Министерство образования и науки Российской Федерации
Российский фонд фундаментальных исследований
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.»
Институт радиотехники и электроники РАН
Институт проблем точной механики и управления РАН
ФГУ «Государственный НИИ информационных технологий и коммуникаций»
ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва»

Саратовский научный центр РАН
ОАО «КБ Электроприбор»
Филиал ФГУП «НПЦАП им. академика Н. А. Пилюгина» ПО «Корпус»
ОАО ЭОКБ «Сигнал» им. А. И. Глухарёва
ФГУП НПП «АЛМАЗ»

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

(АТМ-2013)

СБОРНИК ТРУДОВ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
Сентябрь 2013 года

Том 1

Саратов 2013

УДК 681.51 + 004.9
ББК 32.965
П78

П78 Проблемы управления, обработки и передачи информации (АТМ-2013): сб. тр. III Междунар. науч. конф.: в 2 т. / под ред. А.А. Львова и М.С. Светлова. Саратов: Издательский дом «Райт-Экспо», 2013. – Т.1. – 330 с.
ISBN 978-5-4426-0021-6

В сборнике публикуются избранные труды участников III Международной научной конференции «Проблемы управления, обработки и передачи информации (АТМ-2013)», состоявшейся в сентябре 2013 г. в Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А.

Представленные материалы отражают современные подходы к созданию и использованию методов современной теории управления, распределенных информационно-управляющих систем, цифровой обработки сигналов в информационно-управляющих системах, автоматизации решения сложных вычислительных задач, автоматизации управления в административных, финансовых и коммерческих сферах.

Сборник ориентирован на специалистов, занимающихся разработкой и применением методов теории управления, интеллектуальных систем, компьютерных технологий для анализа и синтеза систем управления, технических, технологических и социально-экономических систем.

Тезисы и доклады рецензированы и редактированы Программным комитетом конференции.

УДК 681.51 + 004.9
ББК 32.965

ISBN 978-5-4426-0021-6

СЕКЦИЯ 1

ТЕОРИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

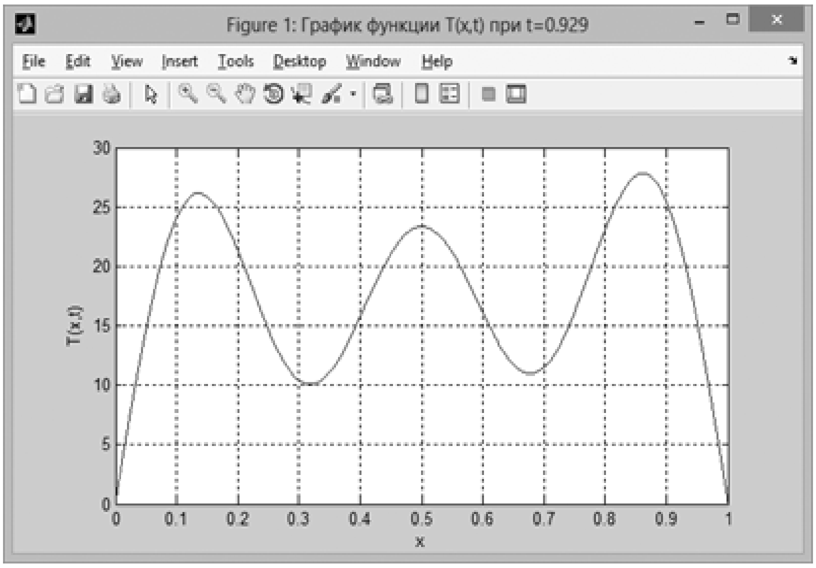

Рис. 3. Результаты расчёта для исходных данных в соответствии с рис. 1 при $t = 0{,}929$

Для исходных данных, представленных на рис. 1, были получены результаты рис. 2 и 3.

Разработанная программа позволяет производить анализ распределенной системы управления, заданной в описанном выше виде, получать зависимости в указанные конкретные моменты времени, создавая вполне информативную картину протекания исследуемого процесса.

