

ISSN 1815-4840



КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ НАЗОРАТ ВА БОШҚАРУВ

Халқаро илмий-техникавий журнал 1/2015

Учредители:
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ,
ГАК «УЗСТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
ГАК «УЗКИМЕСАНОАТ»,
СП «СОВПЛАСТИТАЛ»,
АГЕНТСТВО ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН

**Главный редактор и председатель
редакционной коллегии:**
ЮСУПБЕКОВ Надырбек Рустамбекович.

Заместители:
АЗИМОВ Акил Адылович,
ГУЛЯМОВ Шухрат Маналович,
ИГАМБЕРДИЕВ Хусан Закирович.

Ответственный секретарь:
МАННАНОВ Улугбек Васикович.

Редакционная коллегия:
Азимов Р.К., Акрамов Э.М., Алиев Р.А.
(Азербайджан), Аллаев К.Р., Балакирев В.С.
(Россия), Бекмуратов Т.Ф., Беглов Б.М.,
Бишимбаев В.К. (Казахстан), Верлань А.Ф.
(Украина), Гордеев Л.С. (Россия), Глушенкова
А.И., Закиров С.Г., Ибрагимов Г.И., Исмаилов
М.А., Исмаилов П.Р., Каландаров П.И.,
Марахимов А.Р., Мухамеджанов У.Т., Камиллов
М.М., Касымов С.С., Кузнецова Н.Н. (Россия),
Ладанюк А.П. (Украина), Мамаджанов Х.А.
(Россия), Мешалкин В.П. (Россия), Мелкумов
А.Н., Мирзарахимов М.С., Мухитдинов М.М.,
Мухитдинов Д.Н., Нурмухамедов Х.С.,
Набиев О.М., Назаров У.С., Рашидова С.Ш.,
Сайдахмедов Р.Х., Салимов З.С., Ульянов С.В.
(Россия), Усманов Р.Н., Хакимов О.Ш.,
Чистякова Т.Б. (Россия),
Юсупбеков А.Н., Якубов Р.Я.

Адрес редакции:
100095, г. Ташкент
ул. Университетская, 2
Телефон:
227-17-16
e-mail:
app-tgtu@mail.ru



*Материалы, опубликованные в настоящем журнале, не
могут быть полностью или частично воспроизведены без
письменного разрешения редакции. Мнение редакции не
всегда совпадает с мнением авторов материалов. За
достоверность сведений, представленных в журнале,
ответственность несут авторы статей и редакторы.*

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Ш.С.Намазов, А.Р.Сейтназаров, О.А.Бадалова, Б.М.Беглов, Н.В.Вольникова, Б.Б.Садыков. Реологические свойства аммонизированных фосфорнокислотных пульп из нового мытого обоженного фосфоконцентрата Центральных Кызылкумов	5
Л.А.Мамажанова, Т.А.Атакузиев, И.Т.Усмоноходжаева, Ш.М.Шамуратова, Х.А.Мирзаева. Смешанные цементы на основе сульфоалюминатных клинкеров и обоженного фторангидрита	12
А.Ж.Абылова, Ш.Н.Туремуратов, С.С.Хамраев. Получение вязких веществ на основе гипсовых минералов устьртского месторождения	16
А.Ш.Абдуллаев, Х.С.Нурмухамедов, С.К.Нигмаджанов, С.Ш.Абдуллаева. Расчет диаметра пневмоцилиндра аппаратов мгновенного сброса давления	21
М.М.Халиков, М.М.Муродов. Влияние ингибиторов деструкции целлюлозы на качество синтезируемой Na-КМЦ	25
И.Д.Эшметов, А.А.Агзамходжаев, З.Э.Искандаров. Математическое моделирование корреляционной зависимости реологических характеристик водоугольного топлива от состава и свойства угля	29
Ш.Д.Туляганов. Анализ технологий, применяемых при низкотемпературной сепарации природного газа	36

КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

И.И.Жуманов, З.Т.Бекмуродов. Контроль достоверности прогноза случайных временных рядов на основе нейро-нечеткой сети	43
П.М.Матякубова, М.Ш.Машарипов. Проблемы обеспечения единства измерений при контроле влажности сыпучих материалов	48
Ил.Х.Сиддиков, Е.А.Борисова, Н.Ю.Амурова. Определение коэффициента несимметрии напряжения и напряжения смещения нейтральной точки трехфазных электрических сетей устройств связи и телекоммуникации	54
Т.З.Рахмонов, У.К.Рахмонов. Определение геометрических размеров центрального сепаратора и профилирование лопатки завихрителя	59
Е.Ю.Банденко, Н.Х.Бобомуродов, Ф.Ф.Исхакова. Электрохимические ячейки газоанализаторов для определения концентрации вредных веществ в газовых средах	63
Ш.Н.Эрназаров, А.А.Мухамедов. Количественные аспекты дистанционного лазерного зондирования флуоресцирующей органики	67

