

Guzik Vyacheslav Filippovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: vfguzik@sfedu.ru; 1, Engels, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371428, +79064287987; the department of computer engineering; head the department; dr. of eng. sc.; professor.

Kirichenko Gennady Anatolievich – e-mail: vt_gak@mail.ru; the department of computer engineering; postgraduate student.

Shmoylov Vladimir Pyich – Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences; e-mail: Shmoylov40@at.infotectt.ru; 41, etc. Chekhov, Rostov-on-Don, Russia; research associate.

УДК 621.865.8-112.5:530.145.001.57

В.И. Бутенко, Д.С. Дуров, Р.Г. Шаповалов

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ

Определены недостатки используемых в машиностроении цикловых агрегатно-модульных промышленных роботов и рассмотрены особенности конструирования и расчета промышленных роботов с рекуперацией энергии, обеспечивающих высокое быстродействие, надежность и малую энергоемкость. Разработана принципиальная схема привода циклового робота с рекуперацией энергии, в которой аккумулятором потенциальной энергии принята пружина заданной жесткости. Выполнено численное моделирование работы рычажного механизма промышленного робота грузоподъемностью 2,5 кг с учетом применения в нем рекуперационной системы в расчетном пакете MSC ADAMS. Показана возможность применения системы рекуперации механической энергии при создании мехатронных устройств с заданными размерами и массами звеньев механизма, типом их соединения, параметрами усилий упругих элементов, условий, вида и величины приложения вынуждающей силы. Приведены результаты исследования изменения положения центра масс исполнительного органа промышленного робота с рекуперацией энергии с деталью во времени, а также исследовано изменение скорости и ускорения его центра масс.

Механизм; цикл; разгон; торможение; демпфирование; быстродействие; пружина; модель; упругий элемент; центр масс.

V.I. Butenko, D.S. Durov, R.G. Shapovalov

NUMERICAL MODELING OF JOB OF THE LEVER MECHANISM AT DESIGNING INDUSTRIAL ROBOTS WITH RECUPERATION OF ENERGY

The lacks used in mechanical engineering of cycling aggregate-modular industrial robots are determined and the features of designing and account of industrial robots with recuperation of energy ensuring high speed, reliability and small power consumption are considered. The basic circuit of a drive of the cycling robot with of recuperation energy is developed, in which the accumulator of potential energy accepts a spring of the given rigidity. The numerical modeling of job of the lever mechanism of the industrial robot by carrying capacity of 2,5 kg is executed in view of application in him of recuperational system in a settlement package MSC ADAMS. The opportunity of application of system recuperation of mechanical energy is shown at creation of mechatronical devices with the given sizes and weights of parts of the mechanism, type of their connection, parameters of efforts of elastic elements, conditions, kind and size of the application of compelling force. The results of research of change of coordinates of the centre of weights of the executive body of the industrial robot with recuperation of energy with a detail in time are given, and also the change of speed and acceleration of his centre of weights is investigated.

The mechanism; a cycle; dispersal; braking; dampfering; speed; a spring; model; an elastic element; the centre of weights.

Основными недостатками применяемых в настоящее время в машиностроении цикловых агрегатно-модульных промышленных роботов (ПР) являются их низкое быстродействие, сложность конструктивного исполнения, большое потребление энергии, значительная часть которой гасится в амортизаторах и трибосистемах [1–3]. В целях повышения быстродействия, надежности и снижения энергоёмкости производств различного типа в них применяются, в том числе, и роботы с рекуперацией энергии, характерной особенностью движения которых является малая доля их движения с постоянной скоростью в общем цикле движения и преобладающими в нём являются режимы интенсивного разгона и торможения.

