

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ПО ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ РАБОТАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В.И. Панферов^{1,2}, С.В. Панферов¹, К.С. Халдин³

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

² Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Челябинске, г. Челябинск, Россия,

³ Target Games, центр разработки компьютерных игр, г. Екатеринбург, Россия

Известно, что динамические свойства промышленных объектов по каналам управления обычно существенно меняются при изменении режима их работы. Поэтому показатели качества регулирования с неизменными настройками автоматических регуляторов тоже изменяются, причем, как правило, ухудшаются в процессе работы агрегатов. В связи с этим возникает задача периодической корректировки параметров настройки регуляторов в контурах работающих систем автоматического регулирования (САР). Указанную задачу можно решить только по фактическим динамическим параметрам эксплуатируемого объекта, поэтому в работе рассматривается задача оценки этих параметров, причем по реальным данным работающей замкнутой системы. При этом используется ступенчатое возмущение либо по заданию, либо со стороны регулирующего органа (по нагрузке), также может быть использована опытная реакция системы на возмущение любого вида по указанным каналам. Объект управления описывается дифференциальным уравнением второго порядка с запаздыванием. Критерий параметрической идентификации квадратичный, либо модульный или минимаксный. Задача идентификации решается с помощью программы, реализующей метод покоординатного спуска, получающиеся при этом задачи одномерной минимизации решаются с помощью подпрограммы, использующей метод золотого сечения. Для численного интегрирования уравнения объекта применяли метод Рунге – Кутты с погрешностью, пропорциональной пятой степени шага по времени. В работе проведена апробация разработанных программ параметрической идентификации по экспериментальным переходным характеристикам САР давления в металлургической печи. Указаны численно-аналитические процедуры настройки регуляторов в САР по найденным параметрам объекта управления.

Ключевые слова: автоматический регулятор, качество регулирования, переходная функция, замкнутая система автоматического регулирования, изменчивость характеристик объекта управления, параметрическая идентификация модели, коррекция настроек регулятора.

Постановка задачи

Из литературных и практических данных хорошо известно, что динамические свойства объектов управления по каналам регулирования обычно существенно изменяются при изменении режима их работы, обусловленного, например, изменением характеристик обрабатываемых материалов, темпа производства и т. п. Так, например, в нагревательных и термических печах коэффициент передачи по каналу «расход топлива – температура в зоне» может изменяться в процессе работы печей в несколько раз [1–4]. Изменчивость динамических параметров объектов приводит к тому, что показатели качества регулирования с неизменными настройками автоматических регуляторов тоже изменяются, причем, как правило, ухудшаются в процессе работы. Попытки выявления и использования причинно-следственных связей для отслеживания значений динамических параметров [4, 5] с целью улучшения показателей качества регулирования в целом не решают проблему из-за существенной нестабильности этих взаимосвязей. В этих условиях целесообразно периодически в процессе работы системы автоматического регулирования (САР) определять динамические характеристики каналов регулирования и периодически оптимизировать параметры настройки регуляторов по найденным оценкам этих характеристик. В данной ра-

боте рассматривается решение этой задачи – задачи оценки параметров объекта управления в замкнутом контуре работающей САР и настройки входящего в ее состав регулятора.

Известны различные способы решения задачи настройки регуляторов в контурах работающей системы. При микропроцессорной реализации САР часто используются так называемые экспертные алгоритмы настройки, основанные на использовании реакции работающей системы на ступенчатое воздействие (переходной функции замкнутой системы) [6–8]. При этом применяется либо возмущение по заданию, либо возмущение со стороны регулирующего органа (по нагрузке – возмущающее воздействие $f(t)$ на рис. 1). Последнее воздействие может быть организовано путем подачи по каналу интерфейсной связи контроллера команды перевода контура регулирования в режим ручного управления с последующим быстрым изменением положения регулирующего органа и немедленным возвратом в автоматический режим.

