

УДК 621.62-236.58

## ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ БЕЗРЕВЕРСНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ

Э.Б. Мандаров<sup>1</sup>, к.т.н., В.В. Бальжинов<sup>1</sup>,  
Ю.Л. Шурыгин<sup>1</sup>, к.т.н., С.О. Никифоров<sup>2</sup>, д.т.н.,  
Н.С. Улаханов<sup>2</sup>, асп.

<sup>1</sup>Восточно-Сибирский государственный университет  
технологий и управления,

Россия, Улан-Удэ, bvvinfo@mail.ru

<sup>2</sup>Институт физического материаловедения СО РАН,  
Россия, Улан-Удэ, nulahanov@mail.ru

Статья посвящена анализу операционных систем реального времени отвечающая требованиям управления семейством быстродействующих циклоидальных манипуляторов, также окончательному выбору операционной системы с открытым исходным кодом. Указаны основные компоненты для программного управления манипулятором. Перечисляются конфигурационные файлы, также рассмотрены фрагменты кода, их настройка с последующими пояснениями некоторых операторов. Осуществлена генерация траектории и управляющей программы в цилиндрической системе координат с помощью программного обеспечения MathCad и последующей симуляции траектории в системе LinuxCNC.

**Ключевые слова:** Операционные системы реального времени, LinuxCNC, циклоидальные манипуляторы, траектория циклоидального манипулятора.

## REALTIME OPERATING SYSTEMS OF NON-REVERS HANDLING DEVICES

E.B. Mandarov<sup>1</sup>, Cand. Sc. Engineering, V.V. Balzhinov<sup>1</sup>,  
Y.L. Shurigin<sup>1</sup>, Cand. Sc. Engineering  
S.O. Nikiforov<sup>2</sup>, Doctor Sc. Engineering, N.S. Ulahanov<sup>2</sup>, gr.st.  
East Siberia state university of technology and management,  
Russia, Ulan-Ude, bvvinfo@mail.ru  
Institute of Physical Materials SB RAS,  
Russia, Ulan-Ude, nulahanov@mail.ru

VI Международная конференция «Проблемы механики современных машин»

Article is devoted to the analysis of real-time operating systems which meets the requirements of control of the high-speed cycloidal handling devices family, also to the final choice of open source operating system. Principal components for program control are specified by the handling device. Configuration files are listed, also the code fragments, their setup with the subsequent explanations of some operators are considered. Generation of the mechanical trajectory and controlling program in cylindrical coordinate system by means of the MathCad software and the subsequent simulation of the mechanical trajectory in LinuxCNC system is realized.

**Keywords:** Real-time operating systems, LinuxCNC, cycloidal handling devices, mechanical trajectory of the cycloidal handling device.

Необходимость циклоидальных манипуляторов обусловлено потребностями современного высокотехнологичного производства высокопроизводительными махатронными устройствами с простым программированием и высокой надежностью. Одним из методов повышения производительности манипуляторов основан на построении механизмов в которых ведущие звенья приводимые роторами электродвигателей врачаются равномерно, а выходные звенья механизмов передач задают рабочему органу движения по траекториям с мгновенными остановками заданных точках позиционирования (при обслуживании технологического оборудования, сборочных и сортировочных операциях, нанесении покрытий и т.д.) [2,3,4]. Возможности значительного повышения быстродействия таких манипуляторов обусловлены тем, что их двигатели не разгоняются, не останавливаются и не реверсируются, а сокращение времени цикла достигается просто увеличением постоянных угловых скоростей. Реализация подобной идеи означает частичный возврат к принципам построения узко специализированных механизмов, но способных воспроизводить движения по заданным, иногда довольно сложным траекториям, представленных на рисунке 1, с заданными законами изменения перемещений и скоростей.

