

# ТИПОВЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ АЛГОРИТМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Пикина Г.А.<sup>1,2</sup>, Родоманова Ю.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная д.14

<sup>2</sup>Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65

pikinaga@mpei.ru, rodomanovayus@mail.ru

*Аннотация:* Продолжено исследование универсального беспоиcкового метода для одноконтурных автоматических систем регулирования (АСР). Рассмотрены нетрадиционные случаи параметрической оптимизации, редко встречающиеся в отечественной практике, но применяемые на западе (пропорционально-дифференциальный (ПД) и пропорционально-дифференциальный с двойным дифференцированием (ПДД2)).

Ключевые слова: нетиповые алгоритмы (ПД, ПДД2), квадратичный критерий качества, объекты с самовыравниванием и без самовыравнивания, переходный процесс

## Введение

Стоявшая перед авторами задача разработки нового метода настройки линейных регуляторов является важной для перехода к интеллектуальному управлению основными процессами на электрических станциях. Метод должен был давать настройки АСР, близкие к глобальному минимуму, и при этом обеспечивать желаемый запас устойчивости.

К сожалению, известные методы, изложенные в [1,2] не давали рекомендаций о выборе настроек ПД и более сложных чем ПИД алгоритмов. В связи с этим была разработана методика расчета алгоритмов, которая позволила создать унифицированный подход настройки для разных классов регуляторов.

Основная идея универсального беспоиcкового метода была изложена в [3]. Она заключается в задании желаемой (субоптимальной) переходной характеристики замкнутой системы, получении частотной характеристики субоптимального регулятора с последующим приближением к ней комплексной частотной характеристики (КЧХ) линейного регулятора. Приближение частотных характеристик осуществляется с помощью метода наименьших квадратов.

Проведем оптимизационные расчеты ПД и ПДД2 регуляторов.

## 1 Расчет параметров настройки ПД регулятора для объектов различного вида

### 1.1 Объект с самовыравниванием

Рассчитаем настройки ПД регулятора для объекта (теплообменника) с передаточной функцией

$$(1) \quad W_o(p) = \frac{0.43e^{-35p}}{(50p+1)(51p+1)} \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{УП.}$$

Диапазон частот приближения КЧХ ПД и субоптимального регуляторов составил

$\omega = 0.0001 \dots 0.06$  рад/с. Результаты расчета настроек для различных значений постоянных времени сглаживателя и значения интегрального квадратичного критерия качества  $I_2$  приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметрическая оптимизация ПД регулятора для объекта (1)

Постоянная времени $T_c$ , с	$K_p$ , %УП / $^\circ\text{C}$	$T_d$ , с	$I_2$ , ( $^\circ\text{C}$ ) <sup>2</sup>
10	3.53	44.59	17.61
20	3.29	37.94	16.75
30	3	33.71	15.35
40	2.73	30.83	14.58

С уменьшением постоянной времени сглаживателя  $T_c$ , увеличивается значение  $I_2$ , возрастает динамическая ошибка от установившегося значения и увеличивается колебательность переходного процесса. С ростом постоянной  $T_c$  увеличивается остаточная неравномерность.

На рис. 1 приведены графики переходных характеристик при оптимизации по каналу задания.

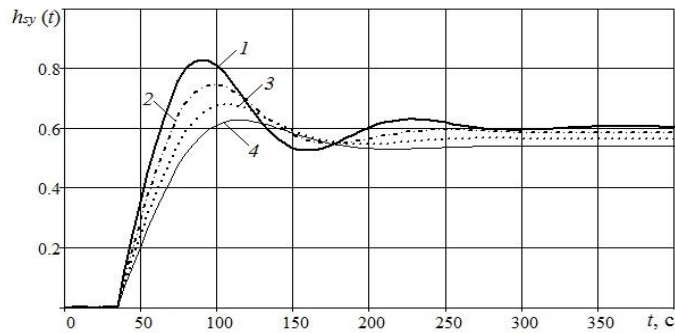


Рис. 1. Графики переходных характеристик по каналу задания с ПД регулятором: настройки беспойскового метода для различных  $T_c$ : 1 — 10 с; 2 — 20 с; 3 — 30 с; 4 — 40 с

Для получения наилучших переходных характеристик, постоянную времени сглаживателя следует выбирать примерно равной величине запаздывания в объекте.

### 1.2 Объект без самовыравнивания

Рассмотрим объект без самовыравнивания с передаточной функцией

$$(2) \quad W_o(p) = \frac{0.0163e^{-10p}}{p} \text{ мм/т/ч.}$$

Диапазон частот приближения КЧХ ПД и субоптимального регуляторов составил  $\omega = 0.45 \dots 0.8$  рад/с.

В таблице 2 представлены результаты нахождения настроек ПД регулятора при различных постоянных сглаживателя  $T_c$  и значения интегрального квадратичного критерия качества  $I_2$ .