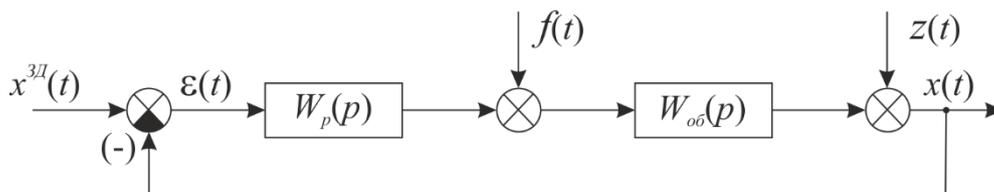


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического регулирования

При этом заметим, что указанное на рис. 1 и часто упоминаемое в литературе возмущающее воздействие $z(t)$ – это так называемое возмущение, приведенное к выходу объекта, в части исследования качества регулирования практически ничего не дает, поскольку передаточные функции САР для этого возмущения по любым каналам отличаются от передаточных функций САР для задающего воздействия только знаком «–». Поэтому в данной работе переходные процессы, обусловленные этим возмущением, не исследуются.

Экспертные алгоритмы настройки имеют ряд недостатков, об этом достаточно подробно указано в работах [9, 10]. В качестве альтернативы предлагается формализованная процедура настройки, основанная на частотном подходе [11–13]. Здесь в замкнутом контуре регулирования возбуждаются автоколебания, амплитуда и частота которых оцениваются алгоритмом автонастройки, а затем используются для настройки регулятора данного контура. Однако частотные методы разработаны в период, когда не существовало возможности прямого решения проблемы оптимизации настройки с помощью компьютерной математической модели САР и численных методов нелинейного программирования. Кроме того, частотная методика является графоаналитической, в ней используется ряд допущений и, как правило, велика трудоемкость применяемых процедур. К тому же точность настройки контуров регулирования такими методами уже нельзя признать удовлетворительной. В настоящее время предпочтительнее использовать формальные компьютерные алгоритмы параметрической настройки, разработанные на основе достаточно точных математических моделей САР и численных методов оптимизации [14]. Вопросы достижения требуемой точности настройки и уменьшения объема необходимых графических построений и сопутствующих им «ручных» вычислений при этом автоматически снимаются.

Решение задачи параметрической идентификации

Расчет параметров настройки регулятора должен начинаться с определения динамических характеристик объекта управления, поэтому в любом случае сначала рассматривается эта задача. Причем особенность этой задачи в данном случае заключается в том, что динамические свойства объекта управления необходимо определить по тому, как изменяется выходная величина САР при отработке внесенного возмущения либо по заданию, либо по нагрузке, т. е. по реакции работающей САР [15]. Подобные задачи идентификации в замкнутом контуре регулирования в процессе нормального функционирования системы рассматривались, например, в работах [15–18].

Известно, что динамические свойства большого числа объектов управления могут быть представлены с помощью математической модели следующей структуры:

$$a_0 \frac{d^2 x}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} + x(t) = k_{об} U(t - \tau), \quad (1)$$

где $x(t)$ – управляемая координата; $U(t)$ – управляющее воздействие; t – время; τ – время запаздывания; $k_{об}$ – коэффициент передачи объекта; a_0 и a_1 – коэффициенты дифференциального уравнения.

В работе [14] задача параметрической идентификации модели (1) решается по экспериментальным кривым разгона объектов управления. В данном же случае эту задачу следует решить, используя переходную функцию работающей САР. Поэтому для отыскания динамических параметров объекта управления нужно использовать математическую модель всего контура регулирования, а не только уравнение (1). Дополним уравнение (1) математической моделью ПИ-регулятора, при этом будем считать, что она имеет вид:

$$U(t) = k_p \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t \varepsilon(t) dt \right], \quad (2)$$

где $\varepsilon(t)$ – рассогласование; k_p , T_I – соответственно коэффициент передачи и время интегрирования регулятора. Здесь рассогласование $\varepsilon(t)$ вычисляется звеном сравнения системы стандартным образом, т. е. по формуле $\varepsilon(t) = x^{3Д}(t) - x(t)$, где $x^{3Д}(t)$ – заданное значение регулируемого технологического параметра. Возмущения по заданию и по нагрузке в модели контура регулирования (1)–(2) также реализуются известным образом [1–3].

