$$\omega_н = \frac{1}{T_н} = \frac{H}{A_г}.$$

Подставим это значение частоты в (3.23):

$$\psi_г(\omega_н) = 2\mathrm{arctg}\left[-\frac{(H - J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc})(H - DA^*_{cc}\sin\psi^*_{cc}) + J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\sin\psi^*_{cc}D(1 - A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc})}{(H - J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc})D(1 - A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc}) - J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\sin\psi^*_{cc}(H - DA^*_{cc}\sin\psi^*_{cc})}\right] \quad (3.24)$$

Здесь верхний индекс * означает, что функции $A_{cc}(\omega)$ и $\psi_{cc}(\omega)$ берутся при $\omega = \omega_н$, т. е.

$$A^*_{cc} = A_{cc}(\omega_н); \quad \psi^*_{cc} = \psi_{cc}(\omega_н). \quad (3.25)$$

Введем обозначение

$$F^* = \frac{(H - J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc})(H - DA^*_{cc}\sin\psi^*_{cc}) + J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\sin\psi^*_{cc}D(1 - A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc})}{(H - J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc})D(1 - A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc}) - J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\sin\psi^*_{cc}(H - DA^*_{cc}\sin\psi^*_{cc})}. \quad (3.26)$$

Тогда, используя тригонометрические зависимости, выражение (3.24) можно представить в виде

$$\psi_г(\omega_н) = 2\mathrm{arctg}[-F^*] = -2\mathrm{arctg}F^* = -2\left[\frac{\pi}{2} - \mathrm{arctg}F^*\right] = -2\left[\frac{\pi}{2} - \mathrm{arcctg}\frac{1}{F^*}\right]. \quad (3.27)$$

Поскольку предполагается, что A^*_{cc} очень мала, то из (3.26) следует, что величина $\frac{1}{F^*}$ имеет порядок $\frac{D_г}{H}$, т. е. также очень мала. Это позволяет представить выражение (3.27) приближенно в виде

$$\psi_г(\omega_н) \cong -2\left[\frac{\pi}{2} - \frac{1}{F^*}\right]. \quad (3.28)$$

Запас устойчивости по фазе $\Delta\psi_г(\omega_н)$ определяется как сумма π и фазы $\psi_г(\omega)$ в точке, где $|W_г(j\omega)|$ пересекает ось частот, т. е. при частоте $\omega_н$.

Таким образом,

$$\Delta\psi_г(\omega_н) = \pi + \psi_г(\omega_н) \cong \pi - 2\left[\frac{\pi}{2} - \frac{1}{F^*}\right] \cong \frac{\pi}{F^*}. \quad (3.29)$$

Подставляя сюда обозначение (2.27), получаем

$$\Delta\psi_г(\omega_н) \approx \frac{(H - J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc})D(1 - A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc}) - J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\sin\psi^*_{cc}(H - DA^*_{cc}\sin\psi^*_{cc})}{(H - J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc})(H - DA^*_{cc}\sin\psi^*_{cc}) + J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\sin\psi^*_{cc}D(1 - A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc})}. \quad (3.30)$$

В связи с малостью A^*_{cc} и $D_г$ можно пренебречь в знаменателе всеми слагаемыми по сравнению с H^2, тогда после преобразований в числителе получаем

$$\Delta\psi_г(\omega_н) \approx \frac{1}{H^2}\{H[D(1 - A^*_{cc}\cos\psi^*_{cc}) - J_1\dot{\varphi}A^*_{cc}\sin\psi^*_{cc}] + DJ_1\dot{\varphi}A^*_{cc}(A^*_{cc} - \cos\psi^*_{cc})\}. \quad (3.31)$$

Выражение (3.31) позволяет определить запас по фазе идеального ДНГ, установленного на платформу гиростабилизатора, если известна частотная характеристика системы стабилизации. Некоторые выводы об устойчивости ДНГ могут быть сделаны в общем виде.

Так, если основание, на котором установлен ДНГ, неподвижно, то следует принять, что $A^*_{cc} = 0$, тогда

$$\Delta\psi_г(\omega_н) = \frac{D}{H},$$

что подтверждает ранее полученное заключение, что идеальный ДНГ на неподвижном основании устойчив при наличии демпфирования.