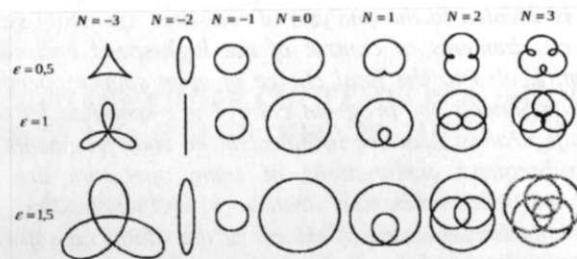


Рис. 1. Траектории формируемые циклоидальным манипулятором

Теоретической основой проектирования подобных механических систем является классическая теория синтеза механизмов, основы которой заложены еще в прошлом веке, на наиболее полно отражены в трудах И.И. Артоболевского и его научной школы [5]. В настоящее время эта теория продолжается развиваться, и вышла на новый уровень в связи с развитием компьютерных методов автоматизированного проектирования и систем управления. Усложнение кинематических схем, введение нескольких регулируемых приводов, значительное увеличение динамических нагрузок при сохранении высоких требований к точности и надежности выполнения технологических и вспомогательных операций требует проведения исследований по созданию новых операционных систем или модификации их ядер. Поэтому тема доклада посвященная ряду задач выбора операционных систем для таких быстродействующих, надежных и относительно недорогих циклоидальных манипуляторов нового поколения с расширенными манипуляционными возможностями представляется актуальной.

Целью данной работы является разработка решений создания операционных систем управления РВ для семейства быстродействующих циклоидальных манипуляторов, работающих на принципах сложения равномерных вращений.

Для управления такими манипуляторами операционная система должна удовлетворять следующим требованиям:

Открытость, имеется необходимость редактирование исходного кода с целью настройки операционной системы под кинематическую схему манипулятора и электронные компоненты системы управления;

#### VI Международная конференция «Проблемы механики современных машин»

Обладать архитектурой клиент-сервер, так как такая архитектура обеспечивает повышенную надежность, масштабируемость и высокой отказоустойчивостью.

Обладать возможностью симуляции траектории в целях избежании столкновений.

Иметь простой код программирования сложных траекторий движений рабочего органа манипулятора.

В настоящее время спектр операционных систем реального времени очень широк, в таблице 1 рассмотрены краткие характеристики наиболее распространенных.

Таблица 1. Краткие характеристики ОСРВ

ОСРВ	Архитектура	Уровней приоритетов	Пределы	Стоимость (USD)	Объем
VxWorks (Unix)	Монолитная	256	Жесткие	~20000	22К
QNX (Unix)	Клиент-сервер	32	Мягкие	300—6000	60К
LynxOS (Unix)	Клиент-сервер	255	Жесткие	10000	256к
LinuxCNC (Unix)	Клиент-сервер	20	Мягкие	0	58М
Windows NT	Клиент-сервер	32	Мягкие	314	124М

Большинство ОСРВ в представленной таблице являются с закрытым исходным кодом, таким образом, возникает проблема доступа к любому компоненту операционной системы, исключение составляет LINUX CNC, которая распространяется свободно и с открытым исходным кодом и обладает архитектурой клиент-сервер.

Основные компоненты для программного управления LINUX CNC: контроллер движения, контроллер ввода/вывода дискретных модулей и графический интерфейс. На рисунке 2

показана реализация управления приводами манипулятора с помощью системы Linux CNC.

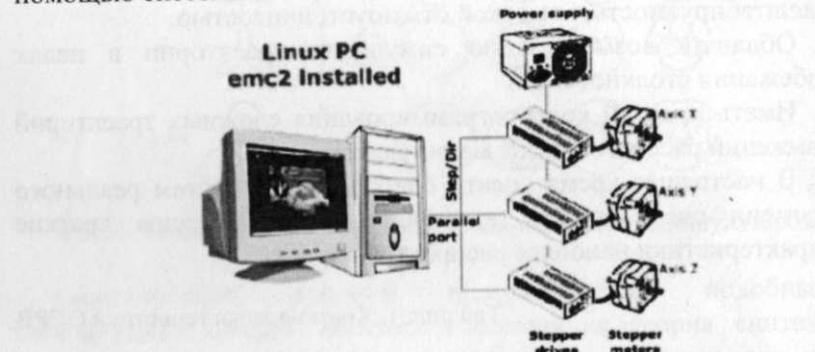


Рис. 2. Основные компоненты программного управления

Настройка манипулятора производиться с помощью следующих конфигурационных файлов:

1. \*.ini файл переопределяет установки по-умолчанию, которые компилируются, также предоставляет настройки, которые читаются Hardware Abstraction Layer.

