

Основными преимуществами данного подхода в реализации этой системы являются:

1. Доступность – отсутствует необходимость в приобретении ПО и аппаратного обеспечения соответствующей мощности.

2. Масштабируемость – вне зависимости от сложности моделируемой схемы, будет выделено необходимое количество ресурсов (при условии размещения в облачном хостинге).

3. Оперативность – возможность выполнения моделирования в любой момент.

Библиографический список

1. Богданов К. В., Ловчиков А. Н. Построение EDA-системы на основе синхронизированных параллельных процессов // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 4 (25). Красноярск. С. 58–61.

2. Богданов К. В., Ловчиков А. Н. Архитектура EDA-системы на основе конкурирующих параллельных процессов // Известия вузов: Приборостроение. 2011. № 4. С. 63–67.

3. Хайнеман Р. PSPICE. Моделирование работы электронных схем. М.: ДМК Пресс, 2005.

4. Риз Д., Облачные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2011.

5. Чезарини Ф., Томпсон С. Программирование в Erlang. 2012.

6. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.

7. Численные методы, параллельные вычисления и информационные технологии: сб. научн. тр. / под ред. В. В. Воеводина, Е. Е. Тыртышников. М.: Изд-во Москов. ун-та, 2008.

References

1. Bogdanov K. V., Lovchikov A. N. Vestnik SibGAU. 2009, № 4(25), p. 58–61.

2. Bogdanov K. V., Lovchikov A. N. Izvestiya vuzov: Priborostroyeniye. 2011, № 4, p. 63–67.

3. Hineman R. PSPICE. Electronically schemes modeling. DMK. Moscow, 2005, 336p.

4. Riz D. Cloud computing. BHV, St-Petersburg, 2011, 288 p.

5. Chezarini F., Thompson S. Erlang programming. 2012, 488 p.

6. Norenkov I. P. CAD basics // MGTU, Moscow, 2002, 336 p.

7. Numerical methods, parallel computing and information technologies: scientific works compilation. Under redaction V. Voevodin, E. Tyrtysnikov, MGU, Moscow, 2008, 320 p.

© Богданов К. В., Ловчиков А. Н., 2013

УДК 681.5:517.551

К ВОПРОСУ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ*

А. В. Большевичус¹, И. В. Ковалев², В. В. Лосев¹

¹Сибирский государственный технологический университет

Россия, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 82. E-mail: bolsavichus@gmail.com

²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

Россия, 660014, г. Красноярск, просп. имени газеты «Красноярский рабочий», 31

E-mail: rector@sibsau.ru

Предложен подход к построению динамической модели объекта системы автоматического регулирования путем идентификации функции объекта и анализа его нелинейных характеристик, с последующим изучением численных характеристик полученных случайных величин. Применены прикладные программные средства, обеспечивающие автоматизацию задач исследования на основе достоверных методов (Гаусса-Ньютона). В итоге обеспечена возможность оценки степени достоверности используемой передаточной функции в задаче функциональной аппроксимации нелинейных характеристик объекта, а также получены количественные значения показателя проявления статической характеристики из временного ряда полной продолжительности.

Ключевые слова: технологический процесс, объект, передаточная функция, случайная величина, математическое ожидание, аппроксимация.

*При поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания, проект № 8.5534.2011 «Модели, методы и алгоритмы синтеза и управления развитием отказоустойчивых программных архитектур распределенных информационно-телекоммуникационных систем».

TO THE QUESTION OF THE FUNCTIONAL APPROXIMATION OF NONLINEAR CHARACTERISTICS OF THE OBJECTS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF THE CONTINUOUS TECHNOLOGICAL PROCESSES

A. V. Bolsavichus¹, I. V. Kovalev², V. V. Losev³

¹Siberian State Technological University
82 Mira prosp., Krasnoyarsk, 660049, Russia. E-mail: bolsavichus@gmail.com
²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31 “Krasnoyarskiy Rabochiy” prosp., Krasnoyarsk, 660014, Russia
E-mail: rector@sibsau.ru

The authors suggest an approach to the dynamic model of an object of automatic control system by identification of the object function and analysis of its nonlinear characteristics with the following study of the numerical characteristics of the obtained random values. The applied software tools provide for automation of the tasks for research on the basis of reliable methods (of Gauss-Newton). As a result it is possible to assess the reliability extend of the used transfer function at the task of the functional approximation for nonlinear characteristics of the object and to obtain quantitative values of the indicator that displays static characteristic from the time series of the full duration.

