

УДК 681.5

## Анализ влияния последовательности включения приводов манипуляционной системы на ее динамические характеристики при вращении звеньев в разные стороны

**С.В. Шаныгин**

*Подтверждена возможность уменьшения динамических характеристик манипуляционной системы путем рационального порядка включения приводов, как при вращении звеньев в одну сторону, так и при вращении их в разные стороны.*

**Ключевые слова:** манипуляционная система, динамические характеристики, порядок включения приводов.

## Analysis of the handling system drives switch-on sequence influence on its dynamic characteristics during links rotation in different directions

**S.V. Shanygin**

*The possibility to reduce the dynamic characteristics of the handling system by rational order of drives switch-on has been confirmed both during rotation of links in one direction and in different directions.*

**Keywords:** handling system, dynamic characteristics, order of drives switch-on.

При рассмотрении в предыдущих работах [1, 2] влияния порядка включения приводов на динамические характеристики манипуляционной системы было принято, что движение звеньев системы направлено в одну сторону (рис. 1, а), т. е. циклограмма включения приводов в подвижностях *A* и *B* могла быть в двух вариантах (одновременно вращаются оба звена *AB* и *BC* (включены приводы *A* и *B* одновременно) табл. 1 и приводы в подвижностях *A* и *B* включаются последовательно — табл. 2).

Ускорение точки *C* определяется методом суперпозиций:

$$\bar{a}_C^{(1)} = \bar{a}_{CA}^{n(1)} + \bar{a}_{CA}^{\tau(1)}; \quad \bar{a}_{CA}^n \parallel AC; \quad \bar{a}_{CA}^{\tau} \perp CA;$$

$$a_{CA}^{n(1)} = \omega_1^2 l_{AC}; \quad a_{CA}^{\tau} = \varepsilon_1 l_{AC};$$

$$\bar{a}_C^{(2)} = \bar{a}_{CB}^{n(2)} + \bar{a}_{CB}^{\tau(2)}; \quad \bar{a}_{CB}^n \parallel CB; \quad \bar{a}_{CB}^{\tau} \perp CB;$$



**ШАНЫГИН**

Сергей Витальевич  
кандидат технических наук,  
доцент  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**SHANYGIN**

Sergey Vitalievich  
Candidate of Engineering  
Sciences, Assoc. Prof.  
(MSTU named  
after N.E. Bauman)

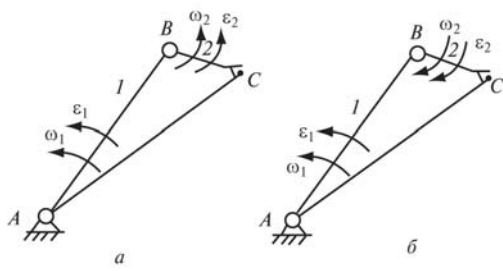


Рис. 1. Схемы манипуляционных систем:  
 а — вращение звеньев в одну сторону; б — вращение звеньев в разные стороны

$$a_{CB}^n = \omega_2^2 l_{OB}; \quad a_{CB}^\tau = \varepsilon_2 l_{CB};$$

$$\bar{a}_C = \bar{a}_C^{(1)} + \bar{a}_C^{(2)} = \bar{a}_{CA}^{n(1)} + \bar{a}_{CA}^{\tau(1)} + \bar{a}_{CB}^{n(2)} + \bar{a}_{CB}^{\tau(2)}. \quad (1)$$

Таблица 1

Привод А	Разгон	Установившееся движение	Торможение
Привод В	Разгон	Установившееся движение	Торможение
$\omega_1$	$\omega_1 > 0$ Возрастает	$\omega_1 = \text{const}$	$\omega_1 > 0$ Уменьшается
$\omega_2$	$\omega_2 > 0$ Возрастает	$\omega_2 = \text{const}$	$\omega_2 > 0$ Уменьшается
$\varepsilon_1$	$\varepsilon_1 > 0$	$\varepsilon_1 = 0$	$\varepsilon_1 < 0$
$\varepsilon_2$	$\varepsilon_2 > 0$	$\varepsilon_2 = 0$	$\varepsilon_2 < 0$

В зависимости от порядка включения приводов в уравнении (1) присутствуют или отсутствуют те или иные слагаемые.

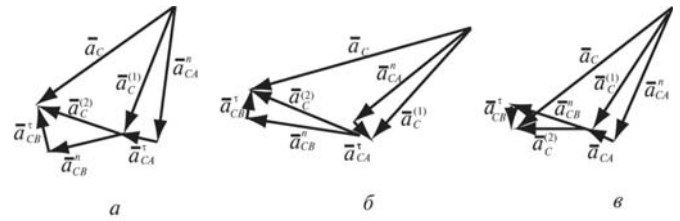


Рис. 2. Построение векторного уравнения (1):  
 а — вращение звеньев в одну сторону; б — вращение звеньев в разные стороны; в — вращение звеньев в разные стороны при одновременном включении приводов

При включении приводов, согласно табл. 1, и движения звеньев 1 и 2 в одну сторону (см. рис. 1, а) ускорение точки С представляет сумму ускорений, представленных в уравнении (1) (рис. 2, а).

