

УДК 62-50+007.52

Ю.П. КОНДРАТЕНКО, А.С. ШИШКИН

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА УРОВНЯ ГАРАНТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ АДАПТИВНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Статья посвящена вопросам анализа уровня гарантоспособности элементов адаптивных робототехнических систем, функционирующих в условиях изменяющихся параметров объекта манипулирования в процессе выполнения технологических операций. Рассматриваются вопросы применения датчиков проскальзывания для идентификации изменяющейся массы объекта перемещения и коррекции сжимающего усилия, с целью обеспечения надежной реализации требуемых (желаемых) траекторий движения схвата в нестационарных условиях. Обсуждаются результаты проектирования и исследования компьютеризованного программно-аппаратного комплекса для оценки гарантоспособности алгоритмов идентификации и управления, а также схмотехнических решений устройств и элементов, принципиально влияющих на гарантоспособность адаптивных робототехнических систем.

робототехнические системы, дистанционное управление, гарантоспособность, датчики проскальзывания

Введение

Одним из основных требований при проектировании и создании адаптивных робототехнических систем (РТС) и их элементов является обеспечение требуемого уровня гарантоспособности, т.е. высокой надежности и безопасности процессов функционирования и управления. Современные РТС должны адаптироваться к различным изменениям условий функционирования, поскольку сфера применения роботов не ограничивается простейшими операциями по транспортировке грузов с постоянной массой по заранее заданным траекториям. Особое внимание при проектировании роботов заслуживают элементы РТС, отвечающие за надежность получения информации о среде функционирования и об изменении параметров объекта манипулирования (детали), а также элементы, исключающие повреждение детали и обеспечивающие точность обработки требуемой траектории движения схвата.

В данной статье рассматривается задача качественного и гарантоспособного управления РТС при транспортировке деталей с заранее неизвестными параметрами с обеспечением текущей идентифика-

ции массы объектов манипулирования и коррекции сжимающего усилия схвата в зависимости от изменения массы соответствующей детали. В настоящее время известны следующие методы решения задачи идентификации массы объектов манипулирования: а) путем использования специализированных вычислительных устройств для текущей оценки массы деталей на основе анализа кинематических и динамических параметров РТС [1 – 3]; б) при обработке сенсорной информации, поступающей с выходов датчиков сил и моментов [3]; в) за счет анализа электрических характеристик элементов РТС (изменение токов, потребляемых двигателями РТС, и т.п.) [2]; г) за счет применения датчиков проскальзывания, регистрирующих перемещение объектов манипулирования в схватах РТС [2, 4 – 8].

Рассмотрим метод решения задачи идентификации массы объектов манипулирования путем использования специализированных вычислительных устройств для текущей оценки массы деталей на основе анализа кинематических и динамических параметров РТС. Используя информацию о текущих параметрах движения робота (угловые и/или линей-

ные положения в шарнирах, их скорость и ускорение), можно на основе известной математической модели рассчитать развиваемые в шарнирах усилия. Если в схвате робота находится деталь, изменение массы которой в расчетах не учитывается, то рассчитанные значения усилий будут отличаться от истинных значений. По величинам этих отличий можно оценить массу детали. Для определения неизвестной массы θ детали необходимо составить параметрическую модель робота относительно θ , т.е. явно выразить θ из уравнений для обобщенной силы P (развиваемых в шарнирах усилиях):

$$\theta^i = \frac{\Delta P_i}{\|d_i \times a^*\|}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где θ^i – неизвестная масса детали (индекс i означает, что оценка массы выполнена на основе анализа отклонения значения обобщенной силы в i -м шарнире); ΔP_i – отклонение значения обобщенной силы для i -го шарнира от истинного значения; d_i – вектор, задающий положение детали относительно кинематической пары i ; a^* – вектор линейного ускорения детали [1]. Параметрическую модель легко построить, если уравнения динамики РТС достаточно просты (при двух-трех степенях подвижности) и могут быть получены в явном виде, но в большинстве случаев для реальных роботов необходимо строить упрощенную параметрическую модель, что вносит дополнительные погрешности при определении массы детали.

Силомоментные датчики, которые используются для измерения сил и моментов, выполнены на базе пьезоэлектрических преобразователей или измерителей деформации, которые прикрепляются к чувствительным элементам упругих конструкций, и позволяют измерять компоненты силы и момента, воспринимая отклонения упругих частей, связанных с этими датчиками [6].

