

**СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
КОТЕЛЬНОМ АГРЕГАТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MDSLS**

С. А. Гайворонский, Т. А. Езангина

*Томский политехнический университет*

**Поступила в редакцию 25.06.2012 г.**

**Аннотация.** Проведено математическое моделирование котлоагрегата с учетом интервальности его параметров. Предложен алгоритм синтеза линейного регулятора интервальной системы с максимальной степенью устойчивости на основе коэффициентных показателей качества. По данному алгоритму разработано программное обеспечение MDSLS и рассчитаны параметры ПИ-регулятора котлоагрегата.

**Ключевые слова:** интервальный полином, максимальная степень устойчивости, синтез регулятора.

**Annotation.** The mathematical design of boiler units conducted taking into account intervals of his parameters. The algorithm of synthesis of linear controller of the interval system is offered with the maximal degree of stability on the basis of coefficient indexes of quality. On this algorithm MDSLS software is worked out and the parameters of PI-controller of boiler units are expected.

**Key words:** interval polynomial, synthesis of controller, maximum degree of stability.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений совершенствования систем автоматизации является повышение качества управления и стабилизации технологических параметров. Решение задачи обеспечения заданного качества управления актуально как при проектировании систем управления (СУ), так и при их промышленной эксплуатации. Наиболее остро требования качественной настройки регуляторов проявляются на теплоэнергетических предприятиях, что вызвано необходимостью экономии топливно-энергетических ресурсов.

Одним из объектов автоматизации является газомазутный котельный агрегат, предназначенный для выработки сухого насыщенного или слабо перегретого пара на технологические нужды промышленных предприятий, систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Важной и труднореализуемой задачей является поддержание уровня воды в барабане парового котла в допустимых пределах. Повышение уровня за верхний допустимый предел

(перепитка котла) может привести к постепенному заносу солями пароперегревателя и выбросу влаги из котла, что может явиться причиной повреждения турбины. Снижение уровня за нижний предел (пуск воды из барабана) приводит к нарушению циркуляции в топочных экранях и пережогу труб. Поэтому к надежности регулирования питания предъявляются повышенные требования.

Решение поставленной задачи можно упростить, используя современное программное обеспечение, предназначенное для автоматизации математических и научных расчетов, например, пакеты Mathcad, MATLAB, Maple. Однако в настоящее время широкое применение находит язык программирования Borland C++. Язык программирования C++ обладает определёнными преимуществами перед своими конкурентами, имеет простой, но достаточно гибкий входной язык программирования, библиотеки стандартных подпрограмм – функций, по существу превращают программу в краткую запись структуры алгоритма.

Целью данной работы является разработка на основе коэффициентного метода отдельного модуля для синтеза ИС максимальной степени

устойчивости на языке программирования высокого уровня C++. Такой программный продукт получил название «Максимизация степени устойчивости линейной системы» (MDSLS).

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Очевидно что, повышение или снижение уровня относительно предельно допустимых значений может привести к аварийным ситуациям в котельном агрегате. Вследствие возмущений, обусловленных изменением расхода пара (нагрузки), а также подпитки котла водой, процесс изменения уровня воды характеризуется запаздыванием, «набуханием» т. е. изменение его в начальные моменты времени в сторону, не соответствующую знаку возмущающего воздействия и отсутствием самовыравнивания. В дальнейшем уровень начинает падать из-за несоответствия расходов питательной воды и пара.

Настройка регулятора по имевшейся ранее методике не обеспечивала требуемого удержания уровня воды в барабане, поскольку она не учитывала изменения параметров котла и производилась при условии их постоянства. Однако в САУ уровнем воды в барабане котла некоторые параметры известны неточно или могут изменяться по заранее неизвестным законам в определенных пределах. Такие параметры получили название интервальных параметров. Поэтому актуальна задача параметрического синтеза ПИ-для интервальной САУ, имеющей интервальные параметры. Предлагается решить поставленную задачу с помощью коэффициентов оценок показателей качества: показателя устойчивости и показателя колебательности.

### ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ

Типовую математическую модель автоматической системы управления уровнем воды в

барабане можно представить в виде, показанном на рис 1.

На рис. 1 введены следующие обозначения:

Передаточная функция  $\frac{K_d}{T_d s + 1}$  описывает датчик расхода пара. Котлоагрегат представлен

передаточной функцией  $\frac{K_k}{T_k s}$ . Трубопровод имеет передаточную функцию  $\frac{1}{T_r s + 1}$ . Передаточная функция  $\frac{-K_n}{T_n s + 1}$  характеризует явление «набухания» уровня воды при изменении расхода пара. Датчик расхода пара частично компенсирует явление «набухания».

