

Выводы

– Результаты, полученные только с учётом физической нелинейности, показывают большую погрешность относительно результатов, полученных с одновременным учётом физической и геометрической нелинейностей. Это связано с ростом продольных усилий.

– Для пластины с относительной толщиной $h/a = 1/50$ линейное решение при отрицательном начальном прогибе наиболее близко к решению, полученному при одновременном учёте физической и геометрической нелинейностей, и имеет наибольшее отличие при положительном начальном прогибе.

– При не учёте начального прогиба для пластин толщиной $h/a = 1/50$, решения, полученные при учёте геометрической нелинейности и совместном учёте физической и геометрической нелинейностей до нагрузки $1,5q_s$, совпадают (расхождение 5%). Это связано со значительным влиянием мембранных усилий.

– В зависимости от знака начального прогиба отмечается существенное различие по прогибам и интенсивности деформаций, а также в последовательности мест возникновения пластических деформаций.

– В рассматриваемом диапазоне нагрузок в пластинах наблюдается «простое» нагружение. – Пластические деформации в ребрах не возникают при положительном начальном прогибе при нагрузке до $3q_s$. При отсутствии прогиба и при отрицательном начальном прогибе приведённая нагрузка начала текучести ($q = 2.3q_s$) наблюдается на ребре в пластине с относительной толщиной $h/a = 1/50$.

Литература.

1. Дехтярь, А.С. Несущая способность пологих оболочек с нерегулярной срединной поверхностью / А.С. Дехтярь // Строительная механика и расчет сооружений. 2014, №4. С. 6-9 .
2. Моисеенко, М.О. Напряжённо-деформированное состояние гибкой пластины с начальным прогибом ребра за пределом упругости / М.О. Моисеенко, О.Н. Попов, Т.А. Трепутнева // Строительная механика и расчет сооружений. 2012, №6. С. 50-55.
3. Моисеенко, М.О. Определение напряжённо-деформированного состояния в предварительно напряженных двухпролетных гибких пластинах от смещения уровня опор при действии поперечной нагрузки / М.О. Моисеенко, О.Н. Попов, Т.А. Трепутнева // Известия вузов. Физика. – Томск, 2013, №7/3. С. 182-184.
4. Моисеенко, М.О. Изгиб за пределом упругости двухпольной прямоугольной гибкой пластины с симметричной начальной погибью, подкреплённой центральным ребром жесткости / М.О. Моисеенко, О.Н. Попов, Т.А. Трепутнева // Строительная механика и расчет сооружений. 2014, №6. С. 40-44.
5. Попов, О.Н. Нелинейные задачи ребристых оболочек / О.Н. Попов, А.П. Малиновский, М.О. Моисеенко. – Томск: Изд-во Томск. гос. архит.-строит. ун-та, 2004. – 172 с.
6. Ёонг, Т.У. Применение метода конечных элементов для исследования больших прогибов пластин с начальными прогибами / Т.У. Yang // Ракетная техника и космонавтика, 1971. Т. 9. № 8. С. 38-44.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ
НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ ДВИЖЕНИЯ**

Ю.М. Осипов, д.т.н., д.э.н, г.н.с., О.Ю. Осипов, к.э.н., с.н.с., В.А. Трифонов, к.э.н., доцент*

Национальный исследовательский Томский государственный университет

634050, г. Томск, пр. Ленина 36, тел. 8-960-971-43-92, e-mail: uito1943@yandex.ru

** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, т/ф 8(38451)626-83,

E-mail: v.trifonov@rambler.ru.

Введение. В настоящее время, существует множество ниш, в которых используются роботы и манипуляторы. Среди них как роботы МЧС, спасающие жизни людей (способные обнаружить человека под завалом, уничтожить взрывное устройство или проверить состояние атомной электростанции во время аварии), так и роботы для обычной жизни, вне зависимости от их специализации.

