

ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

2017 • 4

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

REPORTS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ЖУРНАЛ 1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1944 г.
PUBLISHED SINCE 1944



Бас редакторы
х.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі **М.Ж. Жұрынов**

Редакция алқасы:

Адекенов С.М. проф., академик (Қазақстан) (бас ред. орынбасары)
Боос Э.Г. проф., академик (Қазақстан)
Величкин В.И. проф., корр.-мүшесі (Ресей)
Вольдемар Вуйцик проф. (Польша)
Гончарук В.В. проф., академик (Украина)
Гордиенко А.И. проф., академик (Белорус)
Дука Г. проф., академик (Молдова)
Илолов М.И. проф., академик (Тәжікстан),
Леска Богуслава проф. (Польша),
Локшин В.Н. проф. чл.-корр. (Қазақстан)
Нараев В.Н. проф. (Ресей)
Неклюдов И.М. проф., академик (Украина)
Нур Изура Удзир проф. (Малайзия)
Перни Стефано проф. (Ұлыбритания)
Потапов В.А. проф. (Украина)
Прокопович Полина проф. (Ұлыбритания)
Омбаев А.М. проф. (Қазақстан)
Өтелбаев М.О. проф., академик (Қазақстан)
Садыбеков М.А. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Сатаев М.И. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Северский И.В. проф., академик (Қазақстан)
Сикорски Марек проф., (Польша)
Рамазанов Т.С. проф., академик (Қазақстан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Харин С.Н. проф., академик (Қазақстан)
Чечин Л.М. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Харун Парлар проф. (Германия)
Энджун Гао проф. (Қытай)
Эркебаев А.Э. проф., академик (Қырғыстан)

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»
ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.)
Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде 01.06.2006 ж.
берілген №5540-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 2000 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz>, reports-science.kz

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Главный редактор
д.х.н., проф., академик НАН РК **М. Ж. Журинов**

Редакционная коллегия:

Адекенов С.М. проф., академик (Казахстан) (зам. гл. ред.)
Боос Э.Г. проф., академик (Казахстан)
Величкин В.И. проф., чл.-корр. (Россия)
Вольдемар Вуйцик проф. (Польша)
Гончарук В.В. проф., академик (Украина)
Гордиенко А.И. проф., академик (Беларусь)
Дука Г. проф., академик (Молдова)
Илолов М.И. проф., академик (Таджикистан),
Леска Богуслава проф. (Польша),
Локшин В.Н. проф. чл.-корр. (Казахстан)
Нараев В.Н. проф. (Россия)
Неклюдов И.М. проф., академик (Украина)
Нур Изура Удзир проф. (Малайзия)
Перни Стефано проф. (Великобритания)
Потапов В.А. проф. (Украина)
Прокопович Полина проф. (Великобритания)
Омбаев А.М. проф. (Казахстан)
Отелбаев М.О. проф., академик (Казахстан)
Садьбеков М.А. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Сатаев М.И. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Северский И.В. проф., академик (Казахстан)
Сикорски Марек проф., (Польша)
Рамазанов Т.С. проф., академик (Казахстан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Харин С.Н. проф., академик (Казахстан)
Чечин Л.М. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Харун Парлар проф. (Германия)
Энджун Гао проф. (Китай)
Эркебаев А.Э. проф., академик (Кыргызстан)

«Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»

ISSN 2518-1483 (Online),

ISSN 2224-5227 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5540-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 2000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г.Алматы, ул.Шевченко, 28, ком.218-220, тел. 272-13-19, 272-13-18

<http://nauka-nanrk.kz> reports-science.kz

©Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017 г.

Адрес типографии: ИП «Аруна», г.Алматы, ул.Муратбаева, 75

E d i t o r i n c h i e fdoctor of chemistry, professor, academician of NAS RK **M.Zh. Zhurinov****E d i t o r i a l b o a r d :****Adekenov S.M.** prof., academician (Kazakhstan) (deputy editor in chief)**Boos E.G.** prof., academician (Kazakhstan)**Velichkin V.I.** prof., corr. member (Russia)**Voitsik Valdemar** prof. (Poland)**Goncharuk V.V.** prof., academician (Ukraine)**Gordiyenko A.I.** prof., academician (Belarus)**Duka G.** prof., academician (Moldova)**Ilov M.I.** prof., academician (Tadjikistan),**Leska Boguslava** prof. (Poland),**Lokshin V.N.** prof., corr. member. (Kazakhstan)**Narayev V.N.** prof. (Russia)**Nekludov I.M.** prof., academician (Ukraine)**Nur Izura Udzir** prof. (Malaysia)**Perni Stephano** prof. (Great Britain)**Potapov V.A.** prof. (Ukraine)**Prokopovich Polina** prof. (Great Britain)**Ombayev A.M.** prof. (Kazakhstan)**Otelbayv M.O.** prof., academician (Kazakhstan)**Sadybekov M.A.** prof., corr. member. (Kazakhstan)**Satayev M.I.** prof., corr. member. (Kazakhstan)**Severskyi I.V.** prof., academician (Kazakhstan)**Sikorski Marek** prof., (Poland)**Ramazanov T.S.** prof., academician (Kazakhstan)**Takibayev N.Zh.** prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief**Kharin S.N.** prof., academician (Kazakhstan)**Chechin L.M.** prof., corr. member. (Kazakhstan)**Kharun Parlar** prof. (Germany)**Endzhun Gao** prof. (China)**Erkebayev A.Ye.** prof., academician (Kyrgyzstan)**Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.****ISSN 2224-5227****ISSN 2518-1483 (Online),****ISSN 2224-5227 (Print)**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5540-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of.219-220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://nauka-nanrk.kz> / reports-science.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 4, Number 314 (2017), 59 – 65