Изменение массы детали приводит к изменению нагрузки на приводы, обеспечивающие перемещение звеньев РТС, что позволяет косвенным методом

(например, через значение тока, потребляемого двигателем) определять массу объекта перемещения.

В дальнейшем более детально рассмотрим возможность повышения эффективности адаптивных РТС именно на основе регистрации сигналов проскальзывания, поскольку во многих случаях необходимо не столько идентифицировать массу детали, сколько зарегистрировать изменение массы объекта манипулирования, приводящее его к проскальзыванию в схвате робота. Эффективное решение данной задачи связано с проектированием и использованием в сенсорных системах РТС датчиков проскальзывания с высокими техническими характеристиками. В свою очередь, гарантоспособность адаптивных РТС такого класса также существенно зависит от надежности датчиков проскальзывания, позволяющих решать задачу коррекции величины сжимающего усилия схватов РТС при изменении массы объектов манипулирования. Кроме того, необходимо учитывать влияние массы деталей на характер и динамические характеристики траекторий движения схватов, а также важность обеспечения надежной отработки требуемых траекторий движений схватов РТС. Проблема обеспечения гарантоспособности адаптивных РТС должна решаться в реальном времени, поскольку при регистрации в динамических режимах проскальзывания детали в схвате робота требуется своевременная коррекция величины сжимающего усилия схвата как с исключением деформации или повреждения детали, так и с исключением возможности выпадения детали из зажимных губок схвата. Кроме того, часто возникает необходимость решения в реальном времени задачи коррекции траектории движения схвата в случае возникновения препятствий на пути исполнительного органа РТС.

Таким образом, от гарантоспособности датчиков проскальзывания, используемых в системах осязательного адаптивных РТС, во многом зависит надежность такого класса РТС в целом. Расширение об-

ласти использования адаптивных РТС для автоматизации современных технологических процессов выдвигает новые требования к их техническим характеристикам, свойствам алгоритмов управления и эффективности сенсорных систем. В свою очередь, повышение современных требований к характеристикам сенсорных систем рассматриваемого класса адаптивных РТС приводит к необходимости создания датчиков проскальзывания нового типа или к модификации известных схемотехнических, программно-алгоритмических решений и программно-технических средств [3 – 6]. Поэтому при выборе типа датчиков проскальзывания [2, 9] на этапе проектирования сенсорных систем адаптивных РТС необходимо предварительно анализировать уровень их гарантоспособности (надежности). Известные алгоритмы управления также не всегда обеспечивают эффективное решение комплекса задач, стоящих перед современными РТС, функционирующими в условиях нестационарной или динамической среды, что вызывает необходимость в разработке и исследовании новых алгоритмов управления, обеспечивающих гибкость и адаптивность РТС в широком диапазоне изменяющейся в процессе функционирования РТС массы объектов манипулирования.

В дальнейшем более детально рассмотрим программно-аппаратный комплекс, который позволяет анализировать гарантоспособность датчиков проскальзывания и других компонентов сенсорных систем адаптивных РТС (например, датчиков сил и моментов), а также алгоритмов управления РТС при их функционировании в нестационарных условиях.

1. Структура программно-аппаратного комплекса

Разработанный программно-аппаратный комплекс (ПАК) представляет собой компьютеризированную РТС с дистанционным управлением на основе использования персонального компьютера (ПК). Функциональная схема экспериментального ПАК приведена на рис. 1.

