

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Автоматизация производственных процессов»

**РАСЧЕТ ИМПУЛЬСНЫХ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ САР
НЕПРЕРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине

«Автоматизация технологических процессов и производств»
для студентов направлений

15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»,
27.03.04 «Управление в технических системах»

Курган 2020

Кафедра автоматизации производственных процессов

Дисциплина: «Автоматизация технологических процессов и производств»

Составил: канд. техн. наук, доцент Н. Б. Сбродов

Печатается в соответствии с планом издания методической литературы, утвержденным методическим советом университета 06 февраля 2020 г.

Утверждены на заседании кафедры 19 октября 2020 г.

ВВЕДЕНИЕ

Целью данных практических занятий по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств» является освоение методики расчета параметров настройки импульсных двухпозиционных САР непрерывных технологических процессов и получение практических навыков по анализу переходных процессов в указанных системах.

1 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ САР С ИМПУЛЬСНЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Двухпозиционные (релейные) регуляторы широко применяются в составе САР различных технологических объектов [1]. Они обеспечивают приемлемые показатели качества регулирования для объектов без запаздывания или с малым временем чистого запаздывания $\tau_{об}$. Однако для объектов с существенным запаздываем диапазон автоколебаний регулируемой величины Δu значительно превышает зону нечувствительности регулятора $2a$, зачастую, исключая применение двухпозиционного регулятора как основы САР.

Эффективным способом решения указанной проблемы является переход от классического двухпозиционного регулирования к импульсному (релейно-импульсному) двухпозиционному регулированию.

Двухпозиционный импульсный регулятор обеспечивает периодическое принудительное переключение выходного сигнала. На рисунке 1 изображены графики переходных процессов в САР с обычным двухпозиционным регулятором (кривая 1) и с двухпозиционным импульсным регулятором (кривая 2).

При значении регулируемого параметра u (например, температуры) ниже заданного значения импульсный регулятор формирует импульсный выходной сигнал такой скважности, при которой количество энергии, поступающей на объект за время t_1 , превышает количество энергии, отдаваемой объектом за время прекращения подачи t_2 . В результате регулируемый параметр u будет возрастать. Средняя скорость увеличения регулируемого параметра u , а следовательно, и соответствующая амплитуда колебаний регулируемой величины $u_{1умп}$ будет определяться скважностью генерируемых прямоугольных импульсов.

При значении регулируемого параметра u выше заданного значения импульсный регулятор формирует импульсный выходной сигнал такой скважности, при которой количество энергии, поступающей на объект за время t_4 , меньше количества энергии, отдаваемой объектом за время прекращения подачи управляющего воздействия t_3 . В результате регулируемый параметр u по истечении времени запаздывания $\tau_{об}$ будет уменьшаться. Средняя скорость уменьшения регулируемого параметра u , а следовательно, и соответствующая амплитуда колебаний регулируемой величины $u_{2умп}$ будет определяться скважностью генерируемых прямоугольных импульсов.

Как следует из сравнения графиков 1 и 2 на рисунке 1, диапазон колебаний регулируемой величины $\Delta u_{умп}$ при двухпозиционном импульсном регули-

ровании значительно меньше по сравнению с диапазоном колебаний регулируемой величины Δy при обычном двухпозиционном регулировании.

