(19) **RU** (11) **2 108 612** (13) **C1**

(51) МПК[6] **G 05 B 13/00, 13/02, 13/04**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: **94033714/09, 14.09.1994**

(46) Дата публикации: **10.04.1998**

(56) Ссылки: **Справочник по теории автоматического управления. / Под ред. Красовского А.А. - М.: Наука, с. 492 - 495, рис. 10.5.1.**

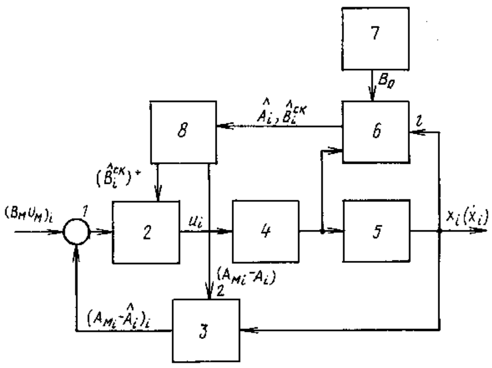
(71) Заявитель:
Круглов Сергей Петрович

(72) Изобретатель: **Буков В.Н., Круглов С.П.**

(73) Патентообладатель:
Круглов Сергей Петрович

(54) АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С ИДЕНТИФИКАТОРОМ И НЕЯВНОЙ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЬЮ

(57) Реферат:
Изобретение относится к системам автоматического управления динамическими объектами широкого класса с неизвестными переменными параметрами и неконтролируемыми возмущениями. Технический результат заключается в упрощении условий и сокращении времени для достижения цели адаптации замкнутой системы управления, а также в расширении области применения системы на класс существенно нестационарных (нелинейных с текущей линеаризацией) объектов управления с неконтролируемыми внешними возмущениями. Технический результат достигается за счет того, что система содержит сумматор, первый и второй регуляторы, фильтр низких частот, объект управления, блок текущей идентификации, блок априорной информации о матрице эффективности управления и блок настройки регуляторов. 1 ил.



RU 2108612 C1

(19) RU (11) 2 108 612 (13) C1

(51) Int. Cl.[6] G 05 B 13/00, 13/02, 13/04

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **94033714/09, 14.09.1994**

(46) Date of publication: **10.04.1998**

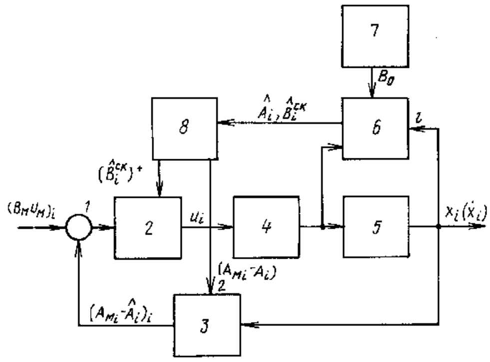
(71) Applicant:
Kruglov Sergej Petrovich

(72) Inventor: **Bukov V.N., Kruglov S.P.**

(73) Proprietor:
Kruglov Sergej Petrovich

(54) ADAPTIVE CONTROL SYSTEM WITH IDENTIFIER AND IMPLICIT REFERENCE MODEL

(57) Abstract:
FIELD: automatic control of dynamic entities of broad class with unknown variables and uncontrolled disturbances. SUBSTANCE: system has adder, first and second regulators, controlled entity, current data unit, a priori data unit for control efficiency matrix, and regulator adjustment unit. EFFECT: facilitated conditions, reduced time for adapting close-circuit control system, enlarged functional capabilities. 1 dwg



RU 2108612 C1

RU 2108612 C1

Изобретение относится к системам автоматического управления динамическими объектами широкого класса с неизвестными переменными параметрами и неконтролируемыми возмущениями.

Прототипом изобретения является беспоисковая адаптивная система управления с непрямым адаптивным управлением и неявной эталонной моделью, описанная в работе [1, с. 492]. Структурная схема адаптивной системы управления для объектов с неконтролируемыми возмущениями включает в себя сумматор, два регулятора (один в прямой и один в обратной связи), объект управления и контур адаптации. Последний в свою очередь состоит из блока текущей идентификации, блока настройки регуляторов и логического блока, осуществляющего переключение работы контура адаптации с цикла идентификации на цикл настройки регуляторов и наоборот.

Рассмотрим построение такой системы управления для следующей задачи. Пусть объект управления (ОУ) описывается следующим матричным дифференциальным уравнением

$$\dot{x} = Ax+Bu+Df, \quad (1),$$

где

$x \in R^n$ - непосредственно измеряемый вектор состояния ОУ;

$x \in R^m$ - вектор управления (в дальнейшем - закон управления); f - вектор неконтролируемых внешних возмущений, ограниченный по норме; A, B и D - матрицы неизвестных параметров ОУ с соответствующими размерностями, в общем случае переменные; $\dot{x}$ - непосредственно измеряется или аналитически вычисляется по x.

Адаптивная система должна формировать такой закон управления, чтобы ОУ вел себя подобно эталонной модели, которая задана неявным образом в виде следующего дифференциального уравнения:

$$\dot{x}_м = A_м x_м + B_м u_м \quad (2)$$

где

$x_м$ - вектор состояния модели;

$u_м$ - ограниченное по норме входное воздействие модели; размерности соответствуют уравнению (1); $A_м$ и $B_м$ - матрицы параметров модели в общем случае переменные, причем $A_м$ - гурвицева матрица (вещественные части собственных ее чисел строго отрицательны).

Точный закон управления можно найти только тогда, когда выполнено условие полного соответствия моделей [2].

$\mathrm{rank}B = \mathrm{rank}(B, A_м - A) = \mathrm{rank}(B, B_м) = \mathrm{rank}(B, D)$

или, что тождественно

$BB^+(A_м - A) = A_м - A$; $BB^+B_м = B_м$; $BB^+D = D$, (3)

где

B^+ - псевдообратная матрица к B. В дальнейшем будем считать, что условие (3) выполнено, тогда управление, которое назовем точным

$u^* = B^+[(A_м - A)x + B_м u_м - Df]$,

обеспечит асимптотические свойства ошибки адаптации: $e \stackrel{\Delta}{=} x - x_м$.

Действительно, подставляя (4) в уравнение (1), учитывая (3) и (2), получим уравнение ошибки адаптации

$$\dot{e} - A_м e = 0.$$

Однако по условию матрицы A, B и D неизвестны и внешние возмущения неизмеряемы, поэтому вместо (4) используется закон управления

$$u = \hat{B}^+\left[(A_м - \hat{A})x + B_м u_м\right] \quad (5),$$

где $\hat{A}$ и $\hat{B}$ - оценки матриц A и B, доставляемые блоком текущей идентификации. Обновление параметров в законе управления производится циклически по управлению с логического блока. Блок текущей идентификации может быть построен на основе одного из известных алгоритмов идентификации.

Таким образом, замкнутая адаптивная система управления описывается уравнениями (1), (2), (5) при условии (3), а также включает алгоритм текущей идентификации и алгоритм переключения режимов работы контура адаптации.

В работах [1, 3, 4] указывается, что для достижения цели адаптации: с течением времени $e \to 0$ - требуется отсутствие неизвестных возмущений, а также необходимо иметь асимптотические оценки $(\hat{A} \to A, \hat{B} \to B)$ в конце цикла идентификации. Такое достаточно жесткое требование порождает ряд недостатков системы [3, 4]:

- необходимость обеспечения процесса управления стойким возбуждающим входным сигналом порядка не менее n;
- невозможность точной оценки параметров ОУ в замкнутой системе управления на некоторых режимах, например, на режиме стабилизации, когда $u_м = 0$, что объясняется линейной зависимостью компонент вектор-функций x(t) и u(t), где t - текущее время;
- большое влияние на качество идентификации и управления неконтролируемых внешних возмущений;
- невысокая скорость адаптации, поскольку параметры закона управления корректируются только в конце цикла идентификации.

Следует также отметить, что затянутость по времени процесса оценивания неизвестных параметров ОУ обусловливает известное мнение о том, что указанная система на практике может обеспечить приемлемое качество управления только для линейных стационарных или квазистационарных ОУ.

Целью изобретения является упрощение условий и сокращение времени для достижения цели адаптации замкнутой системы управления, а также расширение области применения системы на класс существенно нестационарных (нелинейных с текущей линеаризацией) объектов управления с неконтролируемыми внешними возмущениями.

Для теоретического обоснования

RU 2108612 C1

достижения цели рассмотрим вопрос адаптации в непрерывной постановке при отсутствии возмущений ($Df \equiv O$). В качестве алгоритма текущей идентификации будем использовать алгоритм типа стохастической апроксимации, который в непрерывной постановке описывается следующим образом [5]:

$$\dot{\hat{C}} = \varepsilon x_p^T \Gamma \quad (6),$$

где

$C = [A, B]$; $\varepsilon = (C-\hat{C})x_p = \dot{x} - \hat{A}x - \hat{B}u$ - ошибка идентификации; $x_p^T = [x^T, u^T]$ - расширенный вектор состояния ОУ; Г - в общем случае переменная положительно определенная квадратная матрица размерностью (n + m), или скаляр; норма матрицы $\hat{C} = [\hat{A}, \hat{B}]$ - ограничена. Из теории идентификации известно, что алгоритм (6) обладает более простыми и лучшими свойствами сходимости к нулю ε по сравнению со сходимостью оценок параметров. Действительно, если назначить функцию Ляпунова вида $V = \varepsilon^T\varepsilon$, то ее производная на уравнении (6) имеет вид

$$0{,}5\dot{V} = -(x_p^T \Gamma x_p)V + \varepsilon^T[\dot{C}x_p + (\dot{C} - \dot{\hat{C}})\dot{x}_p] \quad (7)$$

Уравнение (7) показывает, что при ограниченных нормах $\|\dot{C}\|,\ \|x_p\|$ и $\|\dot{x}_p\|$ (это справедливо для подавляющего большинства прикладных задач) и при достаточно большой норме матрицы Г с течением времени $\varepsilon \to 0$, причем без каких-либо дополнительных условий. Также можно указать, что уравнение (6) описывает динамическую систему с матрицей собственного движения $x_p x_p^T \Gamma$, которая имеет единственное ненулевое собственное число $x_p^T \Gamma x_p$, равное собственной частоте системы, или собственной частоте алгоритма идентификации (ω_a).

В связи с указанным найдем зависимость ошибки адаптации от ошибки идентификации. Для этого вычтем из уравнения (1) уравнение (2), получим

$$\dot{e} = Ax - A_m x_m + Bu - B_m u_m.$$

Прибавляя и вычитая из правой части полученного $A_M x$, комбинируя слагаемые и учитывая (3), (4), найдем

$$\dot{e} - A_m e = (B(u - u^*) \quad (8)$$

Для поиска зависимости невязки $B(u - u^*)$ от ε уравнение (5) с учетом равенств (3), (4), (6) и (1) запишем в виде

$$u = \hat{B}^+[(A_m - A)x + B_m u_m + (A - \hat{A})x + (B - \hat{B})u - (B - \hat{B})u] =$$
$$= \hat{B}^+[Bu^* + \varepsilon - Bu + \hat{B}u] = \hat{B}^+[B(u^* - u) + \varepsilon] + u.$$

Последнее слагаемое вынесено за скобки в силу очевидного равенства $\hat{B}^+\hat{B}\hat{B}^+ = \hat{B}^+$.

Отсюда следует, что

$$\hat{B}^+[B(u - u^*) - \varepsilon] = 0, \quad (9)$$

Уравнение (9) показывает, что его выражение в квадратных скобках всегда ортогонально строкам матрицы $\hat{B}^+$, или, согласно свойствам псевдообратной матрицы, - столбцам матрицы $\hat{B}$ [6]. В связи с этим общее решение уравнения (9) будет иметь вид

$B(u-u^*) - \varepsilon = \Psi\xi$, (10),

где

Ψ - матрица такая, что $\tilde{B}^+\Psi = 0$; ξ - произвольный вектор соответствующей размерности. Уравнения (8) и (10) описывают искомый результат.

Очевидно, наиболее важным является случай, когда в уравнении (10) невязка $B(u - u^*)$ не зависит от неопределенного член $\Psi\xi$. Одним из возможных вариантов этого является случай, когда выполняется условие [7]

$$\mathrm{rank}(\hat{B}^T B) = \mathrm{rank} B, \quad (11)$$

Для того чтобы доказать это утверждение, предположим, что $\mathrm{rank} B = k \le \min(n, m)$. Тогда матрицу B можно представить через скелетное разложение в виде [6]

$$B \overset{\Delta}{=} FL,$$

где

F и L - матрицы размерностью $n \bullet k$ и $k \bullet m$ соответственно такие, что $\mathrm{rank} F = \mathrm{rank} L = k$. В этом случае равенство (11) влечет за собой выполнения условия $\mathrm{rank}(\hat{B}^T F) = k$, или, согласно свойствам псевдообратной матрицы, $\mathrm{rank}(\hat{B}^+ F) = k$. Последнее обуславливает то, что $(\hat{B}^+ F)^+ \hat{B}^+ F = E_k$, где E_k - единичная $k \bullet k$ матрица [6]. Следовательно, умножение уравнения (10) слева на матрицу $F(\hat{B}^+ F)^+ \hat{B}^+$ ограниченной нормы дает

$$B(u - u^*) = F(\hat{B}^+ F)^+ \hat{B}^+ \varepsilon. \quad (12)$$

В свою очередь, частным к условию (11) является случай, когда столбцы матрицы B линейно зависимы со столбцами $\hat{B}$, т.е.

$$\mathrm{rank} B = \mathrm{rank}(\hat{B}, B), \text{ или даже } \hat{B} = B. \quad (13)$$

Действительно, в этом случае строки матрицы B^+ линейно зависимы со строками матрицы $\hat{B}^+$, и на основании (10) $B^+\Psi = 0$. В результате умножение уравнения (10) слева на матрицу BB^+ ($\|BB^+\|_2 = 1$) дает вместо

RU 2108612 C1

(12)

$B(u-u^*) = BB^+\varepsilon$. .

Таким образом, если выполнено хотя бы одно из условий: (11) или (13), то уравнение ошибки адаптации описывается простым линейным дифференциальным уравнением

$$\dot e - A_m e = K\varepsilon, ,$$

где

матрица K имеет ограниченную норму, т.е. при $\varepsilon \to 0$ достигается цель адаптации.

Следует однако отметить, что для выполнения условия $\varepsilon \to 0$ требуется $\|\Gamma\| \to \infty$, но последнее согласно свойствам уравнений (6) и (7) приводит к увеличению скорости изменения оценок, возрастанию норм $\|\dot u\|$ и $\|\dot x_p\|$, что препятствует сходимости ошибки идентификации и может привести к возникновению высокочастотных резонансных явлений. Для устранения этого неблагоприятного факта примем во внимание, что, как правило, рабочие частоты ОУ находятся в низкочастотной области. Поэтому достаточно управление (5) пропускать через фильтр низких частот с частотой среза ($\omega_ф$) меньшей, чем ω_a, но превышающей диапазон рабочих частот ОУ. Действительно, фильтрация управления соответствует устранению высокочастотной составляющей оценки $\hat C$ с сохранением ее низкочастотной части $\hat C_н$. Последняя образует низкочастотную составляющую ошибки идентификации: $(C-\hat C_н)x_p$. Поскольку выбором матрицы Г обеспечено стремление к нулю ошибки идентификации, то стремится к нулю и указанная ее низкочастотная часть. Следовательно, в области рабочих частот ОУ будут наблюдаться асимптотические свойства ошибки адаптации.

Из изложенного следует ряд выводов:

- требование асимптотической точности оценок параметров ОУ является лишь частным случаем достижения цели адаптации;

- цель адаптации можно достигнуть, если наложить довольно слабые ограничения (11) или (13) на оценку матрицы эффективности управления объекта (если B - скаляр, то достаточно $\hat B \neq 0$; эти ограничения не основаны на собственных динамических свойствах ОУ и могут быть получены из небольшой априорной информации об управляемом объекте; для выполнения условия (11) или (13) в структурную схему системы целесообразно ввести блок априорной информации о матрице эффективности управления объекта; по сигналам с этого блока будет производиться коррекция текущей оценки $\hat B$;

- выбором матрицы Г алгоритма идентификации (6) можно всегда добиться требуемой скорости сходимости ошибки идентификации ε, что дает, во-первых, увеличение скорости адаптации замкнутой системы, а, во-вторых, - возможность: организации непрерывной подстройки закона управления по текущим оценкам параметров ОУ, устранения цикличности работы контура адаптации, а следовательно, и устранения логического блока;

- нет никаких дополнительных требований к входному сигналу ОУ, кроме $u \neq 0$, и поэтому адаптивная система управления может функционировать на фоне естественных управляющих сигналов;

- возможно расширение области применения адаптивной системы на класс существенно нестационарных (нелинейных с текущей линеаризацией) ОУ, у которых скорость изменения параметров ограничена;

- в связи с тем, что качество адаптации явно не зависит от качества оценок, доставляемых идентификатором, возможно использование системы при воздействии на ОУ неконтролируемых внешних возмущений, ограниченных по норме; действительно, в этом случае ошибка идентификации будет иметь вид $\varepsilon = (C-\hat C)x_p + Df$, а уравнение (7) - соответственно

$$0,5\dot V = -(x_p^T\Gamma x_p)V + \varepsilon^T\left[\dot C x_p + (C-\hat C)\dot x_p + \frac{d}{dt}(Df)\right],$$

,

остальные уравнения останутся прежними; в области рабочих частот ОУ норма матрицы $\frac{d}{dt}(Df)$ ограничена, и поэтому выбором матрицы Г всегда возможно в указанной области частот добиться сходимости ε и e .

Следует отметить, что если алгоритм идентификации дискретный, то требованиями сходимости ε являются: во-первых, все собственные числа матрицы Γ_i должны находится в пределах $\left[0, 2/x_{pi}^T x_{pi}\right]$, а, во-вторых, период дискретизации алгоритма должен быть достаточно малым (i - текущий момент времени). Это следует из рассмотрения уравнения (6) в разностном виде

$$\hat C_i - C_i = \hat C_{i-1} - C_i + \varepsilon_i x_{pi}^T \Gamma_i, ,$$

где

$\varepsilon_i \triangleq (C_i - \hat C_{i-1})x_{pi}$ - определяется дискретным алгоритмом идентификации. Умножим последнее равенство справа на x_{pi}, получим

$$(\hat C_i - C_i)x_{pi} = \varepsilon_i(1 - x_{pi}^T\Gamma_i x_{pi}).$$

При достаточно малом шаге дискретизации

$$(\hat C_i - C_{i-1})x_{pi} \cong (C_{i+1} - \hat C_i)x_{pi+1} = \varepsilon_{i+1},$$

,

и поэтому можно

RU 2108612 C1

записать $\varepsilon_{i+1} \approx \varepsilon_i(1-x^T_{pi}\Gamma_i x_{pi})$. Сходимость дискретной ошибки ε будет иметь место, если выражение в круглых скобках последнего равенства будет по модулю меньше единицы, или $0 < x^T_{pi}\Gamma_i x_{pi} < 2$. Поделив это неравенство на $x^T_{pi}x_{pi}$ и используя отношение Релея [6], найдем указанные требования к матрице Γ_i.

Для дискретной формы алгоритма $\omega_a = x^T_{pi}\Gamma_i x_{pi}/H$, где H - шаг дискретизации.

Полученные выводы, в частности, подтверждаются численными исследованиями, результаты которых приведены в работе [7].

На чертеже представлена структурная схема дискретной адаптивной системы управления с идентификатором и неявной эталонной моделью.

Структурная схема содержит сумматор 1, первый 2 и второй 3 регуляторы, фильтр 4 низких частот, объект 5 управления, блок 6 текущей идентификации, блок 7 априорной информации о матрице эффективности управления объект, блок 8 настройки регуляторов.

Адаптивная система работает следующим образом.

Задающее воздействие в виде $[B_M U_M]_t$ подается на первый вход сумматора 1. На второй вход сумматора поступает сигнал с выхода второго регулятора 3. Выход сумматора связан с первым входом первого регулятора 2, этот регулятор окончательно формирует управление в соответствии с зависимостью

$$u_i = \left(\hat{B}_i^{ск}\right)^+ \left[\left(A_{mi} - \hat{A}_i\right)x_i + \left(B_m u_m\right)_i\right].$$

Выход первого регулятора связан со входом фильтра 4 низких частот, пропускающего рабочие частоты ОУ. Выход фильтра связан со входом объекта 5 управления и с первым входом блока 6 текущей идентификации. Выход объекта управления связан с первым входом второго регулятора 3, преобразующего входной сигнал x_i в виде

$$(A_{mi} - \hat{A}_i)x_i,$$

и со вторым входом блока текущей идентификации. Выход блока 7 априорной информации о матрице эффективности управления объекта подключен к третьему входу блока текущей идентификации. Блок текущей идентификации по входным сигналам с объекта управления: $u_i, x_i, \dot{x}_i$ - формирует текущие оценки параметров ОУ. Вектор $\dot{x}_i$ может либо непосредственно измеряться, либо аналитически вычисляться в блоке текущей идентификации по текущим значениям x, например, на основе полиномиальной или тригономтрической аппроксимации на скользящем интервале /8/. Алгоритм текущей идентификации блока 6 относится к классу алгоритмов типа стохастической аппроксимации, в качестве которого можно использовать алгоритм, описанный в работе /9/

$$\hat{C}_i = \hat{C}_{i-1} + \frac{1}{x^T_{pi}x_{pi}}(\dot{x}_i - \hat{C}_{i-1}x_{pi})x^T_{pi}.$$

Здесь $\omega_a = H^{-1}$ - выбирается из условия $\omega_a > \omega_ф$. Для выполнения требований (11) или (13) на каждом шаге идентификации в блоке 6 производится коррекция оценки $\hat{B}_i$. Такая коррекция должна быть с "минимальным" изменением исходной матрицы и может быть организована следующим образом. Блок 7 выдает в блок текущей идентификации информацию о матрице B_0 размерностью $n \cdot m$. Эта матрица учитывает априорную информацию о матрице эффективности управления объекта в виде соблюдения равенства

$\mathrm{rank}(B_0^T B) = \mathrm{rank} B$, (14) ,

Предположим, что

$$\hat{B}_i \overset{\Delta}{=} B_0 G_i,$$

где

G_i - какая-то матрица размерностью $m \cdot m$. Оценку $\hat{G}_i$ определим как

$$\hat{G}_i = B_0^+ \hat{B}_i + \Delta_i,$$

где

Δ_i - минимальная по норме добавка до невырожденности матрицы $\hat{G}_i$. Эта добавка может быть получена, например, на основе разложения квадратной матрицы $B_0^+\hat{B}_i$ на треугольные сомножители [6] с минимальной коррекцией последовательной процедуры разложения с целью устранения нулевых диагональных элементов сомножителей. Полученные сомножители в дальнейшем перемножаются, формируя $\hat{G}_i$.

Скорректированная оценка будет иметь вид $\hat{B}_i^{ск} = B_0\hat{G}_i$. Тогда

$$\mathrm{rank}\left((\hat{B}_i^{ск})^T B\right) = \mathrm{rank}(\hat{G}_i^T B_0^T) = k,$$

что следует из равенства (14) и утверждения о том, что умножение любой матрицы на невырожденную соответствующей размерности не изменяет ранга исходной матрицы /6/.

Оценка $\hat{B}_i^{ск}$ используется при формировании управления и заменяет оценку $\hat{B}_i$ для следующего шага алгоритма идентификации.

Выход блока текущей идентификации, через который выдаются оценки $\hat{A}_i$ и $\hat{B}_i^{ск}$, связан с блоком 8 настройки регуляторов. Этот блок вычисляет $\left(\hat{B}_i^{ск}\right)^+$ и $\left(A_{mi}-\hat{A}_i\right)$. Для реализации псевдообращения матриц можно использовать последовательный метод Гревилля [6]. Первый выход блока 8 связан со вторым входом первого регулятора, по нему передается информация о $\left(\hat{B}_i^{ск}\right)^+$. Второй выход блока 8 связан со вторым входом второго регулятора, по нему передается информация о матрице $\left(A_{mi}-\hat{A}_i\right)$.

Литература:

1. Справочник по теории автоматического управления./Под ред. А.А.Красовского. - М.: Наука, Гл. ред. физ. - мат. лит., 1987. - 712 с. (прототип).

2. Уткин В.Н. Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления. - М. : Наука, 1981.

3. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. - М.: Мир, 1984, 541 с.

4. Острем К.И. Адаптивное управление с обратной связью//ТИИЭР - 1987, N 2, т. 75, с. 4 - 45.

5. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. - М.: Наука. Гл. ред. фиг.-мат. лит., 1984. 320 с.

6. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988, с. 552.

7. Буков В.Н., Круглов С.П., Решетняк Е.П. Адаптируемость линейной динамической системы с идентификатором и эталонной моделью//Автоматика и телемеханика - 1994, N 3, с. 99 - 107.

8. Пашковский И.М., Леонов В.А., Поплавский Б.К. Летные испытания самолетов и обработка результатов испытаний. - М.: Машиностроение, с. 416, 1985.

9. Гроп Д. Методы идентификации систем: Пер. с англ. - М.: Мир, 1979, с. 302.

Формула изобретения:

Адаптивная система управления с идентификатором и неявной эталонной моделью, содержащая объект управления и сумматор, первый вход которого подключен к задающему воздействию, а выход - к первому входу первого регулятора, выход объекта управления подключен к первому входу второго регулятора и к первому входу блока текущей идентификации, выход второго регулятора подключен к второму входу сумматора, выход блока текущей идентификации подключен к входу блока настройки регуляторов, первый выход которого подключен к второму входу первого регулятора, а второй выход - к второму входу второго регулятора, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит фильтр низких частот, вход которого подключен к выходу первого регулятора, а выход подключен к входу объекта управления и к второму входу блока текущей идентификации, блок априорной информации о матрице эффективности управления объекта, выход которого подключен к третьему входу блока текущей идентификации.