Известно, что дифференциальное уравнение (1) описывает динамические свойства конкретного объекта управления с необходимой точностью только в том случае, если удовлетворительно определены коэффициенты a_0 , a_1 , $k_{об}$ и время запаздывания τ . Рассмотрим решение этой задачи на основе современных достижений теории идентификации [19, 20].

Пусть известна экспериментальная переходная функция САР, информация, содержащаяся в данной переходной функции, и структуру математической модели контура регулирования, представленную уравнениями (1) и (2), будем считать исходными данными для решения задачи идентификации динамических свойств объекта управления. В принципе вместо экспериментальной переходной функции может быть использована опытная реакция САР на любое возмущение как по заданию, так и со стороны регулирующего органа. Задачу идентификации сформулируем следующим образом: требуется найти такие значения коэффициентов a_0 , a_1 , $k_{об}$ и времени запаздывания τ , при которых критерий идентификации

$$I(a_0, a_1, k_{об}, \tau) = \sum_1^n [x^э(t_i) - x(t_i)]^2 \quad (3)$$

будет принимать минимальное значение. Здесь $x^э(t_i)$ – экспериментальное значение выхода объекта или, что то же самое, экспериментальное значение переходной функции САР; $x(t_i)$ – расчетное значение, определяемое по модели системы (1)–(2) для данного типа возмущающего воздействия; t_i – используемые при настройке моменты времени; n – число экспериментальных точек.

Данную задачу идентификации решали с помощью программы, реализующей метод покоординатного спуска, получающиеся при этом задачи одномерной минимизации решали с помощью подпрограммы, использующей метод золотого сечения. При этом для вычисления текущих значений критерия (3) в процессе поиска оптимальных параметров уравнения (1) использовали разработанные в [14] компьютерные алгоритмы расчета переходных процессов в САР при возмущении по заданию или при возмущении по нагрузке. Причем для численного интегрирования уравнение (1) применяли метод Рунге – Кутты с погрешностью, пропорциональной пятой степени шага по времени. Для этого дифференциальное уравнение (1) предварительно записывали в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка, т. е. в нормальной форме Коши. В связи с необходимостью обеспечения заданной точности расчета программа построена так, что между экспериментальными точками по времени укладывается целое число расчетных шагов.

Уравнение (2) для компьютерного использования представляли в дискретной форме, при вычислении интеграла применяли метод трапеций. С целью сокращения объема необходимых вычислений использовали рекуррентную форму дискретного представления уравнения (2), приведенную в работе [21]:

$$U(k) = U(k-1) + q_0 \cdot \varepsilon(k) + q_1 \cdot \varepsilon(k-1), \quad (4)$$

где k – номер расчетного шага по времени, $q_0 = k_p [1 + h / (2T_{И})]$, $q_1 = k_p [h / (2T_{И}) - 1]$, h – величина расчетного шага по времени.

При тестировании разработанных программ получили вполне приемлемые результаты. Для примера на рис. 2 приведена экспериментальная переходная характеристика САР давления в металлургической печи при возмущении по заданию. В этой системе настройки ПИ-регулятора были равны: $k_p = 1,256$ % хода ИМ/Па, $T_{И} = 3,436$ с. В результате решения задачи идентификации по данным этой кривой были получены следующие значения параметров дифференциального уравнения (1): $a_0 = 1,709$ с², $a_1 = 1,404$ с, $\tau = 1,200$ с, $k_{об} = 0,906$ Па /% хода ИМ. Расчет по модели (1)–(2) при данных значениях параметров регулятора и объекта управления показал, что среднеквадратическое отклонение расчетной переходной характеристики контура регулирования от экспериментальной кривой $\sqrt{I/n}$ составило 0,012 Па, что вполне приемлемо.

На рис. 3 приведена экспериментальная переходная характеристика той же САР, только при возмущении по нагрузке. По данным этой кривой были получены следующие значения параметров дифференциального уравнения (1): $a_0 = 1,564$ с², $a_1 = 1,680$ с, $\tau = 1,200$ с, $k_{об} = 0,906$ Па /% хода ИМ. Расчет по модели (1)–(2) при данных значениях параметров показал, что среднеквадратическое отклонение расчетной переходной характеристики контура регулирования от экспериментальной кривой $\sqrt{I/n}$ составило 0,010 Па, что вполне приемлемо. Различие найденных численных значений динамических параметров объекта также можно считать вполне удовлетворительным.

