

МАШИНОСТРОЕНИЕ

С. Р. КАРАПЕТЯН

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЕСОВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ИНЕРЦИОННОГО КОМПЕНСАТОРА  
И ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА

В настоящее время для решения ряда задач научного и народнохозяйственного характера (обеспечение связи с помощью узконаправленных антенн, астрономические наблюдения, слежение за движущимися объектами и др.) требуется высокоточная пространственная ориентация аппаратуры, установленной на подвижном основании. При этом применяется принцип многоступенчатого управления: платформа с аппаратурой устанавливается подвижно относительно основания и снабжается собственной прецизионной системой ориентации (СО) [1].

Такой подход открывает возможности для построения итерационных многоканальных систем и позволяет ограничить требования по точности к более мощной СО основания. Вместе с тем высокие требования по точности и качеству СО объектов подобного типа приводят к необходимости учета влияния различных нелинейностей и взаимосвязи угловых поворотов управляемой платформы (УП) и основания. На практике зачастую требуется компенсация либо устранение указанной взаимосвязи движений.

В общем случае, эту задачу можно решить тремя способами:

— вводом дополнительных компенсирующих перекрестных связей между СО основания и УП, согласно приложениям теории инвариантности [2];

— применением инерционного компенсатора (ИК);

— применением гиростабилизатора (ГС).

Заметим, что возможности первого способа ограничены мощностью исполнительных органов обеих систем, то есть, их способностью парировать значительные возмущающие моменты.

Последние два способа, вследствие неидеальной механической передачи и погрешностей гироскола, не могут обеспечить полное устранение взаимосвязи движений основания и УП во всем диапазоне их скоростей и ускорений. Это обстоятельство может привести к необходимости дополнительного исследования остаточных явлений и принятия специальных мер с целью их исключения.

Данная работа посвящена рассмотрению двух последних способов компенсации взаимосвязи движений УП и основания. При этом выявляются причины, затрудняющие получение однозначных рекомендаций.

ИК представляет собой маховик, механически связанный с приводом УП таким образом, что суммарный кинематический момент привода УП и ИК равен нулю в любой момент времени. Аналитически это выражается следующим соотношением:

$$J_n p\varphi_n + J_d p\varphi_d + J_m p\varphi_m = 0, \quad (1)$$

где  $J_n$ ,  $J_d$ ,  $J_m$  — момент инерции, соответственно, нагрузки (УП), ротора, двигателя и маховика (ИК);

$\varphi_n$ ,  $\varphi_d$ ,  $\varphi_m$  — углы поворота нагрузки, ротора двигателя и маховика;

$p = \frac{d}{dt}$  — символ дифференцирования.

Условная математическая модель привода УП с ИК, установленных на подвижном основании, в общем виде представлена на рис. 1, где  $D$  — двигатель,  $P_1$  и  $P_2$  — редукторы с передаточными числами, соответственно,  $q_1$  и  $q_2$ .

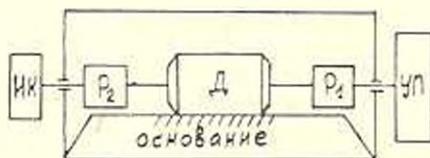


Рис. 1.

Представляет интерес эквивалентное передаточное число  $q_n$  всей механической передачи от УП до ИК, равное  $q_n = q_1 q_2^{-1}$ , согласно приведенной модели. Следует заметить, что выбор величины  $q_1$  не вызывает особых затруднений (соответствующая методика изложена в [3]). В то же время, по выбору величины  $q_2$  или  $q_3$  публикации отсутствуют.

К величине  $q_1$  предъявляются два противоречивых требования: по минимизации габаритов и веса маховика — с одной стороны, по минимизации расхода мощности в процессе работы привода УП с ИК — с другой. Противоречивость указанных требований можно доказать, используя выражение (1), которое после дифференцирования и преобразования можно представить в виде

$$(J_n + J_d q_2) p^2 \varphi_n = -J_m p^2 \varphi_m. \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что если выбрать соотношение для углов в виде  $\varphi_n = -q_3 \varphi_m$  (знак «—» выражает противоположность направлений вращений по той же оси), момент инерции ИК определится как

$$J_m = q_3^{-1} (J_n + J_d q_2). \quad (3)$$

Отсюда видно, при постоянном выбранном  $q_1$  для минимизации требуемого значения  $J_{\Sigma}$ , а значит, габаритов и веса ИК, необходимо потребовать увеличения величины  $q_2$  за счет уменьшения  $q_3$ .

