



УДК 681.5

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ОПОРНО-ПОВОРОТНЫМ
УСТРОЙСТВОМ ТЕЛЕСКОПА***П. С. Обухов, В. Е. Гвинджилия*

Донской государственной технической
университет, г. Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

sinedden@yandex.rupobuhov@spark-mail.ru

Рассматривается управление скоростью движения опорно-поворотного устройства телескопа в азимутальной плоскости. Синтез управления осуществляется методом аналитического конструирования агрегированных регуляторов, основным преимуществом которого является простота построения процедур адаптации к изменяющимся параметрам системы. Для наглядного применения данного метода исполнительным элементом опорно-поворотного устройства выбран двигатель постоянного тока. В основе конструкции устройства лежит принцип простейшей червячной передачи.

Ключевые слова: опорно-поворотное устройство, метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов, стабилизация скорости, азимутальная плоскость, двигатель постоянного тока.

Введение. На сегодняшний день одним из приоритетных направлений в науке является изучение космического пространства. Для повышения научного потенциала ракетно-космической отрасли Российской Федерации Фондом перспективных исследований выделяются средства для развития и модернизации технического оснащения исследовательских центров, а также для реализации идеи молодежной лаборатории перспективной космической техники. Для развития данного проекта необходим интерес не только у настоящего поколения инженеров, но и будущего, а для этого необходимо повышать интерес подрастающего поколения путем ознакомления их с техникой и методами изучения космического пространства. В связи с этим в стране проводится ряд мероприятий по реконструкции и реорганизаций обсерваторий, в том числе и в городе Ростове-на-Дону.

Наблюдения за космическими объектами осуществляются с помощью телескопа, позиционирование которого происходит по заданной координате и скорости с помощью опорно-поворотного устройства (ОПУ). Исполнительными элементами ОПУ являются электродвигатели

UDC 681.5

**OPERATING SYSTEM OF SUPPORTING
AND TURNING MECHANISM OF A
TELESCOPE***P. S. Obuhov, V. E. Gvindzhilia*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russsian Federation

sinedden@yandex.rupobuhov@spark-mail.ru

The article deals with speed control of supporting and turning mechanism of a telescope in azimuthal area. The synthesis of control is accomplished by the method of analytical construction of aggregative regulators. Its main advantage is simple building procedure of adaptation to system's changing parameters. Asr a spectacular example of application of this method the direct current motor was chosen as an executive element of supporting and turning mechanism. The construction is based on the principle of the simplest of the worm gear.

Keywords: supporting and turning mechanism, method of analytical construction of aggregative regulators, speed stabilization, azimuthal area, direct current motor.

различного типа. В современных системах, требующих высокой точности позиционирования и большого диапазона регулирования скорости динамических процессов, используются сервоприводы. Принципиально эти качества можно получить при использовании двигателя постоянного тока (ДПТ) с независимым возбуждением. Применение данного двигателя позволяет плавно регулировать частоту вращения ротора в большом диапазоне частот. Эксплуатация ОПУ, в зависимости от условий, выявляет ряд технических проблем и задач: удержание скорости движения ОПУ не выше максимально-допустимого значения, изменение скорости движения ОПУ, точное азимутально-угломестное позиционирование [1]. В данной статье рассматривается синтез регулятора скорости движения ОПУ в азимутальной плоскости.

Постановка задачи

При достижении ОПУ заданного значения скорости необходимо остановить его разгон и стабилизировать скорость согласно полученному заданию. С помощью метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) синтезируется управление угловой скоростью вращения ротора двигателя с тем допущением, что скорость движения ОПУ равна частоте вращения ротора. Во многих опорно-поворотных устройствах лежит принцип простейшей червячной передачи [2]. Электродвигатель вращает червячный винт, который, в свою очередь, передает движение зубчатому колесу, на выходном валу которого находится опора телескопа (рис. 1). В силу хорошей статической уравновешенности подобных механизмов и сравнительно небольшого трения при описании движения ОПУ моменты от сил тяжести звеньев и от сил трения можно не учитывать [3].