Если приводы включены одновременно, то ускорение точки С, равное  $\bar{a}_C^{(1)} + \bar{a}_C^{(2)}$ , значительно больше, чем если бы приводы включались бы последовательно (см. табл. 2), так как  $a_C$  последовательно бы равнялось  $\bar{a}_C = a_C^{(1)}$  (участок а—с), на участке с—d (см. табл. 2)  $\bar{a}_C = \bar{a}_C^{(1)} + \bar{a}_C^{(2)}$ , но во-первых, при торможении угловое ускорение  $\varepsilon_1$  меняет свой знак, а во-вторых, во время торможения угловая скорость  $\omega_1$  уменьшается, следовательно, уменьшается  $a_{CA}^{n(1)}$  (рис. 2, б). Следует также отметить, что на величину суммарного ускорения точки С в большей степени влияет нормальная составляющая ускорения, так как она зависит от квадрата скорости, причем нормальная состав-

Таблица 2

	а	б	с	д	е	ф
Привод А	Разгон	Установившееся движение	Торможение	Неподвижен		
Привод В	Неподвижен		Разгон	Установившееся движение	Торможение	
$\omega_1$	$\omega_1 > 0$ Возрастает	$\omega_1 = \text{const}$	$\omega_1 > 0$ Уменьшается	$\omega_1 = \text{const}$	$\omega_1 > 0$	
$\omega_2$	$\omega_2 > 0$	$\omega_2 = \text{const}$	$\omega_2 > 0$ Возрастает	$\omega = \text{const}$	$\omega_2 > 0$ Уменьшается	
$\varepsilon_1$	$\varepsilon_1 > 0$	$\varepsilon_1 = 0$	$\varepsilon_1 < 0$	$\varepsilon_1 = 0$	$\varepsilon_1 < 0$	
$\varepsilon_2$	$\varepsilon_1 > 0$	$\varepsilon_2 = 0$	$\varepsilon_2 > 0$	$\varepsilon_2 = 0$	$\varepsilon_2 < 0$	

ляющая  $\bar{a}_{CA}^n$  всегда больше  $a_{CB}^n$ , поскольку длина звена 1 всегда больше длины звена 2.

Кроме того, направление нормальной составляющей ускорения всегда будет зависеть от положения звена, а не от направления его вращения, поэтому при последовательном включении приводов ускорение точки  $C$  будет всегда меньше, чем при одновременном при любом направлении вращения звеньев, так как при последовательном включении приводов ускорение точки  $C$  на участке  $a-c$  (см. табл. 2)  $\bar{a}_C = \bar{a}_C^{(1)} = \bar{a}_{CA}^n + \bar{a}_{CA}^\tau$ , причем величина нормальной составляющей  $\bar{a}_{CA}^n$  значительно больше тангенциальной направляющей  $\bar{a}_{CA}^\tau$  (направление вектора  $\bar{a}_{CA}^\tau$  звена 1 —  $\varepsilon_1$ ).

Из сказанного выше, можно сделать следующий вывод: последовательное включение приводов при всех режимах работы манипуляционной системы позволяет уменьшать ускорения точек звеньев системы, так как ускорение  $a_C$  последовательно равно  $a_C = a_C^{(1)}$ ,  $a_C = a_C^{(1)} + a_C^{(2)}$  (на участке торможения предыдущего привода).

Инерционные нагрузки (динамические) зависят от величины ускорения, т. е. при последовательном включении приводов  $\bar{F}_{Uc} = F_{Uc}^{(1)} = -(m_1 + m_2)\bar{a}_C^{(1)}$  (на участке  $a-c$ ) и  $\bar{F}_{Uc} = \bar{F}_{Uc}^{(1)} + F_{Uc}^{(2)} = -(m_1\bar{a}_C^{(1)} + m_2\bar{a}_C^{(2)})$  (на участке  $c-d$ ). Уменьшая ускорения, снижает тем самым инерционные нагрузки.

Следовательно, последовательное включение приводов всегда позволяет уменьшить инерционные нагрузки звеньев при любом направлении их вращения.

## Литература

1. Фанатлова Т.Б., Шаныгин С.В. Анализ влияния последовательности включения приводов робота на траекторию движения схвата // Сб. тр. VI Всероссийской науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии». М.: МГАПИ, 2003. С. 175–180.
2. Фанатлова Т.Б., Шаныгин С.В. Связь энергодинамических характеристик приводов манипуляционной системы робота с их последовательностью включения приводов // Науч. тр. VI Международной науч.-практ. конф. «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права». Кн. «Приборостроение». М.: МГАПИ, 2003. С. 231–234.

## References

1. Fanatlova T.B., Shanygin S.V. Analiz vliianiia posledovatel'nosti vklucheniia privodov robota na traektoriiu dvizheniia skhvata [Analysis of the influence of the sequence of the drives of the robot on the trajectory of the gripper's]. *Sbornik trudov VI Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Novye informatsionnye tekhnologii»* [Proc. of the VI all-Russian scientific-technical conference «New information technologies»]. Moscow, MGAPI Publ., 2003. pp. 175–180.
2. Fanatlova T.B., Shanygin S.V. Sviaz' energodinamicheskikh kharakteristik privodov manipuliatsionnoi sistemy robota s ikh posledovatel'nost'iu vklucheniia privodov [Link energodynamic characteristics of the drives handling system robot with their sequence of the actuators]. *Nauchnye trudy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Fundamental'nye i prikladnye problemy priborostroeniia, informatiki, ekonomiki i prava. Kn. «Priborostroenie»* [Scientific works VI International scientific-practical conference «Fundamental and applied problems of instrument engineering, information science, economy and law. KN. «Instrument-making»] Moscow, MGAPI Publ., 2003. pp. 231–234.

Статья поступила в редакцию 25.09.2012

## Информация об авторе

**ШАНЫГИН Сергей Витальевич** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Теории механизмов и машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: sg78dec@mail.ru).

## Information about the author

**SHANYGIN Sergey Vitalievich** (Moscow) — Candidate of Engineering Sciences, Assoc. Prof. «Theory of Mechanisms and Machines» Department. MSTU named after N.E. Bauman (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya, 5, 105005, Moscow, Russia, e-mail: sg78dec@mail.ru).