С целью определения потребляемой мощности и влияния на нее величины  $q_3$ , запишем выражение для приведенного к валу нагрузки (УП) суммарного инерционного момента привода:

$$M_{\Sigma n} = (J_n + J_1 q_1^2)(1 + q_3) p^2 z_n. \quad (4)$$

С учетом (4), требуемые момент и скорость на валу двигателя, обеспечивающие заданный закон движения УП, можно записать в виде

$$\Omega_2(t) = q_1 \Omega_n(t), \quad (5)$$

$$M_2(t) = q_1^{-1} [(J_n + J_1 q_1^2)(1 + q_3) E_n(t) + M_c(t)], \quad (6)$$

где  $\Omega_n(t)$ ,  $E_n(t)$  — заданные законы изменения, соответственно, скорости и ускорения движения УП;

$M_c(t)$  — момент сопротивления на валу УП.

Известно [3], что полная мощность, которую необходимо подвести к двигателю постоянного тока с независимым возбуждением для обеспечения заданного закона движения нагрузки, определяется следующим выражением:

$$P(t) = P_m(t) + P_i(t) + P_{\Sigma},$$

где  $P_m(t) = M_2(t) \Omega_2(t)$  — требуемая механическая мощность;

$P_i(t) = k M_2^2(t)$  — потери мощности в цепи якоря ( $k = \text{const}$  и зависит от конструктивных параметров двигателя);

$P_{\Sigma}$  — постоянная мощность, потребляемая обмоткой возбуждения.

Следовательно, для привода УП с ИК можно записать:

$$P_m(t) = [(J_n + J_1 q_1^2)(1 + q_3) E_n(t) + M_c(t)] \Omega_n(t), \quad (7)$$

$$P_i(t) = k q_1^{-2} [(J_n + J_1 q_1^2)(1 + q_3) E_n(t) + M_c(t)]^2. \quad (8)$$

Из полученных выражений (7), (8) видно, что для минимизации величины полной мощности, расходуемой приводом УП с ИК, необходимо потребовать уменьшения  $q_1$  (за счет увеличения  $q_2$ ) при постоянном выбранном значении  $q_3$ .

Очевидно, что доказанная противоречивость требований, предъявляемых к величине передаточного числа  $q_3$ , накладывает жесткое ограничение на вариацию весовых и энергетических характеристик ИК. На практике подобное ограничение приводит к необходимости поиска оптимального решения задачи с учетом конкретных особенностей и дополнительных требований. Следовательно, при значительных скоростях и ускорениях движения УП относительно основания, устранение динамической

взаимосвязи с помощью ИК связано с существенным увеличением энергетических затрат, а также веса и габаритов СО.

Теперь рассмотрим способ устранения взаимосвязи угловых поворотов УП и основания с помощью ГС. В качестве последнего может служить трехстепенной гироскоп, на внешней раме которого установлен датчик момента (ДМ), управляющий движением УП (рис. 2).

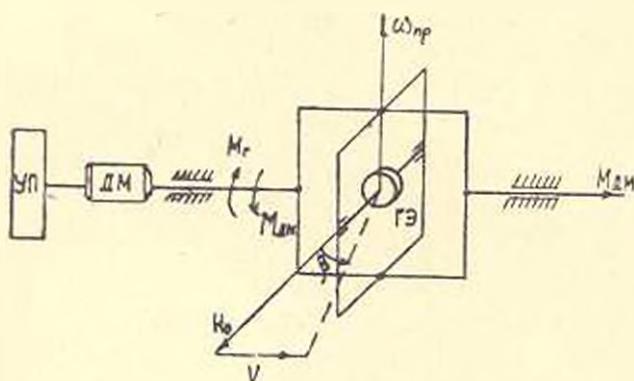


Рис. 2.