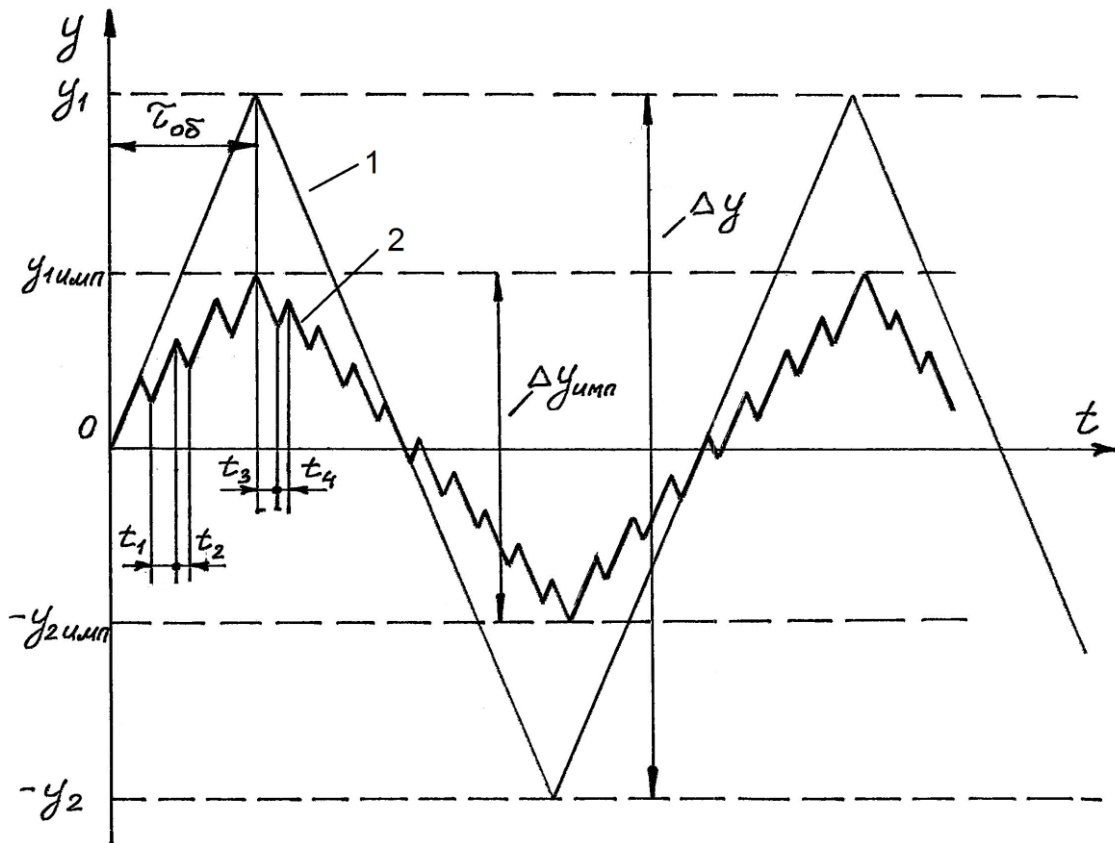


Рисунок 1 – Графики переходных процессов в САР с обычным двухпозиционным регулятором и с двухпозиционным импульсным регулятором для объекта с запаздыванием

Положительная амплитуда колебаний регулируемой величины при двухпозиционном импульсном регулировании определяется по следующей формуле:

$$y_{1\text{имп}} = k_{об} B_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{1}{n+\alpha n-\alpha}\right) \right] + k_{об} \left\{ B_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{1}{n+\alpha n-\alpha}\right) \right] \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{\alpha}{n+\alpha n-\alpha}\right) - B_2 \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{\alpha}{n+\alpha n-\alpha}\right) \right] \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{1}{n+\alpha n-\alpha}\right) \right\} \cdot \sum_{k=1}^n \exp\left(-\frac{\tau_{об} (1+\alpha)(n-k)}{T_{об} (n+\alpha n-\alpha)}\right) \quad (1)$$

где $k_{об}$ – коэффициент передачи объекта;

$\tau_{об}$ – время запаздывания объекта;

$T_{об}$ – постоянная времени объекта;

B_1 и B_2 – регулирующие воздействия на объект соответственно при включении и выключении регулятора;

t_1 и t_2 – длительность импульса и паузы соответственно на прямом участке графика переходного процесса;

n – количество включений регулятора за время запаздывания на прямом участке графика переходного процесса;

α – параметр, вычисляемый по формуле $\alpha = t_2/t_1$.