В сравнении с большими достижениями в области интеллектуального управления робототехническими средствами технологических комплексов, технические достижения в части создания их основных элементов — исполнительных звеньев движений манипуляторов и роботов, далеки от совершенства. Это главный компонент робототехнических средств любого технологического комплекса машиностроения (ТКМ), в которых осуществляются движения рабочих органов. В большинстве отечественных и зарубежных роботах-манипуляторах сочленения автоматизированных рук (ног) в подавляющем большинстве случаев одноосные, с редукторными электроприводами, являющиеся

источником шума, низких скоростей, погрешностей за счет приводных валов, зубчатых ремней, зубчатых передач и др. Чтобы осуществить движение например, руки (плеча, предплечья и т.п.) робота-андроида в трехосной системе координат, в его конструкции необходимы до девяти одноосных сочленений. Это создает громоздкость в конструкциях, требует сложных алгоритмов управления мультикоординатных движений звеньев. Для уменьшения влияния перечисленных факторов снижают нагрузки на приводы, разрабатывают рациональные конфигурации роботов, определенные траектории инструмента, ограничивают рабочее пространство и т.п. Этому свидетельствует современное состояние исследований и разработок многих компаний: FanucLtd., YaskawaElectricCorp., FujiMachineMfg. Co., ToshibaMachinesCo., OkumaCorp., MoriSeikiCo., MakinoMillingMachinesCo., HitachiSeikiCo: Япония, Broetie-AutomationGMBH, Германия; ЦНИИ РТК, Россия и др. Множество интересных идей и изобретений в данный момент в части привода движущихся частей роботов находятся в стадии концепций или существуют только в виде прототипов — это то, что станет робототехническими средствами завтра [1, 2].

В настоящее время потребностью развития и усовершенствования общественного производства как базы для достижения экономического и военно-технического могущества страны, а также необходимостью исследования и освоения новых нетрадиционных пространств и сфер деятельности человека являются современные технологические комплексы машиностроения на основе роботов и манипуляторов. В статье мы рассматриваем электромехатронные компоненты роботов и манипуляторов, приводимые в действие электроприводами, имеющие операционные и управляющие части. Прогресс в области микропроцессорной техники, электроники, вычислительных средств способствовал существенному расширению функций и качества управляющей части электроприводов, которые практически достигли совершенства. Без качественного развития операционной части — электромехатронных компонентов роботов и манипуляторов практически нет дальнейшего развития управляющих частей, в целом роботов и манипуляторов, что снижает их качество и конкурентоспособность, платежеспособный спрос. [3, 4].

Актуальное значение приобретают разработки в области создания операционных частей роботов и манипуляторов, соответствующих высокому уровню развития управляющих частей, обеспечивающей интегральное движение каждого элемента робототехнической системы, например, руки (плеча, предплечья и кисти) с характеристиками движений, приближенных к естественным движениям человека (от эластичных, ползучих скоростей до резких и быстрых движений, адаптированных к текущему событию), с освоением сложных и точных движений. Развивается новая тенденция проектирования в мехатронике — конструктивные решения упрощаются: устраняются редукторы, кулачковые механизмы, преобразователи вращательного движения в поступательное и т.п. Новые магнитные материалы на основе редкоземельных металлов, новые электротехнические и конструкционные материалы, определяют развитие электромехатроники и дают возможность применения электропривода прямого действия в проектировании операционных частей технологических комплексов машиностроения, бытовой техники, медицины и т.п.

Прогресс достигается синергетическим объединением узлов электрических машин с механическими, электронными и компьютерными компонентами, обеспечивающее производство качественно новых устройств — электромехатронных модулей (ЭМД) и электромехатронных систем движения (ЭМСД) с интеллектуальным управлением. Предлагается разрабатывать технологические комплексы машиностроения на основе нового функционального элемента — «активной» карданной передачи (АКП), обеспечивающей интегральное движение каждого элемента робототехнической системы, например, руки (плеча, предплечья и кисти) с характеристиками движений, приближенных к естественным движениям человека (от эластичных, ползучих скоростей до резких и быстрых движений, адаптированных к текущему событию), с освоением сложных и точных движений.

В результате выполнения серии основополагающих НИОКР коллективом исследователей малого инновационного предприятия ООО «Электромехатронные системы» (таблица 1):

- сформирована концепция интеллектуального схемоконструкторского проектирования — синергетическая интеграция электромеханических, электронных и компьютерных средств управления, в результате чего создаются новшества — объекты промышленной собственности разных уровней защищенности (мировые, страновые, отраслевые, региональные и т.д.), вовлекаемые в экономический оборот [1];
- разработана конструкторская документация, изготовлены опытные и мелкосерийные образцы робототехнических средств и внедрены в технологических комплексы машиностроения заказчиков [2, 5];

- разработано и изготовлен сочленение робототехнического средства на основе нового функционального элемента — «активной» карданной передачи» (рис. 1).



