

## ВЫБОР ПРИВОДА ДЛЯ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ МЕХАТРОННЫХ СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

*Надеждин И.В.*

*Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск*

**Ключевые слова:** мехатронные сборочные системы, загрузочные устройства, привод.

**Аннотация.** В работе выполнен анализ основных типов приводов загрузочных устройств мехатронных сборочных систем на основе обобщенных показателей. Рассмотрен способ регулирования пневмопривода с использованием сервомеханических систем позиционирования. Приведены диаграммы для оценки средних скоростей и времени перемещения мехатронных модулей приводов загрузочных устройств в зависимости от кинематических и силовых характеристик.

Для обеспечения работы мехатронных сборочных систем требуются загрузочные устройства (ЗУ), выполняющие следующие функции: поштучная выдача изделий на рабочую сборочную позицию; вспомогательное транспортирование изделий; ориентация; базирование и т.п. [1-3].

Правильность выбора рациональной конструкции привода для ЗУ во многом определяет производительность и надежность автоматизированной сборочной системы. Оптимальную конструкцию привода выбирают с учетом обеспечения в первую очередь выполнения операции загрузки-выгрузки или межоперационного транспортирования деталей за минимально возможное время, что определяет повышенные требования к приводам с точки зрения динамики реализуемых законов движения.

В общем случае структура управляемого привода ЗУ мехатронных сборочных систем состоит из следующих составных частей: движитель, передаточный механизм, исполнительный механизм и система управления.

В качестве движителя могут быть электрические, пневматические, гидравлические, пружинные двигатели с поступательным или вращательным видом движения исполнительного звена.

Выбор типа двигателя зависит от какого-либо одного или нескольких решающих факторов. Для этого необходимо выполнить сравнительную оценку наиболее распространенных типов приводов по следующим показателям: удельная мощность, КПД, быстродействие, точность, надежность, пожаро- и взрывобезопасность, удобство обслуживания и ремонтпригодность, воздействие на окружающую среду, управляемость, стоимость [3].

Важнейшим показателем является удельная мощность двигателя  $P_{уд}$ , определяющая размеры и массу двигателя. Значения  $P_{уд}$  для различных типов привода приведены в таблице [3]. Наименьшие габариты и массу имеет гидравлический двигатель. Уровень повышения удельной мощности ограничен возможностями концентрации мощности в единице занимаемого двигателем объема, конструктивными особенностями двигателя.

Самым эффективным при оценке КПД является электропривод. Гидропривод имеет более низкое значение КПД из-за двойного преобразования энергии в источнике питания и дросселирования потоков жидкости при управлении движением. Самый низкий КПД у пневматического привода, т. к. здесь также имеет место двойное преобразование энергии и возникает ряд потерь сжатого воздуха на пути от источника к потребителю. Данные по энергоэффективности приводов, приведенные в таблице 1, относятся к установившимся режимам работы приводов. Поэтому в условиях отработки сложных законов движения с изменением скорости и усилия привода его КПД будет меньше.

Табл. 1. Удельная мощность и КПД различных типов приводов

Параметр	Тип привода ЗУ		
	электрический	гидравлический	Пневматический
Удельная мощность, кВт/кг	0,02...0,2	0,5...1,0	0,3...0,4
КПД	0,7...0,9	0,7...0,8	0,05...0,2

По быстродействию наилучшим является пневмопривод. Линейный сервопневмопривод с цилиндром двухстороннего действия легко достигает скоростей перемещений 5 м/с и выше. Его скорость ограничивается лишь пропускной способностью распределителей и надежностью поршневых и штоковых уплотнений. Электроцилиндры с линейным двигателем, включающие передачу винт-гайка или шарико-винтовую, обеспечивают максимальную скорость не более 3 м/с и стоят намного дороже пневмоцилиндров [4].

На рис. 1 показан типичный характер изменения скорости  $v(\omega)$  исполнительного механизма ЗУ. Общее время  $T_{\Pi}$  перемещения ведомого звена складывается из времени линейного  $t_{\text{л}}$  или углового перемещения  $t_{\text{пов}}$  и времени успокоения колебаний  $t_{\text{усп}}$  в конце хода  $T_{\Pi} = t_{\text{пов(л)}} + t_{\text{усп}}$ .

