

# Влияние погрешностей ленточной передачи на точность информационно-измерительной системы стабилизации и наведения

## Influence Of Tape Transmission Errors On The Accuracy Of The Information And Measurement System Of Stabilization And Guidance

УДК 623.4.052.54

Получено: 19.08.2022

Одобрено: 07.09.2022

Опубликовано: 25.09.2022

### **Михед А.Д.**

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Приборы управления» Тульского государственного университета

e-mail: anton11588@yandex.ru

### **Mikhed A.D.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Control Devices" of Tula State University

e-mail: anton11588@yandex.ru

### **Родионов В.И.**

Д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Приборы управления» Тульского государственного университета

e-mail: virodionov@mail.ru

### **Rodionov V.I.**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Control Devices" of Tula State University

e-mail: virodionov@mail.ru

### **Аннотация**

Проведен анализ влияния неточности длины ленты кинематической передачи на углы наведения по высоте. Исследование проводилось с учетом конструктивного размера радиуса ведомого шкива ленточной передачи. Получены кинематические уравнения двухосного карданова подвеса, учитывающие погрешность ленточной передачи и радиуса шкива.

**Ключевые слова:** система стабилизации и наведения, линия визирования, погрешность наведения, ленточная передача, карданов подвес, шкив.

### **Abstract**

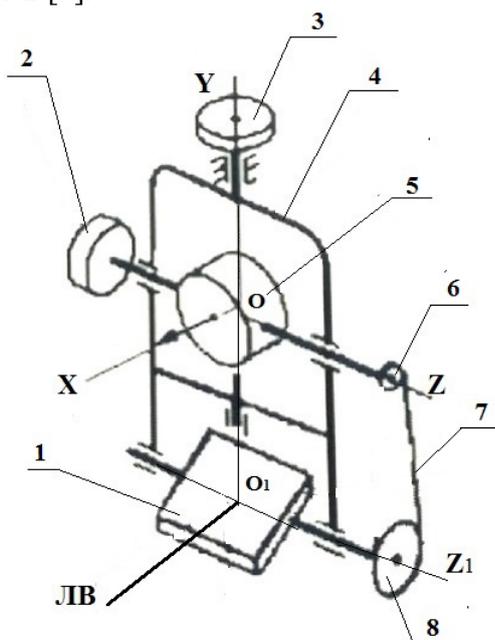
The influence of the inaccuracy of the length of the kinematic transmission tape on the elevation angles is analyzed. The study was carried out taking into account the design size of the radius of the driven belt transmission pulley. The kinematic equations of a biaxial gimbal suspension are obtained, taking into account the error of the belt transmission and the radius of the pulley.

**Keywords:** stabilization and guidance system, line of sight, guidance error, belt transmission, gimbal, pulley.

При осуществлении стабилизации оптико-электронной аппаратуры широко используются информационно-измерительные системы стабилизации и наведения (ИИССиН) линии визирования (ЛВ). ИИССиН используются на подвижных объектах военного и гражданского назначения для получения информации об угловых параметрах ЛВ оптических приборов в режимах стабилизации и наведения. Популярностью пользуется схема, показанная на рис. 1, в которой гироскопическая платформа и зеркало установлены в единой наружной рамке, а оси их вращений  $OZ$  и  $O_1Z_1$  связаны ленточной передачей. Двухосный карданов подвес обеспечивает круговой обзор по оси азимута  $OY$  и углы наведения по оси высоты  $OZ$ , не превышающие  $\pm 90^\circ$ . При горизонтальном положении оси платформы  $OX$  угол между ЛВ и плоскостью зеркала устанавливается равным 45 градусам [1].

Ленточная передача состоит из двух шкивов (ведущего, ведомого) и охватывающей их ленты. Вращение ведущего шкива осуществляется за счет исполнительного двигателя вокруг оси  $OZ$ , а вращение ведомого шкива за счет ленточной передачи вокруг оси  $O_1Z_1$ . Поворот наружной рамки осуществляется за счет исполнительного двигателя вокруг оси  $OY$  [2].

Конструктивно ведомый шкив расположен на одном валу с зеркалом и имеет радиус в два раза больший радиуса ведущего шкива, который, в свою очередь, расположен на одном валу с платформой. Такое соотношение радиусов обеспечивает кинематическую передачу 1:2 [3].



