

**А. В. Аксенов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Калужский филиал

# СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МЕХАНИЗМА ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВЕДЕНИЯ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО АНТЕННОГО КОМПЛЕКСА ПО ЖЕЛАЕМОЙ ДИНАМИКЕ

*В работе выполнена параметрическая идентификация механизма вертикального наведения опорно-поворотного устройства измерительного антенного комплекса. Определена передаточная функция, которая представлена в виде модели объекта управления. Приведенные результаты экспериментальных исследований позволяют определить среднюю скорость перемещения опорно-поворотного устройства по углу места при необходимом напряжении питания. В алгоритм схемы управления положением объекта введены интегратор и передаточная функция регулятора. Разработанная схема системы управления позволяет обеспечить необходимую динамику объекта. Приведена структурная схема системы управления, реализующая необходимую динамику объекта. Алгоритм управления с регулятором исследован с помощью пакета прикладных программ Matlab 7.9.0. Представлены логарифмические частотные характеристики разомкнутой и замкнутой систем. По результатам предлагаемой методики синтеза регулятора для устройства определено время переходного процесса установки, обеспечена плавная остановка, устраняются колебания.*

**Ключевые слова:** алгоритм, структурная схема, передаточная схема, объект управления

## Введение

В настоящее время для обмена данными и отслеживания объектов в реальном времени в большинстве случаев применяются антенные системы. Для повышения эффективности их работы требуется перенаправлять антенну в пространстве, чтобы улучшать прием и передачу сигналов. Наведение антенной системы на заданную точку и слежение за движущимся объектом осуществляются прецизионными электроприводами опорно-поворотных устройств (ОПУ) азимутальной и угломестной осей. Статические и динамические характеристики следящего электропривода как элемента системы наведения во многом определяют точность решения поставленных задач [1]. Низкие резонансные частоты определяют полосу пропускания частот контуров регулирования системы управления и ее динамическую точность.

Таким образом, именно на сервопривод возлагается задача компенсировать все возможные несовершенства конструкции механических узлов телескопа и обеспечить заданную точность. Управление движением механизма вертикального наведения

ОПУ и исследование его необходимых параметров на измерительном антенном комплексе по желаемой динамике можно реализовать в результате синтеза регулятора для устройства. Для синтеза адаптивной системы управления часто используется эталонная модель электромеханического объекта, которая предполагает достаточно точное знание его параметров [2].

## Синтез управления движением механизма вертикального наведения ОПУ

В результате параметрической идентификации механизма вертикального наведения ОПУ измерительного антенного комплекса с помощью проектирования на подпространства [3] получена следующая передаточная функция (ПФ), выбранная далее в качестве модели объекта управления [4]:

$$W_o(s) = W_o^{SSID}(s) = \frac{33,08 s^2 + 167 s + 1,624 \cdot 10^4}{s^4 + 126,9 s^3 + 1348 s^2 + 3,912 \cdot 10^4 s + 2,819 \cdot 10^5} \quad (1)$$

Система рассматривается в предположении, что математическое описание объекта точно известно. В работах [5,6] учитывается инерционность преобразователя, рассматриваемого как апериодическое звено [7]. Для плавного выведения положения ОПУ в заданную координату необходимо ввести в алгоритм управления желаемую динамику переходного процесса.

Из полученных ранее экспериментальных данных выявлено, что средняя скорость перемещения ОПУ по углу места примерно равна 0,65 град./сек при напряжении питания 12 В. Необходимо обеспечить динамику, соответствующую данной скорости [8, 9].

Запишем уравнение желаемой динамики:

$$\theta^*(t) = \theta_{end}^* (1 - e^{-\alpha t}), \quad (2)$$

где  $\theta_{end}^*$  – желаемая конечная координата,  $\alpha$  – параметр, определяющий время переходного процесса (3):

$$\alpha = \frac{1}{T} = \frac{3}{T_p}, \quad (3)$$

$T = T_p/3$  – постоянная времени,  $T_p$  – время переходного процесса.