Ниже представлен фрагмент файла \*.ini.

```
[TRAJ]
axes = 3
coordinates = x y z
linear_units = mm
angular_units = degree
cycle_time = 0.010
default_velocity = 560.0
max_velocity = 5600.00
[AXIS_0]
type = angular
home = 0.0
max_velocity = 1000
max_acceleration = 30000.0
stepgen_maxaccel = 36000.0
scale = 8.88
ferror = 1
min_ferror = .25
```

В разделе [TRAJ] указаны количество осей и их настройки, в разделе [AXIS\_0] настройки первой оси.

\*.hal файл загружают процессные модули и обеспечивают связи между сигналами EMC и определенными пинами аппаратного обеспечения. Далее указан фрагмент файла .

loadrt rotatekins

```
...
net xenable => parport.0.pin-03-out
net ystep => parport.0.pin-04-out
setp parport.0.pin-04-out-reset 1
...
net xdir => parport.0.pin-07-out
...
loadusr -W scaragui
net j0 axis.0.joint-pos-fb scaragui.joint0
```

В первой строке loadrt rotatekins указана цилиндрическая система координат, далее определены пины аппаратного обеспечения. Последнее две строки указывает об использовании кинематической схемы циклоидального манипулятора.

\*.ko файл описывает кинематическую схему манипулятора описывающий решения прямой и обратной задач кинематики представлен на рисунке 3

```
int kinematicsForward(const double * joint,
                      EmcPose * world,
                      const KINEMATICS_FORWARD_FLAGS * fflags,
                      KINEMATICS_INVERSE_FLAGS * iflags)
{
    double a0, a1, a3;
    double x, y, z, c;

    /* convert joint angles to radians for sin() and cos() */
    a0 = joint[0] * ( PM_PI / 180 );
    a1 = joint[1] * ( PM_PI / 180 );
    a3 = joint[3] * ( PM_PI / 180 );
    /* convert angles into world coords */
    a1 = a1 + a0;
    a3 = a3 + a1;

    x = D2*cos(a0) + D4*cos(a1) + D6*cos(a3);
    y = D2*sin(a0) + D4*sin(a1) + D6*sin(a3);
    z = D1 + D3 - joint[2] - D5;
    c = a3;
```

a

```

int kinematicsInverse(const EmcPose * world,
                     double * joint,
                     const KINEMATICS_INVERSE_FLAGS * iflags,
                     KINEMATICS_FORWARD_FLAGS * fflags)
{
    double a3;
    double q0, q1;
    double xt, yt, rsq, cc;
    double x, y, z, c;

    x = world->tran.x;
    y = world->tran.y;
    z = world->tran.z;
    c = world->c;

    /* convert degrees to radians */
    a3 = c * ( PM_PI / 180 );

    /* center of end effector (correct for D6) */
    xt = x - D6*cos(a3);
    yt = y - D6*sin(a3);

    /* horizontal distance (squared) from end effector centerline
       to main column centerline */
    rsq = xt*xt + yt*yt;
    /* joint 1 angle needed to make arm length match sqrt(rsq) */
    cc = (rsq - D2*D2 - D4*D4) / (2*D2*D4);
    if(cc < -1) cc = -1;
    if(cc > 1) cc = 1;
    q1 = acos(cc);

```

б

Рис. 3. Фрагмент конфигурационного файла \*.ko описывающее прямую задачу кинематики (а) и обратную (б).

Как и любая другая система ЧПУ, Linux CNC задает траектории движения циклоидального манипулятора в G-кодах, где под осью X задается угол поворота первого звена в градусах, ось Y — второго звена и ось Z подъем и опускания схвата манипулятора в мм. Пределы вращения звеньев вокруг своей оси не ограничены. Значения вращений звеньев задаются функцией G91 приращением, что дает значительную гибкость при программировании траектории и позволяет их комбинировать.

Генерация управляющей программы в цилиндрической системе координат реализовано в среде MathCad представлена на рисунке 4.