**Рис. 1.** Схема ИИССиН: 1 – зеркало; 2,3 – исполнительные двигатели, 4 – наружная рамка; 5 – гироскопическая платформа; 6 – ведущий шкив; 7 – лента; 8 – ведомый шкив

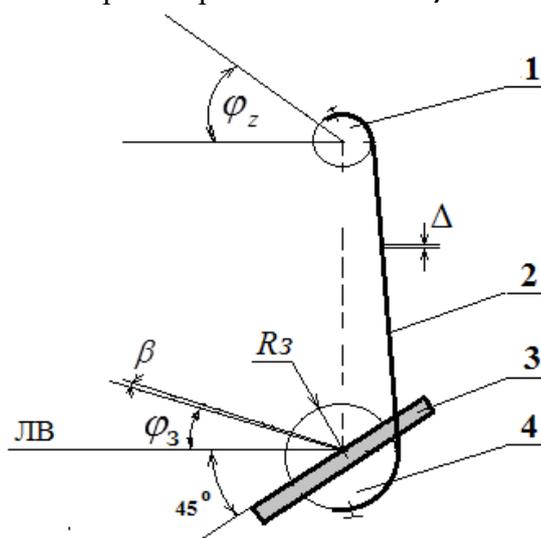
Известные исследования подобных ИИССиН [4, 5, 6] не учитывали зависимость погрешности угла наведения по высоте от неточности длины ленты и радиусов шкивов.

Ленточная передача изготавливается из стали и имеет определенные упругие свойства. Благодаря этому лента способна охватывать ведущий и ведомый шкивы. Достоинствами использования ленточных передач являются: простота конструкции и дешевизна; высокая точность, недостижимая для жестких передач при тех же габаритах и условиях работы; возможность передачи движения на большие расстояния с разнообразными преобразованиями. Недостатком такой передачи является

незначительное вытягивание ленты при длительной эксплуатации, в результате чего появляется погрешность длины ленты.

На рис. 2 показана ленточная передача и углы поворота платформы  $\varphi_z$  и зеркала  $\varphi_3$  относительно горизонтального положения ЛВ. В силу кинематического соотношения угол поворота зеркала будет в два раза меньше угла поворота платформы ( $\varphi_z = 2\varphi_3$ ).

Введем погрешность длины ленты и обозначим ее как  $\Delta$ . В этом случае появится погрешность угла поворота зеркала по высоте  $\beta$ .



**Рис. 2.** Схема ленточной передачи с углами наведения по высоте:  
1 – ведущий шкив; 2 – лента; 3 – зеркало; 4 – ведомый шкив

Принимая во внимание, что лента охватывает шкив по дуге окружности, запишем выражение для определения длины дуги ленты на ведомом шкиве при его повороте на угол  $\varphi_3$ :

$$L_3 = \frac{\pi \cdot R_3}{180} \varphi_3, \quad (1)$$

где  $R_3$  – радиус ведомого шкива;  $\pi = 3.14$ .

С учетом погрешности длины ленты выражение (1) для угла поворота ведомого шкива примет вид:

$$\varphi_3 = \frac{180(L_3 + \Delta)}{\pi \cdot R_3} + \beta. \quad (2)$$

Формулу для определения погрешности угла по высоте, записанную через радиус ведомого шкива и погрешность длины ленты можно представить в следующем виде:

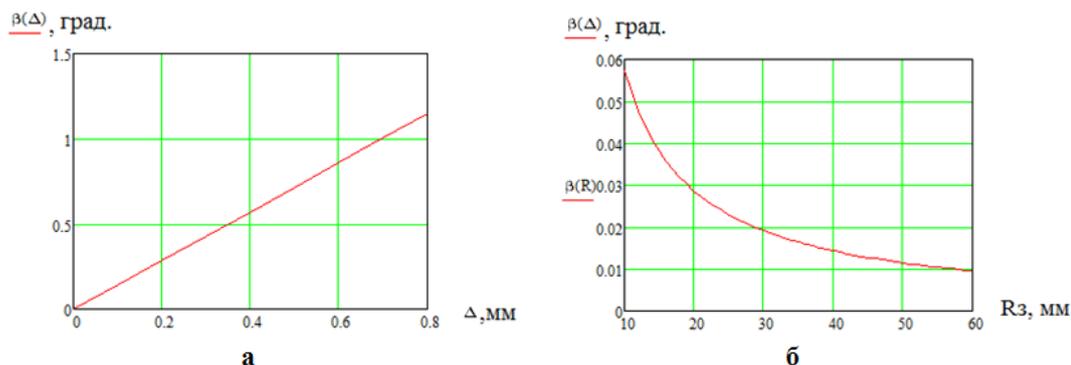
$$\beta = \frac{180 \cdot \Delta}{\pi \cdot R_3}. \quad (3)$$

Учитывая полученные соотношения (1), (2) и (3), справедлива запись для формулы угла поворота ведущего шкива:

$$\varphi_z = \frac{360(L_3 + 2\Delta)}{\pi \cdot R_3}. \quad (4)$$

Моделирование выражения (3) проводилось в программе Mathcad. Принимая радиус зеркала  $R_3 = 40\text{ мм}$ , был построен график изменения погрешностей угла по высоте и длине ленты. Из рис. 3а видно, что зависимость  $\beta$  от  $\Delta$  имеет линейный характер. При погрешности длины ленты равной  $0,7\text{ мм}$  будет иметь место погрешность угла по высоте в 1 градус.