К.А. Ozhikenov¹, P.M. Rakhmetova¹, A.K. Ozhiken²¹Kazakh National Research Technical University named after K. Satpayev, Kazakhstan, Almaty²Kazakh National University named after Al-Farabi, Kazakhstan, Almatye-mail: p.rakhmetova@gmail.com**ADAPTIVE STABILIZATION OF DYNAMIC PROCESSES
IN THE CONTROL SYSTEM OF A MANIPULATION ROBOT**

Abstract. The article presents a number of topical aspects of modern robotics, as applied to automated control systems. The dynamic model of the robot manipulator is considered, the task of controlling the robot manipulator under conditions of disturbing influences and inaccurately known system parameters is considered, a mathematical model is developed and the structure of the adaptive regulator is given. Control methods based on the adaptive model have recently attracted much attention in the synthesis of manipulation robot control.

Keywords: robotics, manipulator, adaptation, control system, automation

УДК 004.896

К.А. Ожикенов¹, П.М. Рахметова¹, А.К. Ожикен²¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева, Казахстан, г. Алматы;²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы**АДАПТИВНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ**

Аннотация. В статье представлен ряд актуальных аспектов современной робототехники применительно к автоматизированным системам управления. Рассматриваются динамическая модель манипуляционного робота, задача управления манипуляционным роботом в условиях возмущающих воздействий и неточно известных параметров системы, разработана математическая модель и приведена структура адаптивного регулятора. Методы управления на основе адаптивной модели в последнее время привлекают большое внимание при синтезе управления манипуляционными роботами.

Ключевые слова: робототехника, манипулятор, адаптация, система управления.

Введение

Исследования адаптивного управления начались в 1950-х в связи с проектированием высокопроизводительных автопилотов для самолетов, которые работают в широком диапазоне скоростей и высот, и таким образом испытывают большие изменения параметров. Адаптивное управление было предложено как способ автоматической регулировки параметров регуляторов в меняющейся динамике самолета. Только в последнее десятилетие была разработана последовательная теория адаптивного управления, использующая различные инструменты от нелинейной теории управления. Эти теоретические достижения вместе с незначительными вычислениями привели ко многим практическим применениям в таких областях, как роботизированные манипуляторы, авиация и управление ракетами, химических процессов, энергосистем, судового руля, биоинженерии и манипуляционных движений руками человека [29]. Целью данной работы является разработка адаптивного управления манипуляционным роботом как двусвязным объектом.

Большинство алгоритмов адаптивного управления направлены на обработку неизбежного изменения параметров или неопределенных параметров. Тем не менее, в некоторых алгоритмах, в частности, в управлении процессом, где сотни контуров управления, адаптивное управление используется, чтобы уменьшить количество конструктивных параметров, которые настраиваются вручную, получая таким образом увеличение инженерной эффективности и практичности.

Недавно было признано, что точность традиционных подходов в высокоскоростных приложениях сильно зависит от параметрических неопределенностей. Преимуществом адаптивного управления над робастными в том, что точность работы манипулятора с неизвестными грузами со временем улучшается, так как алгоритм управления продолжает извлекать информацию. Поэтому адаптивные регуляторы могут обеспечить стабильную производительность в условиях изменения нагрузки.

Динамическая модель манипуляционного робота

При отсутствии трения и других возмущений динамика твердого манипулятора может быть записана в виде:

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau \quad (1)$$

где q вектор $n \times 1$ перемещений звеньев, τ вектор $n \times 1$ прикладных звеньев крутящих моментов (и сил), $H(q)$ симметричная $n \times n$ положительно определенная матрица инерции манипулятора, $C(q, \dot{q})\dot{q}$ вектор $n \times 1$ центробежности и Кориолиса крутящих моментов и $g(q)$ вектор $n \times 1$ гравитационных моментов.

Следует отметить два упрощающих свойства вышеупомянутой динамической структуры. Во-первых, две $n \times n$ матрицы H и C не являются независимыми. В частности, дано правильное определение матрицы C (заметим, что центробежность и Кориолис вектора крутящего момента $C\dot{q}$ однозначно определен, но не матрица C), матрица $(H - 2C)$ кососимметрична, свойство, которое может быть легко получено из лагранжевой формулировки динамики манипуляторов и отражает сохранение энергии. Это свойство также можно записать:

$$\dot{H} = C + C^T$$

так как \dot{H} симметрична. Второе важное свойство - это отдельные слагаемые в левой части (1), и поэтому вся динамика является линейной, эквивалентно соответствующей манипулятору и параметрам нагрузки [1], [3], как показано в следующем разделе для двухзвенных манипуляторов.

Разработка адаптивного регулятора

Проблема разработки адаптивного регулятора заключается в следующем. С учетом желаемого положения звеньев $q_d(t)$, а также с некоторыми или со всеми неизвестными параметрами манипулятора вывести закон управления для привода крутящего момента, и закон оценки для неизвестных параметров таким образом, чтобы положение звеньев $q(t)$ манипулятора точно отслеживалось $q_d(t)$ после первоначального процесса адаптации.