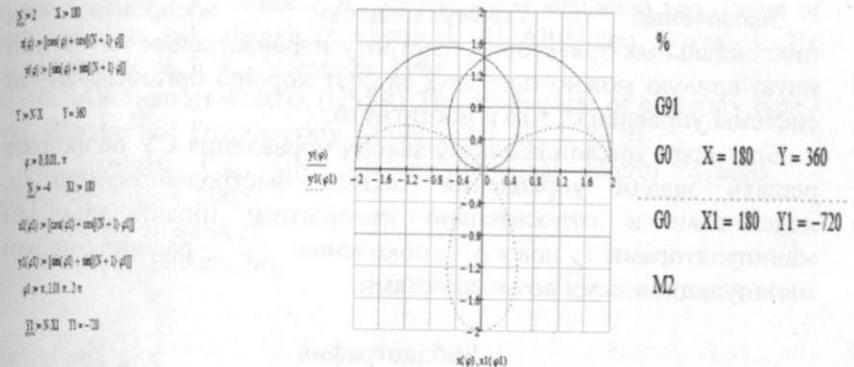


Рис. 4. Генерация управляющей программы в среде MathCad

Сгенерированная управляющая программа перенесена в файл с расширением \*.gnc. Пример симуляции траектории в системе LinuxCNC показан на рисунке 5.

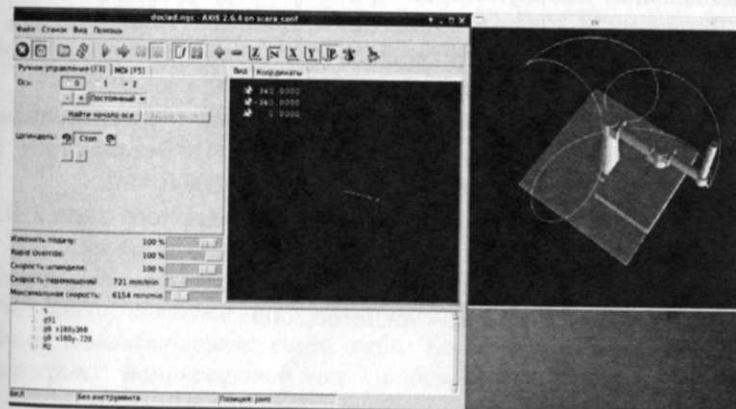


Рис. 5. Симуляция рабочего органа в системе LINUXCNC

**Вывод.** Симуляция траектории в системе LINUX CNC идентична сгенерированной в среде MathCad. Данная операционная система позволяет создавать сложные траектории и комбинировать их в пределах рабочей зоны манипулятора с минимальным количеством кадров управляющей программы.

**Заключение.** Универсальность воспроизведения циклоидальных траекторий быстроту перенастройки на ту или иную кривую можно получить за счет хорошо организованной системы управления, что и достигнуто.

Благодаря циклоидальному закону управления СУ позволяет решать задачи управления такими быстродействующими, надежными и относительно недорогими циклоидальными манипуляторами нового поколения с расширенными манипуляционными возможностями.

#### Библиография

1. Бурдонов И.Б., Косачев А.С., Пономаренко В.Н. Операционные системы реального времени ИСП РАН, препринт 14, М., 2006.
2. Белокодов Н.М., Никифоров С.О., Смольников Б.А. Особенности динамического расчета быстродействующих циклоидальных манипуляторов// 6-й Всес. Съезд по теор. И прикл. Мех. Ташкент, 24-30 сент., 1986. Аннот. Доклад. - Ташкент, 1986.
3. Никифоров С.О. Циклоидальные манипуляторы: основы теории. Докторская диссертация. СПбГТУ, 1999.
4. Райнес Я.К., Слиеде П.Б., Янсон А.Я. Расчет и проектирование циклоидальных манипуляторов// Тезисы докл. Ш Всес. Совещ. По робототехническим системам, ч. 4. - Воронеж, 1984.
5. А.с. № 426093 (СССР) Механизм планетарного типа / В.Л. Жавнер, Е.И. Трояновский. - Опубл. В Б.И., 1974, № 10.
6. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. «Системы числового программного управления». - М.:Логос,2005.
7. <http://sit-salsk.ru>
8. <http://linuxcnc.org>

#### Bibliography

1. Bourdon I.B., Kosachev A.S., Ponomarenko V.N. The real time operating system. ISP RAS Preprint 14, Moscow, 2006.
2. Belokodov N.M., Nikiforov S.O., Smolnikov B.A. Features dynamic analysis of high-speed cycloidal manipulators // 6th All-Union. Congress on the theory. And glue. Fur. Tashkent, 24-30 Sept., 1986. annotation. Report. – Tashkent, 1986.
3. Nikiforov S.O. Cycloid manipulators: basic theory. Doctoral dissertation. SPbGTU, 1999.

