

О. Н. ГАСПАРЯН, А. З. ЗАХАРЯН, Г. Г. ЕГИАЗАРЯН

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПА СТАНЦИИ «АСТРОН»

В настоящей статье рассмотрены кинематические и структурные особенности системы прецизионной стабилизации (СПС) положения изображения наблюдаемых объектов в ультрафиолетовом телескопе космической станции «Астрон». Произведен анализ динамической точности и устойчивости СПС в режимах автосопровождения и офсетного гидирования.

Структурная схема СПС и ее особенности. В режиме автосопровождения СПС распадается на два практически независимых идентичных сепаратных (отдельных) канала. Синтез структуры сепаратного канала произведен с учетом ряда противоречивых требований, обусловленных спецификой функционирования системы. Так, например, характерной особенностью СПС является работа при весьма низких скоростях—до тысячных долей угловых градусов в секунду, что предъявляет повышенные требования к плавности движения вторичного зеркала. В то же время, поскольку стабилизация положения изображения должна производиться с очень высокой точностью, то требуемая добротность по скорости оказывается весьма большой. Ширина полосы пропускания, с одной стороны, должна быть достаточной для отработки спектра кинематических погрешностей механических передач, а с другой—по возможности узкой, с целью уменьшения ошибок от случайных шумов в системе. Синтез системы произведен известными методами [1] исходя из условия обеспечения показателя колебательности $M=1,3$. Добротность СПС по скорости выбрана равной 200 с^{-1} , а частота среза—равной 12 с^{-1} . Структурная схема сепаратного канала системы показана на рис. 1.

На рис. 2 условно изображена фокальная плоскость телескопа. Исследуемая звезда расположена на оптической оси телескопа, а изоб-

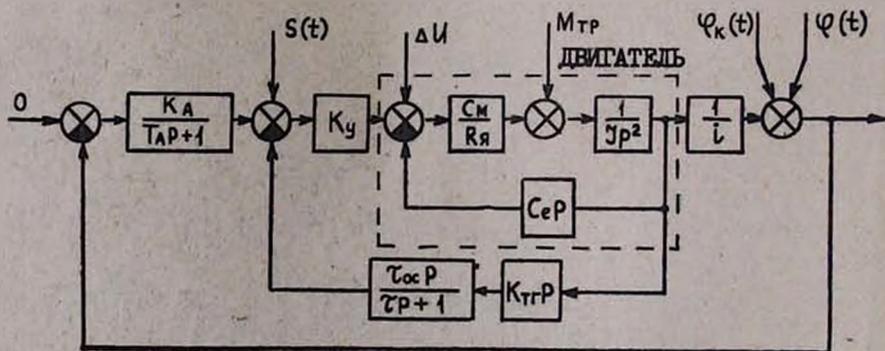


Рис. 1. Структурная схема отдельного канала стабилизации

ражение опорной (офсетной) звезды находится на расстоянии $F \operatorname{tg} \theta$ от оптической оси, под углом α к оси Z . Здесь F — эквивалентное фокусное расстояние телескопа, а θ — угол между офсетной и исследуемой звездами. Пунктиром обведена граница поля зрения офсетного астродатчика АД2 (поля возможного расположения опорных звезд). Структурная схема СПС в офсетном режиме определяется способом наведе-