Для вывода закона управления и алгоритма адаптации рассмотрим функцию Ляпунова:

$$V(t) = \frac{1}{2} [\tilde{q}^T H(q) \tilde{q} + \tilde{\alpha}^T \Gamma \tilde{\alpha} + \tilde{q}^T K_p \tilde{q}] \quad (2)$$

где α – m -мерный вектор, содержащий неизвестные параметры манипулятора и нагрузки, соответствующим образом выбранный набором эквивалентных динамических параметров, $\hat{\alpha}$ – это его (изменяющаяся во времени) оценка; K_p и Γ симметричные положительно определенные матрицы, как правило, диагональные. $\tilde{q}(t) = q(t) - q_d(t)$ ошибка слежения и $\tilde{\alpha} = \hat{\alpha}(t) - \alpha$ обозначает вектор ошибки оценки параметра.

Закон управления определяется как:

$$\tau = \tilde{H}\ddot{q}_d + \tilde{C}(q, \dot{q})\dot{q}_d + \tilde{G}(q) - K_p\tilde{q} - K_D\dot{\tilde{q}} \quad (3)$$

где положительно определенная матрица K_D может быть выбрана изменяющейся во времени.

Такой выбор закона управления (3) отменяет условия, связанные с известными параметрами манипулятора, так что теперь $\hat{\alpha}$ учитывает и оценивает только неизвестные параметры манипулятора. Матрицы H , C и G известны и являются линейными в терминах параметра манипулятора, закон управления можно записать как:

$$\tilde{H}(q)\ddot{q}_d + \tilde{C}(q, \dot{q})\dot{q}_d + \tilde{G}(q) = Y\tilde{\alpha}, \quad (4)$$

где $Y = Y(q, \dot{q}, \ddot{q}_d)$ является $n \times m$ матрицей, не зависящей от динамических параметров, как указывалось выше $\tilde{\alpha} = \hat{\alpha} - \alpha$ ошибка оценки параметра, следовательно:

$$\dot{V}(t) = -\dot{\tilde{q}}^T K_D \dot{\tilde{q}} + \tilde{\alpha}^T [\Gamma \dot{\tilde{\alpha}} + Y^T \dot{\tilde{q}}].$$

Это говорит о выборе закона адаптации:

$$\Gamma \dot{\tilde{\alpha}} + Y^T \dot{\tilde{q}} = 0$$

Такого, что:

$$\dot{\tilde{\alpha}} = -\Gamma^{-1} Y^T (q, \dot{q}, \ddot{q}_d) \dot{\tilde{q}} \quad (5)$$

Отметим, что $\dot{\tilde{\alpha}} = \dot{\hat{\alpha}}$, так как неизвестные параметры α являются константами. Полученное выражение \dot{V} будет:

$$\dot{V}(t) = -\dot{\tilde{q}}^T K_D \dot{\tilde{q}} \leq 0 \quad (6)$$

Поэтому закон управления (3) и закон адаптации (5) делают возможным глобальную устойчивость адаптивного регулятора.

Нежелательные установившиеся ошибки положений могут быть устранены, если ограничить их скольжение:

$$\dot{\tilde{q}} + \Lambda \tilde{q} = 0, \quad (7)$$

Соответственно законы [4] управления и адаптации приобретают следующий вид:

$$\tau = \tilde{H}\ddot{q}_r + \tilde{C}(q, \dot{q})\dot{q}_r + \tilde{G}(q) - K_D s \quad (8)$$

$$\dot{\tilde{\alpha}} = -\Gamma Y^T s \quad (9)$$

где Γ - постоянная положительно определенная матрица, $K_D(t)$ является равномерно положительной определенной матрицей, а векторы, которые можно рассматривать как меру точности слежения, определяются как:

$$s = \dot{q} - \dot{q}_r = \dot{\tilde{q}} + \Lambda \tilde{q} \quad (10)$$

Вышеуказанные законы управления и адаптации гарантируют глобальную сходимость положения и скорости ошибок слежения до тех пор, пока желаемые траектории q_d , \dot{q}_d и \ddot{q}_d ограничены. Чтобы доказать это, рассмотрим функцию Ляпунова, вместо выражения (2) получается:

$$V(t) = \frac{1}{2} [s^T H s + \tilde{\alpha}^T \Gamma^{-1} \tilde{\alpha}] \quad (11)$$

Структура адаптивного регулятора определяется формулой (8) и (9) схематически изображена на рисунке 1. Регулятор состоит из двух частей. Первая часть представляет собой особую форму полной компенсации динамики, с тремя соответствующими выражениями, инерционности, центробежности, силы Кориолиса и гравитационных моментов. Эта часть основана из оцениваемых параметров, попытки обеспечить динамический крутящий момент звеньев, необходимые, чтобы сделать желаемые движения. Вторая часть фактически содержит два выражения, представляющие обратную связь ПД, так как:

$$-K_D s = -K_D \dot{q} - K_D \Lambda \tilde{q}$$

Формула предназначена для регулирования реальных траектории. Необходимые входы регулятора являются желаемыми положением звеньев q_d , скорости \dot{q}_d и ускорения \ddot{q}_d . Необходимы измерения у положения звеньев q и скорости \dot{q} .