Величина  $t_{\text{усп}}$  определяется длительностью колебаний ведомых масс в точках позиционирования и зависит от закона движения, упругости звеньев и сил демпфирования и от величины допускаемой амплитуды колебаний  $\Delta l$ , которую обычно принимают равной  $\Delta l \leq \Delta/2$ , где  $\Delta$  – допускаемая погрешность при позиционировании.

Время углового  $t_{\text{пов}}$  или линейного  $t_{\text{л}}$  перемещения выходного звена ЗУ в общем случае состоит из трех составляющих:  $t_{\text{пов}}(t_{\text{л}}) = t_p + t_y + t_T$ , где  $t_p$  – время разгона,  $t_y$  – время установившегося режима движения,  $t_T$  – время торможения.

Анализ составляющих времени углового позиционирования ЗУ для трех типов приводов (пневматический, гидравлический и электрический) показал, что время  $t_{\text{усп}}$  успокоения колебаний составляет от 50 до 60 % от времени  $T_{\Pi}$  цикла

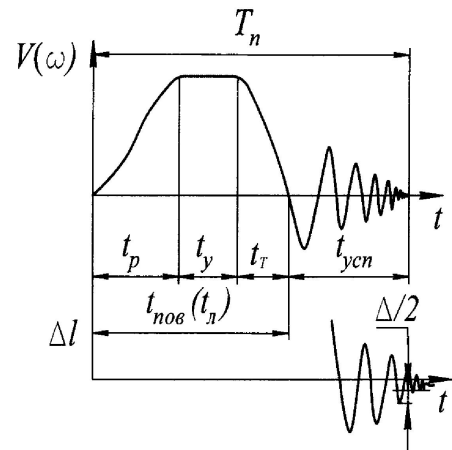


Рис. 1. Закон движения исполнительного звена ЗУ

движения и уменьшение  $t_{\text{усп}}$  является важнейшим резервом увеличения быстродействия [2].

Средняя линейная и угловая скорости выполнения заданного движения, характеризующие быстроходность привода, определяются зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} v_{\text{ср}} &= L/T_{\text{п}} = L/(t_{\text{р}} + t_{\text{у}} + t_{\text{т}} + t_{\text{усп}}); \\ \omega_{\text{ср}} &= \Psi/T_{\text{п}} = \Psi/(t_{\text{р}} + t_{\text{у}} + t_{\text{т}} + t_{\text{усп}}); \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $v_{\text{ср}}$  и  $\omega_{\text{ср}}$  – соответственно средняя линейная и угловая скорости перемещения исполнительного звена,  $L$  – путь,  $\Psi$  – угол поворота.

В качестве обобщенного критерия для оценки быстроходности приводов используем показатели уровня быстроходности  $A_{\omega(v)}$  [1]. Для приводов с угловым и линейным перемещением выходного звена обобщенные показатели  $A_{\omega}$  и  $A_v$  определяют по формулам:

$$A_{\omega} = k_{\omega} \Psi^{-0,5} \Delta_{\Psi}^{-0,25}; \quad A_v = k_v L^{-0,5} \Delta_l^{-0,25}, \quad (2)$$

где  $k_{\omega} = \omega_{\text{ср}} \sqrt[3]{I_{\text{пр}}}$ ;  $k_v = v_{\text{ср}} \sqrt[3]{m_{\text{пр}}}$ ;  $I_{\text{пр}}$ ,  $m_{\text{пр}}$  – приведенный момент инерции ( $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ) и приведенная масса ( $\text{кг}$ ) ведомых звеньев;  $\Psi$ ,  $L$  – угол поворота (рад) и линейное перемещение ( $\text{м}$ ) ведомого звена;  $\Delta_{\Psi}$ ,  $\Delta_l$  – погрешность углового (угловые секунды) и линейного перемещения ( $\text{мм}$ ) ведомого звена соответственно.