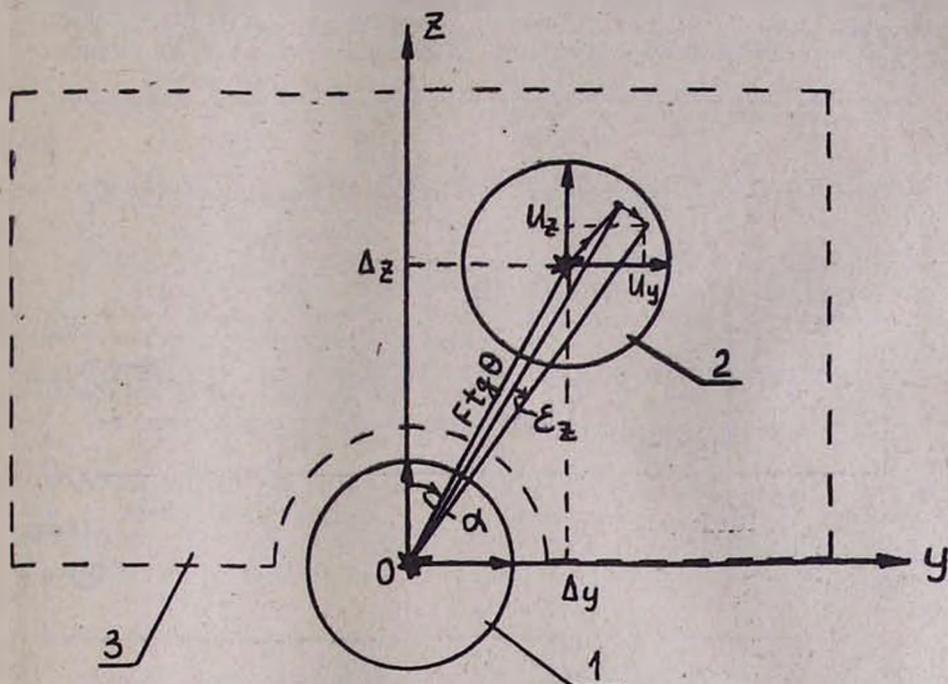


Рис. 2. Фокальная плоскость телескопа: 1—поле зрения центрального астродатчика АД1, 2—поле зрения офсетного астродатчика АД2, 3—область возможного расположения опорных звезд

ния АД2 на опорную звезду и характеризуется рядом особенностей [2]. Так, принятая кинематическая схема наведения астродатчика обеспечивает его плоскопараллельное перемещение в фокальной плоскости телескопа в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, при котором оси чувствительности АД2 всегда параллельны соответствующим осям стабилизации. Как следует из рис. 2, линейные отклонения Y и Z опорной звезды в поле зрения АД2 связаны с угловыми отклонениями телескопа следующими выражениями:

$$Y = F[\cos \varepsilon_x \operatorname{tg} \varepsilon_x + \sin \varepsilon_x \operatorname{tg} \varepsilon_y - \operatorname{tg} \theta \sin \alpha (1 - \cos \varepsilon_x) + \operatorname{tg} \theta \cos \alpha \sin \varepsilon_x], \quad (1)$$

$$Z = F[-\sin \varepsilon_x \operatorname{tg} \varepsilon_x + \cos \varepsilon_x \operatorname{tg} \varepsilon_y - \operatorname{tg} \theta \sin \alpha \sin \varepsilon_x - \operatorname{tg} \theta \cos \alpha (1 - \cos \varepsilon_x)].$$

Пренебрегая в (1) членами второго порядка малости относительно ε , для выходных сигналов АД2 U_x и U_y получим:

$$U_x = W_{\text{АД}}(p) Y = W_{\text{АД}}(p) F(\varepsilon_x + \operatorname{tg} \theta \cos \alpha \varepsilon_x),$$

$$U_y = W_{\text{АД}}(p) Z = W_{\text{АД}}(p) F(\varepsilon_y - \operatorname{tg} \theta \sin \alpha \varepsilon_x), \quad (2)$$

где $W_{\text{АД}}(p)$ — передаточная функция астродатчика.

Учитывая соотношения (2), а также то обстоятельство, что в АД2 осуществляется амплитудно-фазовая модуляция светового потока и в нем, наряду с двухканальной частью, содержится также и одноканальный тракт преобразования комплексной амплитуды модулированного сигнала, нетрудно составить структурную схему СПС в офсетном режиме (рис. 3). Изображенные на этом рисунке прямые антисимметричные связи между сепаратными каналами СПС обусловлены погрешностями выставки осей генератора опорных напряжений (ГОН) астродатчика АД2 относительно осей управления. Как показал анализ, их наличие не