1. Коваль, В. А. Спектральный метод анализа и синтеза распределенных управляемых систем / В. А. Коваль. – Саратов: СГТУ, 2010. – 147 с.
2. Коваль, В. А. Моделирование теплового распределенного объекта управления. Спектральный метод анализа и синтеза распределенных управляемых систем / В. А. Коваль. – Саратов: СГТУ, 2006. – 11 с.
3. Бадриев, И. Б. Разработка графического пользовательского интерфейса в среде MATLAB: учеб. пособие / И. Б. Бадриев, В. В. Бандеров, О. А. Задворнов. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2010. – 113 с.

РЕДУКЦИЯ РЕГУЛЯТОРОВ НА БАЗЕ КРИТЕРИЯ НАЙКВИСТА. СКАЛЯРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Зацепилова Ж. В.[1], Честнов В. Н.[2]
[1] ОАО Электростальский завод тяжелого машиностроения, janhet@yandex.ru,
[2]ОАО Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, vnchest@rambler.ru

Проблема упрощения регуляторов является центральной с точки зрения практической применимости современных подходов к синтезу регуляторов, которые могут иметь весьма высокий порядок. Такие технологии синтеза регуляторов, как H_∞, l_1, μ и др., могут привести к достаточно высокому порядку управляющих устройств, часто намного превышающему порядок объекта. Упрощение полученного регулятора позволяет снизить возникающие на этапе реализации возможные ошибки и повысить надежность функционирования системы в целом.

Обычно используют два основных подхода к упрощению [1, 2]:

- понижение порядка (редукция) модели объекта и далее синтез более простого регулятора;
- упрощение регулятора, полученного на основе полной модели объекта.

При использовании любого из этих подходов основным требованием является сохранение показателей качества и устойчивости замкнутой системы.

В [3, 4] рассмотрен метод упрощения структуры регуляторов по состоянию и динамических регуляторов по выходу, идея которого заключается в преобразовании исходной модели к виду, когда элемент структуры регулятора (параметр) образует обратную связь, охватывающую объект с регулятором, не содержащий данного параметра. Размыкая эту связь по параметру, находится передаточная функция разомкнутой системы, в которую исследуемый элемент структуры регулятора входит в виде множителя. Если для всех частот амплитудно-частотная характеристика данной передаточной функции оказывается много меньше единицы, то такая обратная связь – «слабая» и элемент регулятора, по которому производилось размыкание, можно обнулить и таким образом упростить регулятор.

В данной работе, в отличие от [3, 4], понижается порядок регуляторов по выходу за счет выделения в них «слабых» составляющих в разложении их передаточной функции на элементарные дроби.

Постановка задачи. Рассмотрим модель объекта управления:

$$\dot{x} = Ax + bu; \quad z = y = cx, \tag{1}$$

совместно с динамическим стабилизирующим регулятором по выходу:

$$\dot{x}_c = A_c x_c + b_c(g - y); \quad u = c_c x_c + d_c(g - y), \tag{2}$$

где $x \in R^n$ – вектор состояния объекта; $u \in R^1$ – управляющее воздействие; $z \in R^1$ – регулируемая переменная; $g \in R^1$ – задающее воздействие; $y \in R^1$ – измеряемая переменная; $x_c \in R^{n_c}$ – вектор состояния регулятора; A, A_c – матрицы чисел; b, b_c - векторы столбцы; c, c_c - векторы строки; d_c - скаляр.

Предполагается, что система (1), (2) асимптотически устойчивая.

Задача. Понизить порядок регулятора, т.е. среди переменных состояния регулятора найти такие, которые можно удалить, сохранив передаточную функцию замкнутой системы с заданной относительной точностью ε:

$$\left| \frac{T_{yg}(j\omega) - T_{yg}^0(j\omega)}{T_{yg}(j\omega)} \right| < \varepsilon, \tag{3}$$

где T_{yg} и T^0_{yg} – передаточные функции замкнутой системы с исходным и редуцированным регулятором.