При оценке быстроходности приводов обобщенные показатели  $A_{\omega(v)}$  учитывают влияние не только ведомых масс, но и угла поворота или линейного перемещения, а также точности позиционирования. Это позволяет сравнивать приводы ЗУ, работающие в различных условиях. В работе [2] показано, что среди приводов ЗУ с линейным перемещением ведомого звена наибольшую быстроходность имеют устройства с пневмоприводом ( $A_{\omega}/A_{\omega\text{б}} = 10$ ), а наименьшую – электрические ( $A_{\omega}/A_{\omega\text{б}} = 1,5$ ). Гидравлические приводы занимают среднее положение. Пневматические приводы ЗУ с угловым позиционированием также имеют наибольшее значение коэффициента быстроходности, но разница в быстроходности для различных типов привода не так велика, как для приводов линейных перемещений, и составляет 29 % для гидравлических и 57 % для устройств с электрическим приводом. Таким образом, по параметру быстроходности наилучшим является пневмопривод.

С точки зрения надежности принято считать, что наиболее надежным является пневмопривод. Это объясняется простотой его конструкции. В линейном пневмоприводе при позиционировании по жестким упорам ведомое звено совершает простое возвратно-поступательное движение. Система управления задает последовательность выполнения команд для срабатывания распределительных устройств. Недостатком неуправляемого пневмопривода является сложность обеспечения чисто пневматическими средствами безударной остановки движущихся масс в точках позиционирования. Если требуется активное управление законом движения пневмопривода, например, на режимах разгона и торможения, то в этом случае применяют цифровые системы, пропорциональные распределители с управляемым золотником и датчики обратной связи [5].

Важным свойством пневматического привода является пожаро- и взрывобезопасность. Он может длительное время работать при высокой температуре окружающей среды, т. к. охлаждается проходящим через двигатель воздухом. Перегрев рабочей жидкости в гидроприводе может нарушить его нормальную работу из-за изменения вязкости жидкости или ее возгорания.

С точки зрения воздействия на окружающую среду лучшим является электропривод. В отличие от электропривода гидропривод загрязняет окружающую среду маслом из-за возможных утечек через уплотнения. Пневмопривод при работе также создает шум от выхлопа воздуха, что требует дополнительных мероприятий по устранению данного недостатка.

Наиболее управляемым традиционно считают электропривод как с точки зрения режимов управления, так и удобства стыковки с сервоконтроллерами и датчиками обратной связи. Управлением может осуществляться по позиции, скорости, моменту и т. п. Гидропривод занимает промежуточное положение.

С появлением сервомеханических систем появилась возможность управлять законом движения пневмопривода путем изменения по соответствующему закону размеров сечений выходных отверстий выхлопной полости пневмоцилиндра [4, 5]. Структурная схема управляемого пневмопривода ЗУ приведена на рис. 2.

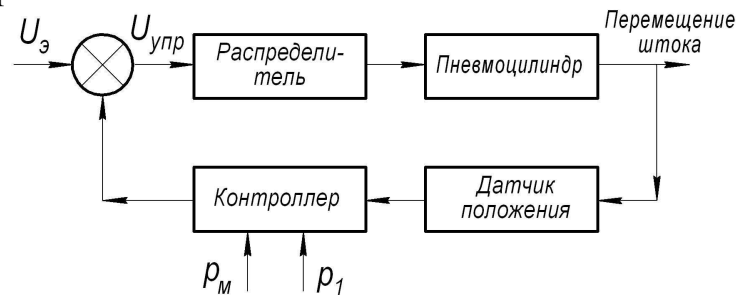


Рис. 2. Структурная схема управляемого пневмопривода ЗУ:  
 $p_m$  – давление воздуха в магистрали;  $p_1$  – атмосферное давление

В процессе управления аналоговый входной сигнал соответствует пропорционально открываемой части выходного отверстия распределителя. Датчик положения используется для получения сигнала обратной связи по перемещению. Контроллер обрабатывает сигналы обратной связи и управляет пропорциональным распределителем в соответствии с заданным законом движения. Экспериментальные исследования управляемого пневмопривода ЗУ подтвердило увеличение быстродействия на 25...30% по сравнению с неуправляемым пневмоцилиндром.