Допустим, что параметры объекта имеют интервальные параметры, а именно:

- $T_k$  может увеличиться на 1 % из-за появления накипи и нагара на стенках барабана котлоагрегата;
- $K_n, T_n$  могут изменяться на 20 %;
- $T_m$  может увеличиться на 5 %.

Преобразовав передаточные функции объекта управления (барабан котлоагрегата и трубопровод), с имеющимися характеристиками элементов котлоагрегата, получим передаточную функцию вида:

Допустим, что параметры объекта имеют интервальные параметры, а именно:

- $T_k$  может увеличиться на 1 % из-за появления накипи и нагара на стенках барабана котлоагрегата;
- $K_n, T_n$  могут изменяться на 20 %;
- $T_m$  может увеличиться на 5 %.

Преобразовав передаточные функции объекта управления (барабан котлоагрегата и трубопровод), с имеющимися характеристиками элементов котлоагрегата, получим передаточную функцию вида:

$$W(s) = \frac{1 - 693,6 \cdot s}{a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s}$$

где  $a_3 = [15072; 23975, 78]$ ,  $a_2 = [7912, 8; 11816, 64]$ ,  $a_1 = [188, 4; 190, 28]$ .

Для дальнейшего синтеза параметров ПИ-регулятора запишем интервальный характеристический полином.

$$D(s) = d_4 s^4 + d_3 s^3 + d_2 s^2 + d_1 s + d_0 s \quad (1)$$

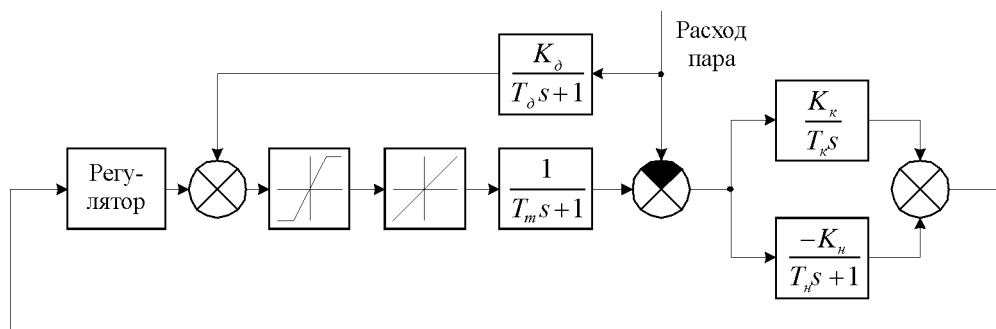


Рис. 1. Математическая модель САУ управления уровнем воды в барабане

здесь  $d_4 = a_3, d_3 = a_2, d_2 = a_1 + k_1 b, d_1 = k_1 b_1 + k_0 b, d_0 = k_0 b$ , где  $k_1$  и  $k_0$  параметры регулятора.

### АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ИНТЕРВАЛЬНОЙ САУ

На основе коэффициентных оценок показателя качества для интервальной системы [1] для параметрического синтеза линейных регуляторов интервальных САУ разработан алгоритм, схема которого приведена на рис. 2.

На схеме ведены следующие обозначения:

$$\lambda_i = \frac{\overline{d_{i-1}} \overline{d_{i+2}}}{(\underline{d_i} - \underline{d_{i+1}}(n-i-1)\eta)(\overline{d_{i+1}} - \overline{d_{i+2}}(n-i-2)\eta)} = 0.465, i = \overline{1, n-2},$$

$$\delta_i = \frac{\overline{d_i^2}}{\underline{d_{i-1}} \underline{d_{i+1}}} > \delta_d, i = \overline{1, n-1},$$

$$f_i(\eta) = \begin{cases} \underline{d_i} \leq \overline{d_{i+1}}(n-i-1)\eta \\ \underline{d_0} - \underline{d_1}\eta + 2\underline{d_2} \frac{\eta^2}{3} \geq 0 \end{cases}$$

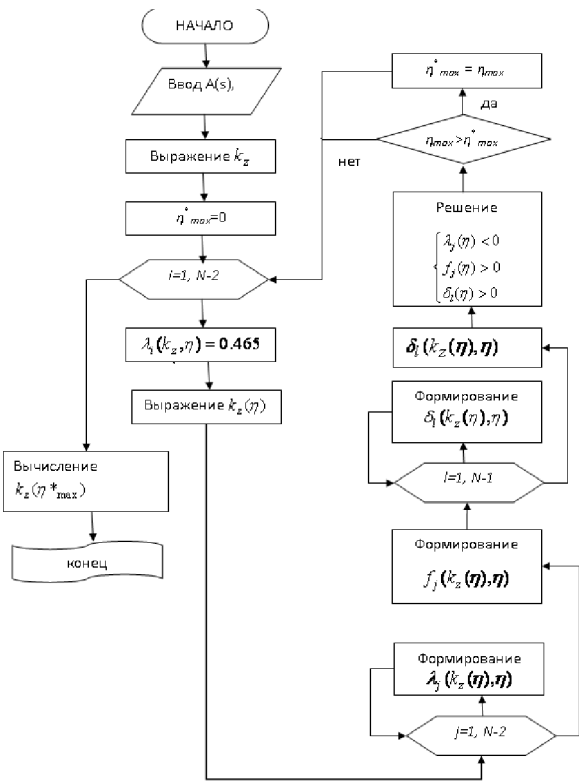


Рис. 2. Алгоритм синтеза линейных регуляторов интервальной САУ

Рассмотрим пошаговое выполнение данного алгоритма.