Известно, что характерной особенностью движения цикловых роботов является малая доля их движения с постоянной скоростью в общем цикле движения, так как преобладающими в нём являются режимы интенсивного разгона и торможения [4, 5]. Поэтому при традиционном построении привода в цикловых системах с преобладанием инерционной нагрузки основная мощность двигателя идёт на разгон системы, затем она рассеивается на демпферах и упорах, вследствие чего с увеличением быстродействия требования к прочностным и энергопоглощающим характеристикам этих элементов ПР существенно ужесточаются. В предлагаемых ПР и мехатронных системах энергия, затрачиваемая на разгон инерционной массы, не теряется в самой системе (т.е. не уходит, например, в тепло), а из кинематической переходит в потенциальную. Для перевода робототехнических систем в класс колебательных конструкция ПР должна обладать минимальными демпфирующими свойствами и в неё должны быть введены упругие элементы, представляющие собой аккумуляторы механической энергии.

На рис. 1, а приведена принципиальная схема привода циклового ПР с рекуперацией энергии, предусматривающая наличие аккумулятора потенциальной энергии в виде упругого элемента (пружины) 1 с жёсткостью W и управляемых упор-фиксаторов 2 с электромагнитами 3. При среднем положении подвижной массы 4 между упор-фиксаторами пружина находится в свободном состоянии и её усилие $W_a = 0$. В начальном положении (точка А) система возведена и удерживается упор-фиксатором. При поступлении команды на выполнение движения электромагнит фиксатора убирает упор, и масса под действием усилия пружины W_{a1} начинает разгоняться, переводя потенциальную энергию пружины в кинетическую энергию массы. После прохождения среднего положения с $a = 0$ масса начинает тормозиться за счёт перехода её кинетической энергии в потенциальную энергию пружины. Если бы в системе не было трения, то масса обязательно достигла бы другого конечного положения (точка В), а её скорость в этом положении была бы равна нулю. Наличие трения в системе обуславливает необходимость установки двигателя 5, жёстко соединённого с массой посредством передачи 6 и восполняющего энергию на эти потери.

Вследствие того, что в описываемой системе двигатель не используется для разгона инерционных масс, он отличается существенно малой мощностью, причём она не определяет быстродействие ПР. При таком конструктивном построении системы автоматически обеспечиваются такие важные характеристики привода, как плавность разгона и торможения, их симметрия относительно среднего положения, что уменьшает нагрузки на детали, позволяя использовать для них менее дорогостоящие материалы, в том числе и композиционные. Выход на упоры движущейся массы происходит практически с нулевой скоростью, что устраняет необходимость в установке демпферов и повышает точность позиционирования рабочих органов ПР [5, 6].

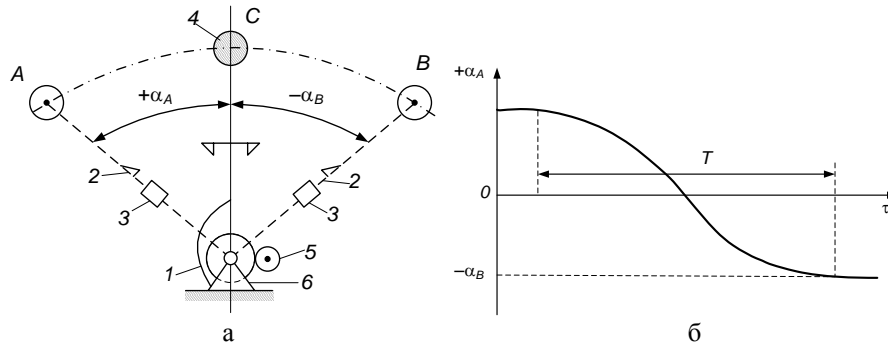


Рис. 1. Принципиальная схема привода циклового ПР с рекуперацией энергии (а) и закон движения массы (б)

При проектировании такого рода устройств необходимо точно рассчитать характеристики рекуператора механической энергии с учетом быстродействия системы (времени выполнения движения), определяемого зависимостью [4]

$$T = \pi \sqrt{\frac{m \cdot R^2}{W}}, \quad (1)$$

где m – масса; R – радиус перемещения массы; W – жесткость пружины, обеспечивающая заданное быстродействие системы.