На этапе предварительной оценки возможных диапазонов режимов работы приводов удобно пользоваться диаграммами (рис. 3-4), которые позволяют для переналаживаемых ЗУ мехатронных сборочных систем определять допустимые диапазоны средних скоростей  $\omega_{cp}$  ( $v_{cp}$ ) и времени перемещения  $T_n$  при заданных параметрах: угол поворота  $\psi$  или длина хода  $L$ , допустимая точность позиционирования  $\Delta_\psi$  ( $\Delta_l$ ), приведенный момент инерции  $I_{пр}$  или приведенная масса  $m_{пр}$ .

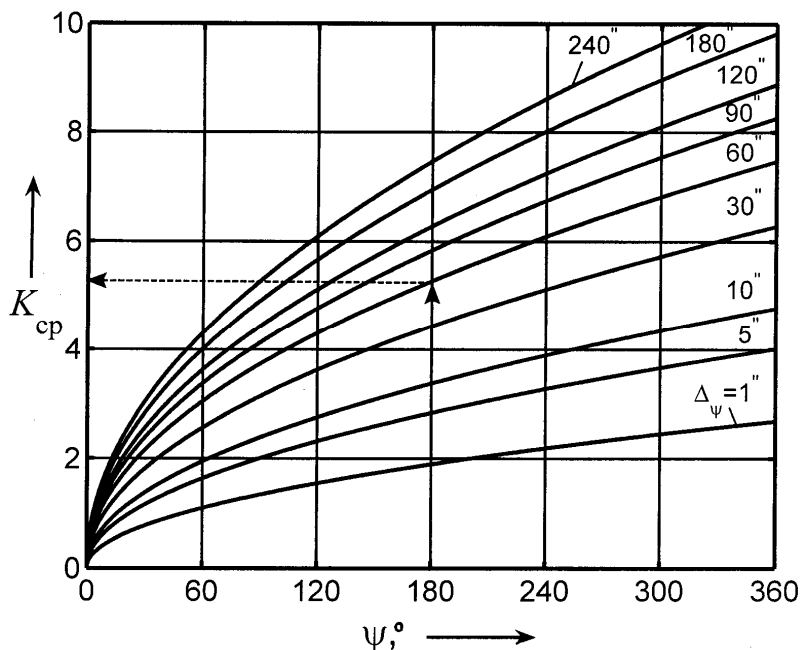


Рис. 3. Диаграммы для определения средних угловых скоростей движения приводов ЗУ сборочных машин-автоматов

В приведенном на рис. 3 примере для  $\psi = 180^\circ$ ,  $\Delta_\psi = 60''$ ,  $I_{пр} = 5 \text{ кг м}^2$  находим коэффициент быстроходности  $K_{ср} = 5,3$ . Из формулы (2) определяем среднюю угловую скорость  $\omega_{ср} = K_{ср} / \sqrt[3]{I_{пр}} = 5,3 / \sqrt[3]{5} = 3,1 \text{ с}^{-1}$ ; из (1) находим общее время углового позиционирования  $T_{п} = \psi / \omega_{ср} = \pi / 3,1 \approx 1 \text{ с}$ . Для диапазона углов поворота ведомого звена  $\psi = 30^\circ \dots 360^\circ$  при тех же значениях  $\Delta_\psi$  и  $I_{пр}$  средняя угловая скорость  $\omega_{ср} = 1,25 \dots 4,38 \text{ с}^{-1}$ .

Аналогичным образом с помощью диаграмм (рис. 4) определяют  $K_{ср}$  и  $v_{ср}$  для приводов с линейным перемещением исполнительного органа при заданных параметрах:  $L$ ,  $\Delta_l$  и  $m_{пр}$ .

