PROBLEMY INŻYNIERII ROLNICZEJ 2016 (I–III): z. 1 (91)
PROBLEMS OF AGRICULTURAL ENGINEERING s. 41–52

Wersja pdf: www.itp.edu.pl/wydawnictwo/pir/ ISSN 1231-0093

Wpłynęło 07.01.2016 r.
Zrecenzowano 01.02.2016 r.
Zaakceptowano 02.02.2016 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Исследование устойчивости нелинейных объектов

Irina V. AKINSHEVA [1) ABDF], ***Irina D. IVANOVA*** [1) ABD]
Edmund KAMIŃSKI [2) EF]

[1)] *Могилевский государственный университет продовольствия, пр. Шмидта 3, 212-027 Могилев, Беларусь; тел. 00375-222-48-56-76; моб. 00375-296-816-177; e-mail: irynasunny2101@gmail.com*
[2)] *Институт технологических и естественных наук, Фаленты, Польша*

Do cytowania For citation: Akinsheva V. I., Ivanova D. I., Kamiński E. 2016. Исследование устойчивости нелинейных объектов. Problemy Inżynierii Rolniczej. Z. 1 (91) s. 41–52.

Резюме

Целью исследований было определение условии устойчивости нелинейных обектов управления процессом. В работе подробно описывается механизм моделирования и идентификации существенно нелинейных динамических характеристик объекта, а также оптимизация полученной математической модели на основе составленного интегрального квадратичного критерия качества, целью которой является определение оптимальных значений управляющих переменных. Обьект имеет две входные переменные $y_0(t)$, $g_0(t)$; две выходные $y_1(t)$, $g_1(t)$ и две управляющие переменные $u_1(t)$, $u_2(t)$. Также описан процесс аппроксимации значений управляющих переменных рядами Фурье и вывода условий, при использовании которых можно определить границы устойчивости рассматриваемого объекта. Аппроксымацию выходных переменных проводились с использованием ряда Вольтера. Для определения области устойчивости был использован критерий устойчивости систем по Ляпунову. Был описан механизм определения функции Ляпунова, область определения которой и является областью устойчивости исследуемого объекта управления.

Ключевые слова: устойчивость, управление процессом, методы идентификации, критерия качества

Введение

В настоящее время ввиду возрастающей сложности технологических процессов, увеличилась и сложность решаемых задач управления [ALEKSANDROVICH 2003; AFONIN 2005]. Динамические характеристики объектов управления при этом носят существенно нелинейный характер [DILIGENSKAYA 2009]. Одним из наиболее распространенных методов идентификации динамических характеристик является построение модели, адаптированной по отношению к характеристикам реального объекта управления [PUNKOV, EGUPOV 2004a, б, в]. Другими словами замкнутый метод идентификации, характеризующийся проверкой адекватности получаемой модели.

Существенные затруднения, возникающие при решении этой задачи, вызваны большим разнообразием типов нелинейных объектов. Поэтому весьма затруднительно найти общий подход, охватывающий все практически важные виды нелинейных объектов. Широкое применение к задачам определения динамических характеристик получили методы статистической линеаризации в их различных модификациях.

Эффективным для целей построения самонастраивающихся моделей представляется использование адекватного разложению Винера интегрального ряда Вольтерра. В настоящей работе рассмотрена методика построения самонастраивающихся моделей, основанная на синтезе ядер Вольтерра [MAAS 2000] по статистическим данным режима эксплуатации объекта управления.

Оптимизация нелинейных объектов необходима для определения оптимальных управляющих воздействий, благодаря поддержанию которых на заданном уровне характеристики готовой продукции будут удовлетворять существующим требованиям к качеству.

Наиболее распространены методы оптимизации, основанные на минимизации интегральных критериев качества, представляющих собой функции входных, выходных переменных, а также управляющих воздействий.

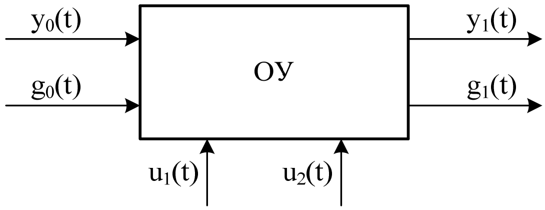
Таким образом, целью работы является определение условий устойчивости существенно нелинейного объекта. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:
- построить математическую модель объекта, описывающую с достаточной для промышленной эксплуатации степенью точности динамические характеристики объекта управления;
- определить структуру критерия качества идентификации динамических характеристик, в процессе минимизации которого получить выражения для оптимальных значений управляющих переменных;
- на основе теории оптимизации определить границы существования оптимальных динамических характеристик, в рамках которых система будет обладать устойчивостью.