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Х.З.Игамбердиев, Х.И.Сотвалдиев, Ю.И.Гафуров. Алгоритмы устойчивого оценивания параметров настроек регуляторов в адаптивных системах управления с эталонными моделями	71
А.Н.Юсупбеков, А.О.Атауллаев. Эволюция развития и совершенствования систем управления технологическими процессами и производствами	75
Д.Т.Мухамедиева. Подходы к построению конечно-разностных методов решения нечетких дифференциальных уравнений	79
Р.Н.Усманов, К.К.Сейтназаров, Р.Н.Отениязов. Геоинформационное моделирование условий формирования и эксплуатации кегейлийского водозабора подземных вод	83
С.А.Гишликов, А.Р.Ахатов. Оптимизация достоверности передачи и обработки электронных документов на основе свойств моделей переходного процесса	88
З.М.Гулматов. Алгоритмы устойчивого оценивания управляющих воздействий в системах управления динамическими объектами на основе принципа приспособления к возмущениям	95

УДК 62-503.4

Х.З.ИГАМБЕРДИЕВ (ТГТУ),
 Х.И.СОТВОЛДИЕВ, Ю.И.ГАФУРОВ (Ферганский филиал ТУИТ)

АЛГОРИТМЫ УСТОЙЧИВОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЕК РЕГУЛЯТОРОВ В АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ С ЭТАЛОННЫМИ МОДЕЛЯМИ

Эталон моделлардан фойдаланиб, адаптив бошқариш тизимларидаги ростлагичларнинг соғлаш параметрларини тургун баҳолаш алгоритмларини шакллантириш масалалари кўриб чиқилмоқда. Бошқариш белгисини аниқлаш учун мослашувнинг статик тавсифлари ишлатилади. Эталон модели адаптив бошқариш тизимларини синтезлаш алгоритмларининг умумий хусусияти, уларни амалга оширишда мавхум тескари матрицаларни ҳисоблаш зарурияти билан боғлиқ бўлган ҳисоблаш характеридаги қийинчиликлар юзага келадиган вазият ҳисобланиши белгилаб берилган. Шундан келиб чиққан ҳолда адаптив бошқариш тизимларини синтезлаш масалаларини ечишда самарали бўлган мавхум айлантириш алгоритмлари кўриб чиқилган. Келтирилган ҳисоблаш амаллари эталон моделлардан фойдаланувчи адаптив бошқариш тизимларини синтезлаш масаласини мунтазамлаштириш ва шу билан биргаликда бошқаришнинг адаптив қонунини шакллантириш амалини барқарорлаштириш имконини беради.

Таянч сўзлар: динамик объект, адаптив бошқариш тизими, эталонли модель, ростлагични соғлаш параметрлари, мавхум айлантириш, тургун баҳолаш.

Рассматриваются вопросы формирования алгоритмов устойчивого оценивания параметров настроек регуляторов в адаптивных системах управления с использованием эталонных моделей. Для определения закона управления используются статические характеристики адаптации. Отмечено, что общей чертой алгоритмов синтеза адаптивных систем управления с эталонными моделями является то обстоятельство, что при их реализации возникают трудности вычислительного характера, связанные с необходимостью вычисления псевдообратных матриц. В этой связи рассмотрены алгоритмы псевдообращения, которые оказываются эффективными при решении рассмотренных задач синтеза адаптивных систем управления. Приведенные вычислительные процедуры позволяют регуляризовать задачу синтеза адаптивных систем управления динамическими объектами с использованием эталонных моделей и тем самым стабилизировать процедуру формирования адаптивного закона управления.

Ключевые слова: динамический объект, адаптивная система управления, эталонная модель, параметры настроек регулятора, псевдообращение, устойчивое оценивание.