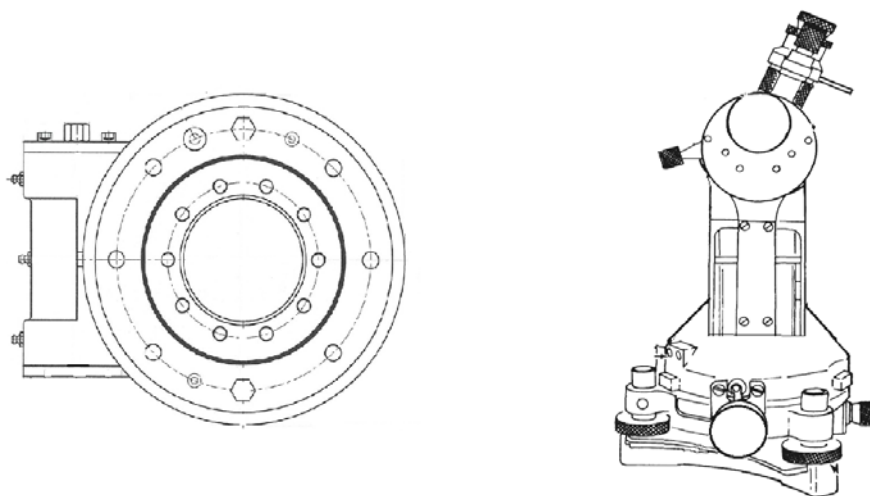


Рис. 1. Конструкция опорно-поворотного устройства, слева механизм ОПУ — червячная передача, справа система изменения положения телескопа в азимутальной плоскости

Для синтеза управления выбирается тип двигателя 2ПН90М и задаются критерии качества.

Таблица 1

Характеристики двигателя постоянного тока

Тип	P_n , кВт	U_n , В	$n_{\text{номин}}$, об/мин	$n_{\text{мах}}$, об/мин	η_n , %	$R_{\text{я}}$, Ом	$R_{\text{дп}}$, Ом	$R_{\text{об}}$, Ом	$L_{\text{я}}$, мГн
2ПН90М	0,37	220	1500	2250	70	3,99	2,55	123	79

Технологические требования к системе автоматического управления зададим следующими показателями качества: время регулирования не более 1 секунды при трубке регулирования 3%,

перерегулирование не более 5%, рабочая скорость наведения по азимуту в пределах от 4,1°/сек до 9°/сек или от 0,071 рад/сек до 0,15 рад/сек.

Синтез управления.

Использование метода АКАР при синтезе управления обосновывается тем, что его применение может быть предложено для любых объектов. Большим достоинством этого метода является возможность синтеза управления сложными нелинейными многосвязанными объектами, а при взаимодействии со средой даже хорошо изученные, линейные системы становятся существенно нелинейными. Также важно отметить простоту метода. Так как закон управления находится в аналитической форме, это позволяет легко построить соответствующие процедуры адаптации к изменяющимся параметрам объекта. Суть метода состоит в переносе изображающей точки (ИТ) системы, за счет введения инвариантных многообразий (ИМ), из произвольного начального состояния в окрестность ИМ, а затем и на целевые аттракторы. Тем самым не только выполняется требуемый инвариант, но и обеспечивается асимптотическая устойчивость системы в целом [4,5].

Математическая модель двигателя постоянного тока (ДПТ) с независимым возбуждением задается системой уравнений

$$\begin{cases} U - C_e \omega = L \frac{di}{dt} + Ri \\ C_m i = J \frac{d\omega}{dt} + M_c(\omega) \end{cases} \quad (1)$$

где U — напряжение (В); $C_e = 1,4$ — электрическая постоянная; L — индуктивность обмотки якоря (Гн); ω — угловая скорость вращения якоря (рад/с); R — сопротивление обмотки якоря (Ом); $C_m = 1,52$ — механическая постоянная двигателя; J — момент инерции якоря (кг·м²); $M_c(\omega)$ — момент сопротивления. При моделировании предполагается, что внешнее сопротивление неизмеримо и представляет некоторую функцию, зависящую от ω : $M_c(\omega) = k\omega + M_{c0}$, где $k = 0,25$ Н·м·с/рад [4].