С учетом представленного выражения средствами расчетного пакета MSC Adams было смоделировано перемещение груза (сферического однородного стального тела диаметром 100 мм массой $m = 4,08$ кг), совершающего возвратные движения по радиусу $R = 0,4$ м под действием торсионной пружины [7] с расчетной жесткостью $W = 6,44$ Н·м/рад = 112,45 Н·мм/град и коэффициентом демпфирования 6 Н·мм·с/град (рис. 2). Предварительный натяг пружины моделировался как угол предварительной деформации пружины 45° .

В результате моделирования были получены результаты (рис. 3, 4), на которых видна достаточно хорошая сходимость расчетных результатов и быстродействия, определяемого выражением (1), как по критериям определения координат перемещающегося груза, так и по критериям его скоростей и ускорений.

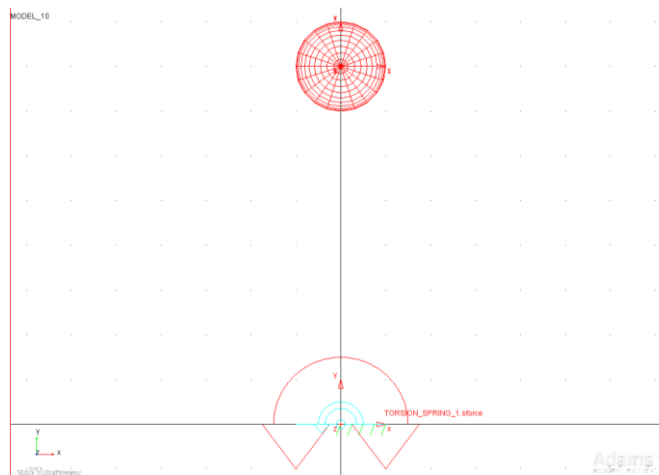


Рис. 2. Моделирование движения тела по дуге окружности $R = 0,4$ м

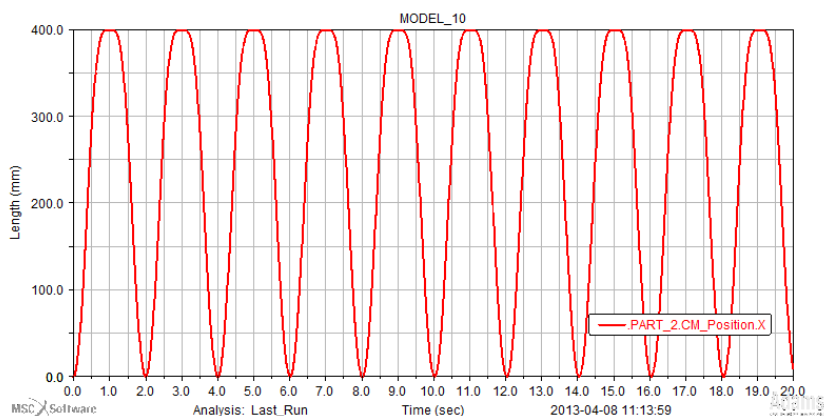


Рис. 3. Зависимость перемещения центра тяжести груза от времени (взято по горизонтальной оси)

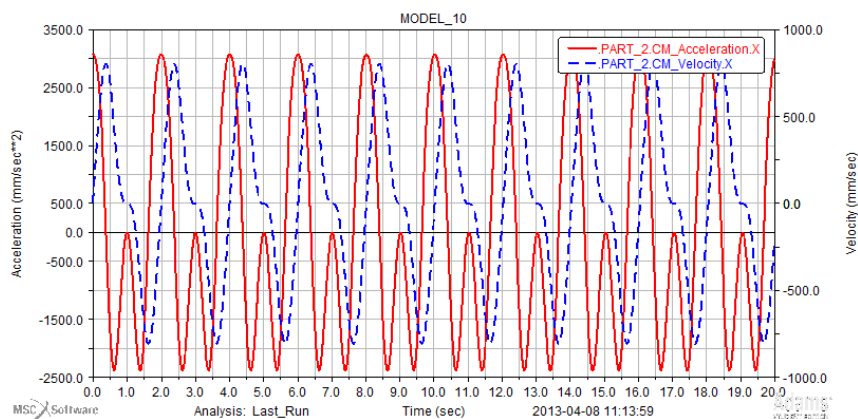


Рис. 4. Зависимость скорости и ускорения центра тяжести груза при его движении от времени (взято по горизонтальной оси)