Для включения в алгоритм схемы управления выходного положения объекта необходимо ввести интегратор в структуру после объекта. Кроме того, перед ПФ объекта вводится ПФ регулятора, а с выхода замыкается единичная обратная связь. Структурная схема синтезируемой системы управления представлена на рис. 1.

Введем в систему П-регулятор с передаточной функцией  $W_{reg}(s) = K_{\Pi} = 1100$ . В таком случае ПФ разомкнутой и замкнутой системы равны (4):

$$\begin{aligned} W_p(s) &= W_{reg}(s)W_o(s)\frac{1}{s} = \\ &= 70 \frac{33,08s^2 + 167s + 1,624 \cdot 10^4}{s^5 + 126,9s^4 + 1348s^3 + 3,912 \cdot 10^4 s^2 + 2,819 \cdot 10^5 s} = \\ &= \frac{2316s^2 + 11690s + 1,137 \cdot 10^6}{s^5 + 126,9s^4 + 1348s^3 + 3,912 \cdot 10^4 s^2 + 2,819 \cdot 10^5 s}; \quad (4) \\ W_3(s) &= \frac{W_p(s)}{1 + W_p(s)} = \\ &= \frac{2316s^2 + 11690s + 1,137 \cdot 10^6}{s^5 + 126,9s^4 + 1348s^3 + 4,144 \cdot 10^4 s^2 + 2,9359 \cdot 10^5 s + 1,137 \cdot 10^6}. \end{aligned}$$

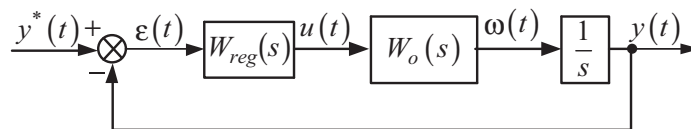


Рисунок 1. Структурная схема системы управления по желаемой динамике:  $\varepsilon(t) = \theta^*(t) - y(t)$  – ошибка регулирования;  $W_{reg}(s)$  – передаточная функция регулятора;  $u(t)$  – формируемый управляющий сигнал;  $W_o(s)$  – передаточная функция объекта управления

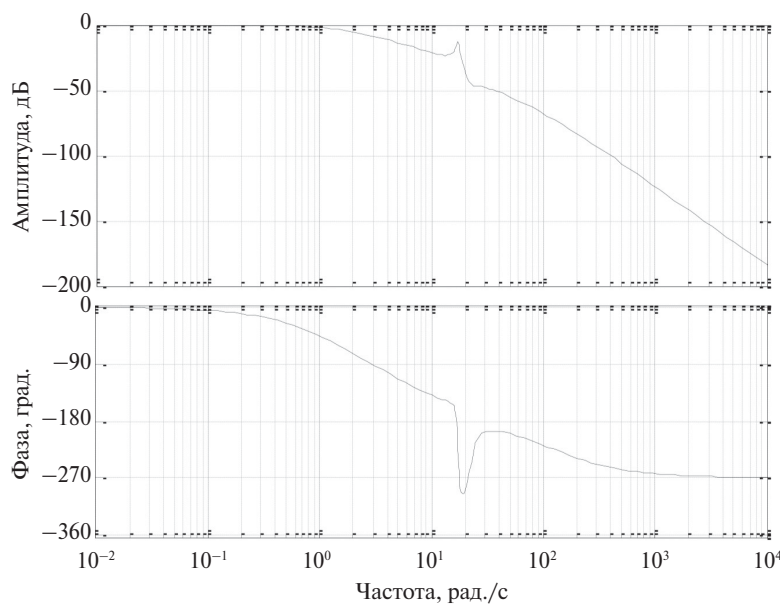


Рисунок 2. Логарифмические амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики разомкнутой системы с П-регулятором