Keywords: technological process, object, transfer function, random values, expected value, approximation.

В условиях непрерывного технологического процесса (ТП) сложных динамических систем, режимы работы которых сопряжены с постоянным изменением регулируемых параметров, не представляется возможным получить экспериментально статическую характеристику объекта системы автоматического регулирования (САР). Однако задача повышения качества регулирования, улучшения характеристик переходных процессов, в том числе уменьшения перерегулирования, и в целом, снижения избыточного энергопотребления на собственные нужды, требует построения динамической модели, способной отразить вполне достоверно технологический объект управления. Наличие априорной информации, в настоящем случае входных и выходных нелинейных характеристик объекта, позволяет ускорить процесс идентификации объекта, точнее, получение его абстракции, выраженной передаточной функцией, с высокой степенью достоверности. Обращаясь к прикладным программным средствам, в частности, System Identification Toolbox пакета Matlab [1], проанализируем имеющуюся априорную информацию для объекта (рис. 1), выполняющего функцию поверхностного теплообмена.

Априорная информация представлена как входной характеристикой объекта – изменение температуры теплового агента подающего трубопровода (C^0) по времени, так и выходной характеристикой – изменение температуры теплового агента обратного трубопровода (C^0) по времени. Продолжительность временного ряда 502 200 секунд.

Анализ временных рядов основан на чередовании передаточных функций с переменным количеством полюсов и последующим отысканием оптимальных значений коэффициентов преобразования K_p и постоянной времени T_p ; методом Гаусса-Ньютона, итерационным численным методом нахождения решения задачи наименьших квадратов [2], средствами System

Identification Toolbox, при которых апостериорная выходная характеристика максимально будет приближена к априорной выходной характеристике посредством метода функциональной аппроксимации [3; 4].

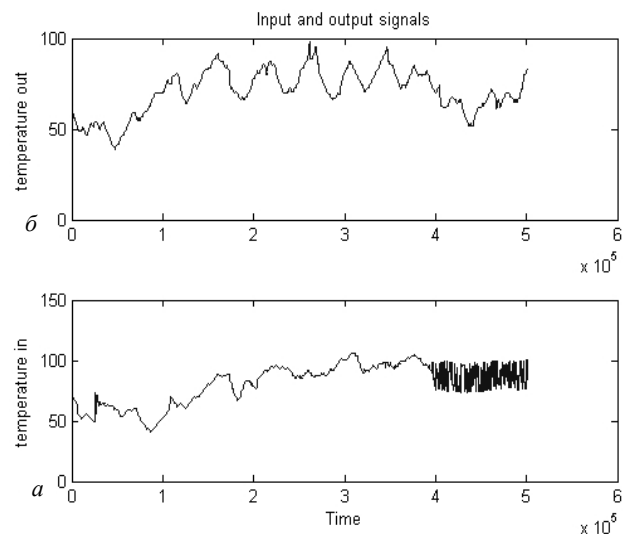


Рис. 1. Нелинейные характеристики объекта:
а – входная; б – выходная

Анализ временных рядов полной продолжительности при чередовании передаточных функций с переменным количеством полюсов показал, что с увеличением количества полюсов передаточной функции степень достоверности кривых – F возрастает (рис. 2), однако достигнутый максимум составляет $F = 36,04 \%$ (табл. 1).

Исходные знания об объекте позволяют судить о том, что процесс поверхностного теплообмена весьма инерционный по своей природе, следовательно, переходный процесс из одного устойчивого состояния в другое, в рамках статической характеристики, также

является продолжительным по времени. Таким образом, задача повышения степени достоверности кривых основана на выделении статической характеристики из временного ряда полной продолжительности.