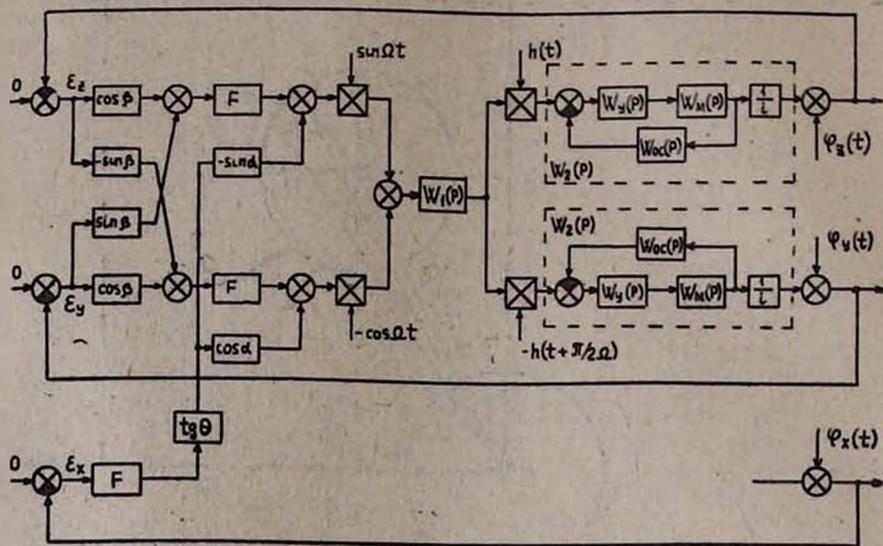


Рис. 3. Структурная схема системы стабилизации в офсетном режиме

изменяет модуль вектора установившейся ошибки, а приводит к повороту самого вектора в плоскости YOZ (вокруг оси OX) на угол β . Влияние же указанных взаимных связей на устойчивость СПС заключается в изменении запаса устойчивости на ту же величину β . Так как погрешность выставки осей ГОНа не превышает $\beta \approx 1^\circ - 2^\circ$, то, очевидно, влияние взаимных связей на динамику СПС пренебрежимо мало.

Анализ динамической точности СПС. Основное внимание при разработке системы было уделено вопросам обеспечения ее динамической точности, а также анализу допусков на параметры СПС и влияния их отклонений на точность [3, 4]. На первом этапе работы были выявлены факторы, в той или иной степени ограничивающие достижимые точности стабилизации. К ним относятся: внешние возмущения, вызванные угловыми движениями станции «Астрон», моментные и кинематические возмущения в механических передачах, падение напряжения на щеточно-коллекторном переходе исполнительных двигателей, сигналы помех на выходах астродатчиков, порождаемые дробовым шумом фотумножителей, осевыми и радиальными биениями полудисксового модулятора, нестационарностью демодуляторов и т. д.

Ниже приведен расчет составляющих ошибки стабилизации и определена результирующая ошибка СПС.

Динамическая составляющая ошибки. Вектор установившейся динамической ошибки СПС в офсетном режиме найден на основании теории многосвязного регулирования, с помощью матриц коэффициентов

ошибок, полученных в [5]. При условии, что сепаратные каналы стабилизации имеют первый порядок астатизма, а внешние возмущения представляют собой линейные функции времени вида $\varphi_i(t) = \Omega_i t$ ($i = x, y, z$), вектор ошибки системы определяется выражением

$$\varepsilon_A(t) = -\frac{1}{FK_\Omega} \left\{ \begin{matrix} \Omega_y \\ \Omega_x \end{matrix} \right\} + \operatorname{tg} \theta \begin{bmatrix} -\sin \alpha \\ \cos \alpha \end{bmatrix} \Omega_x + \operatorname{tg} \theta \begin{bmatrix} -\sin \alpha \\ \cos \alpha \end{bmatrix} \Omega_x t, \quad (3)$$

где K_Ω — добротность по скорости сепаратных каналов.