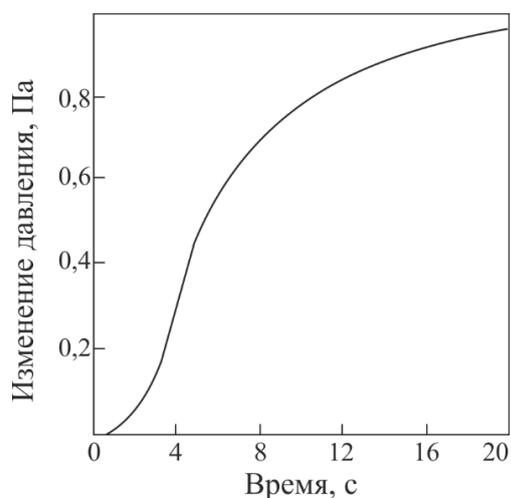


Рис. 2. Экспериментальная переходная характеристика САР давления в металлургической печи при возмущении по заданию

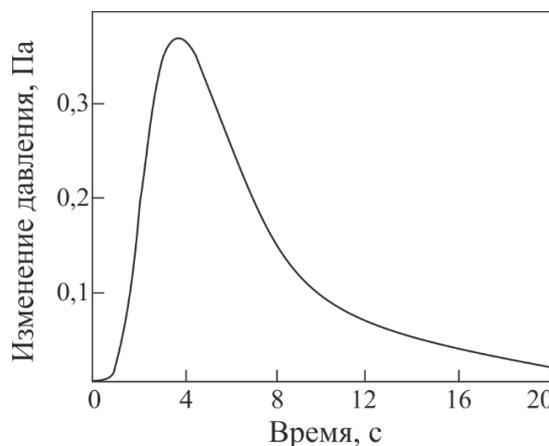


Рис. 3. Экспериментальная переходная характеристика САР давления в металлургической печи при возмущении по нагрузке

Следует заметить, что разработанная процедура настройки достаточно просто модифицируется для случая, когда вместо критерия (3) требуется минимизировать сумму модулей разностей расчетных и экспериментальных значений выходной координаты САР:

$$I(a_0, a_1, k_{об}, \tau) = \sum_1^n |x^{\mathcal{D}}(t_i) - x(t_i)|, \quad (5)$$

а также для случая минимаксной задачи: это когда требуется минимизировать максимальное отклонение расчетных значений от экспериментальных данных:

$$I(a_0, a_1, k_{об}, \tau) \Rightarrow \min_{a_0, a_1, k_{об}, \tau} \max_i |x^{\mathcal{D}}(t_i) - x(t_i)|. \quad (6)$$

Как известно, оценки параметров, найденные посредством минимизации критерия (3), являются наиболее правдоподобными с точки зрения нормального закона распределения ошибок,

а для случая критерия (5) – для распределения ошибок по закону Лапласа. Кроме того, вполне понятно, что использование интегральных критериев идентификации потребует незначительных изменений в разработанных программах.

После определения динамических параметров объекта управления задачу отыскания оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора можно решить с помощью компьютерных алгоритмов работы [14] либо по способу работ [22, 23].

Выводы

Рассмотрено решение задачи параметрической идентификации объекта управления по переходной функции работающей САР. Выполнена апробация разработанных программ по экспериментальным переходным характеристикам САР давления в металлургической печи. Указаны процедуры настройки регуляторов по найденным динамическим параметрам объекта. Результаты работы могут быть использованы при создании алгоритмического обеспечения современных многоуровневых АСУ ТП, на нижнем уровне которых применяются микроконтроллерные САР.