Длительности импульса и паузы определяются по формулам:

$$t_1 = \tau_{об} / [(1 + \alpha)n - \alpha] \quad (2)$$

$$t_2 = \alpha \tau_{об} / [(1 + \alpha)n - \alpha] \quad (3)$$

Отрицательная амплитуда колебаний регулируемой величины при двухпозиционном импульсном регулировании определяется по следующей формуле:

$$y_{2имп} = k_{об} B_2 \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{1}{m + \beta m - \beta}\right) \right] - k_{об} \left\{ B_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{\beta}{m + \beta m - \beta}\right) \right] - B_2 \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{1}{m + \beta m - \beta}\right) \right] \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{\beta}{m + \beta m - \beta}\right) \right\} \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{1}{m + \beta m - \beta}\right) \cdot \sum_{k=1}^m \exp\left(-\frac{\tau_{об}}{T_{об}} \frac{(1 + \beta)(m - k)}{m + \beta m - \beta}\right) \quad (4)$$

где t_3 и t_4 – длительность паузы и импульса соответственно на обратном участке графика переходного процесса;

m – количество отключений регулятора за время запаздывания на обратном участке графика переходного процесса;

β – параметр, вычисляемый по формуле $\beta = t_4/t_3$.

Длительности паузы и импульса определяются по формулам:

$$t_3 = \tau_{об} / [(1 + \beta)m - \beta] \quad (5)$$

$$t_4 = \beta \tau_{об} / [(1 + \beta)m - \beta] \quad (6)$$

2 ПРИМЕР РАСЧЕТА ДВУХПОЗИЦИОННОЙ ИМПУЛЬСНОЙ САР

Исходные данные. Объект регулирования - электрическая печь. Сравнить диапазоны колебаний регулируемой величины в САР температуры с двухпозиционным импульсным регулятором и в САР температуры с обычным двухпозиционным регулятором [1].

Заданное значение температуры: $\Theta_{зд} = 500$ °С

Передаточная функция объекта имеет вид:

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об}}{T_{об}p + 1} e^{-\tau_{об}p}$$

Параметры передаточной функции: $k_{об} = 1$; $T_{об} = 5$ мин; $\tau_{об} = 2$ мин.

Регулирующие воздействия регуляторов: $B_1 = 0,5$; $B_2 = 1$.

Параметры настройки двухпозиционного импульсного регулятора: $\alpha = 0,3$; $\beta = 1,3$; $n = m = 10$.

Решение. Используя формулу 1, определим в относительных единицах положительную амплитуду колебаний температуры в САР с двухпозиционным импульсным регулятором:

$$y_{1\text{имп}} = 0,5 \left[1 - \exp \left(-\frac{2}{5} \frac{1}{(10 + 0,3 \cdot 10 - 0,3)} \right) \right] + \left\{ 0,5 \left[1 - \exp \left(-\frac{2}{5 \cdot 12,7} \right) \right] \cdot \exp \left(-\frac{12 \cdot 0,3}{5 \cdot 12,7} \right) - \left[1 - \exp \left(-\frac{12 \cdot 0,3}{5 \cdot 12,7} \right) \right] \cdot \exp \left(-\frac{2}{5 \cdot 12,7} \right) \right\} \cdot \sum_{k=1}^{10} \exp \left(-\frac{2 \cdot 1,3(10-k)}{5 \cdot 12,7} \right) = 0,018$$