На основании данных расчетов было произведено моделирование рекуперационного робота грузоподъемностью 2,5 кг, для которого была создана модель механизма (рис. 5), представляющая собой шестизвенный рычажный механизм, состоящий из четырех звеньев типа link, связанных между собой шарнирами Revolute joint с наложенными на них силами трения, учитывающими как статические, так и динамические условия контакта тел и соответствующие им коэффициенты трения, а также неподвижной стойкой с одной стороны и подвижным звеном с другой, представляющим собой рабочий орган и перемещаемую роботом деталь.

В качестве материала конструктивных элементов механизма была принята сталь. При расчете учитывались как геометрические параметры модели, так и весовые. Масса звеньев типа link составляла 2,62 кг верхних, длиной 0,4 м и 3,91 кг нижних, длиной 0,389 м соответственно. Масса исполнительного органа с деталью составляла 1,91 кг. Масса упругих элементов в расчетах не учитывалась. Два из четырех звеньев, размещенных в шарнирах на неподвижной стойке, контактировали между собой через зубчатые сектора, выполненные единым целым с каждым из этих звеньев. К одному из них приводился момент от двигателя SFORCE_1, величина которого задавалась выражением (2)

$$1000 \cdot \cos(4.0 + 2.75 \cdot \text{time}), \quad (2)$$

где time – переменная «время», используемая в программе для расчета.

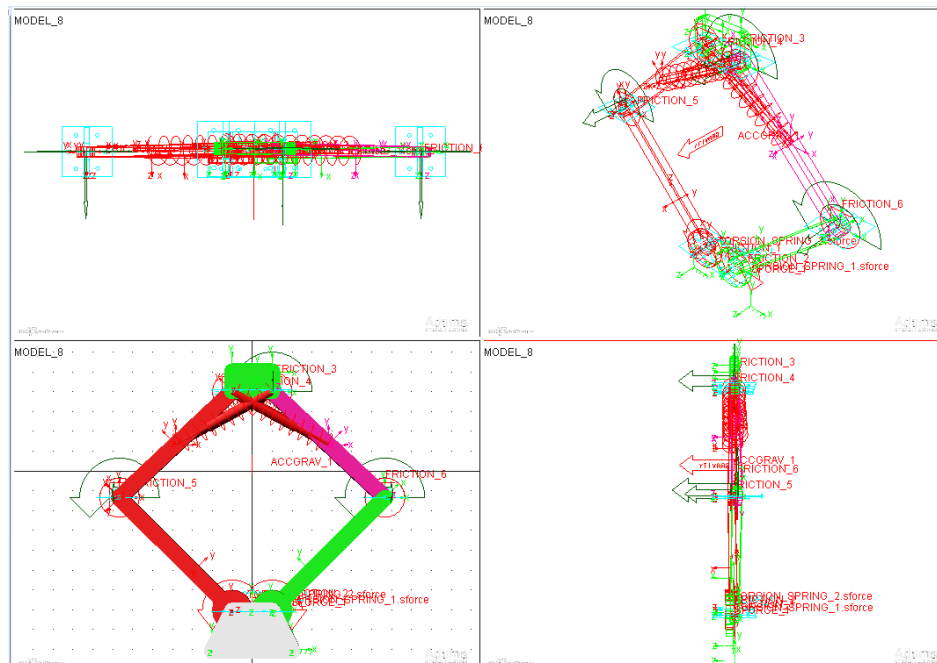


Рис. 5. Модель рекуперационного робота грузоподъемностью 2,5 кг

В каждом из этих шарниров находились по одному торсиону, моделируемому через TORSION_SPRING_2 и работающему в каждую сторону с жесткостью 50 Н мм/град. На каждом из них моделировалась предварительная нагрузка, соответствующая предварительному повороту торсиона на угол 30°.