Литература

1. Копелович, А.П. *Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов* / А.П. Копелович. – М.: Металлургиздат, 1960. – 190 с.
2. *Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов* / Г.М. Глинков, В.А. Маковский, С.Л. Лотман, М.Р. Шапировский. – М.: Металлургия, 1986. – 300 с.
3. *Основы теории и элементы систем автоматического регулирования* / В.Ю. Каганов, Г.М. Глинков, М.Д. Климовицкий, А.К. Климушкин. – М.: Металлургия, 1987. – 300 с.
4. Климовицкий, М.Д. *Регулирование объектов с переменными параметрами* / М.Д. Климовицкий // *Автоматика и телемеханика*. – 1965. – № 1. – С. 168–172.
5. Захарова, Е.В. *О стабилизации температуры в нагревательных печах периодического действия* / Е.В. Захарова, Е.А. Кочетков, В.К. Курилов // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 1982. – № 2. – С. 155–156.
6. Bristol, E.H. *Pattern recognition: An alternative to parameter identification in adaptive control* / E.H. Bristol // *Automatica*. – 1977. – Vol. 13. – P. 197–202. DOI: 10.1016/0005-1098(77)90046-2
7. Kraus, T.W. *Self-tuning PID controllers uses pattern recognition approach* / T.W. Kraus, T.J. Myron // *Control Engineering*. – June 1984. – P. 106–111.
8. Tachibana, K. *Single Loop Controller with Auto-Tuning System Using the Expert Method* / K. Tachibana, T. Suehito, T. Saito // *Hitachi Review*. – 1987. – Vol. 36, no. 7. – P. 357–362.
9. Ротач, В.Я. *Автоматизированная настройка ПИД-регуляторов – экспертные и формальные методы* / В.Я. Ротач // *Теплоэнергетика*. – 1995. – № 10. – С. 9–16.
10. Мань, Н.В. *Настройка регуляторов по переходной характеристике замкнутой системы с уточненной моделью объекта* / Н.В. Мань // *Теплоэнергетика*. – 1998. – № 7. – С. 55–58.
11. Ротач, В.Я. *Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования* / В.Я. Ротач. – М.: Энергия, 1973. – 300 с.
12. *Автоматизация настройки систем управления* / В.Я. Ротач, В.Ф. Кузицин, А.С. Ключев и др.; под ред. В.Я. Ротача. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 300 с.
13. Ротач, В.Я. *Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами* / В.Я. Ротач. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 300 с.
14. Панферов, В.И. *Численный расчет систем автоматического регулирования* / В.И. Панферов // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 1997. – № 4. – С. 66–68.
15. Панферов, В.И. *Оценка динамических свойств объекта управления по переходной функции замкнутой системы* / В.И. Панферов // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 1999. – № 10. – С. 54–56.
16. Штейнберг, Ш.Е. *Настройка и адаптация автоматических регуляторов. Инструментальный комплект программ* / Ш.Е. Штейнберг, И.Е. Залуцкий, Л.П. Серезжин // *Промышленные АСУ и контроллеры*. – 2003. – № 10. – С. 43–47.
17. Qiwen Yang. *Simultaneous PID self-tuning and control* / Qiwen Yang, Yuncan Xue, Jiao Huang // *Proceedings of the 2004 IEEE International Symposium on Intelligent Control, 2–4 Sept. 2004*. – 2004. – P. 363–367. DOI: 10.1109/ISIC.2004.1387710

18. Ho, H.F. Adaptive PID controller for nonlinear system with H^∞ Physics and Control / H.F. Ho, Y.K. Wong, A.B. Rad // Proc. of International Conference, 20–22 Aug. 2003. – 2003. – Vol. 4. – P. 1315–1319.

19. Растринин, Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растринин. – М.: Сов. радио, 1980. – 300 с.

20. Эйхофф, П. Основы идентификации систем управления: пер. с англ. / П. Эйхофф. – М.: Мир, 1975. – 300 с.

21. Плютто, В.П. Практикум по теории автоматического управления химико-технологическими процессами. Цифровые системы / В.П. Плютто, В.А. Путинцев, В.М. Глумов. – М.: Химия, 1989. – 300 с.

22. Панферов, В.И. Об одном подходе к решению задачи выбора и настройки автоматических регуляторов / В.И. Панферов // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. – 2004. – Вып. 4 (26). – С. 139–144.

23. Панферов, В.И. Выбор и настройка автоматических регуляторов в системах теплоснабжения / В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2005. – Вып. 3, № 13 (53). – С. 81–84.