#### VI Международная конференция «Проблемы механики современных машин»

4. Raines Y.K., Sliede P.B., Janson A.J. Calculation and design of manipulators tsiklodalnyh // Abstracts. III All-Union. Soveshch. By robotic systems, h. 4. - Voronezh, 1984.
5. AS Number 426093 (USSR) The mechanism of planetary type / VL Zhavner, EI Troyanovskiy. - Publ. In BI, 1974, № 10.
6. Sosonkin V.L., GM Martin "numerical control systems." - Moscow: Logos, 2005.
7. <http://sit-salsk.ru>
8. <http://linuxcnc.org>

УДК 621.62-236.58

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
МОДУЛЬНЫХ МЕХАТРОННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ**

**С.О. Никифоров**, д.т.н., проф.

**Б.Е. Мархадаев**, к.т.н., **Н.С. Улаханов**, асп.

**Т.Б. Бальжинимаев**, асп., **Никифоров Б.С.**, к.т.н.,

**Э.Б. Мандаров**, к.т.н., **В.В. Бальжинов**

*Восточно-Сибирский государственный университет*

*технологий и управления,*

*Россия, Улан-Удэ, bvvinfo@mail.ru*

Предлагается проектирование модульных мехатронных манипуляторов осуществлять с учетом их морфологии и аксиологических свойств на основе применения быстрого прототипирования (аддитивных технологий).

**Ключевые слова:** инновация, модульные мехатронные манипуляторы, быстрое прототипирование.

## THE INNOVATION APPROACHES TO DESIGNING OF MODULAR MECHATRONIC MANIPULATORS WITH USING THE RAPID PROTOTYPING

Nikiforov S.O., Doctor Sc. Engineering, Marhadaev B.E., Cand. Sc. Engineering, Ulahanov N.S., gr.st., Balzhinimaev T.B., gr.st. Nikiforov B.S., Cand. Sc. Engineering, Mandarov E.B., Cand. Sc. Engineering, Balzhinov V. V.

*East Siberia state university of technology and management,  
Russia, Ulan-Ude, bvvinfo@mail.ru*

*The designing of modular mechatronic manipulators with consideration their morphology and axiological properties on using the rapid prototyping offered.*

**Key words:** innovation, modular mechatronic manipulators, rapid prototyping.

В настоящее время развитие экономики характеризуется усилением конкуренции на мировых рынках, а так же тем, что оказываемое давление со стороны западных стран на ключевые секторы российской экономики ставят перед машиностроением новые задачи – экономия ресурсов (материальных, информационных, временных, интеллектуальных), импортозамещение (как технологического оборудования, так и программного обеспечения), наделение производства свойствами гибкости, глубокая автоматизация технологических процессов. В связи с этим возникает необходимость в создании недорогих высокопроизводительных мехатронных технологических комплексов для автоматизации разного рода технологических операций таких как, размерной механообработки, резки, наплавки, нанесения покрытий, напыления, сборки и т.д.

При ускоренной разработке инновационных продуктов эффективны методы быстрого прототипирования [1]. Термин «прототип» в технике означает принятую рабочую модель или опытный образец и может относиться как к макету – материализованному образцу объекта, так и к работоспособному изделию, способному выполнить требуемые функции. Иногда за

прототип принимают программные продукты [2]. Прототип удобен в прикладных задачах, предваряющих оценку характеристик модели.

Логику модели создания любого устройства удобно представлять понятиями «морфологии» изделия и ее аксиологии, где под морфологией подразумевается целенаправленно формируемая структура изделия, а совокупность его полезных функций определяется понятием «аксиология» [3]. На рис.1 представлена процедура общего подхода к формированию изделия с учетом его морфологических и аксиологических свойств.

Такой подход включает в себя все циклы создания изделий:

- Концептуальное проектирование и дизайн;
- Моделирование;
- Синтез алгоритмов и средств аппаратуры;
- Разработку технической и конструкторской документации;
- Конструктивную реализацию;
- Разработку технологического процесса и т.д.