Решение задачи на основе критерия Найквиста. Передаточную функцию регулятора $W_c=c_c(sI-A_c)^{-1}b_c+d_c$ можно представить в виде суммы элементарных дробей [1]:

$$W_c(s)=\frac{b(s)}{d(s)}=\frac{b_0\cdot s^{mc}+b_1\cdot s^{mc-1}+\ldots+b_{mc-1}\cdot s^1+b_{mc}}{d_0\cdot s^{nc}+d_1\cdot s^{nc-1}+\ldots+d_{nc-1}\cdot s^1+d_{nc}}=$$

$$\frac{k_1}{s-\lambda_1}+\frac{k_2}{s-\lambda_2}+\ldots+\frac{k_{nc}}{s-\lambda_{nc}}+k_0, \qquad (4)$$

где $k_0=\frac{b_0}{d_0}$ при $m_c = n_c$ и $k_0 = 0$ при $m_c < n_c$; $k_1, k_2, \ldots, k_{nc}$ – вычеты W_c, $d(s)$ и $b(s)$ – полиномы от оператора дифференцирования s; $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_{nc}$ – корни характеристического полинома регулятора $d(s) = det(sI – A)=(s – \lambda_1)(s – \lambda_2)\ldots(s – \lambda_{nc})$.

Структурную схему системы (1), (4) можно представить в виде

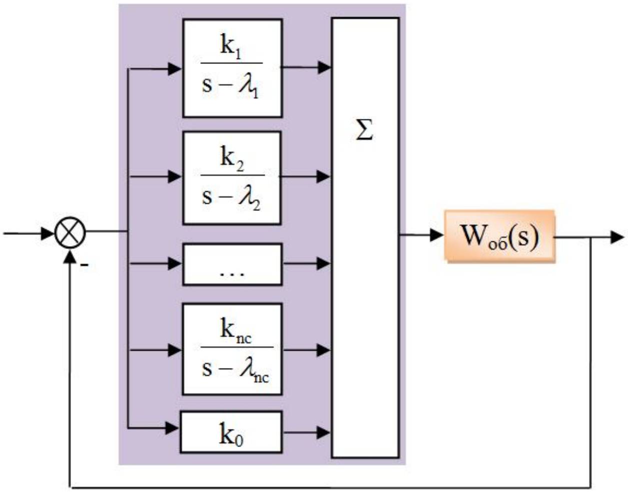

Рис. 1. Структурная схема замкнутой системы (1), (4)

На рис. 1 $W_{об}(s)=c(sI-A)^{-1}b$ – передаточная функция объекта по управлению.

Разомкнем систему по одному из слагаемых, как показано на рис. 2.

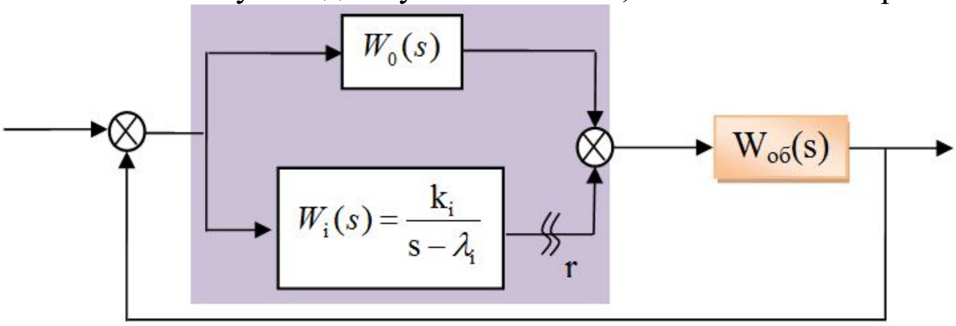

Рис. 2. Структурная схема системы (1), (4), разомкнутой по i-му слагаемому передаточной функции регулятора

При этом $W_0(s)$ – передаточная матрица регулятора, у которого i-е слагаемое в разложении (4) равно 0, $W_i(s)$ – i-ое слагаемое (4).

Передаточная функция разомкнутой системы по i-му слагаемому регулятора имеет вид:

$$W_{раз}^{i}(s) = \frac{W_{об}(s)}{1+W_0(s)W_{об}(s)} \cdot \frac{k_i}{s-\lambda_i}. \tag{5}$$

А передаточная функция замкнутой системы с редуцированным регулятором определяется видом:

$$T_{yg}^{0}(s) = \frac{W_0(s)W_{об}(s)}{1+W_0(s)W_{об}(s)}. \tag{6}$$

Регулируемая переменная y и задающее воздействие g в замкнутой системе связаны соотношением:

$$y = \left(\frac{T_{yg}^{0}(s)}{1+W_{раз}^{i}(s)} + \frac{W_{раз}^{i}(s)}{1+W_{раз}^{i}(s)} \right) g. \tag{7}$$

Легко видеть, что передаточная функция (5) включает i-е слагаемое регулятора (4) в виде сомножителя и, для определения характера его влияния на свойства замкнутой системы (1), (2), необходимо построить годограф (5).