Рис. 1. Сочленение робототехнического средства на основе нового функционального элемента — «активной» карданной передачи»

Таблица 1

НИОКР по электромехатронным системам движения

№ п/п	Научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки изделий с электромехатронными системами движений	Периоды времени
1.	НИОКР «Разработка и изготовление экспериментального образца автономной электростанции с фотоэлектрическими панелями, автоматически ориентированными на Солнце».	2010÷2011 гг.
2.	НИОКР «Разработка и изготовление опытных образцов системы высокоточного позиционирования для рентгеновского микротомографа для исследования образцов материала органической и неорганической природы».	2010÷2011 гг.
3.	ОКР «Разработка и изготовление опытных образцов опорно-поворотного устройства для исследования характеристик антенн».	2011÷2012 гг.
4.	ОКР «Разработка и изготовление устройства для неразрушающего контроля качества изготовления и калибровки ТВЭЛов».	2012÷2014 гг.
5.	НИОКР «Разработка научно-технических основ создания мультикоординатных электромехатронных систем движения для робототехнических средств на основе функционального элемента — «активной» карданной передачи».	2013÷2014 гг.

Исследования за период 2010÷2014 позволили сформулировать перспективы создания технологических комплексов машиностроения на основе электромехатронных систем движения на дальнейший период, до 2020 года по двум направлениям (таблица 2):

- для достижения экономического могущества страны;
- для обеспечения безопасности и обороноспособности страны.

НИОКР и научно-техническое обеспечение технологических комплексов машиностроения	
НИОКР технологических комплексов машиностроения с применением электромехатронных систем движения	
Продукция для достижения экономического могущества страны	Продукция обеспечения безопасности и обороноспособности страны
<p>1. НИОКР «Манипулятор рабочего стола лазерного технологического комплекса для обработки криво-линейных и сферических поверхностей, отверстий и т.п., содержащего обрабатываемую деталь (или изделие), с поворотами на заданные углы по трем осям прямоугольной системы координат. Шифр «Дуга»</p> <p>2. НИОКР «Лечебно-оздоровительный тренажер с использованием энергии импульсного низкочастотного электромагнитного, теплового и механического полей для воздействия на область малого таза и позвоночника». Шифр «Всадник».</p> <p>3. НИОКР «Лечебно-оздоровительный тренажер с использованием процедур (вибрационный массаж, лекарство + электромагнитное поле, инфракрасное излучение) на руки и ноги пациента». Шифр «Желоб».</p> <p>4. ОКР «Рентгеновский микромограф для исследования структуры веществ органической и неорганической природы». Шифр «Микрон».</p> <p>5. ОКР «Рентгеновский томограф для устройств неразрушающего контроля тепловыделяющих элементов атомных электростанций». Шифр «ТВЭЛ».</p>	<p>1. НИОКР «Горизонтированная платформа со стабилизацией положения блока чувствительных элементов в горизонтальной плоскости прямоугольной системы координат и вращением по азимуту например, гибридной бесплатформенной инерциальной нави-гационной системы». Шифр «Опора».</p> <p>2. НИОКР «Малогабаритный электромехатронный счетчик координат подвижного объекта, например беспилотного глубоководного аппарата». Шифр «Координата».</p> <p>3. НИОКР «Электромехатронный модуль электро-привод-двигатель глубоководного аппарата» с интеллектуальным управлением. Шифр «Движение».</p> <p>4. НИОКР «Робот-андроид с дистанционно-интеллектуальным управлением для спасательных работ и пр.» Шифр «Аватар».</p> <p>5. НИОКР «Малогабаритная мобильная электромехатронная центрифуга-тренажер» Шифр «Перегрузка».</p>
<p>Научно-техническое обеспечение (патенты РФ, конструкторско-технологическая документация, программное обеспечение и т.п.)</p>	
<p>1. Патент РФ, №2365488. Манипулятор-платформа / Осипов Ю.М. – опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29. 2. Патент РФ, №2365888. Устройство для контроля параметров неуравновешенности подвижной системы / Ю.М. Осипов (РФ). – опубл. 27.08.2009. – Бюл. № 24. 3. Патент РФ, №2353044. Способ согласования электромагнитных систем и систем с постоянными магнитами / Ю.М. Осипов (РФ). – опубл. 20.04.2009. – Бюл. № 11. 4. Патент РФ, №2361567. Электромеханический тренажер / Ю.М. Осипов (РФ) и др. – опубл. 20.07.2009. – Бюл. № 20. 5. Патент РФ, №2505392. Манипулятор рентгеновского микромографа/ Ю.М. Осипов (РФ) и др. – опубл. 20.04.2014. – Бюл. № 1. 6. Патент РФ, № 2505800. Способ рентгеновской томографии и устройство для его осуществления /Ю.М. Осипов (РФ) и др. – опубл. 20.04.2014. – Бюл. № 1. 7. Патент на полезную модель № 146623. Электромехатронный модуль движения / Ю.М. Осипов (РФ) и др. – зарегистр. в государств.реестре полезных моделей РФ 18.09.2014 г. 8. Научно-техническая документация эскизно-технических проектов и конструкторская документация экспериментальных образцов.</p>	
с применением электромехатронных систем движения	