В верхней части механизма звенья, соединенные с рабочим органом, оснащались пружинами для обеспечения стабилизации продольного перемещения рабочего органа при работе механизма SPRING_2 жесткостью $4,1 \cdot 10^{-2}$ Н·мм и коэффициентом демпфирования $2,2 \cdot 10^{-3}$ Н·с/мм каждая.

В ходе моделирования исследовались различные варианты исполнения робота, как с торсионными пружинами, так и без них, а также и без стабилизационных пружин. Вопросы точности позиционирования при перемещении рабочего органа выходили за рамки настоящих исследований.

На рис. 6 показано изменение положения центра масс исполнительного органа с деталью во времени, а на рис. 7 изменения его скорости и ускорения.

В итоге была экспериментально исследована возможность применения системы рекуперации механической энергии на данном типе мехатронных устройств с заданными размерами и массами звеньев механизма, а также типом их соединения, параметрами усилий упругих элементов, условий, вида и величины приложения вынуждающей силы, поддерживающей колебания определенной частоты и амплитуды, соответствующих требуемым параметрам работы и быстродействия устройства. Результаты исследований могут быть использованы при создании ПР с рекуперацией энергии, учитывая материаловедческие и конструкторско-технологические направления повышения работоспособности изделий машиностроения [8–10].

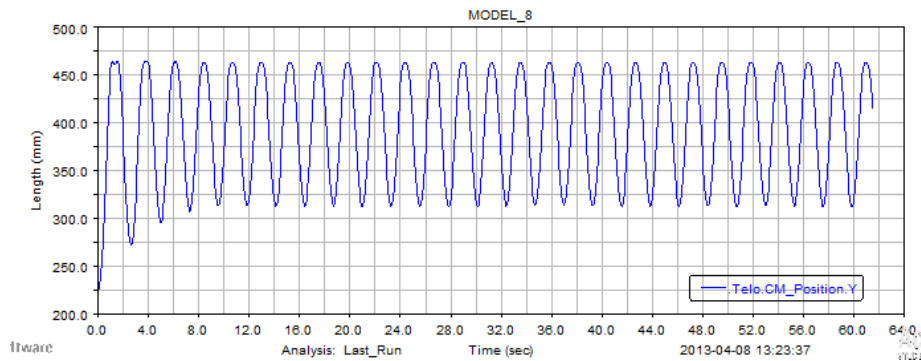


Рис. 6. Изменение положения центра масс исполнительного органа с деталью во времени

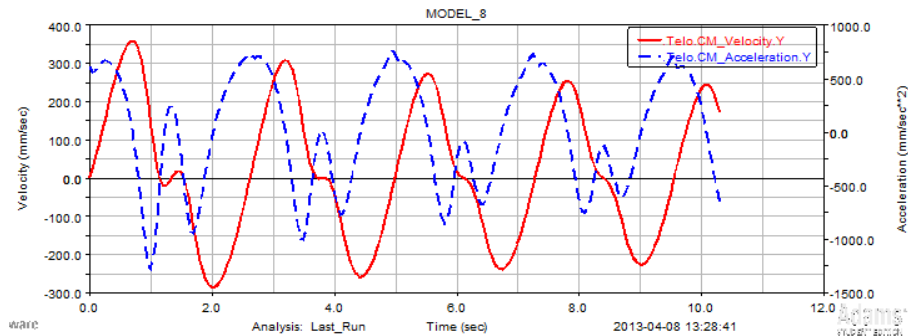


Рис. 7. Изменение скорости и ускорения центра масс исполнительного органа с деталью во времени