<u>Утверждение.</u> Если выполнено частотное условие:

$$\left| W_{раз}^{i}(j\omega) \right| < \varepsilon, \ \varepsilon < 1, \ \forall \omega, \tag{8}$$

то целевое неравенство (3) будет выполняться для всех частот ω, не превышающих частоту среза исходной разомкнутой системы:

$$W_{раз}(s) = W_c(s)W_{об}(s).$$

При реализации процедуры понижения порядка регулятора динамика i-го слагаемого $\frac{k_i}{s-\lambda_i}$, по которому производится размыкание, отбрасывается, а коэффициент усиления звена $\frac{-k_i}{\lambda_i}$ и общий коэффициент усиления регулятора сохраняются.

<u>Численный пример.</u> Продемонстрируем эффективность предложенной техники упрощения регулятора на численном примере «Flexible Beam Continued» [5].

Объект описывается передаточной функцией:

$$W_{об}(s) = \frac{-6{,}4750s^2 + 4{,}0302s + 175{,}7700}{s(5s^3 + 3{,}5682s^2 + 139{,}5021 + 0{,}0929)}.$$

Регулятор, полученный в [5], имеет передаточную функцию:

$$W_c(s) = \frac{a+b}{c+d},$$

где $a = 1{,}424s^7 + 9{,}076 \cdot 10^2 s^6 + 3{,}141 \cdot 10^4 s^5 + 1{,}117 \cdot 10^5 s^4$;

$b = 9{,}073 \cdot 10^5 s^3 + 1{,}961 \cdot 10^6 s^2 + 1{,}306 \cdot 10^3 s + 0{,}01406$;

$c = s^8 + 1{,}013 \cdot 10^3 s^7 + 1{,}326 \cdot 10^4 s^6 + 1{,}129 \cdot 10^5 s^5 + 6{,}326 \cdot 10^5 s^4$;

$d = 2{,}348 \cdot 10^6 s^3 + 4{,}940 \cdot 10^6 s^2 + 3{,}440 \cdot 10^6 s + 3{,}435 \cdot 10^3$.

Переходный процесс системы, замкнутой таким регулятором $W_c(s)$, приведен на рис. 3.

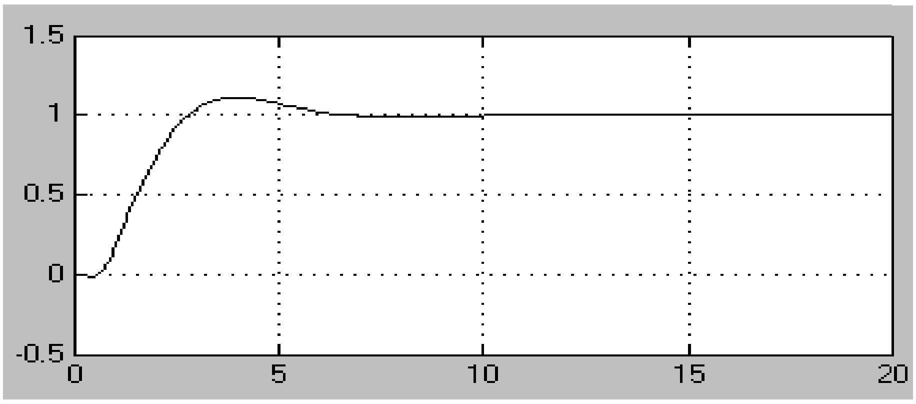

Рис. 3. Реакция выхода y на единичное ступенчатое воздействие (система с исходным регулятором)