Questions of formation of algorithms of steady estimation of parameters of settings of regulators in adaptive control systems with use of reference models are considered. For definition of the law of management static characteristics of adaptation are used. It is noted that a common feature of synthesis algorithms of adaptive control systems with reference models is that circumstance that at their realization there are difficulties of computing character connected with need of calculation of the pseudo-return matrixes. In this regard algorithms of the pseudo-address which are effective at the solution of the considered problems of synthesis of adaptive control systems are considered. The given computing procedures allow to regularize a problem of synthesis of adaptive control systems of dynamic objects with use of reference models and by that to stabilize procedure of formation of the adaptive law of management.

Key words: dynamic object, adaptive control system, reference model, parameters of settings of the regulator, pseudo-address, steady estimation.

В теории и практике автоматизации и управления технологическими процессами существует весьма важный и обширный подкласс адаптивных систем управления, предназначенный для автоматического регулирования в условиях ограниченной априорной информации, изменения характеристик окружающей среды и управляемого объекта [1-4]. Речь идет о системах, выполняющих исполнительные функции, о контурах управления, обрабатывающих постоянные или переменные задающие воздействия. При этом широкое распространение получили беспорядочные адаптивные системы с эталонной моделью. В рассматриваемом классе такого рода систем эталонная модель присутствует

в виде реального динамического звена, а за основу работы контуров самонастройки принимается непосредственно ошибка рассогласования движений основного контура и модели эталона. Отсутствие дополнительных измерителей качества процессов основного контура и эталонной модели делает эти системы простыми и доступными для исполнения. Второй класс составляют собственно беспойсковые адаптивные системы с эталонной моделью. Для них характерна настройка параметров основного контура или обобщенного настраиваемого объекта под параметры эталонной модели. В этом случае эталонная модель представляет собой стационарное динамическое звено, выбранное заранее на основе априорной информации о входных воздействиях основного контура. В более общем случае эталонная модель может быть перестраиваемой.

Будем полагать, что движение системы описывается следующими уравнениями:

$$\dot{x}_0 = A_0(t)x_0 + B_0(t)u; \quad (1)$$

$$u = K(t)\varepsilon; \quad (2)$$

$$\varepsilon = g - y; \quad (3)$$

$$y = K(t)x_0. \quad (4)$$

Здесь x_0 , u , ε , g , y – вектор состояния объекта, управление, ошибка, уставка регулятора, сигнал обратной связи размерностей n , m , m , m , m соответственно; $A_0(t) = [a_{0ij}(t)]$, $B_0(t) = [b_{0ij}(t)]$ – матрицы параметров объекта и управления. Будем предполагать, что состояние объекта доступно наблюдению, элементы матриц A_0 и B_0 неизвестны по величине, и во всем диапазоне изменения переменных параметров объект управления полностью управляем.

Исключая промежуточные переменные, систему уравнений (1) – (4) можно привести к виду

$$\dot{x}_0 = [A_0(t) - B_0(t)K(t)\tilde{K}(t)]x_0 + B_0(t)K(t)g, \quad (5)$$

где $K(t)$ и $\tilde{K}(t)$ матрицы параметров регулятора r_1 и обратной связи r_2 , при этом

$$K(t) = [K_{ij}[r_1(t)]]_{m \times m}, \quad \tilde{K}(t) = [\tilde{K}_{ij}[r_2(t)]]_{m \times n},$$

$$i = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Уравнение (5) представляет собой дифференциальное уравнение основного контура беспойсковой системы. Движение эталонной модели задается стационарным дифференциальным уравнением вида

$$\dot{x}_M = A_M x_M + B_M g, \quad (6)$$

где x_M – n -мерный вектор состояния модели; A_M и B_M – матрицы параметров модели размерности $[n \times n]$ и $[n \times m]$.

При идеальной настройке параметров управляемой системы должны выполняться условия, вытекающие из совпадения правых частей уравнений (5) и (6):

$$A_M = A_0(t) - B_M \tilde{K}^0(t), \quad (7)$$

$$B_M = B_0(t)K^0(t). \quad (8)$$

Матричные алгебраические уравнения (7) и (8) определяют статические характеристики адаптации, т.е. зависимость матриц идеальной настройки $K^0(t)$ и $\tilde{K}^0(t)$ от матриц переменных параметров $A_0(t)$ и $B_0(t)$.

При $m = n$ уравнения (5) и (6) имеют единственное решение в том и только в том случае, когда ранг матрицы B_M равен n и ранг матрицы $B_0(t)$ на всем интервале наблюдения $[t_0, \infty]$ также равен n . Эти решения задаются выражениями

$$\tilde{K}^0(t) = B_M^{-1}[A_0(t) - A_M], \quad K^0(t) = B_0^{-1}(t)B_M. \quad (9)$$

В наиболее распространенном случае, когда $m < n$, решение уравнений (5) и (6), если оно существует, дается выражениями

$$\tilde{K}(t) = B_M^+[A_0(t) - A_M], \quad (10)$$

$$K(t) = B_0^+(t)B_M. \quad (11)$$

где верхний индекс «+» означает операцию вычисления псевдоинверсной матрицы.