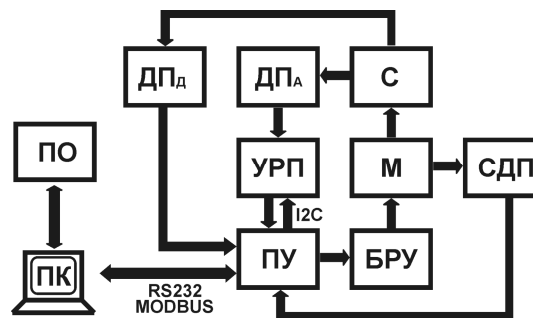


Рис. 1. Функциональная схема программно-аппаратного комплекса

Механическая часть (М) комплекса (рис. 1) включает в себя неподвижное основание, исполнительный орган РТС с тремя степенями подвижности и двигатели постоянного тока для управления перемещением соответствующих звеньев исполнительного органа. Схват (С) имеет одну степень подвижности. На схвате предусмотрена возможность закрепления одного дискретного (ДПД) или аналогового (ДПА) датчика проскальзывания. Выход ДПА подключается к аналоговому входу устройства регистрации проскальзывания (УРП), дискретный выход которого подключен к плате управления (ПУ). Дополнительно УРП связано с ПУ с помощью интерфейса I2C. Также ПУ обеспечивает формирование необходимых для работы с блоком релейного управления двигателями (БРУ) сигналов. Для получения информации о текущем положении схвата РТС в пространстве используется система датчиков положения (СДП), выходы которых подключены к плате управления. Для связи между ПУ и СДП используется интерфейс I2C, для дистанционного управления РТС используется специализированное программное обеспечение (ПО), установленное на ПК. Сигналы с ПК поступают на ПУ через интерфейс RS-232 с использованием промышленного протокола MODBUS. Данный протокол обеспечивает обработку ошибок коммуникаций и исключительных ситуаций, имеет фиксированный формат передачи данных и возможность гибкой настройки параметров связи (скорости передачи, контроль четности и т.п.).

2. Обобщенная характеристика и алгоритм функционирования устройства регистрации проскальзывания УРП

В разработанном авторами ПАК устройство регистрации проскальзывания представляет собой программируемую микропроцессорную систему на основе микроконтроллера фирмы MICROCHIP с RISC-архитектурой. Схема устройства приведена на рис. 2. Основные технические характеристики УРП приведены в табл. 1.

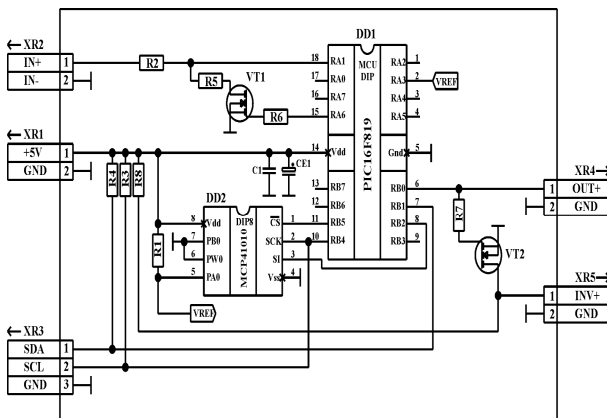


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная блока регистрации проскальзывания

Напряжение питания U_{pwr} , необходимое для работы схемы, поступает на вход устройства через разъем XR1 от стабилизированного источника питания с выходным напряжением 5В. Аналоговый сигнал U_a с ДПА поступает на вход УРП через разъем XR2 и через управляемый делитель R2R5VT1 подается на аналоговый вход микроконтроллера DD1. С помощью цифрового потенциометра DD2, который представляет собой программируемый через интерфейс I2C переменный резистор, входящий в состав делителя напряжения R1DD2, обеспечивается настройка полученных по I2C интерфейсу параметров источника опорного напряжения U_{ref} для АЦП микроконтроллера DD1. Необходимое значение сопротивления R_d цифрового потенциометра DD2 определяется исходя из требуемого значения ИОН U_{ref} по формуле:

$$R_d = \frac{U_{ref}}{U_{pwr} - U_{ref}} \cdot R_1, \quad (2)$$

где R_d – искомое значение сопротивления цифрового потенциометра DD1; R_1 – значение сопротивления резистора R1; U_{ref} – требуемое значение ИОН; U_{pwr} – напряжение питания схемы.

Через разъем XR3 обеспечивается связь с платой управления с помощью интерфейса I2C. На выводе 6 микроконтроллера DD1 генерируется дискретный сигнал проскальзывания U_q , который через разъем XR4 поступает на плату управления. Транзистор VT2 обеспечивает инвертирование дискретного выходного сигнала проскальзывания U_q и генерирование инвертированного сигнала проскальзывания U_{qi} , который затем поступает на разъем XR5.

Алгоритм работы УРП приведен на рис. 3.