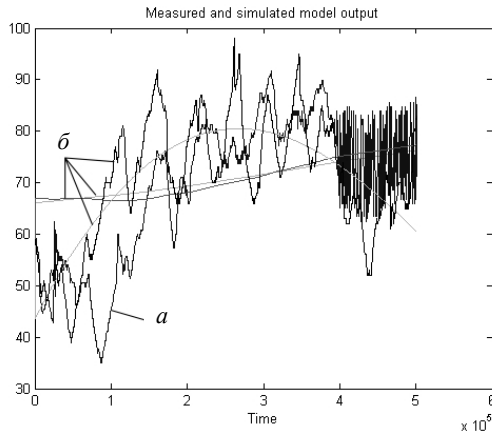


Рис. 2. Выходные характеристики объекта: *a* – исходная (априорная); *b* – апостериорные

Не принимая во внимание конструктивные особенности объекта, значение температуры наружного воздуха и температуры внутри помещения, проведем исследование участков временных рядов с переменным количеством точек опроса путем разделения и последующего анализа исходных временных рядов полной продолжительности. Данный подход также позволит проанализировать численные характеристики полученных случайных величин при условии достаточного количества участков временных рядов.

Первым шагом является выделение трех участков ($N = 3$) из исходных временных рядов полной продолжительности. Введем понятие условной вероятности P_i – вес определенной структуры передаточной функции в решении задачи аппроксимации кривых – N участков временных рядов, где i – количество полюсов передаточной функции. Полученные результаты (табл. 2), в том числе условная вероятность $P_1 = 0,67$ и $P_3 = 0,33$, не позволяют сделать однозначный

вывод о функциональной зависимости между такими параметрами как N , P_i и F , а также о характере закономерности между P_i и F при переменном N . Отметим, что при $N = 3$, передаточной функции меньшего веса (P_3) соответствует большая степень достоверности кривых $F = 65,28 \%$. Для получения ответов на поставленные вопросы продолжим анализ участков временных рядов полной продолжительности при $N = 10, 20, 40$. По мере увеличения количества участков ($N = 10, 20, 40$) при разделении исходных временных рядов полной продолжительности и их последующего анализа получены следующие результаты – табл. 3–5, а также численные характеристики степени достоверности F , как дискретной случайной величины.

Настоящие результаты позволяют наблюдать проявление следующей закономерности: в задаче аппроксимации участков кривых превалирует вес передаточной функции с большим количеством полюсов и по мере увеличения количества участков ($N = 10, 20, 40$) степень достоверности кривых возрастает. При этом характер данной закономерности в рамках настоящего исследования не определен, однако полученные характеристики могут быть представлены в следующей функциональной зависимости:

$$M_N(F) = \sum_{j=1}^i F_j \cdot P_j, \quad (1)$$

Выражение (1) есть математическое ожидание [5] степени достоверности F в решении задачи аппроксимации участков N посредством передаточных функций с различным количеством полюсов i и условными вероятностями P_i .

Интересным результатом в ходе анализа временных рядов является передаточная функция (2) с количеством полюсов $i = 3$, степенью достоверности $F = 92,59 \%$ и математическим ожиданием $M_N(F) = 73,74\%$:

$$G(s) = \frac{132,85}{(1 + 5085,5*s)(1 + 2822,1*s) \times (1 + 1.8351 \cdot e \cdot 7*s)} \quad (2)$$

Таблица 1

Результаты анализа временных рядов полной продолжительности ($N = 1$)

Кол-во точек опроса	Кол-во полюсов функции, i	Степень достоверности F , %	Вид передаточной функции	Коэффициент преобразования (Kp), постоянная времени (Tr_i)
1000	0	0,8487	$G(s) = Kp$	$Kp = 0.85645$
	1	3,326	$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp_1 * s}$	$Kp = 9.7479 \cdot 10^5$ $Tp_1 = 3.8744 \cdot 10^{12}$
	2	-0,7483	$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)}$	$Kp = 1.1288$ $Tp_1 = 9.9328$ $Tp_2 = 0.001$
	3	36,04	$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)(1 + Tp_3 * s)}$	$Kp = -1.6904 \cdot 10^6$ $Tp_1 = 5.162 \cdot 10^{11}$ $Tp_2 = 3.3646 \cdot 10^5$ $Tp_3 = 0.0072673$

Результаты анализа временных рядов с выделением трех участков ($N = 3$)