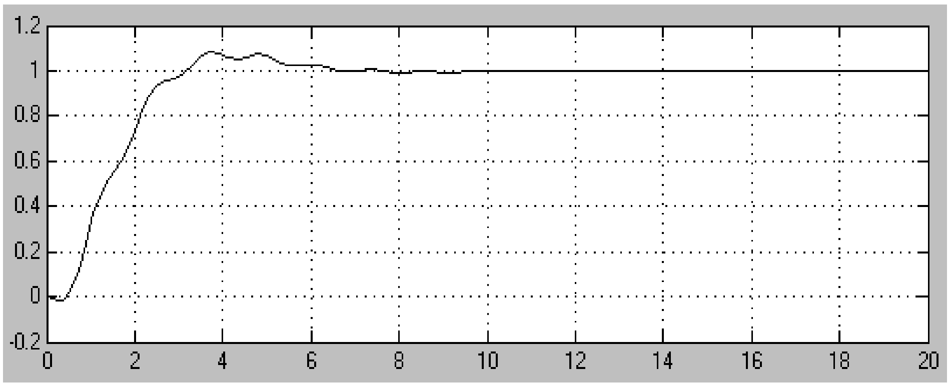

Рис. 4. Реакция выхода y на единичное ступенчатое воздействие (система с редуцированным регулятором)

Этот регулятор можно представить в виде:

$$W_c(s) = \frac{0{,}5548}{s + 999{,}9} + \frac{0{,}6634s - 5{,}203}{s^2 + 1{,}692s + 34{,}16} + \frac{5{,}308s + 42{,}75}{s^2 + 6{,}404s + 21{,}74} - \frac{4{,}248}{s + 3{,}851} - \frac{0{,}8545}{s + 1{,}201} + \frac{1{,}948 \cdot 10^{-7}}{s + 0{,}001}.$$

При упрощении регулятора по всем слагаемым, кроме 5-го, получим:

$$W_{c\_red}(s) = \frac{0{,}7116s + 4{,}91610^{-6}}{s + 1{,}201}.$$

Заключение. Основными преимуществами предложенного способа является его простота и гарантируемая устойчивость замкнутой системы в случае упрощения.

В заключение отметим, что данная техника понижения порядка регуляторов может быть обобщена на многомерный случай.

1. Zhou, K. Essentials of Robust Control / K. Zhou, J. C. Doyle. – New Jersey: Prentice-Hall, 1998.
2. Некоторые методы синтеза регуляторов пониженного порядка и заданной структуры / В. А. Бойченко [и др.] // Управление большими системами, 2007. – №19. – С. 23–126.
3. Честнов, В. Н. Упрощение структуры статических и динамических регуляторов / В. Н. Честнов, Ж. В. Зацепилова // Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-23): сборник трудов XXIII Междунар. науч. конф. // Саратов: СГТУ, 2010. – Т. 10. Секция 11. – С. 61-64.
4. Честнов, В. Н. Подход к упрощению регуляторов линейных многомерных систем // Тез. докл. Междунар. конф. по проблемам управления. – М: ИПУ РАН. 2003. – Т. 1. – С. 37.
5. Doyle, J. Feedback Control Theory / J. Doyle, B. Francis, A. Tannenbaum. – Macmillan Publishing Co., 1990.

К ПОНИЖЕНИЮ ПОРЯДКА РЕГУЛЯТОРОВ ПО ВЫХОДУ НА БАЗЕ КРИТЕРИЯ НАЙКВИСТА. СКАЛЯРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Зацепилова Ж. В. [1], Честнов В. Н.[2]
[1] ОАО Электростальский завод тяжелого машиностроения, janhet@yandex.ru,
[2]ОАО Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН,
vnchest@rambler.ru

Известно, что при синтезе регуляторов на основе современных технологий (H_∞, $l1$, μ) получают достаточно высокий порядок управляющих устройств, часто много превышающий порядок объекта. Данное обстоятельство нежелательно с технической точки зрения.

Однако для задачи упрощения полученного регулятора не существует универсального решения, так как понижение порядка полученного регулятора всегда ведет за собой снижение показателей качества системы.

Обычно используют два основных подхода к упрощению [1]. Первый - понижение порядка (редукция) модели объекта и далее синтез более простого регулятора. Второй – упрощение регулятора, полученного на основе полной модели объекта. Данная работа выполнена в русле второго направления.

Предлагаемый подход к понижению порядка динамических регуляторов опирается на использование классического критерия Найквиста в случае размыкания замкнутой системы «объект-регулятор» по элементам разложения