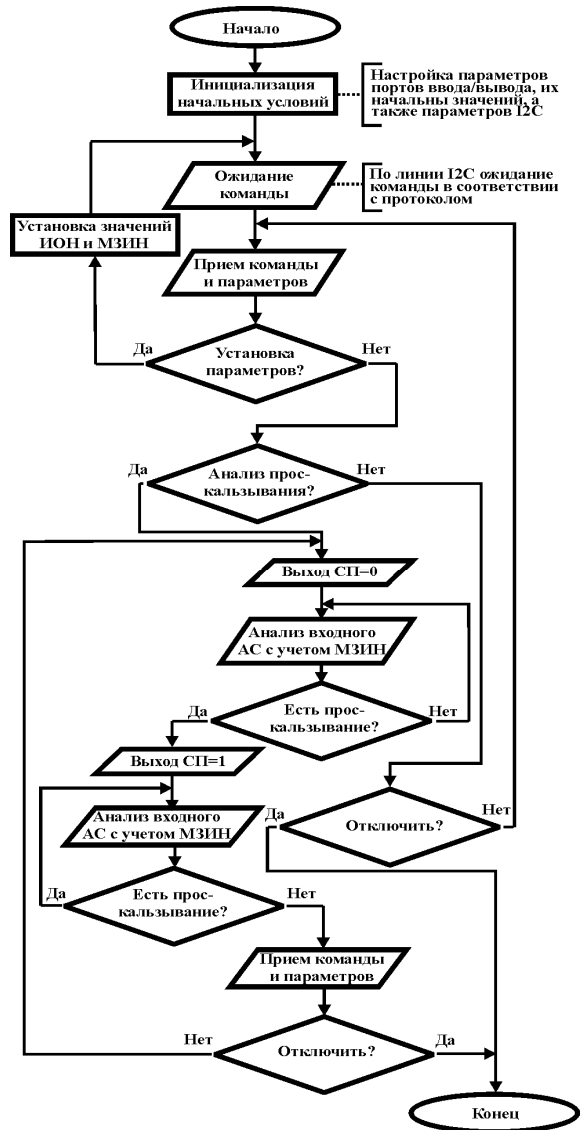


Рис. 3. Алгоритм работы УРП

После подачи напряжения питания на УРП происходит настройка параметров портов ввода-вывода и периферийных модулей микроконтроллера DD1, начальных установок значений ИОН – U_{ref} и минимального значения изменения напряжения (МЗИН) – ΔU , необходимого для регистрации сигнала проскальзывания. Затем устройство переходит в режим ожидания команд от платы управления через интерфейс I2C. Возможен прием следующих команд с ПУ:

- установка значений ИОН – V_{ref} и МЗИН – ΔU ;
- переход в режим анализа входного аналогового сигнала U_a ;
- завершение работы устройства.

Временные диаграммы изменения выходных дискретных сигналов проскальзывания U_q , U_{qi} в зависимости от изменений входного U_a указаны на рис. 4.

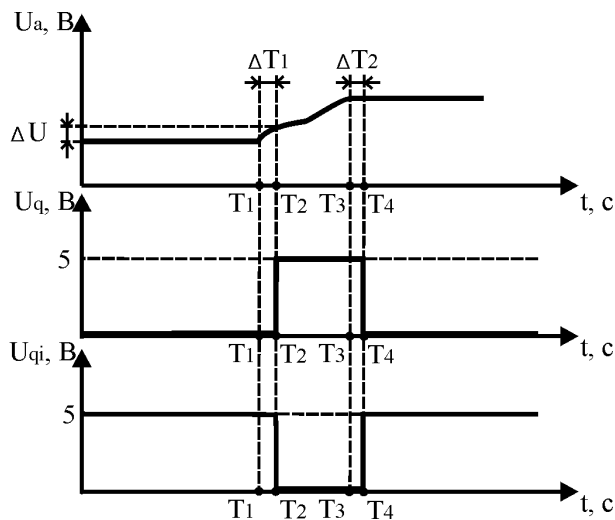


Рис. 4. Временная диаграмма зависимости выходных сигналов U_q , U_{qi} от входного сигнала U_a

При изменении входного аналогового сигнала на величину большую МЗИН на выходе УРП формируется дискретный сигнал проскальзывания. В то же время, на графике видно, что объект перемещения начинает проскальзывать в схвате в момент T_1 , а сигнал проскальзывания U_q генерируется в момент

времени T_2 с запаздыванием на время $\Delta T_1 = T_2 - T_1$. Для обеспечения гарантоспособности и требуемого уровня адаптивности РТС необходимо минимизировать значение ΔT_1 . Величина ΔT_1 зависит от двух факторов – скорости нарастания напряжения на входе U_a , и параметра МЗИН. Скорость нарастания напряжения на входе U_a прямо пропорциональна чувствительности датчика проскальзывания, следовательно, для уменьшения значения ΔT_1 необходимо увеличивать чувствительность ДПА. В то же время, уменьшение значения параметра МЗИН может привести к повышению чувствительности УРП к наводкам и ложным срабатываниям УРП (появлению на выходе сигнала проскальзывания U_q положительного сигнала при отсутствии проскальзывания детали в схвате РТС). После исчезновения проскальзывания детали в схвате работа в момент времени T_3 на выходе U_q УРП в течении времени $\Delta T_2 = T_4 - T_3$, необходимого УРП для гарантированного определения исчезновения сигнала проскальзывания, сигнал на выходе U_q остается положительным.