Панферов Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет; профессор кафедры авиационных комплексов и конструкций летательных аппаратов, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Челябинске, г. Челябинск; tgsiv@mail.ru.

Панферов Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры градостроительства, инженерных сетей и систем, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; panferovsv@susu.ru.

Халдин Константин Сергеевич, канд. техн. наук, программист, Targem Games, центр разработки компьютерных игр, г. Екатеринбург; lar3811@yandex.ru.

Поступила в редакцию 6 апреля 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190305

PARAMETRIC IDENTIFICATION OF THE MODEL OF OBJECT MANAGEMENT BY TRANSITIONAL FUNCTION WORKING SYSTEM AUTOMATIC REGULATION

V.I. Panferov^{1,2}, tgsiv@mail.ru,

S.V. Panferov¹, panferovsv@susu.ru,

K.S. Haldin³, lar3811@yandex.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

² Russian Air Force Military Educational and Scientific Center "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin", Chelyabinsk branch, Chelyabinsk, Russian Federation,

³ Targem Games, Computer Games Development Center, Ekaterinburg, Russian Federation

It is known that the dynamic properties of industrial objects in control channels usually change significantly with a change in their mode of operation. Therefore, the indicators of quality of regulation with constant settings of automatic regulators also change, and, as a rule, they deteriorate during

the operation of the units. In this connection, the problem arises of periodically adjusting the settings of regulators in the circuits of operating automatic control systems (ATS). This problem can be solved only by the actual dynamic parameters of the object being operated, therefore, the work considers the task of estimating these parameters, and according to the actual data of the operating closed system. In this case, a step perturbation is used either on the instructions or on the part of the regulator (on the load), the experienced reaction of the system to disturbances of any kind along the indicated channels can also be used. The control object is described by a second-order differential equation with delay. The parametric identification criterion is quadratic, either modular or minimax. The identification task is solved with the help of a program that implements the method of coordinate descent, the resulting one-dimensional minimization problems are solved with the help of a subroutine using the golden section method. For the numerical integration of the object equation, the Runge-Kutta method was used with an error proportional to the fifth power of the time step. In this paper, we tested the developed programs for parametric identification based on the experimental transient characteristics of ATS pressure in a metallurgical furnace. The numerical-analytical procedures for adjusting the regulators in the SAR by the found parameters of the control object are indicated.

Keywords: automatic controller, quality of regulation, transition function, closed automatic control system, variability of characteristics of the control object, parametric model identification, correction of controller settings.

References

1. Kopelovich A.P. *Inzhenernye metody rascheta pri vybore avtomaticheskikh regulyatorov* [Engineering Methods for Calculating the Choice of Automatic Regulators]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1960. 190 p.
2. Glinkov G.M., Makovskiy V.A., Lotman S.L., M.R. Shapirovskiy M.R. *Proektirovanie sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniya metallurgicheskikh protsessov: uch. posobie* [Designing Control Systems and Automatic Control of Metallurgical Processes: Tutorial]. Moscow, Metallurgy Publ., 1986. 352 p.
3. Kaganov V.Yu., Glinkov G.M., Klimovitsky M.D., Klimushkin A.K. *Osnovy teorii i elementy sistem avtomaticheskogo regulirovaniya* [Fundamentals of the Theory and Elements of Automatic Control Systems]. Moscow, Metallurgy Publ., 1987. 300 p.
4. Klimovitsky M.D. [Regulation of Objects with Variable Parameters]. *Automatics and Telemechanics*, 1965, no. 1, pp. 168–172. (in Russ.)
5. Zakharova E.V., Kochetkov E.A., Kurilov V.K. [About Stabilization of Temperature in Heating Furnaces of Periodic Action]. *News of Higher Education Institutions Ferrous Metallurgy*, 1982, no. 2, pp. 155–156. (in Russ.)
6. Bristol E.H. Pattern Recognition: On Alternative to Parameter Identification in Adaptive Control. *Automatic*, 1977, vol. 13, pp. 197–202. DOI: 10.1016/0005-1098(77)90046-2
7. Kraus T.W., Myron T.J. Self-Tuning PID Controllers Uses Pattern Recognition Approach. *Control Engineering*, June 1984, pp. 106–111.
8. Tachibana K., Suehito T., Saito T. Single Loop Controller with Auto-Tuning System Using the Expert Method. *Hitachi Review*, 1987, vol. 36, no. 7, pp. 357–362.
9. Rotach, V.Ya. [Automated Tuning of PID-regulators – Expert and Formal Methods]. *Thermal Engineering*, 1995, no. 10, pp. 9–16. (in Russ.)
10. Man N.V. [Adjustment of Regulators on the Transient Response of a Closed System with a Refined Object Model]. *Thermal Engineering*, 1998, no. 7, pp. 55–58. (in Russ.)
11. Rotach, V.Ya. *Raschet dinamiki promyshlennykh avtomaticheskikh sistem regulirovaniya* [Calculation of the Dynamics of Industrial Automatic Control Systems]. Moscow, Energy Publ., 1973. 300 p.
12. Rotach V.Ya., Kuzishchin V.F., Klyuev A.S. and others *Avtomatizatsiya nastroyki sistem upravleniya* [Automation of Control System Settings]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1984. 300 p.
13. Rotach V.Ja. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya* [Automatic Control Theory: Textbook for High Schools]. Moscow, Publ. MEI, 2004. 400 p.
14. Panferov V.I. [The Numerical Calculation of Automatic Control Systems]. *News of Higher Education Institutions Ferrous Metallurgy*, 1997, no. 4, pp 26–28. (in Russ.)