Для дальнейшего синтеза системы управления методом АКАР необходимо перейти от системы дифференциальных уравнений (1) к системе дифференциальных уравнений в форме Коши.

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \frac{C_m}{J} i - \frac{M_c(\omega)}{J} \\ \frac{di}{dt} = \frac{U}{L} - \frac{C_e}{L} \omega - \frac{R}{L} i \end{cases} \quad (2)$$

Введем вместо переменных тока и частоты вращения якоря некоторые обобщенные координаты:

$$\begin{cases} x_1 = \omega \\ x_2 = i \end{cases} \quad (3)$$

Для удобства дальнейших преобразований обозначим константы в системе (2):

$$\frac{C_m}{J} = K_{11}; \quad \frac{1}{J} = K_{12}; \quad \frac{1}{L} = K_{21}; \quad \frac{C_e}{L} = K_{22}; \quad \frac{R}{L} = K_{23}; \quad (4)$$

А также обозначим функцию

$$f(x_1) = M_c(\omega) \quad (5)$$

Таким образом, получим систему уравнений, представляющую «модель синергетического синтеза»:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = K_{11}x_2 - K_{12}f(x_1) \\ \frac{dx_2}{dt} = K_{21}U - K_{22}x_1 - K_{23}x_2 \end{cases} \quad (6)$$

Достижение требуемого состояния системы определяется технологическими инвариантами. Принимаем за них стабилизацию угловой скорости вращения вала $\omega = \omega_0$, ток якоря двигателя i и, согласно методу, введем совокупность макропеременных

$$\begin{cases} \Psi_1 = x_1 - x_{01} \\ \Psi_2 = x_2 - \phi(x_1) \end{cases} \quad (7)$$

где $x_{01} = \omega_0$ — стационарное требуемое значение скорости вращения ОПУ, $x_{01} = \omega_{\max}$, Ψ_2 — промежуточное многообразие, выражающее связь между I и ω в силу уравнения (2).

Для объектов второго порядка макропеременные (7) должны удовлетворять функциональным уравнениям (апериодическим законам):

$$\begin{cases} T_1 \frac{d\Psi_1}{dt} + \Psi_1 = 0 \\ T_2 \frac{d\Psi_2}{dt} + \Psi_2 = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Параметры T_1, T_2 определяющие время попадания ИТ на пересечение многообразий $\Psi_1=0, \Psi_2=0$, выбираются из условия асимптотической устойчивости системы (8), то есть $T_1, T_2 > 0$.

Из совместного решения систем уравнений (7) и (8), с учетом модели синтеза (2), получаем

$$\begin{aligned} T_1 \frac{dx_1}{dt} + x_1 - x_{01} &= 0 \\ T_2 \frac{dx_2}{dt} + T_2 \frac{d\phi(x_1)}{dt} + x_2 - \phi(x_1) &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Выражение $\frac{dx_1}{dt}$ и $\frac{dx_2}{dt}$ известны из (2). Поочередно подставим их в (9)

$$T_1 K_{11} x_2 - T_1 K_{12} f(x_1) + x_1 - x_{01} = 0 \quad (10)$$

Учитывая уравнения (7), заменим x_2 на $\phi(x_1)$

$$T_1 K_{11} \phi(x_1) - T_1 K_{12} f(x_1) + (x_1 - x_{01}) = 0 \quad (11)$$

$$\phi(x_1) = \frac{K_{12}}{K_{11}} f(x_1) - \frac{1}{T_1 K_{11}} (x_1 - x_{01}) \quad (12)$$

Подставим полученную функцию $\phi(x_1)$ во второе уравнение (9) и возьмем производные

$$T_2 \frac{dx_2}{dt} - T_2 \frac{K_{12}}{K_{11}} \frac{df(x_1)}{dt} + \frac{T_2}{T_1 K_{11}} \frac{dx_1}{dt} + x_2 - \frac{K_{12}}{K_{11}} f(x_1) + \frac{1}{T_1 K_{11}} (x_1 - x_{01}) = 0 \quad (13)$$