Таблица 1

Основные характеристики УРП

№	Название характеристики	Ед. изм.	Значение
1.	Напряжение питания	В	$5 \pm 10\%$
2.	Потребляемая мощность, не более	Вт	0,2
3.	Максимальная амплитуда входного аналогового сигнала	В	10
4.	Диапазон изменения значений источника опорного напряжения (ИОН)	В	0,1... 4,5 В
5.	Шаг изменения значения ИОН	В	0,1
6.	Разрядность преобразования АЦП	бит	10
7.	Цифровой интерфейс связи с внешними устройствами	–	I2C
8.	Цифровые выходы (в т.ч. инвертированные)	шт.	2(1)
9.	Аналоговые входы	шт.	1

3. Программное обеспечение и возможности ПАК

ПАК позволяет производить анализ и исследование режимов и параметров, определяющих гарантоспособность элементов адаптивных РТС:

- дискретного датчика проскальзывания;
- датчика проскальзывания с аналоговым выходом;
- адаптивных устройств формирования управляющих сигналов и алгоритмов управления РТС.

Необходимый режим работы ПАК задается человеком-оператором на экране дисплея ПК. Основное окно разработанного ПО для дистанционного управления программно-аппаратным комплексом приведено на рис. 5.

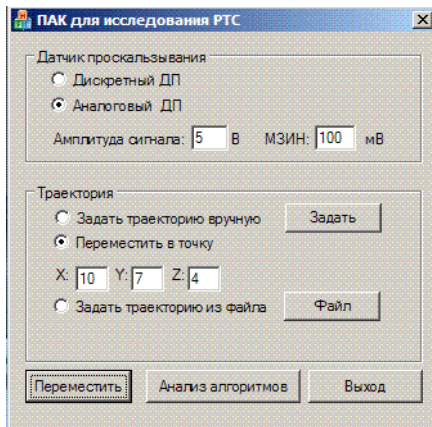


Рис. 5. Рабочее окно программы для удаленного управления ПАК

Траектория движения схвата РТС может задаваться тремя способами: а) перемещение из текущей позиции в точку с новыми координатами внутри рабочего пространства РТС; б) ручное задание траектории движения схвата; в) загрузка из файла предварительно сохраненной траектории.

Для исследования дискретного датчика проскальзывания необходимо выбрать в окне программы пункт «Дискретный ДП», затем задать траекторию движения схвата и нажать кнопку «Переместить». В этом режиме ПАК самостоятельно обрабатывает сигнал от исследуемого дискретного датчика проскальзывания, используя внутренний алгоритм управления сжимающим усилием схвата, и проверяет гарантированность исследуемого датчика. На рис. 6 приведен обобщенный алгоритм работы микроконтроллера платы управления (ПУ) ПАК в дан-

ном режиме для варианта задания траектории в виде перемещения из текущей точки рабочего пространства РТС в точку с заданными координатами.

Для исследования датчика проскальзывания с аналоговым выходом оператору необходимо выбрать в окне программы пункт «Аналоговый ДП», задать параметры минимального значения изменения напряжения (МЗИН) и источника опорного напряжения (ИОН), затем задать траекторию движения схвата и нажать кнопку «Переместить». Этот режим позволяет экспериментально исследовать и оценить чувствительность и гарантированность датчика проскальзывания.