Основная задача подобного подхода к проектированию любого изделия заключается в целенаправленной компоновке функциональных блоков из соответствующего набора модулей, в итоге приводящей к необходимому синергетическому эффекту [4].

Модуль это унифицированный узел, структура которого характеризуется функциональной конструктивной самостоятельностью и который может состыковываться с другими модулями того же комплекса изделия. Структура определяет все возможные отношения между модулями. Функциональная самостоятельность модуля означает способность выполнять им определенную функцию. Конструктивная самостоятельность модуля означает то, что он может быть изготовлен и/или собран отдельно, а затем состыкован с другими модулями. Соединение модулей образует агрегат, в котором они представляют сборочные единицы (ГОСТ 23887-79), обладающие полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей

изделия и способностью выполнять определенную функцию самостоятельно или в составе изделия. Агрегатно-модульная система может быть многоуровневой, на низшем уровне которой – простые элементы [5].

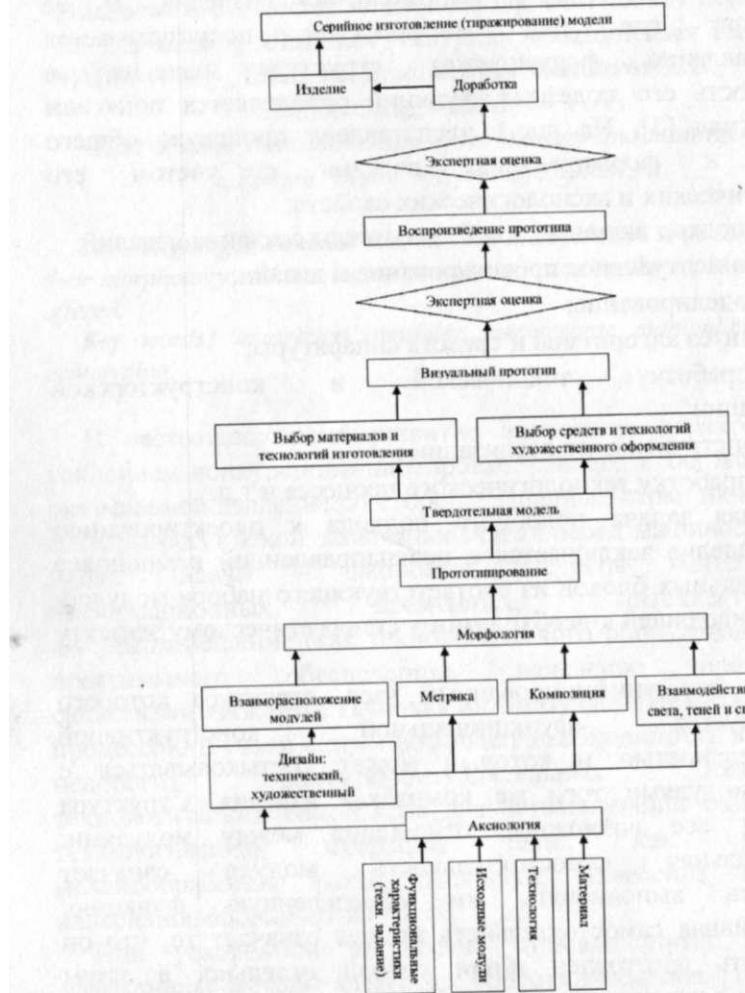


Рис. 1. Процедура общего подхода к формированию изделия с учетом морфологических и аксиологических свойств

При создании мехатронных манипуляторов (ММ) целесообразно использовать соответствующие модули, которые должны обладать следующими функциональными свойствами:

- Работать как самостоятельная система;
- Быть гибким (адаптивным);
- Обладать относительной автономностью;
- Обеспечивать обмен информацией с другими модулями;
- Быть заменяемы.

Эффективный выбор типа мехатронного модуля (узла) возможен когда известны характеристики технологического процесса, в противном случае неопределенность ситуации не позволяет выявить особенности модуля (узла).

Требования к системе управления (СУ), а так же будущие характеристики ММ (быстродействие, точностные показатели) во многом зависят от типа кинематической цепи, характеристик используемых модулей, новизны осуществления способа преобразования движений ММ.