15. Panferov V.I. [Estimate of Dynamic Properties of a Control Object on the Transfer Function of the Closed System]. *News of Higher Education Institutions Ferrous Metallurgy*, 1999, no. 10, pp. 54–56. (in Russ.)
16. Steinberg Sh. E., Zalutsky I. E., Seregin L. P. [Setting and Adaptation of Automatic Controllers. Tool Set of Programs]. *Industrial Control Information System and Controllers*, 2003, no. 10, pp. 43–47. (in Russ.)
17. Qiwen Yang, Yuncan Xue, Jiao Huang. Simultaneous PID Self-Tuning and Control. *Proc. of the 2004 IEEE International Symposium on Intelligent Control*, 2–4 Sept. 2004, pp. 363–367. DOI: 10.1109/ISIC.2004.1387710
18. Ho H.F., Wong Y.K., Rad A.B. Adaptive PID Controller for Nonlinear System with H^∞ Physics and Control. *Proc. of International Conference*, 20–22 Aug. 2003, vol. 4, pp. 1315–1319.
19. Rastrigin L.A. *Sovremennyye printsipy upravleniya slozhnymi ob'yektami* [Modern Principles of Control of Complex Objects]. Moscow, Sov. Radio Publ., 1980. 300 p.
20. Eykhhoff P. *Osnovy identifikatsii sistem upravleniya*. [Fundamentals of Identification of Control Systems]. Moscow, Mir Publ., 1975. 300 p.
21. Plutto V.P., Putintsev V.A., Glumov V.M. *Praktikum po teorii avtomaticheskogo upravleniya khimiko-tekhnologicheskimi protsessami. Tsifrovyye sistemy* [Workshop on the Theory of Automatic Control of Chemical-Technological Processes. Digital Systems]. Moscow, Chemistry Publ., 1989. 300 p.
22. Panferov V.I. [On One Approach to Solving the Problem of Choosing and Setting Automatic Regulators]. *Proceedings of the Chelyabinsk Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2004, no. 04 (26), pp. 139–144. (in Russ.)
23. Panferov V.I. [Selection and Adjustment of Automatic Regulators in Heating Systems]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Construction and Architecture*, 2005, vol. 3, no. 13 (53), pp. 81–84. (in Russ.)

Received 6 April 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Панферов, В.И. Параметрическая идентификация модели объекта управления по переходной функции работающей системы автоматического регулирования / В.И. Панферов, С.В. Панферов, К.С. Халдин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 52–59. DOI: 10.14529/ctcr190305

FOR CITATION

Panferov V.I., Panferov S.V., Haldin K.S. Parametric Identification of the Model of Object Management by Transitional Function Working System Automatic Regulation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 52–59. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190305