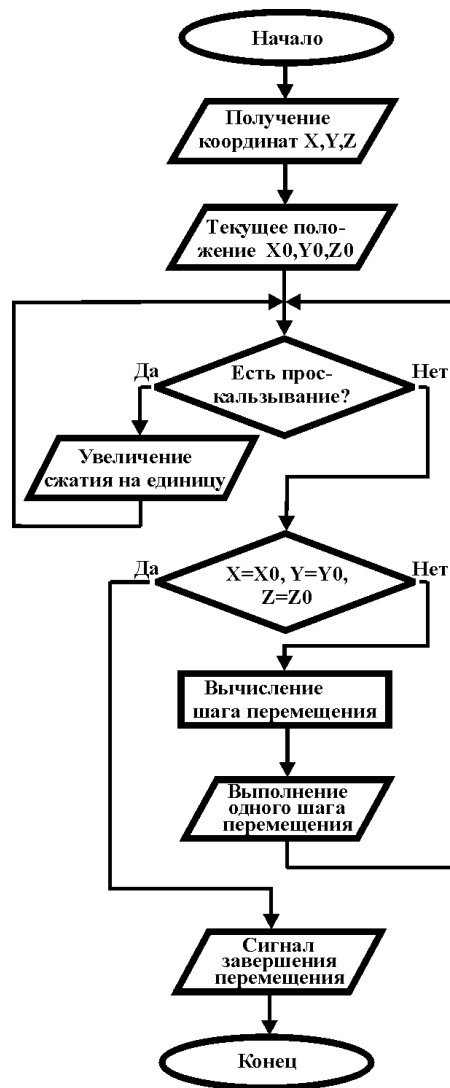


Рис. 6. Частный случай алгоритма работы микроконтроллера ПУ ПАК

При нажатии оператором на кнопку «Анализ алгоритмов» на экране дисплея ПК программа переключается в режим задания: а) в командной форме алгоритма обработки сигнала от датчика проскальзывания и управления сжимающим усилием схвата; б) значения времени ΔT_2 (рис. 4); в) методов обхода препятствий при различных внешних условия. Данный режим позволяет исследовать гарантоспособность, точность и надежность отработки требуемых траекторий движения схвата.

Выводы

Разработанный программно-аппаратный комплекс с дистанционным управлением от ПК позволяет проводить анализ гарантоспособности таких элементов адаптивных робототехнических систем как датчики проскальзывания с дискретным и аналоговым выходом, алгоритмов управления усилием сжатия схвата в процессе транспортировки деталей, надежность отработки требуемой траектории движения схвата и т.п. Гибкость настроек режимов работы ПАК позволяет также использовать его для экспериментальной оценки чувствительности датчиков проскальзывания. В дальнейшем целесообразно проводить исследования по расширению возможностей ПАК: а) для обеспечения режимов перемещения схвата с различной скоростью; б) для изменения скорости перемещения схвата с одновременной коррекцией траектории при возникновении препятствий.

Литература

1. Корзун А.И., Филаретов В.Ф. Идентификация изменяющейся массы груза объекта манипулирования // Техническая кибернетика. – 1987. – № 6. – С. 35-41.
2. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1983. – 376 с.

3. Филаретов В.Ф., Лебедев А.В., Юхимец Д.А. Устройства и системы управления подводных роботов. – М.: Наука, 2005. – 270 с.

4. Кондратенко Ю.П., Шишкін О.С., Кондратенко В.Ю. Пристрій для реєстрації сигналу проковзування. – Заява на патент України № 2005 03650 від 18.04.2005 р.

5. Кондратенко Ю.П., Шишкин А.С. Мехатронный комплекс для исследования параметров датчиков проскальзывания // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси, 2005. – № 3. – С. 148-151.

6. Кондратенко Ю.П., Шишкин А.С. Экспериментальные исследования магнитного датчика проскальзывания для адаптивных робототехнических систем // Спецвыпуск «Труды Одесского политехнического университета». – Одесса, 2005. – С. 47-51.

7. Kondratenko Y.P. Measurements methods for slip displacement signal registration // Proc. of Intern. Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, Chongqing-Wuhan, China. – Published by SPIE, USA, 1993. – P. 1451-1461.

8. Kondratenko Y.P., Kuzmichev A.V., Yang Y.Z. Robot control system using slip displacement signal for algorithm correction // ROBOT CONTROL 1991 (SYROCO'91). Selected papers from the 3-rd IFAC/IFIP/IMACS Symposium, Vienna, Austria. – Published for the IFAC by Pergamon Press, Oxford-New York-Seoul-Tokyo, 1991. – P. 463-469.

9. Мельников П.Ю., Шишкін О.С. Сучасні тенденції в проектуванні датчиків прослизання // Інформаційно-керуючі системи і комплекси: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених. – Миколаїв: НУК, 2005. – С. 38-43.

Поступила в редакцію 10.02.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Я. Кутковецкий, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев.