



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G06G 7/30 (2006.01); G06F 17/00 (2006.01); G05B 15/00 (2006.01); G05B 11/00 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016149888, 20.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.12.2016Дата регистрации:
02.03.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.12.2016

(45) Опубликовано: 02.03.2018 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1,
ФГБОУ ВО "ДГТУ", отдел интеллектуальной
собственности

(72) Автор(ы):

Костоготов Андрей Александрович (RU),
Лазаренко Сергей Валерьевич (RU),
Пугачев Игорь Владимирович (RU),
Андрашитов Дмитрий Сергеевич (RU),
Зацаринная Ирина Александровна (RU),
Ценных Борис Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Донской государственный
технический университет", (ДГТУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2601143 C1, 27.10.2016. RU
2475828 C1, 20.02.2013. SU 1064271 A1,
30.12.1983. US 8005554 B2, 23.08.2011.

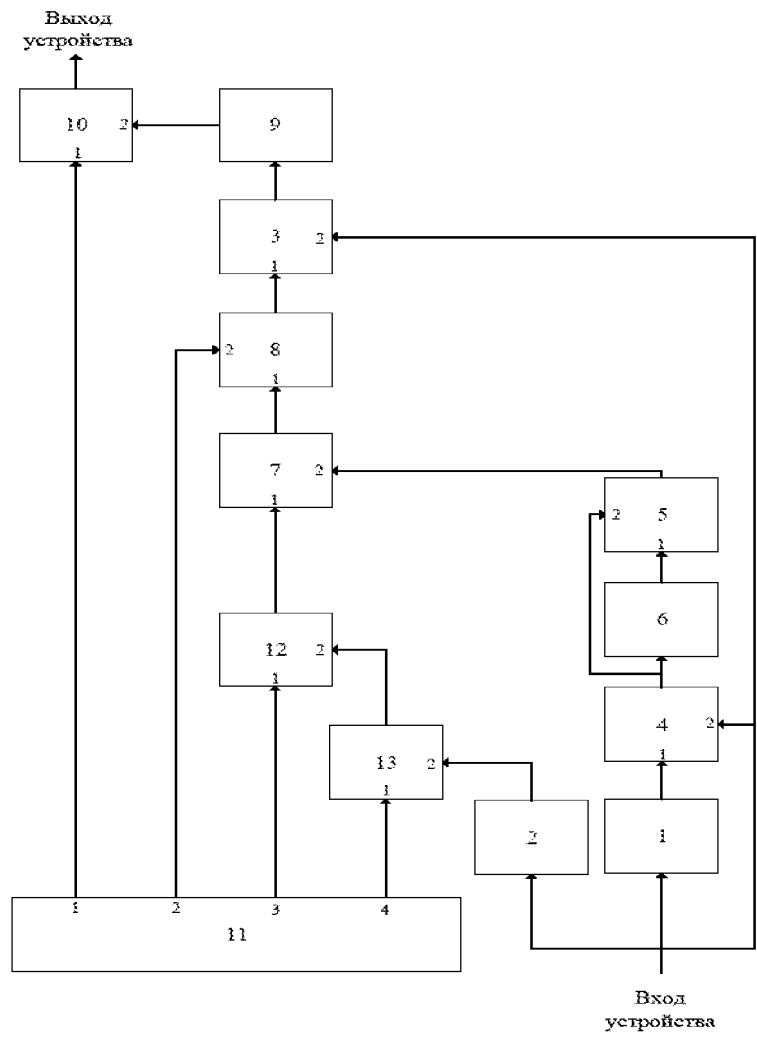
(54) УСТРОЙСТВО АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЁННОГО ПРИНЦИПА МАКСИМУМА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области цифровых систем управления и может быть использовано для решения задач быстродействия в автоматизированных системах, например в радиотехнике, для фазовой автоподстройки частоты. Технический результат – увеличение быстродействия автоматизированных систем. Он достигается тем, что предложено устройство адаптивного регулирования на основе

объединённого принципа максимума, содержащее: блок формирования суммы, первый, второй и третий блоки формирования умножения, блок хранения констант, блок отношения, первый и второй блок вычисления модуля, первый и второй блок вычитания, при этом в него дополнительно введены блок линии задержки, блок формирования умножения и блок формирования функции \tan . 4 ил.

C 1
2 6 4 6 3 7 3
R UR U
2 6 4 6 3 7 3
C 1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G06G 7/30 (2006.01)
G05B 15/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G06G 7/30 (2006.01); *G06F 17/00* (2006.01); *G05B 15/00* (2006.01); *G05B 11/00* (2006.01)

(21)(22) Application: **2016149888, 20.12.2016**

(24) Effective date for property rights:
20.12.2016

Registration date:
02.03.2018

Priority:

(22) Date of filing: **20.12.2016**

(45) Date of publication: **02.03.2018** Bull. № 7

Mail address:

**344000, g. Rostov-na-Donu, pl. Gagarina, 1, FGBOU
VO "DGTU", otdel intellektualnoj sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Kostoglotov Andrej Aleksandrovich (RU),
Lazarenko Sergej Valerevich (RU),
Pugachev Igor Vladimirovich (RU),
Andrashitov Dmitrij Sergeevich (RU),
Zatsarinnaya Irina Aleksandrovna (RU),
Tsennykh Boris Mikhajlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya Donskoj gosudarstvennyj
tehnicheskij universitet (DGTU) (RU)**

(54) **DEVICE OF ADAPTIVE REGULATION BASED ON THE JOINT MAXIMUM PRINCIPLE**

(57) Abstract:

FIELD: digital devices.

SUBSTANCE: invention relates to the field of digital control systems and can be used to solve performance problems in automated systems, for example in radio engineering, for phase-locked loop. It is achieved by proposing an adaptive control device based on the combined maximum principle, containing: a sum forming unit, the first, the second and the third

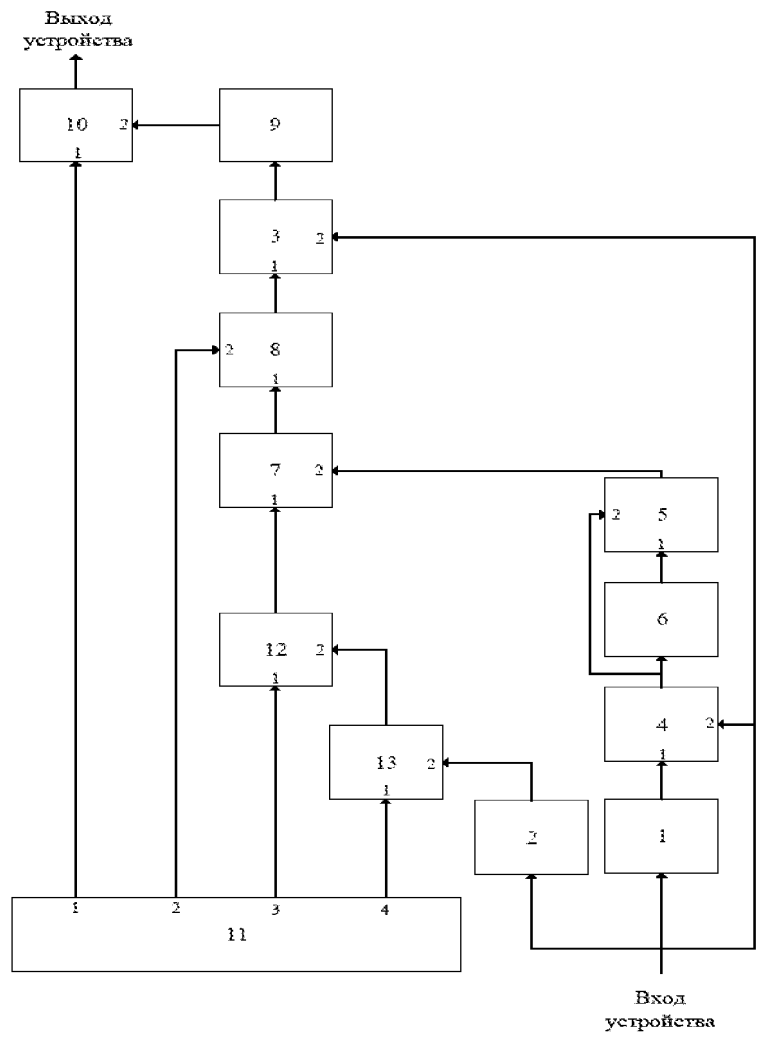
multiplication forming units, a constant storage unit, a ratio unit, the first and the second unit for a module calculation, the first and the second subtraction unit, wherein a delay line unit, a multiplier and a tan function forming unit are additionally added to it.

EFFECT: technical result is speed increase of automated systems.

1 cl, 4 dwg

RU 2 646 373 C1

RU 2 646 373 C1



Фиг.1

Изобретение относится к области цифровых систем управления и может быть использовано для решения задач быстрогодействия в автоматизированных системах, например в радиотехнике, для фазовой автоподстройки частоты.

Известны регуляторы с переменной структурой (см. Кузьменко А.А., Попов А.Н., Радионов И.А. Нелинейное робастное управление возбуждением синхронного генератора: синергетическая система с переменной структурой // Адаптивные и робастные системы. Таганрог. Информатика и системы управления, 2014. С. 130-139). Их недостатками являются релейный характер управления, что приводит к сложностям практической реализации подобных технических решений и сопряжено с большими энергетическими затратами, а также относительно низкое быстродействие.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является устройство (см. патент RU №2601143, G06G 7/30, H03H 17/06, опубл. 27.10.2016 г.), адаптивный экстраполятор, содержащий блок формирования суммы, первый, второй и третий блоки формирования умножения, блок хранения констант, блок отношения, первый и второй блок вычисления модуля, первый и второй блок вычитания.

Недостаток такого решения - резкое возрастание управляющего воздействия в терминальной точке фазовой плоскости, что ограничивает возможность практического применения в механических системах.

Задача изобретения - увеличение быстрогодействия автоматизированных систем.

Она достигается использованием объединенного принципа максимума для построения устройства адаптивного регулирования за счет аппроксимации релейного режима функционирования и синтезирующей функции, которая не допускает резкого увеличения управляющего воздействия в окрестности терминальной точки.

Сущность изобретения заключается в том, что устройство адаптивного регулирования на основе объединенного принципа максимума, содержащее блоки: блок формирования суммы, первый, второй и третий блоки формирования умножения, блок хранения

констант, блок вычисления отношения
$$\frac{|q(i) - q(i-1)| (q(i) - q(i-1))}{L|q(i)| + \varepsilon},$$

где $q(i)$ - текущее значение переменной состояния, L - константа, зависящая от формы линии переключения, ε - константа, определяющая сдвиг линии переключения, первый и второй блок формирования модуля, первый и второй блок вычисления разности, при этом в него введен блок формирования линии задержки, который является входом устройства, четвертый блок формирования умножения, выход которого является выходом устройства, блок формирования функции \tan , при этом вход устройства соединен со входом блока формирования линии задержки, входом первого блока формирования модуля, со вторым входом первого блока вычисления разности и вторым входом второго блока вычисления разности, выход которого соединен со вторым входом первого блока формирования умножения и входом второго блока формирования модуля, выход которого соединен с первым входом первого блока формирования умножения, выход которого соединен со вторым входом блока вычисления отношения, выход которого соединен с первым входом второго блока формирования умножения, выход которого соединен с первым входом первого блока вычисления разности, выход которого соединен со входом блока формирования функции \tan , выход которого соединен со вторым входом четвертого блока формирования умножения, выход которого является выходом устройства, первый выход блока хранения констант соединен с первым входом четвертого блока формирования умножения, второй выход

блока хранения констант соединен со вторым входом второго блока формирования умножения, третий выход блока хранения констант соединен с первым входом блока формирования суммы, выход которого соединен с первым входом блока вычисления отношения, четвертый выход блока хранения констант соединен с первым входом
 5 третьего блока формирования умножения, выход которого соединен со вторым входом блока формирования суммы, выход блока линии задержки соединен с первым входом второго блока вычисления разности, выход первого блока формирования модуля соединен со вторым входом третьего блока формирования умножения.

Техническим результатом является увеличение быстродействия автоматизированных систем, что достигается устройством адаптивного регулирования на основе
 10 объединенного принципа максимума, которое содержит: блок линии задержки; блоки формирования модуля; блоки разности; блоки умножения; блока отношения; блок вычисления функции \tan ; блок хранения констант; блок формирования суммы.

Сущность изобретения поясняется чертежом, где на фиг. 1 представлено устройство
 15 адаптивного регулирования на основе объединенного принципа максимума, а результаты математического моделирования приведены на фигурах 2, 3, 4: фиг. 2 - динамика (1), фиг. 3 - динамика (4), фиг. 4 - изменение состояния.

Вход устройства соединен со входом блока формирования линии задержки 1, входом
 20 блока формирования модуля 2, со вторым входом блока вычисления разности 3 и вторым входом блока вычисления разности 4, выход которого соединен со вторым входом блока формирования умножения 5 и входом блока формирования модуля 6, выход которого соединен с первым входом блока 5, выход которого соединен со вторым входом блока вычисления отношения 7, выход которого соединен с первым входом
 25 блока формирования умножения 8, выход которого соединен с первым входом блока вычисления разности 3, выход которого соединен со входом блока формирования функции \tan 9, выход которого соединен со вторым входом блока формирования умножения 10, выход которого является выходом устройства, первый выход блока хранения констант 11 соединен со входом первым блока 10, второй выход блока 11 соединен со вторым входом блока 8, третий выход блока 11 соединен с первым входом
 30 блока формирования суммы 12, выход которого соединен с первым входом блока 7, выход четвертый блока 11 соединен с первым входом блока формирования умножения 13, выход которого соединен со вторым входом блока 12, выход блока 1 соединен с первым входом блока 4, выход блока 2 соединен со вторым входом блока 13.

Пояснить работу устройства позволят следующие выкладки. Структура обратной
 35 связи как функции обобщенных координат в дискретном времени имеет вид:

$$q(i+1) = 2q(i) - q(i-1) + \Delta t^2 Q(i, i-1, \lambda, \Delta t, L, \varepsilon),$$

$$40 \quad Q(i, \lambda, \Delta t, L, \varepsilon) = \lambda^{-1} \tan \left[\frac{|q(i) - q(i-1)|(q(i) - q(i-1))}{L|q(i)| + \varepsilon} \Delta t^{-2} - q(i) \right], \quad (1)$$

где i - текущий момент времени, $q(i)$ - текущее значение переменной состояния, Δt -
 интервал дискретизации, λ^{-1} - неопределенный множитель Лагранжа, L - константа,
 зависящая от формы линии переключения, ε - константа, определяющая сдвиг линии
 45 переключения.

Устройство работает следующим образом: за один такт, равный шагу дискретизации, до начала работы устройства значение $q(i)$ подается на вход блока формирования линии задержки 1, на вход блока формирования модуля 2, на вход второй блока вычисления

разности 3 и на вход второй блока вычисления разности 4, с выхода которого значение $q(i)-q(i-1)$ поступает на вход второй блока формирования умножения 5 и на вход блока формирования модуля 6, с выхода которого значение $|q(i)-q(i-1)|$ поступает на вход первый блока 5, с выхода которого значение $|q(i)-q(i-1)|(q(i)-q(i-1))$ поступает на вход второй блока вычисления отношения 7, с выхода которого значение

$$\frac{|q(i) - q(i - 1))|(q(i) - q(i - 1))}{L|q(i)| + \varepsilon}$$

поступает на вход первый блока

формирования умножения 8, с выхода которого значение

$$\frac{|q(i) - q(i - 1))|(q(i) - q(i - 1))}{L|q(i)| + \varepsilon} \Delta t^{-2}$$