Номер участка, n	Кол-во полюсов функции, i	Степень достоверности F , %	Вид передаточной функции	Коэффициент преобразования (Kp), постоянная времени (Tpi)
1	0	15,62	$G(s) = Kp$	$Kp = 1.0143$
	1	53,94	$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp_1 * s}$	$Kp = 2.9232 \cdot 10^9$ $Tp_1 = 6.7123 \cdot 10^{14}$
	2	64,19	$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)}$	$Kp = 1.3771 \cdot 10^7$ $Tp_1 = 2.2671 \cdot 10^{12}$ $Tp_2 = 20874$
	3	65,28	$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)(1 + Tp_3 * s)}$	$Kp = 1.6958$ $Tp_1 = 415.23$ $Tp_2 = 48912$ $Tp_3 = 48877$
2	0	-17,4	$G(s) = Kp$	$Kp = 0.85647$
	1	0,2478	$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp_1 * s}$	$Kp = 3755.5$ $Tp_1 = 3.2386 \cdot 10^{10}$
	2	-16,75	$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)}$	$Kp = 0.85558$ $Tp_1 = 133.83$ $Tp_2 = 133.86$
	3	-16,16	$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)(1 + Tp_3 * s)}$	$Kp = 0.85515$ $Tp_1 = 0.001$ $Tp_2 = 724.31$ $Tp_3 = 0.001$
3	0	11,24	$G(s) = Kp$	$Kp = 0.78145$
	1	39,89	$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp_1 * s}$	$Kp = 0.75835$ $Tp_1 = 13616$
	2	39,26	$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)}$	$Kp = 0.7676$ $Tp_1 = 0.001$ $Tp_2 = 8885.3$
	3	29,98	$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)(1 + Tp_3 * s)}$	$Kp = 0.71991$ $Tp_1 = 1588$ $Tp_2 = 39273$ $Tp_3 = 39268$

Результаты анализа временных рядов с выделением 10 участков ($N = 10$), количеством точек опроса – 100

Кол-во полюсов функции, i	Условная вероятность, P_i	Степень достоверности F , % (среднее)	Математическое ожидание $M_N(F)$, %	Вид передаточной функции
0	0,1	-6,745	37,09	$G(s) = Kp$
1	0	0		$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp_1 * s}$
2	0,1	29,09		$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)}$
3	0,8	43,57		$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)(1 + Tp_3 * s)}$

Таблица 4

Результаты анализа временных рядов с выделением 20 участков ($N = 20$), количеством точек опроса – 50

Кол-во полюсов функции, i	Условная вероятность, P_i	Степень достоверности F , % (среднее)	Математическое ожидание $M_N(F)$, %	Вид передаточной функции
0	0	0	60,37	$G(s) = Kp$
1	0,1	68,17		$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp_1 * s}$
2	0,4	52,74		$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)}$
3	0,5	64,9		$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)(1 + Tp_3 * s)}$

Таблица 5

Результаты анализа временных рядов с выделением 40 участков ($N = 40$), количеством точек опроса – 25

Кол-во полюсов функции, i	Условная вероятность, P_i	Степень достоверности F , % (среднее)	Математическое ожидание $M_N(F)$, %	Вид передаточной функции
0	0	0	73,74	$G(s) = Kp$
1	0,05	67,84		$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp_1 * s}$
2	0,225	77,88		$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)}$
3	0,725	72,87		$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp_1 * s)(1 + Tp_2 * s)(1 + Tp_3 * s)}$

Полученное выражение (2) с максимальной степенью достоверности определяет функцию поверхностного теплообмена на одном из $N = 40$ участков ($n = 32$) и не позволяет описать прочие 39 участков с подобной достоверностью, однако, условная вероятность, для данного типа передаточной функции – P_3 составляет 0,725, что говорит о максимальном весе передаточной функции данного типа в решении задачи аппроксимации кривых N участков.

Таким образом, повысить степень достоверности кривых можно, выполнив следующие шаги:

– выделение участков временных рядов с переменным количеством точек опроса;

– анализ участков временных рядов, чередованием передаточных функций, с переменным количеством полюсов i и последующим отысканием оптимальных значений коэффициентов преобразования Kp и постоянной времени Tp_i методом Гаусса-Ньютона;

– получение и последующий анализ численных характеристик степени достоверности F .

Допустимо предположить, что итоговым результатом данного подхода является величина математического ожидания степени достоверности – $M_N(F)$, физический смысл которой, в рамках настоящего исследования, может быть интерпретирован в виде показателя проявления статической характеристики из временного ряда полной продолжительности, выраженной в процентном отношении, в решении задачи аппроксимации кривых чередованием четырех передаточных функций при переменном N .

Результаты, полученные в рамках настоящего исследования, а именно методологические аспекты идентификации объекта САР в условиях непрерывного ТП, могут быть применены в качестве одного из подходов при оценке степени достоверности передаточной функции в решении задачи аппроксимации кривых.