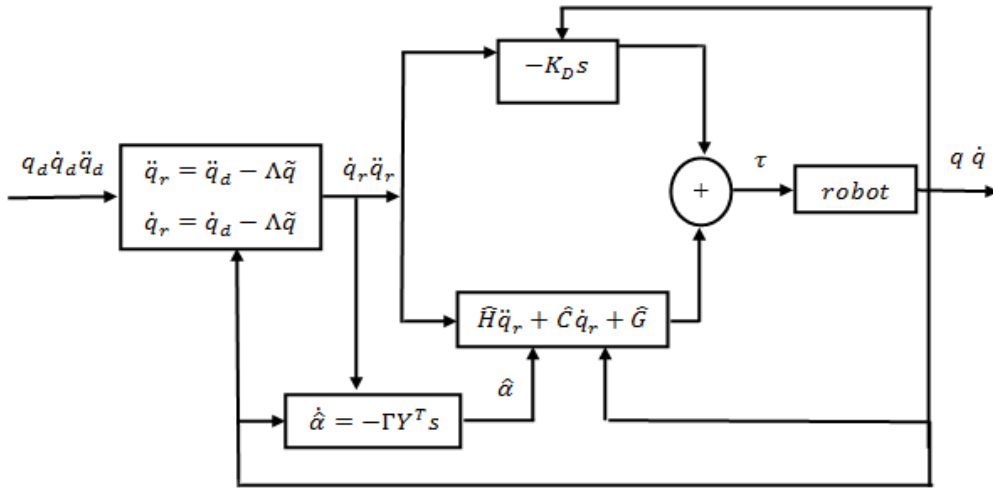


Рисунок 1 - Структура адаптивного регулятора

Динамику замкнутого цикла можно записать в простой форме:

$$Hs + (K_D + C)s = Y\tilde{\alpha} \quad (13)$$

$\tilde{\alpha}$ определяется законом адаптации (9). Кроме того, обратите внимание, что закон адаптации может быть выражен как:

$$\dot{\hat{\alpha}} = -\Gamma \frac{\partial \tau}{\partial \hat{\alpha}} s$$

В настоящем адаптивном регуляторе, величина Γ не влияет на глобальную стабильность системы (до тех пор, как не моделируемая динамика не насыщена), но это непосредственное условие скорости адаптации, и, следовательно, производительности системы.

Регулятор вычисления крутящего момента

В этом разделе сформулирован регулятор вычисления крутящего момента с последующим сочетанием с адаптивным алгоритмом.

Закона управления динамикой робота-манипулятора вычисления крутящего момента:

$$\tau = M(q)\ddot{q} + V_m(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F(\dot{q}) \quad (14)$$

Конечно, на самом деле, мы никогда точно не знаем модели робота из-за многих проблем, связанных с разработкой модели. Две общие неопределенности, не позволяющие точно знать модели в роботизированных приложениях, ссылаются на неизвестную массу из-за нарушений грузоподъемности и неизвестных коэффициентов трения. Один из способов борьбы с этими типами параметрических неопределенностей это использование регулятора для вычисления крутящего момента с некоторой фиксированной оценкой неизвестных параметров, в месте фактических параметров. Этот регулятор вычисления крутящего момента имеет вид:

$$\tau = \widehat{M}(q)(\ddot{q}_d + K_v \dot{e} + K_p e) + \widehat{V}_m(q, \dot{q})\dot{q} + \widehat{G}(q) + \widehat{F}(\dot{q}) \quad (15)$$

где индекс « \widehat{M} , \widehat{V}_m , \widehat{G} , \widehat{F} » обозначает предполагаемую динамику неизвестных фактических параметров заменённых оценкой параметров K_v и K_p управления матрицы усиления, q_d — используется для обозначения желаемой траектории и ошибки слежения e определяется:

$$e = q_d - q$$

Адаптивный регулятор вычисления крутящего момента такой же, как вышеописанный предполагаемый регулятор вычисления крутящего момента с добавлением адаптивного правила обновления для корректировки оценок параметров. Этот адаптивный регулятор основан на том факте, что параметры в модели робота появляются линейно. То есть динамика робота (14) может быть записана в виде:

$$W(q, \dot{q}, \ddot{q})\alpha = M(q)\ddot{q} + V_m(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F(\dot{q}) \quad (16)$$

где (q, \dot{q}, \ddot{q}) - матрица $n \times r$ известная функция времени и α является $r \times 1$ вектором неизвестных постоянных параметров. Это свойство очень важно для данного типа адаптивного управления. Оно иллюстрирует разделение неизвестных параметров и известных функций времени. Причина того, что динамика робота может быть разделена в такую форму, это что динамика робота линейна по параметрам, выраженных в векторной форме α . Такое разделение неизвестных параметров и известных функций времени использовалось в разработке адаптивного правила обновления (9), а также при анализе устойчивости системной ошибки слежения. Первым шагом в изучении адаптивного регулятора вычисления крутящего момента является формирование системной ошибки слежения. Обратите внимание, что, используя (16), мы можем записать динамическое уравнение робота (14) в виде:

$$\tau = W(q, \dot{q}, \ddot{q})\alpha \quad (17)$$

Адаптивный регулятор вычисления крутящего момента записывается:

$$\tau = \widehat{M}(q)(\ddot{q}_d + K_v \dot{e} + K_p e) + \widehat{V}_m(q, \dot{q})\dot{q} + \widehat{G}(q) + \widehat{F}(\dot{q}) \quad (19)$$

Сравнение регулятора крутящего момента и адаптивного регулятора

На практике пользователь всегда имеет некоторое априорное знание параметров роботов, возможно, путем вычислений, на основе конструкторских данных. Эта информация может быть использована для инициализации оценок параметров в адаптивной схеме, и временно остановить адаптацию от параметра, если достигается известное ограничение. Популярный альтернативный способ использования оценок априорных параметров является использование модели на основе регуляторов с фиксированными параметрами, таких как метод вычисления крутящего момента. В этом наборе экспериментов производительность вычислений крутящего момента и адаптивного регулятора сравниваются с использованием априорных оценок параметров [6] в качестве номинальных параметров в вычислениях крутящего момента и в качестве начальных параметров адаптивного регулятора.