Переходя в (3) к модулям, получим следующую оценку для $|\varepsilon_A(t)|$:

$$|\varepsilon_A(t)| \leq \frac{\sqrt{\Omega_y^2 + \Omega_x^2} + \operatorname{tg} \theta |\Omega_x|}{FK_\Omega} + \operatorname{tg} \theta |\Omega_x| t. \quad (4)$$

Первое слагаемое в (4) характеризует скоростную составляющую, а второе слагаемое — статическую составляющую ошибки СПС, вызванную неуправляемым движением вокруг оптической оси телескопа $\varphi_x(t)$. Максимальное значение модуля динамической ошибки СПС определено из выражения (4). Для наиболее неблагоприятного случая расположения опорной звезды ($\alpha = 0$, $\theta = 26$ угл. мин) и при максимальной погрешности ориентации станции «Астрон» эта ошибка равна: $\varepsilon_{\max} = 2,4$ угл. с.

Ошибка от падения напряжения на щетках исполнительных двигателей. Падение напряжения ΔU на щеточно-коллекторном переходе исполнительных двигателей постоянного тока ДПР-62, примененных в СПС, приводит к соответствующей ошибке стабилизации, которая равна:

$$\varepsilon_{\Delta U} = \frac{\Delta U}{K_A K_y} = 0,07 \text{ угл. с}, \quad (5)$$

где $\Delta U = 1,5$ в, $K_A = 2,33$ в/угл. мин — коэффициент передачи астродатчика, $K_y = 9$ — коэффициент усиления усилителя мощности.

Моментная составляющая ошибки. Эта составляющая вызвана сухим трением в механических передачах и определяется из выражения

$$\varepsilon_M = \frac{\gamma_{\text{дв}} M_{\text{тр}}}{2IK_\Omega} = 0,092 \text{ угл. с}, \quad (6)$$

где $\gamma_{\text{дв}} = 0,34$ рад/гсм — жесткость механической характеристики двигателя, $M_{\text{тр}} = 60$ гсм — приведенный к валу двигателя момент сухого трения, $i = 217391$ — передаточное число механической передачи, $K_\Omega = 200 \text{ с}^{-1}$ — добротность СПС по скорости.

Ошибка от шумового напряжения помехи в астродатчике. Основным источником помех в астродатчике является дробовой шум, возникающий при работе фотокатода и при вторичном усилении на диодах фотоэлектронного умножителя. Среднеквадратическая ошибка от шумов на выходе астродатчика вычисляется по известному выражению

$$\varepsilon_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_0(\omega) |\Phi_1(j\omega)|^2 d\omega}, \quad (7)$$

где $S_0(\omega)$ — спектральная плотность помехи, а $\Phi_1(j\omega)$ — частотная передаточная функция от выхода астродатчика до входа СПС. Найденная величина ошибки $\varepsilon_{\text{ш}}$ равна 0,11 угл. с.

Ошибки, вызванные кинематическими погрешностями механических передач. Анализ влияния кинематических погрешностей механических передач (МП) на точность стабилизации проведен по методике, разработанной в МАИ В. Г. Терсковым. Дополнительные гармоники из выходе реальных МП, обусловленные неточностью изготовления зубчатых колес, учтены в виде внешних возмущений $\varphi_k(t)$, а амплитуды данных гармоник определены исходя из допусков по ГОСТ, назначенных в соответствии со степенями точности изготовления. Кинематическая схема МП одного канала стабилизации приведена на рис. 4. Расчеты показали, что в системе практически имеют место две существенные составляющие ошибки—первая с частотой $\omega_1 = 15 \text{ с}^{-1}$ и амплитудой $\varepsilon_1^h = 0,066 \text{ угл. с}$, и вторая с частотой $\omega_2 = 26 \text{ с}^{-1}$ и амплитудой $\varepsilon_2^h = 0,071 \text{ угл. с}$, обусловленные кинематическими погрешностями блока шестерен (z_3, z_4) и винтовой передачи.