Необходимо отметить, что в представленном описании понятия «объект» и «система» тождественны.

Вопрос об устойчивости квазиоптимальных систем управления важен с точки зрения работы самой системы управления не только в нормальном режиме эксплуатации, но и при изменяющихся условиях эксплуатации объекта управления.

Методы исследований

Рассмотрим объект управления, схема «вход-выход» которого представлена на рисунке 1. Объект имеет две входные переменные $y_0(t)$, $g_0(t)$; две выходные $y_1(t)$, $g_1(t)$ и две управляющие переменные $u_1(t)$, $u_2(t)$.



Источник: разработка авторов. Source: own elaboration.

Рис. 1. Схема распределения переменных объекта управления
Fig. 1. The variable distribution scheme in controlled object

Аппроксимацию выходных переменных, которые являются детерминированными сигналами, будем проводить с использованием ряда Вольтерра, ограничившись вторым порядком [Dejch 1979]. Таким образом, выражения, связывающие входные, выходные и управляющие переменные, имеют следующий вид:

$$y1(t)=y0(t)+A_1\int_0^t(e^{p1t}-e^{p2t})u1(t)dt+A_2\int_0^t(e^{p3t}-e^{p4t})u2(t)dt+A_3\int_0^t\int_0^t(e^{p5t}-e^{p6t})u1(t)\times \\ \times(e^{p7t}-e^{p8t})u2(t)dtdt; \tag{1}$$

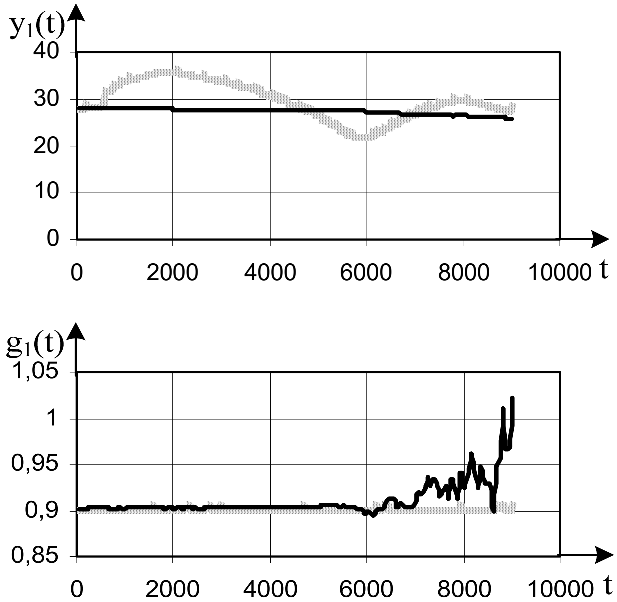
$$g1(t)=g0(t)+A_4\int_0^t(e^{p9t}-e^{p10t})u1(t)dt+A_5\int_0^t(e^{p11t}-e^{p12t})u2(t)dt+A_6\int_0^t(e^{p13t}-e^{p14t})y1(t)dt+ \\ +A_7\int_0^t\int_0^t(e^{p15t}-e^{p16t})u1(t)(e^{p17t}-e^{p18t})u2(t)dtdt+A_8\int_0^t\int_0^t(e^{p19t}-e^{p20t})y1(t)(e^{p21t}-e^{p22t})u1(t)dtdt+ \\ +A_9\int_0^t\int_0^t(e^{p23t}-e^{p24t})y1(t)(e^{p25t}-e^{p26t})u2(t)dtdt; \tag{2}$$

В результате аппроксимации были получены зависимости для выходных переменных, представленные на рисунке 2.

Задача оптимального управления объектом, задаваемого уравнениями (1)–(2), может быть сформулирована как задача минимизации функционала качества.