1. Задать начальные условия: пределы интервальных коэффициентов передаточной функции объекта управления, желаемую добротность, допустимое значение показателя колебательности, тип регулятора.

2. На основании достаточного условия заданной робастной колебательности или на основании выражения добротности САУ по скорости определить выражение для одного из параметров регулятора.

3. Получить достаточные условия максимальной робастной степени устойчивости и выразить другой параметр регулятора через степень устойчивости  $\eta$ .

4. Записать систему неравенств для нахождения максимальной робастной степени устойчивости.

5. Решить систему неравенств и определить максимальную степень устойчивости  $\eta_{\max}$  и соответствующие ей настройки регулятора.

6. Повторить п. 4, 5 для других  $\lambda_i = 0.465, i = \overline{1, n-2}$  и других вершин параметрического многогранника САУ.

7. Выбрать  $\eta^* = \max \eta_i(k)$  и определить тем самым искомую максимальную робастную степень устойчивости и робастные настройки регулятора.

### ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

На основе составленного алгоритма разработан программный продукт MDSLS (создан в программном пакете Borland C++). Интерфейс модуля предполагает выбор типа регулятора и заданных ограничений (требуемой добротности САУ и допустимого показателя колебательности), а также возможность задавать значения коэффициентов объекта управления.

На рис.3 приведено главное окно ПП MDSLS.

Приведем ниже назначение, входные и выходные параметры функций ПП MDSLS.

Функция `double functionobject(double *d1, double *d2)` формирует интервальный характеристический полином  $D(s)$ .

Функция `double functionkd(double *k0)` возвращает вычисленное значение параметра  $k_0$  при ограничении на добротность.

Функция `double functionq(double *q)` формирует массив значений, состоящий из показателей колебательности.

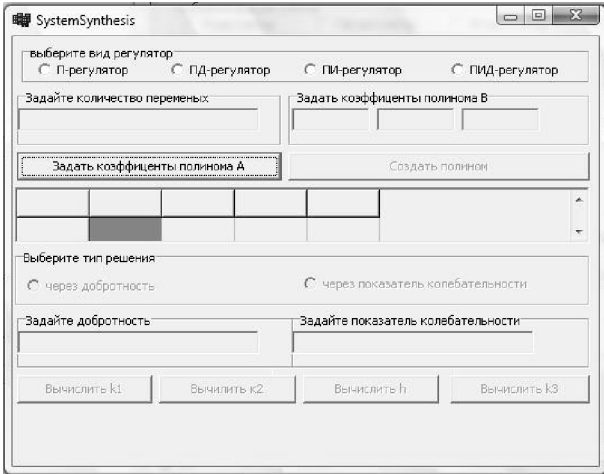


Рис. 3. Главное окно ПП MDSLS

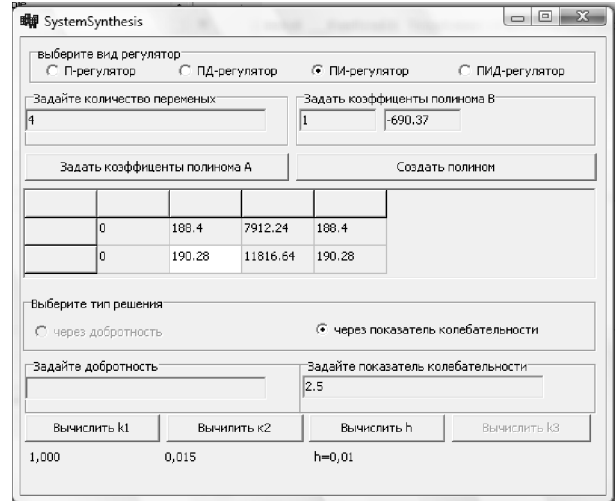


Рис. 4. Результаты синтеза регулятора в системе MDSLS

Функция `double functionkq (double k1)` вычисляет значение параметра  $k_1$  при заданном ограничении на показатель колебательности.

Функция `double functionalpha (double *a1)` необходима для получения уравнения  $\lambda_i = 0.465$ .

Функция `double functionh (double h)` возвращает значение максимальной робастной степени устойчивости.