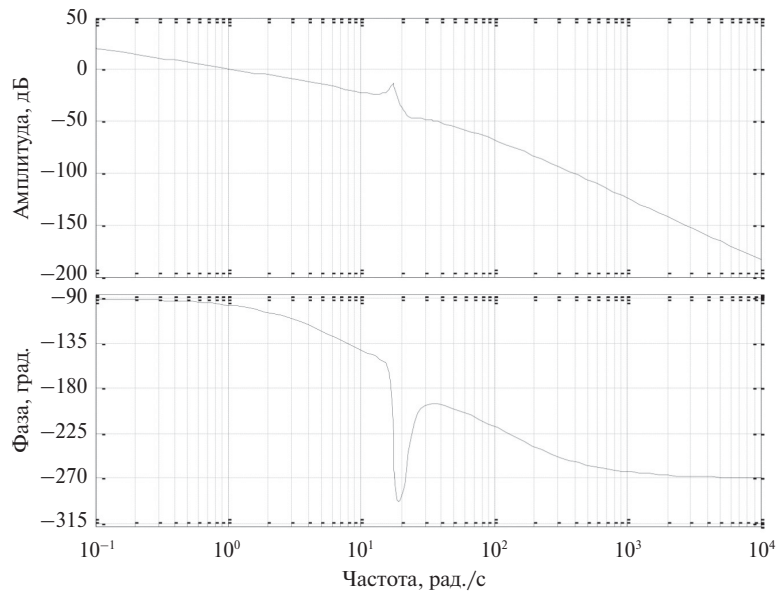


Рисунок 3. Логарифмические амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики замкнутой системы с П-регулятором

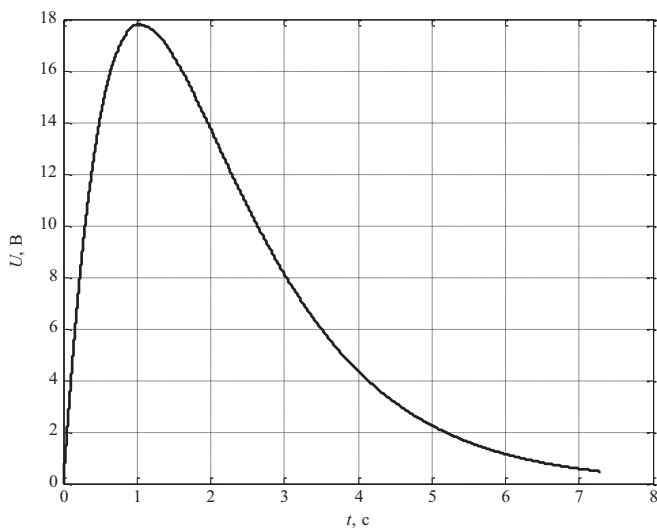


Рисунок 4. График управления с П-регулятором при моделировании поворота на  $3^\circ$

Логарифмические частотные характеристики разомкнутой и замкнутой систем представлены на рис. 2 и 3. Далее алгоритм управления с П-регулятором реализован с помощью пакета прикладных программ Matlab 7.9.0 [10, 11]. Графики управления, а также желаемой динамики и выхода модели представлены на рис. 4 и 5.

**Выводы**

В результате синтеза регулятора для устройства

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пировских Е. Н., Присмотров Н. И., Хорошавин В. С. Оптимизация параметров электропривода с упругой механической связью на основе энергетического метода. Магнитогорск, 2004. 311 с.