За критерий оптимизации примем функционал, представляющий собой функцию ошибок:

$$I=\int_0^T\frac{1}{2}e^{-\frac{2t}{T}}(\alpha(y_1(t)-y_1^{м}(t))^2+\chi(g(t)_1-g(t)_1^{м})^2+\eta(u_1(t)-u_1^{м}(t))^2+\lambda(u_2(t)-u_2^{м}(t))^2+ \\ +\theta(u_1'(t)-u_1'^{м}(t))^2+\rho(u_2'(t)-u_2'^{м}(t))^2)dt \tag{3}$$



Источник: разработка авторов. Source: own elaboration.

Рис. 2. График аппроксимации динамических характеристик объекта управления
Fig. 2. The approximation diagram of dynamic characteristics in controlled object

где:

$y_i^M(t)$, $g_i^M(t)$, $u_i^M(t)$ – входные, выходные и управляющие переменные модели объекта управления;

$u_i'(t)$ – производная управляющей переменной по времени;

α, χ, η, λ, θ, ρ – весовые коэффициенты.

При применении в качестве критерия оптимизации функции ошибок, остается открытым вопрос о выборе значений весовых коэффициентов, входящих в функцию ошибок. Воспользуемся одним из приближенных методов выбора весовых коэффициентов. Если функция ошибки в любой момент времени имеет вид выражения (3), то весовые коэффициенты для каждого момента времени можно найти, исходя из допустимой величины ошибки. Можно заключить, что максимальные допустимые значения ошибок составляющих сигнала в любой момент времени должны вносить в функцию ошибки равный вклад, так как система управления обеспечивает минимум интегральной суммы ошибок. Принимая условие равенства членов в выражении (3), можно записать:

$$\alpha\left(\frac{\varepsilon_{y1}^{1}}{\varepsilon_{y1}^{n}}\right)=\beta\left(\frac{\varepsilon_{y2}^{1}}{\varepsilon_{y2}^{n}}\right)=\chi\left(\frac{\varepsilon_{g1}^{1}}{\varepsilon_{g1}^{n}}\right)=\ldots \tag{4}$$

где:
ε – ошибка, определяемая в знаменателе дроби как

$$\varepsilon_{yi}^{n} = \left[y_i(t) - y_i^{м}(t) \right]_{\text{макс. допустим.}} \tag{5}$$

$$\varepsilon_{gi}^{n} = \left[g_i(t) - g_i^{м}(t) \right]_{\text{макс. допустим.}} \tag{6}$$

В числителе дроби выражения (4) представлено текущее значение ошибки.

Аналогичные рассуждения распространим на величины управляющих воздействий и их производные [MERRIEM 1967].

Предполагается, что величины максимально допустимых ошибок могут быть определены по заданным требованиям к системе, после чего можно найти числовые соотношения между различными коэффициентами α, χ и т.д.

Результаты исследований

Из описания процедуры нормализации следует, что уравнение оптимального управления зависит от отношения весовых коэффициентов. Поэтому без потери общности можно положить равенство единице одного из коэффициентов. При таком допущении для определения числовых значений остальных весовых коэффициентов достаточно выражений (4)–(6).

Значения весовых коэффициентов, найденные в результате описной процедуры, следует рассматривать как начальные оценки. Как правило, данные коэффициенты изменяются во времени, так как изменяется и текущее значение ошибки, однако, примем допущение о стационарности оценок. Для этого вместо текущего значения ошибки будем рассматривать минимальное значение ошибки. Что является достаточным условием для выполнения предварительного анализа совместно с процедурой нормализации.

Для нахождения оптимальных значений управляющих переменных воспользуемся теорией вариационного исчисления.

Подынтегральное выражение критерия (3) обозначим через $F(t)$. Функция, которая минимизирует функционал (3), должна удовлетворять дифференциальному уравнению второго порядка Эйлера-Лагранжа:

$$\frac{\partial F(t)}{\partial u_i(t)} - \frac{d}{dt}\left(\frac{dF(t)}{du_i'(t)} \right) = 0 \tag{7}$$

Структура данного подынтегрального выражения представляет собою сумму входных, выходных параметров, управляющих воздействий и квадратов производных управляющих воздействий. Это продиктовано необходимостью соблюдения условий теоремы Эйлера-Лагранжа, согласно которой функции управлений должны быть непрерывно дифференцируемы на рассматриваемом отрезке.