Если система стабилизации идеальна, то $A^*_{cc} = 1$, $\psi^*_{cc} = 0$. В этом случае $\Delta\psi_г(\omega_н) = 0$, и ДНГ неустойчив. Этот вывод также был получен ранее.

Влияние реальной системы стабилизации на запас по фазе увеличивается с уменьшением демпфирования. Действительно, при $D = 0$ из выражения (3.31) следует, что знак $\Delta\psi_г$ определяется только параметрами системы стабилизации. Однако при реальных значениях D такое влияние оказывается очень незначительным, что обусловливается малостью амплитуды A^*_{cc} при $\omega_п << \omega_н$, как это следует из рис. 3.8. Кроме того, с целью увеличения помехозащищенности системы стабилизации на ДНГ в ее регулятор вводят фильтры, еще больше снижающие амплитуду A^*_{cc} (подробнее об этом указано в § 3.3). Это дает основание в большинстве практических случаев пренебречь в выражении (3.31) членами с A^*_{cc} и принять запас по фазе $\Delta\psi_г$ равным запасу по фазе ДНГ на неподвижном основании.

Что касается качества регулирования, то оно зависит от места приложения возмущающего воздействия. Если возмущающий момент приложен к гироскопу, то качество переходного процесса определяется близкими к мнимой оси двумя комплексно-сопряженными корнями передаточной функции ДНГ $\Phi_г(s)$ (см. рис. 1.11), характеризующими слабо затухающие нутационные колебания гироскопа, и поэтому будет низким. Однако этот случай не имеет большого практического значения, так как величина возмущающих моментов гироскопа в современных ДНГ очень мала.

Если возмущающий момент $N^в$ приложен к платформе стабилизатора, то качество переходного процесса определяется в основном передаточной функцией $\Phi_{cc}(s)$ системы стабилизации, поскольку обратное влияние системы стабилизации на ДНГ незначительно, как показано выше.

3.3. Общие принципы формирования регулятора системы стабилизации

В предыдущем параграфе предполагалось, что параметры системы стабилизации, обеспечивающие ей заданную точность и необходимые динамические свойства, выбраны. При синтезе системы стабилизации можно основываться на методах проектирования системы стабилизации на трехстепенном астатическом гироскопе [3, 5], поскольку при этом необходимо учитывать некоторые особенности системы стабилизации, связанные с применением в качестве чувствительного элемента ДНГ. К ним следует отнести прежде всего высокую статическую точность системы стабилизации, поскольку от нее зависит точность самого ДНГ как датчика положения платформы гиростабилизатора, а также наличие значительного числа помех на входе системы, определяемых спецификой кинематики и съема выходного сигнала с вращающегося ротора ДНГ. Эти особенности накладывают отпечаток на структуру и параметры регулятора системы стабилизации. В настоящее время представлены принципы формирования регулятора одноканальной системы стабилизации. При этом предполагается, что параметры объекта стабилизации, платформы, подвеса и привода, а также ДНГ заданы или уже определены.

Структурная схема одноканальной системы стабилизации представлена на рис. 3.4, а ее уравнение движения — одним из выражений (3.4).

Передаточная функция одноканальной системы стабилизации по углу платформы в отношении $\alpha_п$ угла гироскопа $\alpha_г$ имеет вид

$$\Phi_{cc}(s) = \frac{W_{cc}(s)}{1 + W_{cc}(s)} = \frac{\alpha_п}{\alpha_г}, \quad (3.32)$$

где $W_{cc}(s)$ — передаточная функция разомкнутой системы стабилизации.

Структура и параметры автоматической системы стабилизации определяются передаточной функцией $\Phi_{cc}(s)$. Поэтому задачей проектирования в рамках настоящего раздела является синтез передаточной функции $\Phi_{cc}(s)$ на основании выражения (3.32), который может быть сведен к более простой задаче формирования передаточной функции разомкнутой системы $W_{cc}(s)$. Если ограничиться при этом только неминимально-фазовыми системами, в которых имеется однозначная связь между амплитудно-частотной и фазочастотной характеристиками, то удобно воспользоваться методом логарифмических амплитудно-частотных характеристик.