Метод вычисления крутящего момента является довольно стандартным подходом, формулировку которого можно найти в ряде работ (например, [7]). При отсутствии силы тяжести входной крутящий момент можно записать в виде:

$$\tau = \hat{H}(\ddot{q}_d - K_1\dot{\tilde{q}} - K_2\tilde{q}) + \hat{C}\dot{q}$$

Возьмем K_1 и K_2 , как диагональные матрицы

$$K_1 = \text{diag}(2\omega_1, 2\omega_2) \quad K_2 = \text{diag}(\omega_1^2, \omega_2^2)$$

где, ω_1 и ω_2 - две положительные константы. При таком выборе K_1 и K_2 критически затухающая динамика ошибок будет получена, если использовались точные параметры. Выбор K_1 и K_2 экспериментален, как и раньше, лучшие значения ω_1 и ω_2 определяются как $\omega_1 = 20 \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ и $\omega_2 = 30 \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

Конструктивные параметры адаптивного регулятора такие же, как и раньше, за исключением, что Γ увеличивается в два раза, так как приемлемые исходные параметры уже доступны. Значения параметров, которые используются для метода вычисления крутящего момента и в качестве начальных значений адаптивного управления являются:

$$a_1 = 0.11 \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad a_2 = 0.0285 \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad a_3 = 0.033 \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad a_4 = 0$$

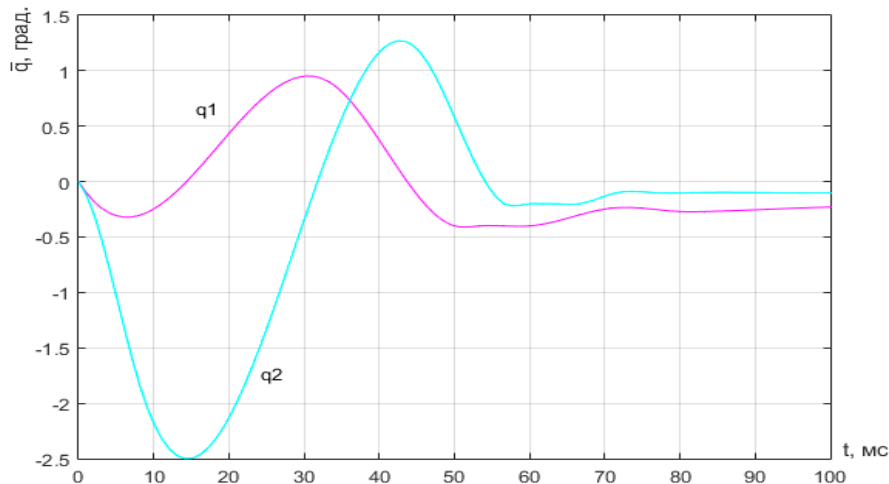


Рисунок 2 – Управление вычислением крутящего момента

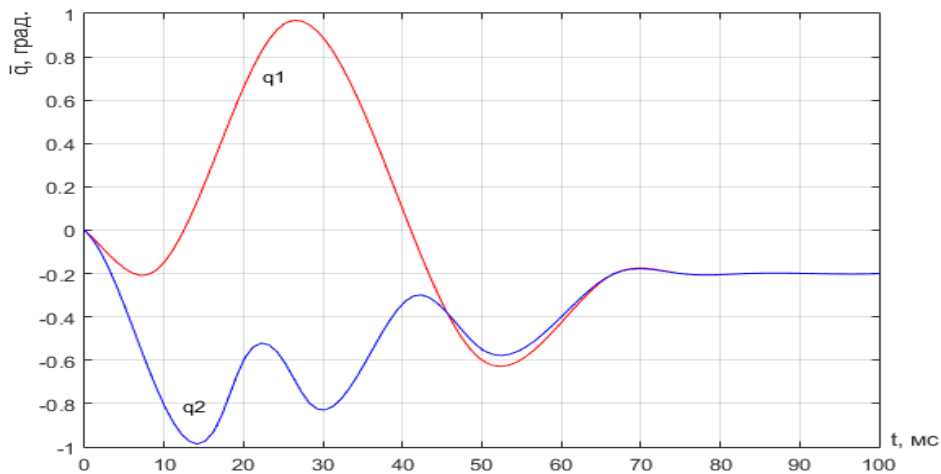


Рисунок 3 – Адаптивное управление

Они вычисляются из инженерных чертежей звеньев руки. Помимо расхождений между реальными величинами и на чертежах масса датчика усилий, прикрепленного к конечной точке, также вызывает некоторые неточности в вышеуказанных значениях.