Учитывая выражения (3) и (7), запишем систему уравнений для определения минимизирующих функций.

$$\begin{cases} \alpha \dfrac{\partial \Delta(y1, g1, t)}{\partial u1(t)} + 2\eta(u_1(t) - u_1^{м}(t)) - 2\theta \dfrac{du1'(t)}{dt} = 0, \\ \chi \dfrac{\partial \Delta(y1, g1, t)}{\partial u2(t)} + 2\lambda(u_2(t) - u_2^{м}(t)) - 2\rho \dfrac{du1'(t)}{dt} = 0,. \end{cases} \tag{8}$$

где:

Δ(*y*1, *g*1, *t*) – функция, представляющая собой сумму квадратов ошибок входных и выходных переменных.

Решение системы сводится к решению системы нелинейных интегро-дифференциальных уравнений, что является особенностью задач вариационного исчисления.

Для решения данной системы воспользуемся методом Рунге-Кутта четвертого порядка. Частные производные по $u_1(t)$, $u_2(t)$ будем находить, руководствуясь правилом Лейбница [FIKHTENGOLC 1969]. Для выполнения данного правила к функциям предъявляются следующие требования:

- равномерная непрерывность на рассматриваемом отрезке;
- функция должна быть дифференцируемой на отрезке.

При этом интеграл с переменным верхним пределом будем вычислять последовательно и в зависимости от значений, принимаемых переменной *t*.

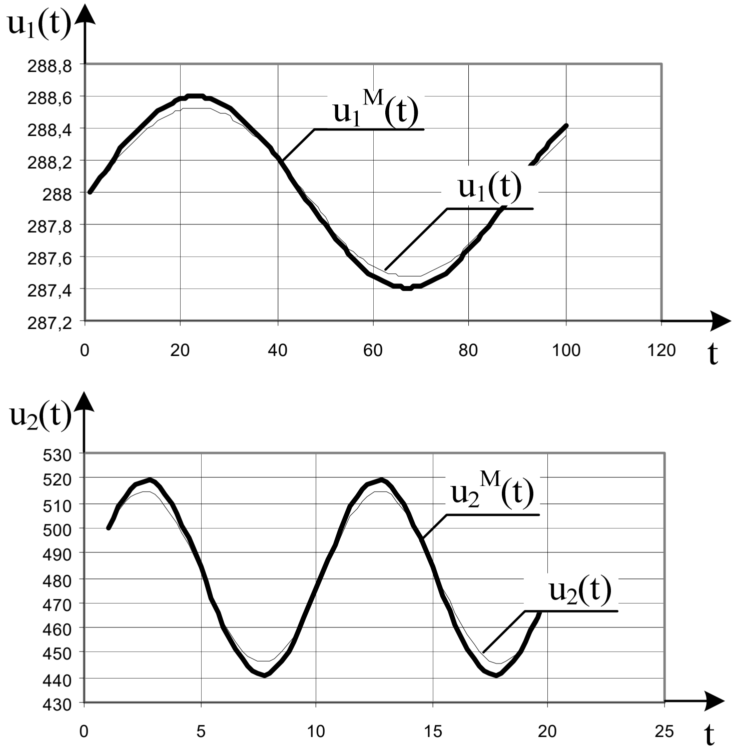
Чтобы применить вышеуказанный метод, необходимо понизить порядок производной. Поэтому вместо системы из двух дифференциальных уравнений второго порядка, получим систему из четырех дифференциальных уравнений первого порядка, предварительно сделав замену переменных $u_i \rightarrow z_i$.

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt} z_1(t) = z_2(t), \\ \dfrac{d}{dt} z_2(t) = B_1 + B_2 z_1(t) + B_3 z_3(t) + B_4 z_1(t) z_3(t) + B_5(z_3(t))^2 + B_6 z_1(t)(z_3(t))^2, \\ \dfrac{d}{dt} z_3(t) = z_4(t), \\ \dfrac{d}{dt} z_4(t) = B_7 + B_8 z_3(t) + B_9 z_1(t) + B_{10} z_1(t) z_3(t) + B_{11}(z_1(t))^2 + B_{12} z_3(t)(z_1(t))^2, \end{cases} \tag{9}$$

где:

B_i – коэффициенты, полученные в результате преобразования уравнений системы (8).