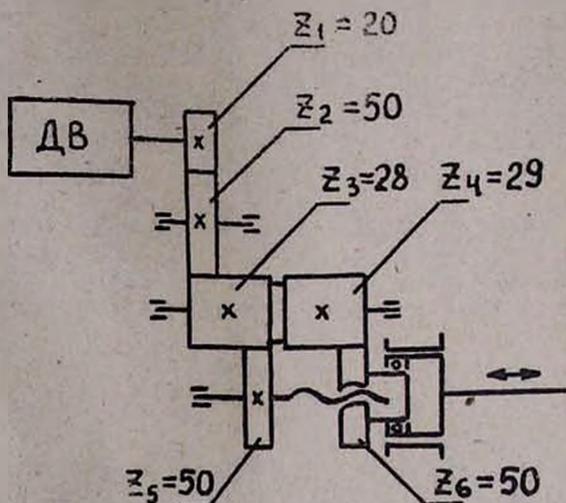


Рис. 4. Кинематическая схема механической передачи

Результирующая среднеквадратическая ошибка стабилизации системы в офсетном режиме определяется из выражения

$$\varepsilon_{\text{офс}} = \sqrt{\varepsilon_{\Delta\lambda}^2 + (\varepsilon_{\Delta\text{мвх}} + \varepsilon_{\Delta\text{и}} + \varepsilon_{\text{м}})^2 + (\varepsilon_1^h)^2 + (\varepsilon_2^h)^2}$$

и равна $\varepsilon_{\text{офс}} = 2,53 \text{ угл. с}$.

В режиме автосопровождения установившаяся динамическая ошибка СПС определяется только скоростной составляющей $\varepsilon_{\text{скмвх}} = 0,09 \text{ угл. с}$, так как статическая ошибка в данном режиме отсутствует ($\theta = 0$). Поэтому в режиме автосопровождения результирующая ошибка оказывается меньше и равна $\varepsilon_{\text{авт}} = 0,29 \text{ угл. с}$.

Расчетные значения результирующих среднеквадратических ошибок стабилизации в обоих режимах работы СПС удовлетворяют поставленным требованиям. Результаты обработки звездных спектрограмм, полученных в настоящее время при помощи станции «Астрон», так же как и оценка телеметрических параметров СПС показали, что погрешности стабилизации системы не превышают расчетных величин.

Օ. Ն. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Ա. Զ. ԶԱԽԱՐԻԱՆ, Գ. Գ. ԵԳԻԱԶԱՐԅԱՆ

«ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵՋԵՐԱԿԱՆ ԿԱՑԱՆԻ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԳԵՐՃՇԳՐԻՏ
ԿԱՅՈՒՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՑԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Նկարագրված են «Աստրոն» կայանի ուլտրամանուշակագույն աստղադիտակի գերճշգրիտ կայունացման համակարգի կինեմատիկան և կառուցվածքային առանձնահատկությունները:

Քննարկված են ուղիղ և օվսեթային հետևող դործելակարգերում համակարգի դինամիկական ճշգրտության և կայունության հարցերը:

O. N. GASPARIAN, A. Z. ZAKHARIAN, G. G. YEGIAZARIAN

„ASTRON“ SPACE STATION TELESCOPE IMAGE FINE
STABILIZATION SYSTEM DYNAMICS ANALYSIS

Kinematic and structural features of the „Astron“ space station ultraviolet telescope image stabilization system are considered. Results of performance and stability analysis for direct and offset operation modes are presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Бесекерский, Динамический синтез систем автоматического регулирования. М., Наука, 1970.
2. Օ. Ն. Գասպարյան, Գ. Գ. Եգիազարյան, «Изв. АН АрмССР (серия техн. н.)», 32, 10 1980.
3. П. И. Дехтяренко, А. З. Захарян, Сб. «Преобразовательная и электронизмерительная техника», Киев, 78, 1975.
4. А. З. Захарян, «Автоматика», № 3, 26, 1978.
5. Օ. Ն. Գասպարյան, Գ. Գ. Եգիազարյան, «Изв. АН АрмССР (серия техн. н.)», 33, 38, 1979.