Для ММ необходимо управление в реальном масштабе времени. Контурная СУ применяется в тех случаях, когда кроме заданной траектории требуется обеспечить заданные в каждый момент времени скорости перемещения, например, при сварке, резке, окраске и т.п. для остальных случаев необходимы цикловая и позиционная СУ.

Для увеличения быстродействия ММ задача сокращения времени цикла весьма актуальна. Привод и СУ ММ определяют общий характер изменения во времени скоростей и ускорений срабатывания степеней подвижности ММ. Эти зависимости можно аппроксимировать трапецией (рис.2), где  $\omega$  - угловая скорость вращения двигателя.

Имеем  $T_i = t_{pi} + t_{cpi} + t_{Ti}$ , где  $T_i$  – полное время срабатывания i-й степени подвижности;  $t_{pi}$  – время разгона;  $t_{cpi}$  – время среднего участка;  $t_{Ti}$  – время торможения. Соотношения между  $t_{pi}$ ,  $t_{cpi}$ ,  $t_{Ti}$  характерны для каждого вида привода и СУ. Для конкретного вида привода и СУ выбрав типовые отношения  $K_{pi} = \frac{t_{pi}}{T_i}$  и

$K_{T_i} = \frac{t_i}{T_i}$  можно оценить максимальную скорость  $V_{max}$  и ускорение  $a_{max}$  срабатывания степени подвижности.

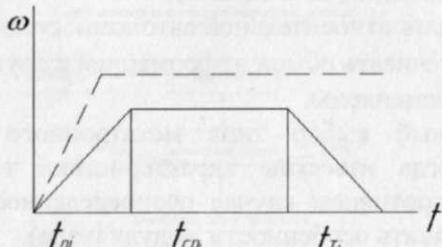


Рис. 2. Закон движения

Конструктивные параметры ММ следует выбирать по наиболее тяжелому режиму – одновременному срабатыванию всех степеней подвижности. Таким образом могут быть найдены исходные данные для силового расчета в номинальном режиме работы ММ.

Для повышения быстродействия ММ авторами предлагается исключить возвратно-поступательное движение выходного звена двигателя, т.е. использовать так называемые безреверсные ММ. Тахограмма такого режима приведена на рис.2 (представлена пунктиром). Двигатели не реверсируются, в частности, вращательные двигатели работают с постоянной угловой скоростью [5].

В указанном стационарном режиме работы приводных двигателей траектории рабочего органа для антропоморфного ММ (рис.3) будут циклоидальными кривыми (табл.1) [6].

Можно ввести соотношение угловых скоростей  $N = \pm \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\dot{\phi}_2}{\dot{\phi}_1}$  и

$\varepsilon = l_2 / l_1$ . При  $N > 0$  будут эпициклоиды (ЭЦ), при  $N < 0$  гипоциклоиды (ГЦ); положения «выстоя» будут при

$N = N_1 = \frac{|1 - \varepsilon|}{\varepsilon}$  для ЭЦ, при  $N = N_2 = \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon}$  для ГЦ.

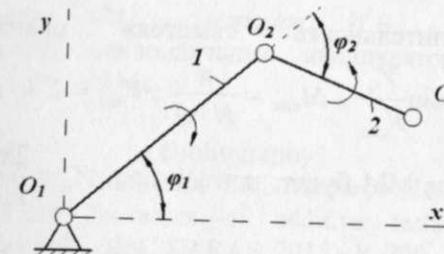


Рис. 3. Двухшарнирный ММ с вращательными парами

Характер эволюции траекторий рабочего органа таких ММ представлен в таблице.

Таблица

	$N=-4$	$N=-3$	$N=-2$	$N=-1$	$N=0$	$N=1$	$N=2$	$N=3$
$\varepsilon=0,3$								
$\varepsilon=0,5$								
$\varepsilon=1$								

В зависимости от характера автоматизируемого процесса режим применения таких ММ может быть двух разновидностей: 1) использовать точки «выстоя» (их число и местоположение должны совпадать с числом и местоположением рабочих позиций обслуживаемого оборудования); 2) используется вся траектория для процессов резки, сварки по контуру, нанесения покрытий и т.д.

В работе [5] даны характеристики быстродействия таких ММ и «выстоя» схватка.