Если матрица B_0 размерности $[n \times m]$ имеет ранг m , то псевдоинверсная по отно-

шению к B_0 матрица вычисляется по соотношению $B_0^+ = (B_0^T B_0)^{-1} B_0^T$.

Подставляя в (2) уравнения (3) и (4) и заменяя в этом выражении $K(t)$, $\tilde{K}(t)$ в соответствии с (10) и (11), получаем уравнение $u = B_0^+(t)B_M g - B_0^+(t)B_M B_M^+[A_0(t) - A_M]x_0$, (12) которое представляет собой адаптивный закон управления, обеспечивающий совпадение движения в адаптивной системе с движением эталонной модели основного контура при условии, что идентификатор оперативно определяет матрицы параметров объекта A_0 и B_0 . Так как в реальной системе идентификация осуществляется асимптотически, то вместо совпадения движений происходит их приближение друг к другу, степень которого зависит от динамической ошибки идентификации. Помимо приведенных алгоритмов синтеза адаптивного закона управления существуют также и другие модифицированные варианты [5,6].

Общей чертой алгоритмов синтеза адаптивных систем управления с эталонными моделями является то обстоятельство, что при их реализации возникают трудности вычислительного характера, связанные с необходимостью вычисления псевдообратных матриц. В этой связи рассмотрим алгоритмы псевдообращения, которые являются наиболее эффективными при решении выше рассмотренных задач синтеза адаптивных систем управления.

Возможны случаи, когда матрица B_0 имеет ранг $r \leq \min(n, m)$. В таком случае целесообразно использовать скелетное разложение [7]:

$$B_0 = QZ = \begin{bmatrix} q_{11} & \dots & q_{1r} \\ q_{21} & \dots & q_{2r} \\ \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & \dots & q_{nr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{r1} & z_{r2} & \dots & z_{rm} \end{bmatrix}$$

Поскольку матрицы Q и Z имеют максимально возможный ранг r , то квадратные матрицы $Q^T Q$ и ZZ^T являются невырож-

денными: $|Q^T Q| \neq 0$, $|Z^T Z| \neq 0$. Тогда можно показать [7], что псевдообратная матрица B_0^+ будет определяться выражением вида

$$B_0^+ = Z^+ Q^+ = Z^T (ZZ^T)^{-1} (Q^T Q)^{-1} Q^T. \quad (13)$$

Для нахождения псевдообратной матрицы можно использовать также разбиение матрицы на блоки. Представим прямоугольную матрицу F в виде

$$B_0 = \begin{bmatrix} J & P \\ \Phi & \Theta \end{bmatrix},$$

где J невырожденная квадратная матрица ($|J| \neq 0$). Тогда справедливо равенство

$$\Theta = \Phi J^{-1} P, \text{ и потому } B_0 = \begin{bmatrix} J \\ \Phi \end{bmatrix} J^{-1} (JP).$$

Так как эта формула является результатом двух последовательных скелетных разложений

$$B_0 = \begin{bmatrix} J \\ P \end{bmatrix} (E J^{-1} P), \quad (E J^{-1} P) = J^{-1} (JP), \text{ то}$$

$$B_0^+ = (JP)^+ (J^{-1})^+ \begin{bmatrix} J \\ \Phi \end{bmatrix}^+ = (JP)^+ J \begin{bmatrix} J \\ \Phi \end{bmatrix}^+.$$

Тогда можно прийти к выражению

$$B_0^+ = \begin{bmatrix} J^T \\ P^T \end{bmatrix} (JJ^T + PP^T)^{-1} J (J^T J + \Phi^T \Phi)^{-1} (J^T \Phi^T). \quad (14)$$

Формула (14) дает явное выражение для псевдообратной матрицы B_0^+ через блоки J , P , Φ .