Результаты показаны на рисунке 2 для способа вычисления крутящего момента и на рисунке 3 для адаптивного регулятора. Максимальные ошибки слежения звеньев вычисления крутящего момента 0.9° и минус 2.5° , соответственно, в то время как для адаптивного регулятора составляют 0.95° и минус 0.96° . Ошибка слежения первого звена меньше, поскольку погрешность параметра больше в механизме, связанный со вторым звеном.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] K. J. Astrom, "Interaction between excitation and unmodeled dynamics in adaptive control," presented at the IEEE Conf. Decision Contr., Las Vegas, NV, 1984. c.1277-1280.
- [2] C. E. Rohrs, L. S. Valavani, M. Athans, and G. Stein, "Robustness of continuous-time adaptive control algorithms in the presence of unmodeled dynamics," IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-30, Sept. 1982. c.5-8.
- [3] S. Arimoto and F. Miyazaki, "On the stability of P.I.D. feedback with sensory information," in Proc. Int. Symp. Robotics Res., Bretton Woods, Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1984. c.783-788.
- [4] D. Koditschek, "Natural motion of robot arms," presented at the IEEE Conf. Decision Contr., Las Vegas, NV, 1984. c.733-735.
- [5] P. Khosla and T. Kanade, "Parameter identification of robot dynamics," presented at the IEEE Conf. Decision Contr., Fort Lauderdale, FL, 1985. c.1754-1760.
- [6] C. G. Atkeson, C. H. An, and J. M. Hollerbach, "Estimation of inertial parameters of rigid body links of manipulators," presented at the IEEE Conf. Decision Contr., Fort Lauderdale, FL, 1985. c.990-995.
- [7] O. Khatib, Flexible Automation, presented at the US-Japan Symp., Osaka, Japan, 1986. c.53-60.

REFERENCES

- [1] K. J. Astrom, "Interaction between excitation and unmodeled dynamics in adaptive control," presented at the IEEE Conf. Decision Contr., Las Vegas, NV, 1984. c.1277-1280.
- [2] C. E. Rohrs, L. S. Valavani, M. Athans, and G. Stein, "Robustness of continuous-time adaptive control algorithms in the presence of unmodeled dynamics," IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-30, Sept. 1982. c.5-8.
- [3] S. Arimoto and F. Miyazaki, "On the stability of P.I.D. feedback with sensory information," in Proc. Int. Symp. Robotics Res., Bretton Woods, Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1984. c.783-788.
- [4] D. Koditschek, "Natural motion of robot arms," presented at the IEEE Conf. Decision Contr., Las Vegas, NV, 1984. s.733-735.
- [5] P. Khosla and T. Kanade, "Parameter identification of robot dynamics," presented at the IEEE Conf. Decision Contr., Fort Lauderdale, FL, 1985. c.1754-1760.
- [6] C. G. Atkeson, C. H. An, and J. M. Hollerbach, "Estimation of inertial parameters of rigid body links of manipulators," presented at the IEEE Conf. Decision Contr., Fort Lauderdale, FL, 1985. s.990-995.
- [7] O. Khatib, Flexible Automation, presented at the US-Japan Symp., Osaka, Japan, 1986. s.53-60.

ӘОЖ: 004.896

Қ.Ә. Ожикенов¹, П.М. Рахметова¹, А.Қ. Ожикен²

¹Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан;

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

МАНИПУЛЯЦИЯЛЫҚ РОБОТТЫ АДАПТИВТІ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ДИНАМИКАЛЫҚ ҮРДІСТЕРДІ БЕЙІМДІ ТҰРАҚТАНДЫРУ

Аннотация. Мақалада автоматтандырылған басқару жүйелерінде қолданылатын қазіргі заманғы робототехниканың өзекті аспектілері ұсынылған. Манипуляциялық роботтардың динамикалық моделі көрсетілген, кедергілер және нақтылы емес берілген параметрлердің әсерінен манипуляциялық роботтардың басқару жүйесі қарастырылған, математикалық моделі жобаланған және адаптивті регулятордың құрылымы көрсетілген. Кейінгі кезде манипуляциялық роботтарды бақылау синтезінде адаптивті модель негізіндегі басқару әдісіне көп көңіл бөлінген.

Тірек сөздер: робототехника, манипулятор, адаптация, басқару жүйесі, автоматтандыру.

МАЗМҰНЫ
Техникалық ғылымдар

Азаматов Б.Н., Ожикенев Қ.А., Азаматова Ж.Қ. ЖЭС гидравликалық күлжою жүйесінде геометриясы басқарылатын гидроциклондар батареясын автоматты басқару 5

Қоғамдық ғылымдар

Қалдыбай Қ.Қ., Пазылова Қ.А. Агрессия концепциясын теориялық тұрғыдан әлеуметтік-психологиялық талдау.... 14

Техникалық ғылымдар

Сахметова Г.Е., Бренер А.М., Калдыбаева Б.М., Абильмағжанов А.З. Биогазды өндіру үшін қондырғыларды жобалау кезінде ауқымды өтпе мәселелерінің режимдік аспектілері..... 21

Ахметов Б.С., Қартбаев Т.С., Досжанова А.А. Ақпараттарды нейрожелілік биометриялық қорғау құралдарына төнетін қауіпке қарсы тұру әдістері..... 28

Мукажанов Н.К., Кисанов А. М., Мусапирова Г.Д. Кеңістіктік объектілер образын тану бойынша зерттеу..... 35

Найзабеков А.Б., Волокитина И.Е. Мыс микроқұрылымның эволюциясына ТКББ әсерін зерттеу 41