Библиографические ссылки

1. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. М. : СОЛОН-Пресс, 2005.
2. Ермаков С. М. Математическая теория планирования эксперимента. М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983.
3. Павлов В. Н. Межотраслевые системы: математические модели и методы. Новосибирск : Наука. Сибирские отделение, 1986.
4. Шишмарев В. Ю. Основы автоматического управления : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М. : Академия, 2008.
5. Ивановский Р. И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. СПб. : БХВ-Петербург, 2008.

References

1. D'yakonov V. P. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 v matematike i modelirovanii (in mathematics and modeling). Moscow, SOLON-Publ., 2005 – 576 p.

2. Ermakov S. M. *Matematicheskaya teoriya planirovaniya eksperimenta* (The mathematical theory of experiment planning). Moscow, Nauka, GRFML, 1983, 392 p.

3. Pavlov V. N. *Mezhotraslevye sistemy: matematicheskie modeli i metody* (Cross-industry systems: mathematical models and methods.). Novosibirsk: Nauka, SO, 1986, 218 p.

4. Shishmarev V. Yu. *Osnovy avtomaticheskogo upravleniya: uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh*

uchebnykh zavedeniy (Fundamentals of automatic control: a textbook for university students). Moscow. Akademiya Publ, 2008, 352 p.

5. Ivanovskiy R. I. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika. Osnovy, prikladnye aspekty s primerami i zadachami v srede Mathcad* (Probability theory and mathematical statistics. Fundamentals, applications with examples and problems in Mathcad). Saint Petersburg: BHV-Petersburg Publ., 2008, 528 p.

© Больсевичус А. В., Ковалев И. В., Лосев В. В., 2013

УДК 520.2

НОВЫЕ СВЕТОСИЛЬНЫЕ ОБЪЕКТИВЫ – АПОХРОМАТЫ ДЛЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С. А. Веселков, Е. Г. Лапухин

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, г. Красноярск, просп. имени газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: slovotk@mail.ru, pulsar1963@yandex.ru

Отечественная стекловаренная промышленность добилась значительных успехов в деле разработки новых оптических материалов, в частности особых стекол с малой дисперсией. Именно благодаря таким материалам снова проявился интерес к линзовым оптическим системам со значительно уменьшенным вторичным спектром – так называемым апохроматам. Используя специальную оптимизирующую программу расчета хода лучей, авторы численными методами исследовали значительное количество вариантов объективов – апохроматов, которые могут использоваться в астрономических исследованиях. Рассчитано несколько новых перспективных объективов – апохроматов с исправленным вторичным спектром из особых стекол, что позволило поднять светосилу и качество исправления аберраций.

Ключевые слова: оптическая система, абберационный расчет, астрономические наблюдения.

NEW APERTURE LENS AS APOCHROMATS FOR ASTRONOMICAL RESEARCH

S. A. Veselkov, E. G. Lapukhin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31 “Krasnoyarskiy Rabochiy” prosp., Krasnoyarsk, 660014, Russia.
E-mail: slovotk@mail.ru, pulsar1963@yandex.ru

The domestic glass melting industry has made significant progress in the development of new optical materials, in particular the special low-dispersion glass. Thanks to these materials, we can observe the increased interest to the optical lens system with significantly reduced secondary spectrum, the so-called apochromats. Using a special optimization program of ray-tracing, the authors investigated a numerically significant number of lens options – apochromats that can be used in astronomical research. The authors calculated several promising new lenses – apochromats with the corrected secondary spectrum of special glasses that allowed to increase the aperture ratio and the quality of correction of aberrations.

Keywords: optical system, aberration calculation, astronomical observations.

Построенные в 18–19 вв. астрономические рефракторы, которые изготавливались из двух марок обычного оптического стекла (крон и флинт), обладают значительным вторичным спектром. В начале двадцатого века, после работ Аббе, на заводе Шотта появились новые марки стекол под названием «курц-

флинты» с помощью которых можно строить рефракторы с укороченным вторичным спектром [1].

Лыткаринский Завод Оптического Стекла разработал и выпускает новые стекла марок ОФ6 (особый флинт) и ОК4 (особый крон, по своим дисперсионным свойствам напоминает кристаллы флюорита). Именно