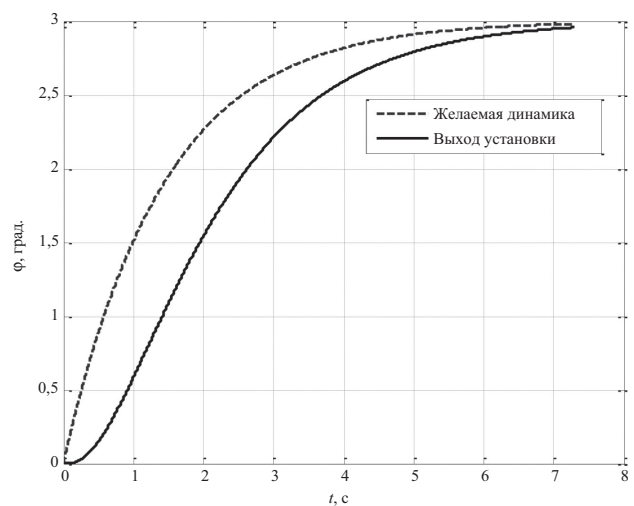


Рисунок 5. Графики желаемой динамики и выхода модели при моделировании поворота на  $3^\circ$  с П-регулятором

вертикального наведения ОПУ можно сделать следующие выводы:

- время переходного процесса установки с регулятором при переводе в заданную точку становится достаточно малым;
- введение регулятора позволяет достичь плавной остановки устройства и избежать возникновения колебаний.

2. Фрадков А. Л. Адаптивное управление в сложных системах. М.: Наука, 1980. 323 с.
3. Мазин А. В., Аксенов А. В. Параметрическая идентификация механизмов горизонтального и вертикального наведения антенного устройства // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 6. С. 102–104.
4. Ильина А. Г. Параметрическая идентификация вентильного электропривода азимутальной оси телескопа траекторных измерений // Научно-технический вестник СПбГУИТМО. 2010. № 68. С. 33–38.
5. Слюсар В. И. Основные понятия теории и техники антенн. Антенные системы евклидовой геометрии. // Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишнеvский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. М.: Техносфера, 2005. С. 498–569.
6. Бургин Б. Ш. О возможных способах синтеза регулятора скорости для двухмассовой электромеханической системы // Автоматизация производственных процессов. Новосибирск: НЭТИ, 1977. С. 3–9.
7. Бургин Б. Ш. ДЭМС стабилизации скорости с комбинированным регулятором и инерционным преобразователем // Автоматизация производственных процессов. Новосибирск: НЭТИ, 1983. С. 27–35.
8. Аксенов А. В., Краснощеченко В. И. Алгоритм идентификации механизма вертикального наведения опорно-поворотного устройства измерительного антенного комплекса // Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в ВУЗе: материалы региональной научно-технической конференции. Т. 2. Калуга: МГТУ им. Баумана, 2018. С. 8–12.
9. Бургин Б. Ш. Анализ и синтез двухмассовых электромеханических систем. Новосибирск: НЭТИ, 1992. С. 199.
10. Ильина А. Г. Моделирование в MatLab робастной системы управления вентильного электропривода азимутальной оси телескопа // Известия ТулГУ. Технические науки. 2010. № 2. С. 97–103.
11. Ильина А. Г., Лукичев Д. В., Усольцев А. А. Оптимальное управление движением при позиционировании и его моделирование в среде MathLab/Simulink // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. № 6. С. 63–67.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Аксенов Анатолий Валерьевич**, аспирант, Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)», Российская Федерация, 248000, Калуга, ул. Баженова, д. 2, тел.: 8 (906) 641-38-55, e-mail: an.aksionov2014@yandex.ru.

*For citation: Aksenov A. V. Synthesis of movement control mechanism for vertical guidance of supporting-rotary device measuring antenna complex of desired dynamics. Voprosy radioelektroniki, 2019, no. 11, pp. 6–10. DOI 10.21778/2218-5453-2019-11-6-10*

A. V. Aksenov

## SYNTHESIS OF MOVEMENT CONTROL MECHANISM FOR VERTICAL GUIDANCE OF SUPPORTING-ROTARY DEVICE MEASURING ANTENNA COMPLEX OF DESIRED DYNAMICS