Цекич Н. Қазіргі заманғы экологиялық қалалық сәулет кешенін жобалау..... 48

Ожикенов Қ.Ә., Рахметова П.М., Ожикен А.Қ. Манипуляциялық роботты адаптивті басқару жүйесіндегі динамикалық үрдістерді бейімді тұрақтандыру..... 58

Ракишев Б.Р., Прокопенко В.И., Череп А.Ю., Ковров А.С. Топты карьерлер жұмысы кезінде бұзылған жер бетін жөндеудің ерекшеліктері..... 66

Аграрлық ғылымдар

Баймұқанов Д.А., Баймұқанов А., Юлдашбаев Ю.А., Исхан К.Ж., Алиханов О., Дошанов Д. F₄ сүлесіндегі қазак дромедар түйесінің өнімділігі..... 74

Химия

Суербаев Х.А., Құдайбергенов Н.Ж., Елібай К.Б. Терминалды олефиндерді палладий фосфин комплекстері қатысында көмітек монооксидіжәне спирттермен карбонилдеу 85

Биология

Абайлдаев А.О., Неупокоева А.С., Рахымғожин М.Б., Ходаева А.С., Ботбаев Д.М., Аширбеков Е.Е., Куланбаев Е.М., Хансеитова А.К., Балмуханов Т.С., Айтхожина Н.А. Қазақстан популяциясындағы сүт безі ісігі диагнозына шалдыққан наукастардың *LSP1* гені өзгеріштігінің ассоциациясы..... 108

Қоғамдық ғылымдар

Кишибекова Г. К., Омарханова Ж. М. Қазақстан республикасы ауыл шаруашылығы дамуын қаржымен қамтамасыз ету..... 115

Абдулина Г.А., Сейтхамзина Г. Ж. Заманауи кәсіпорындардың әлеуметтік даму проблемалары 126

Абылкасимова Ж.А., Алибаева М.М., Орынбекова Г.А., Ракишев А.А. Қазіргі жағдайдағы Қазақстанның агроөнеркәсіп кешені субъектілерінің экономикалық интеграциясы..... 136

Азатбек Т.А., Байтеңізев Д.Т. Ғылыми білім жүйесіндегі өзін-өзі жұмыспен қамту 142

Аюпова З.К., Құсайынов Д.Ө. Қазақстан республикасының құқықтық саясаты мемлекеттілікті нығайтудың басты механизмі ретінде..... 150

Рамазанов А.А., Кажмуратова А.К., Тымбаева Ж.М. Қазақстан республикасының мұнай нарығының экономикалық өлшемі 157

Сембиева Л.М., Бекбенбетова Б.Б., Бейсенова Л.З. ЕЭҚ-тың Қазақстан кредиттік жүйесі проблемалары мен Келешегі..... 167

Удербаета С.К. Орынбор ғылыми мұрағат комиссиясының «Еңбектер» жинағындығы орталық азияның көшпелі халықтарының тарихы..... 177

Болтаева А.А. Мемлекеттің бизнестің әлеуметтік жауапкершілігін жүзеге асырудағы ролі 189

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки	
<i>Азаматов Б.Н., Ожикенев К.А., Азаматова Ж.К.</i> АСУбатарей гидроциклонов с управляемой геометрией в системе ГЗУ ТЭС.....	5
Общественные науки	
<i>Калдыбай К.К., Пазылова К. А.</i> Социально-психологической анализ концепции агрессии.....	14
Технические науки	
<i>Сахметова Г.Е., Бренер А.М., Калдыбаева Б.М., Абиьлмагжанов А.З.</i> Режимные аспекты проблемы масштабного перехода при проектировании установок для производства биогаза.....	21
<i>Ахметов Б.С., Картбаев Т.С., Досжанова А.А.</i> Методы противодействия средствам биометрико-нейросетевой защиты информации.....	28
<i>Мукажанов Н.К., Кисапов А. М., Мусатирова Г.Д.</i> Исследования по распознаванию образов пространственных объектов.....	35
<i>Найзабеков А.Б., Волокитина И.Е.</i> Исследование влияния круп на эволюцию микроструктуры меди.....	41
<i>Цекич Н.</i> Комплексное проектирование в современной экологической городской архитектуре.....	48
<i>Ожикенев К.А., Рахметова П.М., Ожикен А.К.</i> Адаптивная стабилизация динамических процессов в системе управления манипуляционным роботом.....	59
<i>Ракишев Б.Р., Прокопенко В.И., Череп А.Ю., Ковров А.С.</i> Особенности горнотехнической рекультивации нарушенных земель при разработке группы карьеров	66
Аграрные науки	
<i>Баймуканов Д. А., Баймуканов А., Юлдашбаев Ю. А., Исхан К., Алиханов О., Дошанов Д.</i> Продуктивность верблюдов дромедаров казахского типа F ₄	74
Химия	
<i>Суербаяв Х.А., Кудайбергенов Н.Ж., Елибай К.Б.</i> Карбонилирование терминальных олефинов монооксидом углерода и спиртами в присутствии фосфиновых комплексов палладия.....	85
Биология	
<i>Абайлдаев А.О., Неупокоева А.С., Рахымгожин М.Б., Ходаева А.С., Ботбаев Д.М., Аширбеков Е.Е., Куланбаев Е.М., Хансеитова А.К., Балмуханов Т.С., Айтхожина Н.А.</i> Ассоциация вариабельности в гене <i>LSP1U</i> пациентов с диагнозом рак молочной железы в популяциях казахстана.....	108
Общественные науки	
<i>Кишибекова Г. К., Омарханова Ж. М.</i> Финансовое обеспечение развития сельского хозяйства республики Казахстан.....	115
<i>Абдулина Г.А., Сейтхамзина Г. Ж.</i> Проблемы социального развития современных компаний.....	126
<i>Абылкасимова Ж.А., Алибаева М.М., Орынбекова Г.А., Ракишев А.А.</i> Экономическая интеграция субъектов агропромышленного комплекса Казахстана в современных условиях.....	136
<i>Азатбек Т.А., Байтенизов Д.Т.</i> Самозанятость в системе научного знания.....	142
<i>Аюпова З.К., Кусаинов Д.У.</i> Правовая политика республики Казахстан как важный механизм укрепления государственности.....	150
<i>Рамазанов А.А., Кажмуратова А.К., Тымбаева Ж.М.</i> Экономическое измерение нефтяного рынка Республики Казахстан	157
<i>Сембиева Л.М., Бекбенбетова Б.Б., Бейсенова Л.З.</i> Проблемы и перспективы развития кредитной системы Казахстана в рамках ЕАЭС.....	167
<i>Удербаяева С.К.</i> Отражение истории кочевых народов Центральной Азии в «Трудах» Оренбургской ученой архивной комиссии.....	177
<i>Болтаева А.А.</i> Роль государства в реализации социальной ответственности бизнеса.....	189