На рисунке 3 дано наглядное представление о полученных результатах.



Источник: разработка авторов. Source: own elaboration.

Рис. 3. Графики оптимальных управляющих переменных, полученные в результате аппроксимации исходных данных
Fig. 3. Diagram of the optimal control variables obtained from output data

Функцию, аппроксимирующие полученные данные, будем искать, применяя теорию разложения в конечные ряды Фурье [KHEMMING 1972].

$$u_i(t) = u_0 + \sum_{k=1}^{\infty}(a_k \cos kt + b_k \sin kt) \tag{10}$$

где коэффициенты разложения вычисляются по формулам:

$$\begin{cases} a_k = \dfrac{1}{N}\sum\limits_{t=0}^{2N-1} u_i(t)\cos\dfrac{\pi}{N}kt, \\ b_k = \dfrac{1}{N}\sum\limits_{t=0}^{2N-1} u_i(t)\sin\dfrac{\pi}{N}kt. \end{cases} \tag{11}$$

Коэффициенты a_k и b_k можно вычислить, зная лишь $\cos\frac{\pi}{N}k$ и $\sin\frac{\pi}{N}k$, без непосредственного вычисления других значений синуса и косинуса. Это делается следующим образом:

$$\begin{cases} M_0 = 0, M_1 = u_i(2N-1), \\ M_m = (2\cos\frac{\pi}{N}k)M_{m-1} - M_{m-2} + u_i(2N-m), \\ m = 2,\ 3, ...,\ 2N-1. \end{cases} \tag{12}$$

Тогда

$$\begin{cases} Na_k = \sum_{t=0}^{2N-1} u_i(t)\cos\frac{\pi}{N}kt = (\cos\frac{\pi}{N}k)M_{2N-1} - M_{2N-2} + u_i(0), \\ Nb_k = \sum_{t=0}^{2N-1} u_i(t)\sin\frac{\pi}{N}kt = (\sin\frac{\pi}{N}k)M_{2N-1}. \end{cases} \tag{13}$$

Подставляя (13) в (10), получим:

$$u_i(t) = u_0 + \sum_{k=1}^{\infty}(\frac{1}{N}((\cos\frac{\pi}{N}k)M_{2N-1} - M_{2N-2} + u_i(0))\cos kt + \frac{1}{N}\sin\frac{\pi}{N}k)M_{2N-1}\sin kt) \tag{14}$$

Применяя выражение (14) для аппроксимации оптимальных значений управляющих переменных, получим следующие зависимости:

$$u_1(t) = 288 + \sum_{k=1}^{90}(\frac{1}{45}((\cos\frac{\pi}{45}k)288{,}11 - 288{,}073 + 288)\cos k(t-22) + \frac{1}{45}288{,}11 \times$$

$$\times(\sin\frac{\pi}{45}k)\sin\frac{\pi}{45}k(t-22)) \tag{15}$$

$$u_2(t) = 480 + \sum_{k=1}^{10}(\frac{1}{5}((\cos\frac{\pi}{5}k)501{,}878 - 513{,}455 + 480)\cos k(t-1{,}6) + \frac{1}{5}501{,}848 \times$$

$$\times(\sin\frac{\pi}{5}k)\sin\frac{\pi}{5}k(t-1{,}6)) \tag{16}$$

В результате графики полученных зависимостей имеют следующий вид:

Необходимо также отметить, что при $t \to \infty$ требуется проводить анализ устойчивости системы.

Обсуждение результатов

Как оговаривалось ранее, объект управления является нелинейным, поэтому речь пойдет только об асимптотической устойчивости в «малом». Исследование объекта на устойчивость в указанной области проводится на основе теории устойчивости А.М. Ляпунова [NOGIN 2008; LUFT, ŁUKASIK 2012]. Между теорией оптимизации и теорией устойчивости существует важная связь. Пусть функция минимальной ошибки определяется как:

$$min\,e(t) = \frac{E(u_1(t), u_2(t), t)}{dt} \tag{17}$$

Функция минимальной ошибки представляет собою функцию Ляпунова, которая должна удовлетворять условиям:

$$\begin{gathered} E(u_1(t), u_2(t), t) > 0 \\ \frac{E(u_1(t), u_2(t), t)}{dt} < 0 \end{gathered} \quad \text{для} \quad \begin{cases} (u_1(t) - u_1^{м}(t)) \neq 0 \\ (u_2(t) - u_2^{м}(t)) \neq 0 \end{cases} \tag{18}$$

$$E(u_1(t), u_2(t), t) = 0 \quad \text{при} \quad \begin{cases} (u_1(t) - u_1^{м}(t)) = 0 \\ (u_2(t) - u_2^{м}(t)) = 0 \end{cases} \tag{19}$$

$$E(u_1(t), u_2(t), t) \to \infty \quad \text{если норма расхождения} \quad \left\| u_1(t) - u_1^{м}(t) \right\| \to \infty \tag{20}$$

Для того, чтобы получить функцию (17), в выражение (3) подставляем найденные выражения для оптимальных сигналов управления и их производных [SJU, MEJER 1972]. Полученная в результате подстановки функция в данной работе не приводится, ввиду громоздкости выражения.

На следующем этапе проводится проверка выполнения условий (18)–(20). Если полученная функция удовлетворяет условиям (18)–(20), то можно сделать вывод о том, что данная функция является функцией Ляпунова для рассматриваемого объекта управления. Область определения функции и будет областью устойчивости системы, описываемой выражениями (1) и (2).

Выводы

Таким образом, по имеющейся информации об объекте управления приведен пример построения его математической модели на основе теории рядов Вольтерра. На этапе оптимизации был составлен интегральный критерий качества для определения значений оптимальных управляющих переменных. Алгоритм нахождения оптимальных значений управляющих переменных основывается на теории вариационного исчисления. Применение данной теории подразумевает дополнительное исследование системы на устойчивость. Для определения области устойчивости был использован критерий устойчивости систем по Ляпунову. Был описан механизм определения функции Ляпунова, область определения которой и является областью устойчивости исследуемого объекта управления.

Список литературы

AFONIN P. V. 2005. Гибрыдные системы интелектуального имитационного моделирования на основе бионических подходов и многоагентных моделей [Hybrid systems of intellectual imitation modeling based on bionic approach and multi-agent models]. Кандидацка диссертация. Москва. Московский государственный технический университет им. И. Э. Баумана сс. 209.

ALEKSANDROVICH A. G. 2003. Оптимальные и адаптивные системы [Optimal and adaptative systems] [ebook]. Москва. Высш. шк. ISBN 5-06-000037-0 сс. 278.

DEJCH A. M. 1979. Методы идентификации динамических объектов [Identification methods of dynamic objects] [ebook]. Москва. Энергия сс. 240.

DILIGENSKAYA A. N. 2009. Идентификация объектов управления [Identification of controlled objects]. Самара. Самарийский государственный технический университет сс. 136.

FIKHTENGOLC G. M. 1969. Курс дифференциального и интегрального исчисления [Course of differential and integral calculus]. Москва. Наука сс. 800.

KHEMMING R. V. 1972. Численные методы для научных работников и инженеров [Numerical methods for workers and engineers]. Москва. Наука сс. 400.

LUFT M., ŁUKASIK Z. 2012. Podstawy teorii sterowania [Fundamentals of control theory]. 4 изд. Radom. Politechnika Radomska. ISBN 978-83-7351-493-5 сс. 560.

MAAS S. 2000. Что надо знать о методе анализа на основе рядов Вольтерра [What you need to know about the method of analysis based on Volterr's ranks]. Перевод с английского. Инжинерная микроэлектроника. Но. 1 с. 45–51.

MERRIEM K.U. 1967. Теория оптимизации и расчет систем управления с обратной связью [Optimization theory and the design of feedback control systems]. Перевод с английского. Москва. Изд. МИР сс. 550.

NOGIN V. D. 2008. Теория устойчивости движения (учебное пособие) [Stability theory of motion] [онлайн]. Санкт-Петербург. Санкт-Петербурский государственный университет сс. 15. [Дата обращения 07.05.2015]. Режим доступа: http://www.apmath.spbu.ru/ru/staff/nogin/tu/intro.pdf

PUNKOV K. A., EGUPOV N. D. 2004a. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 1. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления [Methods of classical and modern automatic control theory. Mathematical models, analysis of dynamic characteristics of automatic control systems]. Москва. Московский государственный технический университет им. И. Э. Баумана. ISBN 5-9221-0379-2 сс. 656.