Функция `double functionaf (double *f)` формирует дополнительные функции  $f(\eta)$  для системы неравенств (9).

Функция `double functionk0h (double k1, h)` находит значение параметра  $k_0$  при известном значении максимальной степени устойчивости.

Функция `double functionk1h (double k1)` вычисляет значение параметра  $k_1$  при известном значении максимальной степени устойчивости.

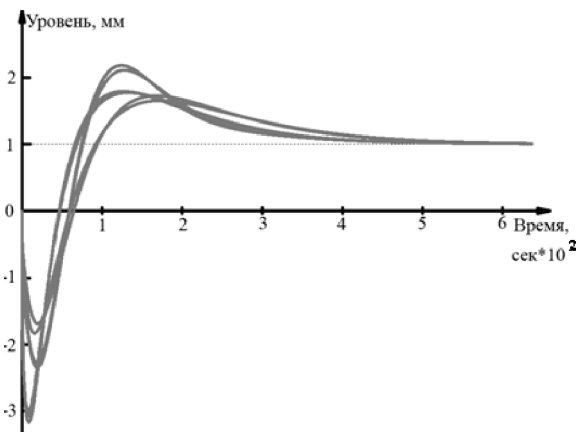


Рис. 5. Переходные процессы с настройками регулятор

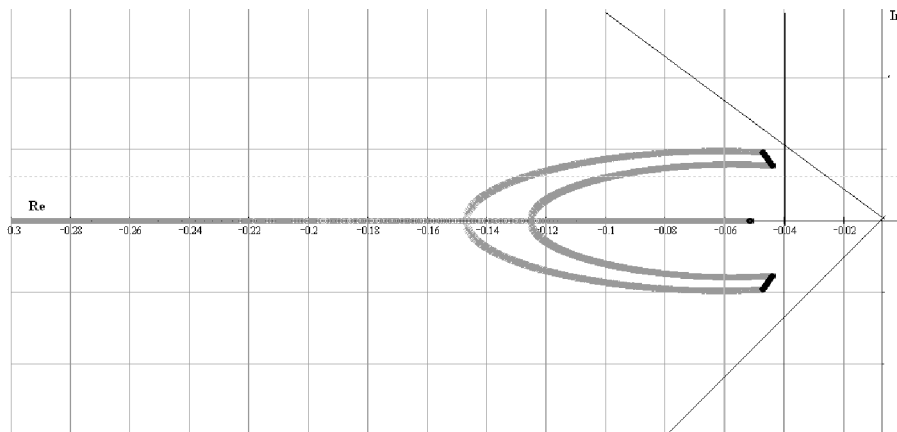


Рис. 6. Многопараметрический корневой годограф для САУ с настройками ПИ-регулятора

## СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА

На основе приведенной выше методики найдем решение поставленной задачи с помощью ПИ-регулятора. Используя пакет MDSLS, рассчитаны настройки ПИ-регулятора, обеспечивающие ограничение на степень колебательности величиной, равной 5. Значения параметров ПИ-регулятора приведены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что степень устойчивости  $\eta=0.01$  параметр регулятора  $k_0=1$ ,  $k_1=0.015$ .

Для полученных настроек регулятора на рис.5 показана реакция системы на единичное воздействие в граничных вершинах параметрического многогранника.

Многопараметрический корневой годограф, для САУ с полученными настройками коэффициентами регулятора представлен на рис. 6.

**Гайворонский С. А.** – заместитель директора Института Кибернетики, доцент кафедры автоматизации и компьютерных систем ИК Томского политехнического университета. E-mail: [saga@tpu.ru](mailto:saga@tpu.ru)

**Езангина Т. А.** – магистрант кафедры автоматизации и компьютерных систем Института Кибернетики Томского политехнического университета. E-mail: [eza-tanya@yandex.ru](mailto:eza-tanya@yandex.ru)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате параметрического синтеза ПИ-регулятора интервальной САУ котлоагрегата получены настройки, при которых области локализации корней интервального характеристического полинома расположены в желаемой области, а переходный процесс имеет желаемый вид при любых значениях интервальных параметров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журнал «Вестник науки Сибири», серия «Информационные технологии и системы управления», Томск, июнь, 2012, С. 143-147
2. Ключев А. С., Товарнов А. Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. // – М.: Энергия, 1970. – 280 с.
3. Кузьменко Д. Я. Регулирование и автоматизация паровых котлов. // Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 160 с.

**Gaivoronsky S. A.** – Depute director Institute of Cybernetics TPU, Candidate of technical science, associate professor. E-mail: [saga@tpu.ru](mailto:saga@tpu.ru)

**Ezangina T. A.** – undergraduate Institute of Cybernetics TPU. E-mail: [eza-tanya@yandex.ru](mailto:eza-tanya@yandex.ru)