Заключение

1. При разработке робототехнических средств технологических комплексов машиностроения приходится решать компромиссную задачу, в которой акцент может быть сделан на операционных или управляющих частях. В выборе компромиссного решения определенную роль играет уровень технических средств, используемых соответственно для построения операционной и управляющей части электромехатроники.

2. В основе теории и методологии робототехнических систем с сочленениями нового типа будут лежать принципы интеграции и совмещения конструкций электромеханических, электронных и компьютерных компонентов, технологии уравнивания подвижных частей и совмещения магнитопроводов индукторов и энергоактивных роторов, оптимизации магнитодвижущих сил конструкций пассивных и активных магнитопроводов и их составных элементов, обмоток и т.д.

3. Внедрение активной карданной передачи позволит получить прорывные результаты в характеристиках движений робототехнических средств, приближенных к естественным движениям человека (от эластичных, ползучих скоростей до резких и быстрых движений, адаптированных к текущему событию).

4. Новизна предлагаемых подходов к решению научной задачи показывает целесообразность проведения теоретических и экспериментальных исследований, возможность получения результатов, способных к правовой охране в виде изобретений, полезных моделей, промышленных образцов, программ для ЭВМ, баз данных, секретов производства (ноу-хау).

5. . Значимость, роль и место результатов проекта в системе обеспечения безопасности государства за счет реализации результатов проекта чрезвычайно высока:

усиление конкурентных позиций отечественных производителей (в соответствии с критерием оптимизации «цена-качество» — главным критерием конкурентности высокотехнологичной продукции, который позволяет учесть и экономические требования (цена), и производственно-технические требования (качество продукции);

повышение уровня готовности экономики страны до 2030 года, в т.ч. при борьбе с терроризмом, решении оборонных задач, пожаротушения, освоении космоса и глубин Мирового океана, проблем атомной энергетики и опасных производств, медицины.

6. Прогноз технологического развития — результаты проекта позволят сделать следующий шаг — разработать робототехнические средства с ЭМД с гибкими управляемыми магнитопроводами, обладающими высокой тактильной чувствительностью и сенсорными свойствами.

Литература.

1. Термин «электромехатроника» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ru.wikipedia.org.
2. Осипов, О.Ю. Мультикоординатные электромехатронные системы движения / О.Ю. Осипов, Ю.М. Осипов, С.В. Щербинин. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2010. – 320 с.
3. Изоткина Н.Ю., Осипов Ю.М., Сырямкин В.И., Трифонов В.А. Коммерциализация систем позиционирования рентгеновских микротомографов. Актуальные проблемы современного машиностроения: сборн. трудов Международ. НПК11-12 дек.2014 г./ Юрг.технол. инст. –Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 481 с. – С.55-58.
4. TseplitA., GrigorevaA., OsipovY. Developing the model for assessing the competitiveness of innovative engineering products. AppliedMechanicsandMaterialsVol. 682 (2014) pp 623-630.
5. Осипов Ю.М., Осипов О.Ю. Создание изделий экстремальной робототехники на основе «активной» карданной передачи. Труды 7-ого международного симпозиума «Экстремальная робототехника – робототехника для работы в условиях опасной окружающей среды (RISE-ER'2013)». – Санкт-Петербург. – Изд-во «Политехника-сервис, 2013. – 556 с. – С.177-179.