллер 11 выводит на указатель 12 (при настройке) и автопилот 13 курсового канала (в полете).

На рис.2 изображены системы координат: связанная жёстко с БПЛА, и земная горизонтальная система координат, поясняющие формирование алгоритма компенсации КП, приведённого ниже.

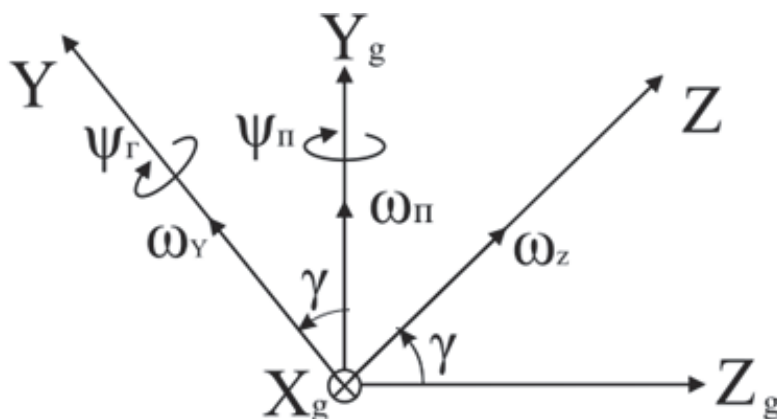


Рис.2. Системы координат

Y_g – ось местной вертикали; $X_g Z_g$ – плоскость местного горизонта; Y – нормальная ось БПЛА; Z – поперечная ось БПЛА.

Идея аналитического способа компенсации КП состоит в следующем: до определенного момента времени, который определяется допустимым креном γ_d , значение угла поворота определяется сигналом СДУ, а при превышении БПЛА γ_d угол поворота будет определяться по специальному алгоритму

$$\Psi_{\Pi} = \begin{cases} \Psi_{\Gamma}, & \text{если } |\gamma| \leq \gamma_d; \\ \Psi_{\Gamma}(t_0) - \int_{t_0}^t \omega_{\Pi} dt, & \text{если } |\gamma| > \gamma_d, \end{cases}$$

где Ψ_{Γ} – текущий угол поворота, измеряемый относительно нормальной оси летательного аппарата СДУ ГПК; $\Psi_{\Gamma}(t_0)$ – угол поворота, измеряемый относительно нормальной оси, на момент выполнения условия $|\gamma| > \gamma_d$ с ГПК; γ, γ_d – действительный и допустимый углы крена; $\omega_{\Pi} = \omega_Y \cos \gamma + \omega_Z \sin \gamma$ – угловая скорость поворота вокруг местной вертикали, формируемая по сигналам двух датчиков угловых скоростей.

Так как разворот происходит непродолжительное время, обычно десятки секунд, то за счет операции интегрирования накопится незначительная погрешность, которая будет намного меньше кардановой погрешности.

При этом для прямолинейного горизонтального полета, когда $\gamma \leq \gamma_D$, угол поворота (угол отклонения от заданного направления) определяется как сигнал системного датчика курса гиropолукомпаса

$$\Psi_{\Pi} = \Psi_{\Gamma},$$

а при развороте, когда $\gamma > \gamma_D$, угол поворота определяется как сигнал СДУ курса ГПК на момент входа в разворот, просуммированный с приращением угла.

$$\Psi_{\Pi} = \Psi_{\Gamma}(t_0) - \int_{t_0}^t (\omega_Y \cos \gamma + \omega_Z \sin \gamma) dt.$$

Предлагаемое устройство позволяет упростить схему компенсации КП, заменив широко применяемую следящую систему с дополнительной рамой, электронной системой с микроконтроллером, входными сигналами которого являются сигналы штатных датчиков летательного аппарата.

Заключение:

1. Разработана оригинальная схема аналитической компенсации кардановой погрешности ГПК, упрощающая его конструкцию и повышающая точность определения курсового угла при разворотах.

2. В соответствии с предложенным алгоритмом составлена блок-схема программы работы МК.

4. ГПК с предложенной аналитической АК можно использовать в системе управления в курсовом канале БПЛА типа «Дань».

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилин В.П. Гироскопические приборы / Москва: Высшая школа, 1965. – 534 с.

2. Кривошеев С.В. Курсовые системы / С.В. Кривошеев. КНИТУ КАИ им. А.Н. Туполева. – Казань, 2015. – 59 с.

3. Патент № 2805425 Российская Федерация, МПК G01C 19/00 способ измерения угла поворота летательного аппарата в горизонтальной плоскости: № 2023112817: заявл. 18.05.2023. опубл. 11.07.2023/ Кривошеев С. В., Стрелков А.Ю., Кудряшов О.А., Карпов И.А., заявитель "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ".

4. БПЛА – мишень «Дань». Российская авиация. Режим доступа: <http://авиару.рф/aviamuseum/aviatsiya/rf/bpla/bpla-mishen-dan/>