поступает на первый вход блока

вычисления разности 3, с выхода которого значение

$$\frac{|q(i) - q(i - 1))|(q(i) - q(i - 1))}{L|q(i)| + \varepsilon} \Delta t^{-2} - q(i)$$

поступает на вход блока

формирования функции \tan 9, с выхода которого значение

$$\tan \left[\frac{|q(i) - q(i - 1))|(q(i) - q(i - 1))}{L|q(i)| + \varepsilon} \Delta t^{-2} - q \right]$$

поступает на вход

второй блока формирования умножения 10, с выхода которого значение

$$\lambda^{-1} \tan \left[\frac{|q(i) - q(i - 1))|(q(i) - q(i - 1))}{L|q(i)| + \varepsilon} \Delta t^{-2} - q \right]$$

поступает на

выход устройства; с выхода первого блока хранения констант 11 значение λ^{-1} поступает на вход первый блока 10, с выхода второго блока 11 значение Δt^{-2} поступает на вход второй блока 8, с выхода третьего блока 11 значение ε поступает на вход первый блока формирования суммы 12, с выхода которого значение $L|q(i)|+\varepsilon$ поступает на вход первый блока 7, с выхода четвертого блока 11 значение L поступает на вход первый блока формирования умножения 13, с выхода которого значение $L|q(i)|$ поступает на вход второго блока 12, с выхода блока 1 значение $q(i-1)$ поступает на вход первый блока 4, с выхода блока 2 значение $|q(i)|$ поступает на вход второй блока 13.

Пример. Рассмотрим динамическую систему второго порядка

$$\begin{aligned} \ddot{q} &= Q, \\ t_0 = 0, q_0 &= 1, \dot{q}_0 = 1, \end{aligned} \tag{2}$$

и поставим задачу синтеза управления, обеспечивающего минимум функционалу

$$J = \frac{1}{2} \int_0^t q^2 dt . \tag{3}$$

Оценка эффективности (1) произведена на основе сравнения с решением, которое

определяется выражением

$$Q(i, \lambda, \Delta t, L, \varepsilon) = \lambda^{-1} \operatorname{sign} \left[\frac{|q(i) - q(i-1)|(q(i) - q(i-1))}{L|q(i)| + \varepsilon} \Delta t^{-2} - q(i) \right]. \quad (4)$$

Результаты математического моделирования приведены на фигурах 2, 3 и 4. Видно, что выражение (1) в сравнении с выражением (4) обеспечивает большую скорость сходимости, в этом случае исключается чаттеринг-режим, порождаемый разрывным (релейным) управлением выражения (4), а использование отличной от патента RU №2601143 синтезирующей функции не позволяет управляющему воздействию резко возрастать в терминальной точке фазовой плоскости.

Результаты, приведенные в примере, позволяют сделать заключение о достижении заявленного технического результата.

(57) Формула изобретения

Устройство адаптивного регулирования на основе объединенного принципа максимума, содержащее блоки: блок формирования суммы, первый, второй и третий блоки формирования умножения, блок хранения констант, блок вычисления отношения

$$\frac{|q(i) - q(i-1)|(q(i) - q(i-1))}{L|q(i)| + \varepsilon}, \text{ где } q(i) - \text{ текущее значение переменной}$$

состояния, L - константа, зависящая от формы линии переключения, ε - константа, определяющая сдвиг линии переключения, первый и второй блок формирования модуля, первый и второй блок вычисления разности, отличающееся тем, что в него введен блок формирования линии задержки, который является входом устройства, четвертый блок формирования умножения, выход которого является выходом устройства, блок формирования функции \tan , при этом вход устройства соединен со входом блока формирования линии задержки, входом первого блока формирования модуля, со вторым входом первого блока вычисления разности и вторым входом второго блока вычисления разности, выход которого соединен со вторым входом первого блока формирования умножения и входом второго блока формирования модуля, выход которого соединен с первым входом первого блока формирования умножения, выход которого соединен со вторым входом блока вычисления отношения, выход которого соединен с первым входом второго блока формирования умножения, выход которого соединен с первым входом первого блока вычисления разности, выход которого соединен со входом блока формирования функции \tan , выход которого соединен со вторым входом четвертого блока формирования умножения, выход которого является выходом устройства, первый выход блока хранения констант соединен с первым входом четвертого блока формирования умножения, второй выход блока хранения констант соединен со вторым входом второго блока формирования умножения, третий выход блока хранения констант соединен с первым входом блока формирования суммы, выход которого соединен с первым входом блока вычисления отношения, четвертый выход блока хранения констант соединен с первым входом третьего блока формирования умножения, выход которого соединен со вторым входом блока формирования суммы, выход блока линии задержки соединен с первым входом второго блока вычисления разности, выход первого блока формирования модуля соединен со вторым входом третьего блока