Таблица 2. Параметрическая оптимизация ПД регулятора для объекта (2)

Постоянная времени $T_c$ , с	$K_p$ , т/ч/мм	$T_d$ , с	$I_2$ , (мм) <sup>2</sup>
15	4.17	0.079	15.3
20	3.11	0.058	16.7
30	2.06	0.038	20.9

Графики переходных характеристик приведены на рис. 3.

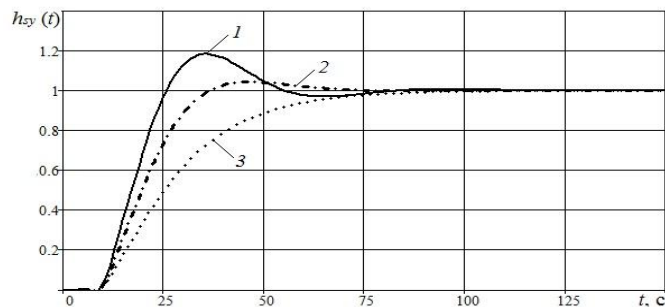


Рис. 3. Графики переходных характеристик по каналу задания с ПД регулятором: настройки беспойскового метода для различных  $T_c$ : 1 — 15 с; 2 — 20 с; 3 — 30 с

С ростом  $T_c$  уменьшается динамическая ошибка и колебательность переходного процесса. Длительность переходных процессов приблизительно одинакова. Рекомендуемым значением  $T_c$  является 20 с, что в два раза превышает запаздывание в объекте. Увеличение постоянной  $T_c$  приводит к росту величины  $I_2$ , а при ее уменьшении появляется нежелательная колебательность.

## 2 Пример расчета параметров настройки ПДД2 регулятора для объектов различного вида

Аналогичные расчеты были проведены и для нахождения настроек ПДД2 регулятора.

### 2.1 Объект с самовыравниванием

Для объекта с передаточной функцией (1) были найдены настройки ПДД2 регулятора при оптимизации по каналу задания. Диапазон частот приближения был выбран  $\omega = 0.0001 \dots 0.06$  рад/с. Постоянная  $T_c$  варьировалась. Результаты полученных исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3. Параметрическая оптимизация ПДД2 регулятора для объекта (1)

Постоянная времени $T_c$ , с	$K_p$ , %УП /°С	$T_{d1}$ , с	$T_{d2}$ , с	$I_2$ , (°С) <sup>2</sup>
10	5.99	26.26	18.74	20.25
20	4.78	26.12	16.32	18.85
30	3.97	25.52	14.42	17.69

Увеличение постоянной времени сглаживателя приводит к уменьшению динамической ошибки, но при этом увеличивается остаточная неравномерность. Значение  $I_2$  уменьшается с увеличением  $T_c$ . Рекомендуемое значение  $T_c \approx \tau/2$ , где  $\tau$  - время запаздывания в исследуемом объекте.

Сравнения переходные характеристики для ПД и ПДД2 регулятора, можно сказать, что величина остаточной неравномерности для ПДД2 регулятора составила меньшее значение.

### 2.2 Объект без самовыравнивания

Определим настройки ПДД2 регулятора с объектом без самовыравнивания (2). Диапазон частот приближения составил  $\omega = 0.45 \dots 0.8$  рад/с. В таблице 4 представлены результаты нахождения настроек ПДД2 регулятора при различных постоянных сглаживателя  $T_c$ .

Таблица 4. Параметрическая оптимизация ПДД2 регулятора для объекта (2)

Постоянная времени $T_c$ , с	$K_p$ , т/ч/мм	$T_{d1}$ , с	$T_{d2}$ , с	$I_2$ , (мм) <sup>2</sup>
20	3.7	0.049	0.633	15.7
30	2.33	0.034	0.533	19.4
40	1.69	0.026	0.469	24

С ростом постоянной времени сглаживателя наблюдается рост  $I_2$ . Уменьшение динамической ошибки можно добиться путем увеличения постоянной времени сглаживателя, но при этом увеличивается длительность переходного процесса. Рекомендуемое значение постоянной времени сглаживателя  $T_c \approx 3\tau$ .

Сравним переходные характеристики ПД и ПДД2 алгоритмов для значения  $T_c = 20$  с: динамическая ошибка приблизительно одинаковая, длительность переходной характеристики для ПД алгоритма составила приблизительно 80 с, а для ПДД2 — 60 с. Усложнением алгоритма регулирования удалось несколько улучшить качество переходных характеристик.

## Заключение

Доказана состоятельность и очевидные достоинства предложенного при расчете одноконтурных АСР с объектами различного вида и линейными регуляторами любой сложности. Достоинства предлагаемого метода позволили расширить класс линейных алгоритмов регулирования, подлежащих параметрической оптимизации, за счет включения алгоритмов типа ПД и ПДД2.

## Литература

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 396с.
2. Aidan O'Dwyer Handbook of PI and PID controller tuning rules, 3d Edition. - London: Imperial College Press, 2009.
3. Rodomanova Yu. S., Pikina G.A., Pashchenko F.F. Universal Searchless Method for Parametric Optimization of Predictive Algorithms / Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA2017, Macedonia). Ohrid: IEEE, 2017. PP. 952-957.