Положение «выстоя» будут при ЭЦ и ГЦ. Скорость схвата в них будет равна  $V = l_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2 \cdot (1 \pm \cos \phi_2)}$ , где  $\phi_2 = \int_0^t N \omega_1 dt$ . В окрестности положения «выстоя» для скорости схвата имеем  $V \rightarrow 0$ ,  $V_{\Delta t} = 4 \cdot l_1^2 \cdot \omega_1^2 \sin N \cdot \omega_1 \cdot \frac{\Delta t}{2}$ , где  $\Delta t$  малый промежуток

времени, длительность «выстоя» равна  $T_b = 2 \cdot \Delta t$ ,  
 $\Delta t = \frac{2}{N \cdot \omega_1} \cdot \arcsin \frac{V_m}{V_{\max}}, \Delta t_{\max} = \frac{\pi}{N \cdot \omega_1}, V_{\max} = 2 \cdot l_1 \cdot \omega_1$ .

Время цикла ММ будет: при  $|N+1| > 1$ ,  $T_u = \frac{2\pi}{\omega_1}$ ; при  $|N+1| < 1$ ,

$$T_{umk} = \frac{2\pi}{(N+1) \cdot \omega_1}.$$

Такой кинематический подход позволяет сформировать быстродействующий мехатронный комплекс для любого технологического процесса исходя из заданной производительности  $Q$ . Имея  $T_{umex,np} = \frac{1}{Q}$  можно путем сравнения  $T_u = T_{umex,np}$  сформировать мехатронный комплекс. Характеристики комплекса определяются параметрами  $N, \omega_1$  [6].

Программный прототип моделирования траекторий рабочего органа безреверсного ММ дан в работе [2].

### Библиография

1. Дьяченко В.А., Челпанов И.Б., Никифоров С.О., Хозонхонова Д.Д. Материалы и процессы аддитивных технологий (быстрое прототипирование). – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2015. 200 с.  
 2. Программный прототип моделирования траектории рабочего органа безреверсного мехатронного манипулятора. Свидетельство о гос. Регистрации программ для ЭВМ № 2013618528 от 06.09.2013.

3. Никифоров Б.С., Никифорова О.С., Никифоров С.О. Об учете морфологии и аксиологических особенностей при машинном дизайнерском проектировании с прототипированием безреверсных мехатронных манипуляционных устройств // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. №2. С. 9-18.

4. Никифоров С.О., Мархадаев Б.Е. Синергетические свойства мехатронных манипуляционных систем // Вестник машиностроения. 2009. №12. С.16-23.

5. Никифоров С.О., Мархадаев Б.Е., Никифоров Б.С. Модульно-структурное проектирование безреверсных манипуляторов // Вестник машиностроения. 2013. №7. – С. 41-42.

6. Никифоров С.О., Челпанов И.Б., Слепnev В.В. Быстродействующие циклоидальные манипуляторы. Улан-Удэ, БИЕН СО РАН, 1996. – 111с.

### Bibliography

1. Dyachenko V.A., Chelpanov I.B., Nikiforov S.O., Hozonhonova D.D. Materials and Processes of additive technologies (rapid prototyping). -Ulan-Ude - BSC SB RAS, 2015.- P. 200.
2. The software prototype trajectory modeling of mechatronic bezreversnogo working body of the manipulator. Certificate of state. Registration of the computer from the number 2013618528 06.09.2013.
3. Nikiforov B.S., Nikiforova O.S., Nikiforov S.O. On account of morphology and axiological features at the machine designer to design prototyping irreversible manipulators equipment // VESTNIK KOMP'IUTERNYKH I INFORMATSIONNYKH TEKHOLOGII 2009. №2. С.9-18
4. Nikiforov S.O., Marhadaev B.E. The synergistic properties of mechatronic systems // Vestnik mashinostroeniya. 2009. №12.- P.16-23
5. Nikiforov S.O., Marhadaev B.E., Nikiforov B.S. The modular structural design irreversible manipulators // Vestnik mashinostroeniya - 2013 - №7. - S. 41-42.
6. Nikiforov S.O., Chelpanov I.B. Cycloid High Speed manipulators. Ulan-Ude, BINS SB RAS, 1996.-111c.