формирования умножения.

5

10

15

20

25

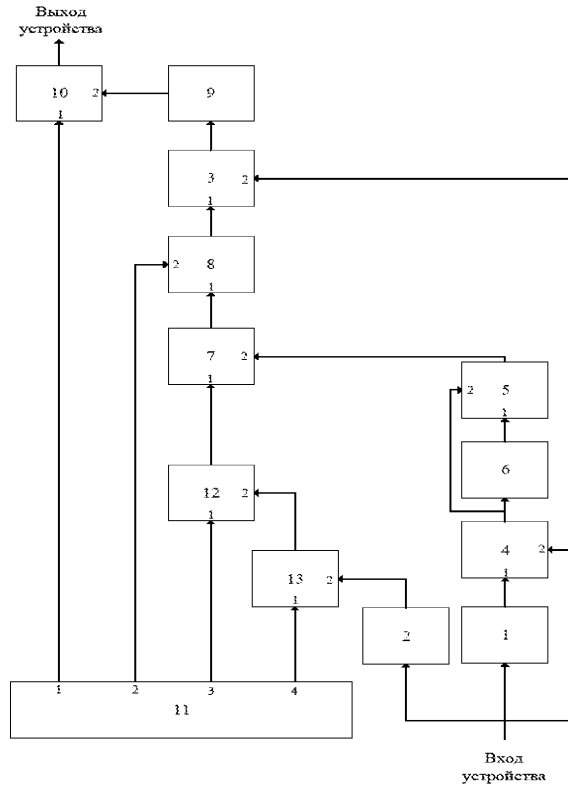
30

35

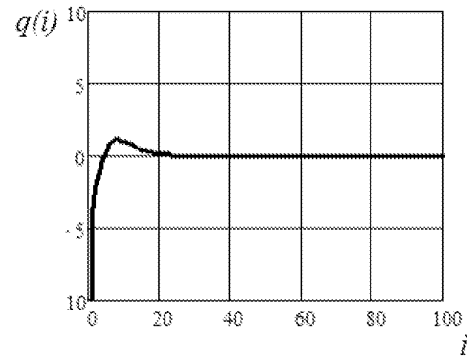
40

45

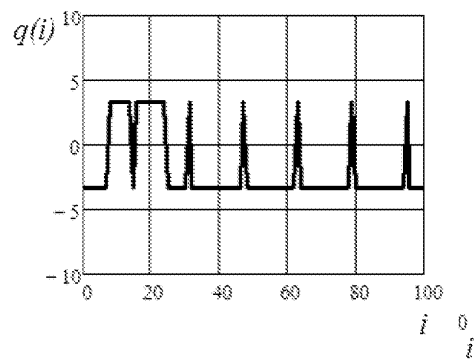
**Устройство адаптивного регулирования на основе
объединённого принципа максимума.**



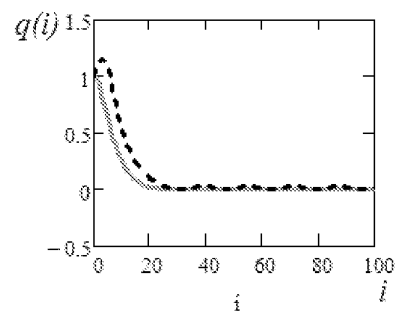
Фиг.1



Фиг. 2 – Динамика (1)



Фиг. 3 – Динамика (4)



Фиг. 4 – Изменение состояния