The parametric identification of the mechanism of vertical guidance of the support-rotary device of the measuring antenna complex is carried out. The transfer function is defined, which is presented as a model of the control object. The results of experimental studies allow to determine the average speed of movement of the pivoting device on the corner of the place with the required supply voltage. An integrator and a transfer function of the controller are introduced into the algorithm of the control scheme of the object position. The developed scheme of the control system allows to provide the dynamics corresponding to this speed. The block diagram of the control system implementing the necessary dynamics of the object is given. The control algorithm with the controller is studied using the Matlab 7.9.0 software package. The article presents the logarithmic frequency characteristics of open and closed systems. According to the results of the proposed method of synthesis of the controller for the device, the time of the transient process of the installation is determined; a smooth stop of the device is provided, oscillations are eliminated.

**Keywords:** algorithm, block diagram, transfer scheme, control object

## REFERENCES

1. Pirovskikh E. H., Prismotrov N. I., Khoroshavin B. C. *Optimizatsiya parametrov elektroprivoda s uprugoi mekhanicheskoi svyaz'yu na osnove energeticheskogo metoda* [Optimization of parameters of an electric drive with elastic mechanical coupling based on the energy method]. Magnitogorsk, 2004, 311 p. (In Russian).
2. Fradkov A. L. *Adaptivnoe upravlenie v slozhnykh sistemakh* [Adaptive control in complex systems]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 323 p. (In Russian).
3. Mazin A. V., Aksenov A. V. Parametric identification of mechanisms for horizontal and vertical guidance antenna systems. *Voprosy radioelektroniki*, 2017, no. 6, pp. 102–104. (In Russian).
4. Ilina A. G. Parameter identification of brushless drive the azimuth axis of the telescope trajectory measurements. *Scientific and Technical Bulletin of SPbSUITMO*, 2010, no. 68, pp. 33–38. (In Russian).
5. Slusar V. I. Basic concepts of theory and technology of antennas. Antenna systems of Euclidean geometry. In: Vishnevskii V. M., Lyakhov A. I., Portnoi S. L., Shakhnovich I. V. *Shirokopolosnye besprovodnye seti peredachi informatsii* [Broadband wireless information networks]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2005, pp. 498–569. (In Russian).

6. Burgin B. Sh. On possible methods of synthesis of the speed controller for a two-mass Electromechanical system. In: *Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov* [Automation of production processes]. Novosibirsk, NETI Publ., 1977, pp. 3–9. (In Russian).
7. Burgin B. Sh. DEMS of speed stabilization with combined regulator and inertial converter. In: *Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov* [Automation of production processes]. Novosibirsk, NETI Publ., 1983, pp. 27–35. (In Russian).
8. Aksenov A. V., Krasnoshchechenko V. I. Algorithm for the identification of the mechanism of vertical guidance support-rotating device measuring antenna complex. (Conference proceedings) *Naukoemkie tekhnologii v priboro- i mashinostroenii i razvitie innovatsionnoi deyatelnosti v VUZe*, Kaluga, BMSTU Publ., 2018, pp. 8–12. (In Russian).
9. Burgin B. Sh. *Analiz i sintez dvukhmassovykh elektromekhanicheskikh sistem* [Analysis and synthesis of two-mass electromechanical systems]. Novosibirsk, NETI Publ., 1992, p. 199. (In Russian).
10. Iliina A. G. Simulation in MatLab of a robust control system of the valve electric drive of the azimuth axis of the telescope. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*, 2010, pp. 97–103. (In Russian).
11. Iliina A. G., Lukichev D. V., Usoltsev A. A. Optimal motion control during positioning and its simulation in MathLab/Simulink. *Izv. vuzov. Priborostroenie*, 2008, no. 6, pp. 63–67. (In Russian).

### **AUTHOR**

**Aksenov Anatoly**, postgraduate student, Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), 2, Bazhenova St., Kaluga, 248000, Russian Federation, tel.: +7 (906) 641-38-55, e-mail: an.aksionov2014@yandex.ru.