$$\begin{aligned} &T_2 (K_{21}U - K_{22}x_1 - K_{23}x_2) - T_2 \frac{K_{12}}{K_{11}} \frac{k}{\omega} (K_{11}x_2 - K_{12}f(x_1)) + \\ &+ \frac{T_2}{T_1 K_{11}} (K_{11}x_2 - K_{12}f(x_1)) + x_2 - \frac{K_{12}}{K_{11}} (f(x_1)) + \\ &+ \frac{1}{T_1 K_{11}} (x_1 - x_{01}) = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

$$U = \frac{K_{22}}{K_{21}} x_1 + \frac{K_{23}}{K_{21}} x_2 + \frac{K_{12}}{K_{11} K_{21}} \frac{k}{\omega} (K_{11} x_2 - K_{12} f(x_1)) -$$

$$\text{Выразим искомое управление } U \text{ из (14): } -\frac{1}{T_1 K_{11} K_{21}} (K_{11} x_2 - K_{12} f(x_1)) - \frac{1}{T_2 K_{21}} x_2 + \quad (15)$$

$$+ \frac{K_{12}}{K_{11} T_2 K_{21}} f(x_1) - \frac{1}{T_1 K_{11} T_2 K_{21}} (x_1 - x_{01})$$

Полученный закон управления обеспечивает выполнение технологического инварианта (7). Рассмотрим динамику системы на модели ОПУ, реализованной в среде пакета Matlab/Simulink.

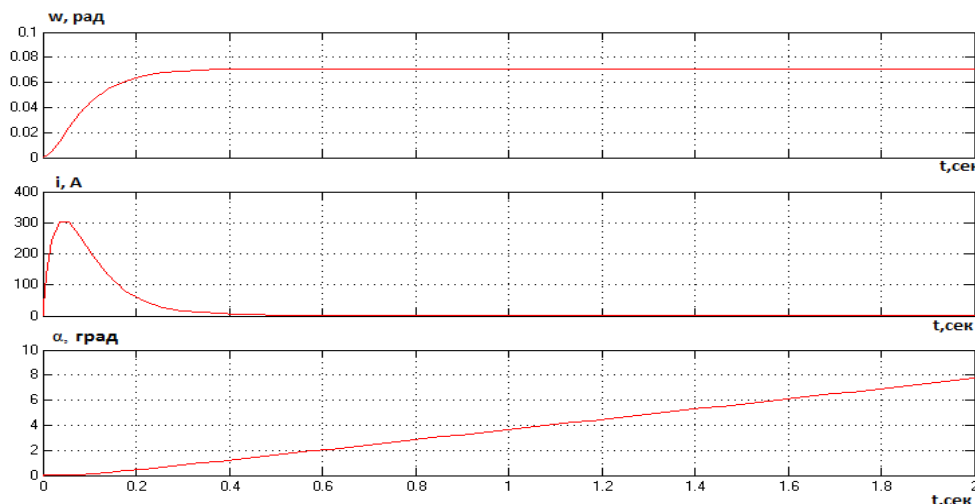


Рис. 2. Динамика системы опорно-поворотного устройства телескопа

Заключение. Построенная модель опорно-поворотного устройства удовлетворяет заданным показателям качества и является адекватной техническому оригиналу. Поворот телескопа на 360° осуществляется почти за полторы минуты, а стабилизация скорости происходит за 0,4 секунды. Следовательно, синтез управления системы является успешным. При этом использовался синергетический метод, позволяющий получить простой и наглядный закон управления.

Библиографический список

1. Теребиж, В. Ю. Современные оптические телескопы / В. Ю. Теребиж. — Москва : Физматлит, 2005. — 80 с.
2. Червячные передачи [электронный ресурс] / Детали машин. — Режим доступа : http://k-a-t.ru/detali_mashin/23-dm_chervyach1/ (дата обращения : 10.05.2016).
3. Нигматуллина, Ф. Р. Режим разгона опорно-поворотного устройства телескопа / Ф. Р. Нигматуллина, В. А. Терешин // Современное машиностроение. Наука и образование. — 2013 — № 3. — С. 804–810.
4. Колесников, А. А. Синергетическая теория управления / А. А. Колесников. — Москва : Энергоатомиздат, 1994. — 344 с.
5. Колесников, А. А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза / А. А. Колесников. — Москва : Едиториал УРСС, 2005. — 229 с.