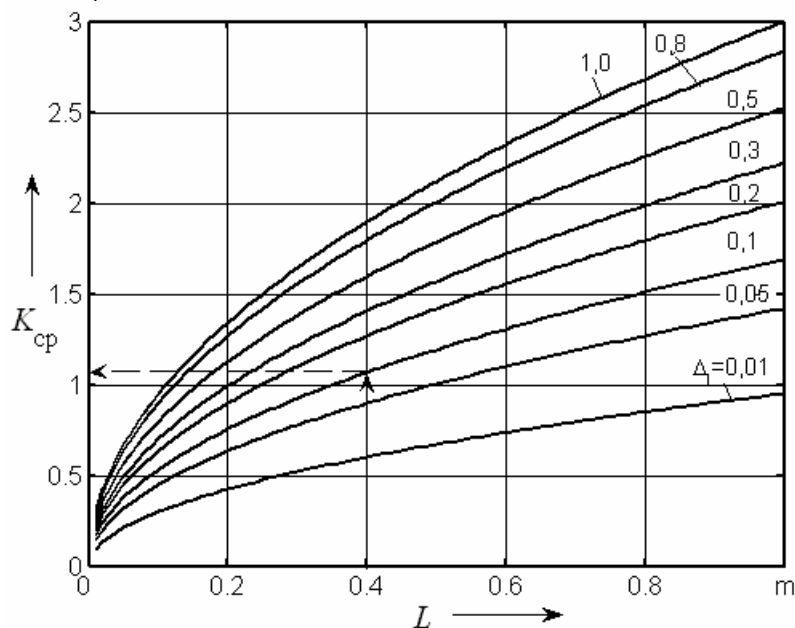


Рис. 4. Диаграммы для определения средних линейных скоростей движения приводов ЗУ сборочных машин-автоматов

Полученные значения  $\omega_{cp}$  ( $v_{cp}$ ) и  $T_p$  уточняются на основе математического моделирования и экспериментальных исследований динамики приводов ЗУ с учетом реальных законов движения, жесткости элементов, зазоров, соотношения конструктивных параметров и т. п.

Результаты выполненных исследований показывают возможность использования предложенных комплексных показателей, учитывающих кинематические и силовые факторы, в качестве приоритетных оценок для выбора типа привода ЗУ мехатронных сборочных систем. Использование полученных диаграмм позволяет на стадии предварительного проектирования приводов ЗУ оценить их быстродействие и исключить ошибки при выборе возможных диапазонов режимов работы.

### Список литературы

1. Надеждин И.В. Высокодинамичные механизмы вспомогательных операций автоматизированных сборочных производств/под ред. В.Ф. Безъязычного. – М.: Машиностроение, 2008. – 270 с.
2. Безъязычный В.Ф., Надеждин И.В. Повышение производительности автоматизированной сборки за счет увеличения быстродействия транспортно-загрузочного оборудования // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2007. – № 4. – С. 6-11.
3. Крайнев А.Ф. Идеология конструирования. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 384с.
4. Festo Product Catalogue [Электронный ресурс]. – 2018. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).
5. Патент № 124209 РФ, МПК В23Q7/10. Шиберный питатель с управляемым пневматическим приводом / Надеждин И.В., Беберина А.В.– №2012119791/02; заявл. 14.05.2012; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2.– 3 с.

### Сведения об авторе:

*Надеждин Игорь Валентинович* – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика», РГАТУ им. П.А. Соловьева, г.Рыбинск.

## THE CHOICE OF DRIVE FOR THE BOOT DEVICE MECHATRONIC ASSEMBLY SYSTEMS *Nadezhdin I.V.*

**Keywords:** mechatronic assembly system, loading device, drive.

**Abstract.** The paper analyzes the main types of drives of loading devices of mechatronic assembly systems on the basis of generalized indicators. The method of pneumatic actuator control using mechanical positioning systems is considered. Charts to estimate the average speeds and travel time mechatronic module drives boot device, depending on the kinematic and force characteristics.

### References

1. Nadezhdin I.V. High-performance mechanisms support operations automated assembly plants / ed. by V.F. Bezhyazichny. – М.: Mechanical Engineering, 2008. – 270 p.
2. Bezlyazychny V.F., Nadezhdin I.V. Increase of productivity of the automated Assembly due to increase in speed of the transport and loading equipment // Assembly in mechanical engineering and instrument-making. – 2007. – № 4. – P. 6-11.
3. Kraynev A.F. Design ideology. – М.: Mechanical Engineering-1, 2003. – 384 p.
4. Festo Product Catalogue [Electronic resource]. – 2018.
5. Patent № 124209 RU.Vane feeder with a controlled pneumatic actuator / Nadezhdin I.V., Beberina A.V. – publ. 20.01.2013, Bull. №2.