CONTENT

Technical sciences	
<i>Azamatov B.N., Ozhikenov K.A., Azamatova Zh. K.</i> ACS of the set of hydrocyclones with a variable geometry in the system of HAR TPP	5
Social Sciences	
<i>Kaldybay K.K., Pazylova K.A.</i> Socio-psychological analysis of the concept of aggression.....	14
Technical sciences	
<i>Sakhmetova G.E., Brener A.M., Kaldybaeva B.M., Abilmagzhanov A.Zh.</i> "Regime aspects of the scale -up problem while designing installations for biogas production	21
<i>Akhmetov B.S., Kartbayev T.S., Doszhanova A.A.</i> Methods of counteraction to means of biometric-neural network protection of information.....	28
<i>Mukazhanov N.K., Kisapov A.M., Musapirova G.D.</i> Studies on the recognition of images of spatial objects.....	35
<i>Nayzabekov A.B., Volokitina I.E.</i> Research of the influence of the ecap on the evolution of the microstructure of copper.....	41
<i>Cekic N.</i> Integrated design in contemporary ecological urban architecture.....	48
<i>Ozhikenov K.A., Rakhmetova P.M., Ozhiken A.K.</i> Adaptive stabilization of dynamic processes in the control system of a manipulation robot.....	59
<i>Rakishev B., Prokopenko V., Cherep A., Kovrov A.</i> Features of mining-technical recultivation of disturbed lands during development of mines.....	66
Agricultural science	
<i>Baimukanov D.A., Baimukanov A., Yuldashbaev Yu. A., Ishan K., Alikhanov O., Doshanov D.</i> Productivity of the camelsdromedary of kazakh type F ₄	74
Chemistry	
<i>Suerbaev Kh.A., Kudaibergenov N.Zh., Yelibay K.B.</i> Carbonylation of terminal olefines by carbon monoxide and alcohols in the presence of palladium phosphin complexes.....	85
Biology	
<i>Abaildayev A.O., Neupokoeva A.S., Rahymgozhin M.B., Khodayeva A.Y., Botbayev D.M., Ashirbekov Y.Y., Kulanbayev E.M., Khanseitova A.K., Balmuhanov T.S., Aitkhozhina N.A.</i> Association of variability of <i>ISP1</i> gene in patients with breast cancer from populations of Kazakhstan	108
Social Sciences	
<i>Kishibekova G. K., Omarkhanova Zh. M.</i> Financial security of development of agriculture of the republic of Kazakhstan.....	115
<i>Abdulina G.A., Seitkhamzina G.Zh.</i> Problems of social development of modern companies.....	126
<i>Abylkassimova Zh., Alibaeva M., Orynbekova G., Rakishev A.</i> Economic integration of subjects of the agro-industrial complex of Kazakhstan in modern conditions.....	136
<i>Azatbek T.A., Baitenizov D.T.</i> Self-employment in the system of scientific knowledge.....	142
<i>Ayupova Z.K., Kussainov D.U.</i> Legal policy of the republic of Kazakhstan as important mechanism of strengthening of statehood.....	150
<i>Ramazanov A., Kazhuratova A., Tymbaeva Zh.</i> Economic measurement of the oil market of the Republic of Kazakhstan.....	157
<i>Sembiyeva L.M., Bekbenbetova B.B., Beisenova L.Z.</i> Problems and prospects for the development of the credit system of Kazakhstan within the framework of the EEU.....	167
<i>Uderbaeva C.K.</i> Reflection of the history of the nomadic peoples of Central Asia in the "Proceedings" of the Orenburg archival scientific commission.....	177
<i>Boltaeva A.A.</i> The role of the state in the implementation of social responsibility of business.....	189

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

<http://www.reports-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, Т.А. Апендиев*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 15.08.2017.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
12,3 п.л. Тираж 2000. Заказ 4.