Для придания большей численной устойчивости при реализации алгоритмов псевдообращения (13) и (14) целесообразно представить их соответственно в виде [8]:

$$B_0^+ = Z^+ Q^+ = Z^T g_\alpha(\tilde{Z}) g_\beta(\tilde{Q}) Q^T, \quad (15)$$

$$B_0^+ = \begin{bmatrix} J^T \\ P^T \end{bmatrix} g_\alpha(\tilde{V}) J g_\beta(\tilde{W}) (J^T \Phi^T), \quad (16)$$

где $\tilde{Z} = ZZ^T$, $\tilde{Q} = Q^T Q$, $g_\alpha(\tilde{Z}) = (\tilde{Z} + \alpha I)^{-1}$, $g_\beta(\tilde{Q}) = (\tilde{Q} + \beta I)^{-1}$, $\tilde{V} = JJ^T + PP^T$, $\tilde{W} = J^T J + \Phi^T \Phi$, $g_\alpha(\tilde{V}) = (\tilde{V} + \alpha I)^{-1}$, $g_\beta(\tilde{W}) = (\tilde{W} + \beta I)^{-1}$, $\alpha > 0$, $\beta > 0$ – параметры регуляризации.

Подбор параметров регуляризации α и β в (15) и (16) целесообразно осуществлять на основе способа модельных примеров [9].

Идентификацию объекта здесь целесообразно производить на основе локальной оптимизации в соответствии с принципом разделения, когда в соответствие объекту (1) ставится настраиваемая модель

$$x(k+1) = A(k)x(k) + B_0(k)u(k) = C(k)\tilde{z}(k),$$

параметры которой уточняются с помощью рекуррентного метода наименьших квадратов [10,11]:

$$C(k+1) = C(k) + (x(k+1) + C(k)z(k))z^T(k)\Gamma(k), \quad C_0 = C_a, \quad (17)$$

$$\Gamma(k) = \Gamma(k-1) - \frac{\Gamma(k-1)z(k)z^T(k)\Gamma(k-1)}{1 + z^T(k)\Gamma(k-1)z(k)},$$

$$\Gamma_0 = \rho^{-1}I, \quad \rho > 0$$

где $C(k) = (A(k); B_0(k))$ – составная матрица оценок параметров, перестраиваемая на каждой итерации с помощью алгоритма (17), C_a – априорная оценка матрицы C , $z^T(k) = (x^T(k); (u(k) + v(k))^T)$ – обобщенный вектор возмущенных входов, $v(k) \in R^l$ – вектор независимых случайных возмущений, искусственно вводимых в канал управления с целью улучшения качества процесса идентификации, таких, что $M\{v(k)\} = 0$, $M\{\|v(k)\|^2\} = \sigma_v^2 < \infty$, $M\{v(k)v^T(k)\} = P_v > 0$, $M\{v(k)\xi^T(k)\} = 0$.

Приведенные выше вычислительные процедуры позволяют регуляризовать задачу синтеза адаптивных систем управления с эталонными моделями и тем самым стабилизировать процедуру формирования адаптивного закона управления.

Список литературы:

1. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. - М.: Наука, 1987. - 712 с.

2. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. М.: Наука, 1981. - 448 с.
3. Ядыкин И.Б., Шумский В.М., Овсепян Т.А. Адаптивное управление непрерывными процессами. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 240 с.
4. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. - С-Пб.: Наука, 2000. - 314 с.
5. Антонов В., Терехов В., Тюкин И. Адаптивное управление в технических системах. Учебное пособие. Изд-во: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2001. - 244 с.
6. Егупова Н. Д., Егупов Н. Д., Пупков К. А. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления. -М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 744 с.
7. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. -4-е изд. - М.: Наука. 1988. -552 с.
8. Игамбердиев Х.З., Севинов Ж.У., Зарипов О.О. Регулярные методы и алгоритмы синтеза адаптивных систем управления с настраиваемыми моделями. - Т.: ТашГТУ, 2014. - 160 с.
9. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы. Киев: Наукова думка, 1986. - 542 с.
10. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. // Под ред. Я.З.Цыпкина. -М.: Наука. 1991. -432 с.
11. Карабутов Н.Н. Адаптивная идентификация систем. Информационный синтез. -М.: КомКнига, 2006. - 384 с.

Игамбердиев Хусан Закирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные технологии в управлении» ТГТУ;

Сотволдиев Хусниддин Ибрагимович – старший преподаватель кафедры «Компьютерные системы» Ферганского филиала ТУИТ,

Тел.: 93-735-02-00; E-mail: h.sotvoldiyev@mail.uz;

Гафуров Юсуфбек Икрамович – магистрант Ферганского филиала ТУИТ, Тел.: +99891-657-80-00;

E-mail: yusufbek0721@mail.ru.