PUNKOV K. A., EGUPOV N. D. 2004б. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 3. Синтез регуляторов систем автоматического управления [Methods of classical and modern automatic control theory. Synthesis of regulators of automatic control systems]. Москва. Московский государственный технический университет им. И. Э. Баумана. ISBN 5-7038-2191-6 сс. 616.

PUNKOV K. A., EGUPOV N. D. 2004в. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 4. Теория оптимизации систем автоматического управления

[Methods of classical and modern automatic control theory. Optimization theory of automatic control systems]. Москва. Московский государственный технический университет им. И. Э. Баумана. ISBN 5-7038-2192-4 сс. 742.

SJU D., MEJER A. 1972. Современная теория автоматического управления и ее применение [Modern automatic control theory and its application]. Перевод с английского. Москва. Машиностроение сс. 544.

Irina V. Akinsheva, Irina D. Ivanova, Edmund Kamiński

BADANIA STATECZNOŚCI OBIEKTÓW NIELINIOWYCH

Streszczenie

Celem badań było określenie warunków stateczności nieliniowego obiektu sterowania. W związku z tym opracowano: matematyczny model obiektu opisującego z dostateczną, dla przemysłowej eksploatacji, dokładnością charakterystyki sterowanego obiektu, struktury kryteriów jakości identyfikacji dynamicznych charakterystyk, aby w procesie minimalizacji otrzymać wyrażenia do obliczenia optymalnych wartości kontrolowanych zmiennych. Na bazie teorii optymalizacji z wykorzystaniem szeregów Furiera określono granice występowania optymalnych charakterystyk dynamicznych, w przedziale których system będzie zachowywał się statecznie. Model obiektu sterowania składa się z dwu zmiennych wejściowych $y_0(t)$, $g_0(t)$, dwu zmiennych wyjściowych $y_1(t)$, $g_1(t)$ i dwu zmiennych sterowania $u_1(t)$, $u_2(t)$. Na podstawie informacji o badanym obiekcie sterowania przytoczono przykład budowy modelu na podstawie teorii szeregów Woltera. Na etapie optymalizacji sformułowano integralne kryteria jakości do określenia wartości optymalnych kontrolowanych zmiennych. Algorytm obliczania optymalnych wartości zbudowano w oparciu o teorię rachunku wariacyjnego. Zastosowanie tej teorii uzupełnia badanie systemu pod kątem stateczności. Do określenia obszaru stateczności wykorzystano kryteria stateczności Lapunowa. Opisano mechanizm wyznaczania funkcji Lapunowa, obszar której jest przestrzenią stateczności sterowanego obiektu.

Słowa kluczowe: stateczność, sterowanie procesem, metody identyfikacji, kryteria jakości

STUDY OF THE STABILITY OF NONLINEAR OBJECTS

Summary

The aim of the study was to determine the conditions of stability of a nonlinear object control. For this purpose, by the mathematical model of the object was compiled describing with sufficient precision for industrial production of characteristics of the controlled object, the structure of the quality criteria for the identification of dynamic characteristics to obtain in the process of minimization expressions for the optimal values of the controlled variables. On the basis of optimization theory with the use of Fourier ranks defined the boundaries of the occurrence of optimal dynamic characteristics, between which the system will behave sedately. Object Model Control consists of two input variables $y_0(t)$, $g_0(t)$; two output variables $y_1(t)$, $g_1(t)$ and two control variables $u_1(t)$, $u_2(t)$. On the basis of information about the examined object control quoted example of the construction of a model based on the theory of Voltaire ranks. At the stage of the optimization formulated integral quality criteria to determine optimal values of controlled variables. The algorithm for calculating the optimal values was constructed on the basis of the theory of variational calculus. Application of this theory complements the study of the system for stability. Lyapunov stability criteria was used to determine the space stability. A mechanism for determining the Lyapunov function was described, the area which is the space stability of the controlled object.

Key words: stability, process control, identification methods, quality criteria

Adres do korespondencji:
prof. dr hab. Edmund Kamiński
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kłudzienku
05-825 Grodzisk Mazowiecki
tel. 22 755-60-41 wew. 112; e-mail: e.kaminski@itp.edu.pl