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутенко В.И. Конструкторско-технологические пути повышения надежности тяжело нагруженных узлов трения промышленных роботов / В кн.: «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». Международный сборник научных трудов. – Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2010. – Вып. 39. – С. 40-43.
2. Бутенко В.И. Нанотрибологическое направление повышения надежности тяжело нагруженных узлов робототехнических средств // Экстремальная робототехника. Нано-, микро-, макроботы. Материалы XX Междунар. науч.-техн. конференции. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 317-319.
3. Бутенко В.И. Научные основы нанотрибологии. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 275 с.
4. Новицкий О.Е., Литовченко А.П., Шишков В.С., Бутенко В.И. Промышленные роботы с рекуперацией энергии // Механизация и автоматизация производства. – 1989. – № 2. – С. 6-8.
5. Юревич Е.И. Основы робототехники. – Л.: Машиностроение, 1985. – 271 с.
6. Бутенко В.И. Динамический мониторинг роботизированных станков в автоматизированном производстве // Материалы XI Международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». Кн. 3. – Таганрог – Донецк, 2010. – С. 58-80.
7. Бутенко В.И., Диденко Д.И. Резонансный привод. Патент РФ №2162791 В25 J9/10 выдан 10.02.2001.
8. Бутенко В.И., Гусакова Л.В., Дуров Д.С., Захарченко А.Д., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г. Материаловедческие и конструкторско-технологические направления повышения работоспособности изделий машиностроения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 1 (114). – С. 97-103.

9. Бутенко В.И. Структура и свойства поверхностного слоя деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 367 с.
10. Бутенко В.И., Гусакова Л.В., Дуров Д.С., Захарченко А.Д., Подножкина В.Н., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г., Фоменко Е.С. Направления и технологии повышения работоспособности деталей машин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 1 (126). – С. 45-50.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Н. Михайлов.

Бутенко Виктор Иванович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: mkk@egf.tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371622; кафедра механики; д.т.н.; профессор.

Дуров Дмитрий Сергеевич – кафедра механики; зав. кафедрой.

Шаповалов Роман Григорьевич – кафедра механики; доцент.

Butenko Victor Ivanovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: mkk@egf.tsure.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371622; the department of the mechanics; dr. of eng. sc.; professor.

Durov Dmitry Sergeyeovich – the department of the mechanics; head department.

Shapovalov Roman Grigoryevich – the department of the mechanics; associate professor.

УДК744 (075.8)

И.Б. Аббасов, Г.В. Габрилян, В.В. Орехов

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН АВТОМОБИЛЯ «LOTOS»

Представлен концептуальный дизайн нового автомобиля «Lotos». Проведен краткий обзор аналогов прототипа различных мировых автопроизводителей. При создании концепции дизайна кузова автомобиля, использована бионическая форма лепестков лотоса. Эргономичная прорисовка модели осуществлена с привязкой к биометрическим параметрам человека. Разрабатываемая модель транспорта относится к серии динамичных автомобилей представительского класса. Концептуальное моделирование осуществляется поэтапно: создается эскиз общего вида будущей модели, находится композиционное решение, соотношение составных частей друг относительно друга, принимаются основные стилистические решения. Прототипы обводов кузова автомобиля разработаны в виде эскизных проектов. Эскизные чертежи концептуальной модели расположены на соответствующих плоскостях проекций. Для моделирования используется многофункциональная графическая система трёхмерного моделирования 3ds Max. Трёхмерное моделирование конструктивных частей автомобиля проводится методом полигонального выдавливания. Сглаживание поверхностей полигонов проведено на базе объектов NURMS (Неоднородная рационально-сглаженная сетка). Представлена трёхмерная компьютерная модель разработанной концепции автомобиля. Процесс назначения материалов отдельным конструктивным частям автомобиля выполнен на уровне полигонов. Для визуализации использован внешний модуль V-Ray. Для наглядности приведены варианты визуализации тонированной модели автомобиля.

Концептуальный дизайн; автомобиль; бионика; природные формы; кузов автомобиля; полигональное выдавливание; тонированная модель; визуализация.