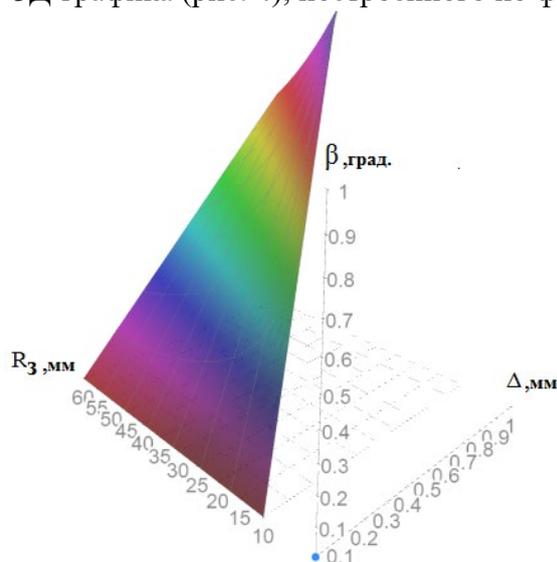
Принимая  $\Delta = 0,01\text{ мм}$  был построен график изменения погрешности угла по высоте от радиуса ведомого шкива. Из рис. 3б видно, что при увеличении радиуса погрешность угла по высоте уменьшается. При радиусе, равном  $60\text{ мм}$ , ошибка угла по высоте составила  $0,01\text{ град}$ .



**Рис. 3.** Графики изменений погрешности угла по высоте: а - от погрешности длины ленты; б - от радиуса ведомого шкива

Согласно полученным результатам моделирования видно, что ошибка угла по высоте зависит как от погрешности длины ленты, так и от радиуса ведомого шкива. Уменьшить погрешность угла по высоте можно за счет увеличения радиуса ведомого шкива. Однако увеличение радиуса шкива приведет к увеличению его массы и изменению инерциальных характеристик всей ИИССиН.

Выбор оптимального радиуса ведомого шкива в зависимости от возможных погрешностей длины ленты и ошибки угла по высоте можно производить с использованием трехмерного 3Д-графика (рис. 4), построенного по формуле (3).



**Рис. 4.** Трехмерный график зависимостей  $\beta$ ,  $R_3$  и  $\Delta$

С учетом формулы (4) известные кинематические уравнения двухосного карданова подвеса с перпендикулярными осями вращения [7] можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \dot{\varphi}_y = \frac{\omega_{y2}}{\cos\left(\frac{360(L_3 + 2\Delta)}{\pi \cdot R_3}\right)} + \operatorname{tg}\left(\frac{360(L_3 + 2\Delta)}{\pi \cdot R_3}\right) (\omega_{x0} \cos \varphi_y - \omega_{z0} \sin \varphi_y) - \omega_{y0}; \\ \dot{\varphi}_z = \omega_{z2} - \omega_{x0} \sin \varphi_y - \omega_{z0} \cos \varphi_y. \end{cases}$$

где  $\dot{\varphi}_y$  и  $\dot{\varphi}_z$  - угловые скорости горизонтального и вертикального наведения;  $\omega_{x0}, \omega_{y0}, \omega_{z0}$  - проекции вектора абсолютной угловой скорости основания на оси системы координат связанной с основанием,  $\omega_{y2}, \omega_{z2}$  - проекции вектора абсолютной угловой скорости внутренней рамки на связанные с ней оси.

При численном моделировании полученной системы кинематических уравнений необходимо учитывать, что длина дуги ленты на ведомом шкиве  $L_3$  является величиной, зависшей от угла поворота  $\varphi_3$ .

Таким образом, возникновение погрешности длины ленты создаст ошибку наведения, которая, в свою очередь, зависит от размеров шкивов кинематической передачи. Проведенные исследования показывают необходимость учёта геометрических характеристик ленточной передачи при исследованиях кинематики и динамики ИИССиН.

### Литература

1. Смирнов В.А., Славгородский Д.А. Влияние кинематических погрешностей на точность системы стабилизации и наведения линии визирования // Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы. 2020. № 1. С.16 – 18.
2. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем. Ч.2. Гироскопические стабилизаторы / под ред. Д.С. Пельпора. М.: Высш. школа, 1977. 223 с.
3. Михед А.Д., Кожеуров М.А., Родионов В.А. К вопросу повышения точности информационно измерительных систем стабилизации и наведения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 12. Ч. 1. С. 210 – 215.
4. Родионов В.И., Михед А.Д. Динамика системы стабилизации и наведения линии визирования с двухосным наклонным кардановым подвесом // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. Вып. 2. С. 191 – 195.
5. Родионов В.И., Михед А.Д. Геометрия системы стабилизации и наведения с наклонным расположением карданова подвеса. // Приводная техника. 2011. №2. С.34 – 37.
6. Михед А.Д., Родионов В.И., Смирнов В.А. Кинематика и динамика двухосной системы стабилизации и наведения линии визирования, учитывающая особенности движения зеркала // Инженерная физика 2010. №11. С.20 – 24.
7. Родионов В.И. Гироскопические системы стабилизации и управления: монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2000. 192 с.