Согласно принципу действия трехстепенного гироскопа [4], момент  $M_{дм}$ , приложенный к внешней раме от ДМ, вызывает прецессию внутренней рамы с угловой скоростью  $\omega_{пр}$ . При этом конец вектора кинетического момента  $H_0$  гироскопа (ГЭ) движется в направлении совмещения  $H_0$  и  $M_{дм}$  с линейной скоростью

$$\vec{V} = \vec{v}_{пр} \times \vec{H}_0, \quad (9)$$

где

$$\omega_{пр} = \frac{d\beta}{dt}, \quad (10)$$

$$H = H_0 \cos \beta. \quad (11)$$

В свою очередь, прецессия внутренней рамы со скоростью  $\omega_{пр}$  приводит к появлению противоположного компенсирующего момента

$$\vec{M}_r = -\dot{M}_{дм} = \vec{H} \times \vec{\omega}_{пр}. \quad (12)$$

Взяв абсолютные значения векторов в (12), с учетом (11) можно получить выражение

$$\omega_{пр} = \frac{M_{дм}}{H_0 \cos \beta}. \quad (13)$$

При применении ГС полная мощность, расходуемая приводом УП, незначительно отличается от требуемой электромеханической мощности

для вращения УП (дополнительная мощность необходима лишь для вращения ГЭ с постоянной скоростью). Другим существенным преимуществом является то, что этот способ применим принципиально для любого значения момента инерции УП.

Однако, указанный способ компенсации конструктивно сложно применить по внутренним осям карданного подвеса УП.

Возможность насыщения ГС в процессе работы также является существенным недостатком этого способа компенсации, поскольку оно приводит к необходимости предусмотреть специальную систему разгрузки, либо использовать гироскоп повышенной мощности с большим  $T_{max}$ , что приведет к увеличению габаритов, веса и энергопотребления. В этом отношении системы с ИК обладают определенным преимуществом, поскольку в них насыщения ИК можно избежать соответствующим выбором величины  $q$ .

На основании вышесказанного можно заключить, что наиболее предпочтительным, с точки зрения весовых и энергетических характеристик, для устранения взаимосвязи угловых поворотов подвижного основания и УП, установленного в двух- или трехкарданном подвесе, является комбинированный способ, при котором компенсация по внешней оси карданного подвеса осуществляется ГС, а по внутренним — ИК.

Поступило 7.11.1977

И. И. ЧИРИКЬЯН

ԻՆԵՐՅԻՈՆ ԿԱՐԴԱՆԱՍԱՏՈՐԻ ԵՎ ԳԻՐՈՎԱՅՈՒՆՈՒՑՈՒՑԻՉԻ ՔԱՇԱՅԻՆ  
ԵՎ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԱՄԻՄԱՍԱԿԱՆ ԴՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

И. И. Ч И Р И К Ъ Я Н

Գրությունը են պանդխտային ղեկավարվող հենահարթակի և շարժվող հիմքի անկյունային պտույտների փոխադարձ կապի վերացման և զանազան բնորոշիչները կոմպենսատորի և գիրովայունացիչի օգնությամբ:

Տրվում է այդ եղանակների համեմատական գնահատականը բաշային և էներգետիկ բնութագրերի տեսանկյունից: Բնորոշվում են կոմպենստորի և զանազանների կիրառումն այն դեպքում, երբ ղեկավարվող հենահարթակը անդադրված է հրկանանցը կամ երանանցը կարգանային կախոցի վրա:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Осмоловский И. Ф. Итерационные многоканальные системы автоматического управления. Изд. «Советское радио», М., 1969.
2. Петров Б. Н. Принципы инвариантности и условия его применимости при расчете линейных и нелинейных систем. Труды I Межд. конгр. межд. федер. по авт. рег. Изд. АН СССР, 1961.
3. Рабинович Я. В. и др. Проектирование следящих систем. Изд. «Машиностроение», М., 1969.
4. Мазнус К. Гироскоп. Теория и применение. Изд. «Мир», М., 1971.