Используя формулу 4, определим в относительных единицах отрицательную амплитуду колебаний температуры в САР с двухпозиционным импульсным регулятором:

$$y_{2\text{имп}} = \left[1 - \exp \left(-\frac{2}{5} \frac{1}{(10+1,3 \cdot 10-1,3)} \right) \right] + \left\{ 0,5 \left[1 - \exp \left(-\frac{2 \cdot 1,3}{5 \cdot 21,7} \right) \right] - \left[1 - \exp \left(-\frac{2 \cdot 1}{5 \cdot 21,7} \right) \right] \cdot \exp \left(-\frac{2 \cdot 1,3}{5 \cdot 21,7} \right) \right\} \cdot \exp \left(-\frac{2}{5 \cdot 21,7} \right) \sum_{k=1}^{10} \exp \left(-\frac{2 \cdot 2,3(10-k)}{5 \cdot 21,7} \right) = 0,039$$

Диапазон колебаний температуры в относительных единицах:

$$\Delta y_{\text{имп}} = \Delta y_{1\text{имп}} + \Delta y_{2\text{имп}} = 0,018 + 0,039 = 0,057$$

Диапазон колебаний температуры в абсолютных единицах:

$$\Delta y_{\text{имп}} = 0,057 \cdot 500 = 28,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Определим диапазон колебаний температуры в относительных единицах для САР с обычным двухпозиционным регулятором:

$$\Delta y = k_{\text{об}}(B_1 + B_2) \left[1 - \exp \left(-\frac{\tau_{\text{об}}}{T_{\text{об}}} \right) \right] = (1 + 0,5) \left[1 - \exp \left(-\frac{2}{5} \right) \right] = 0,495$$

Диапазон колебаний температуры в абсолютных единицах для САР с обычным двухпозиционным регулятором:

$$\Delta y = 0,495 \cdot 500 = 248 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Следовательно, диапазон колебаний температуры в САР с двухпозиционным импульсным регулятором почти в 9 раз меньше по сравнению с САР с обычным двухпозиционным регулятором.

3 ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Для заданного преподавателем варианта определить диапазон колебаний температуры в электронагревательной установке при использовании САР тем-

пературы с двухпозиционным импульсным регулятором. Динамика объекта регулирования описывается передаточной функцией инерционного звена с запаздыванием.

Численные значения исходных данных приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

№ варианта	B_1	B_2	α	β	$n = m$	$K_{об}$	$T_{об}, c$	$\tau_{об}, c$
1	0,4	1,0	0,20	1,50	10	2,0	550	150
2	0,5	0,9	0,25	1,45	11	2,4	800	160
3	0,6	0,8	0,30	1,35	12	2,8	730	130
4	0,7	1,0	0,35	1,30	9	1,8	610	140
5	0,4	0,9	0,20	1,25	13	2,6	590	125
6	0,5	0,8	0,25	1,50	12	2,2	780	150
7	0,6	1,0	0,30	1,45	10	1,6	550	160
8	0,7	0,9	0,35	1,35	11	2,0	800	130
9	0,4	0,8	0,20	1,30	12	2,4	730	140
10	0,5	1,0	0,25	1,25	9	2,8	610	125
11	0,6	0,9	0,30	1,50	13	1,8	590	150
12	0,7	0,8	0,35	1,45	12	2,6	780	160
13	0,4	1,0	0,20	1,35	10	2,2	550	130
14	0,5	0,9	0,25	1,30	11	1,6	800	140
15	0,6	0,8	0,30	1,25	12	2,0	730	125
16	0,7	1,0	0,35	1,50	9	2,4	610	150
17	0,4	0,9	0,20	1,45	13	2,8	590	160
18	0,5	0,8	0,25	1,35	12	1,8	780	130
19	0,6	1,0	0,30	1,30	10	2,6	550	140
20	0,7	0,9	0,35	1,25	11	2,2	800	125

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования : справочное пособие / под ред. А. С. Ключева. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 368 с.

Сбродов Николай Борисович

**РАСЧЕТ ИМПУЛЬСНЫХ ДВУХПОЗИЦИОННЫХ САР
НЕПРЕРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине
«Автоматизация технологических процессов и производств»
для студентов направлений
15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
27.03.04 «Управление в технических системах»

Авторская редакция

Подписано в печать 18.01.21	Формат 60x84 1/16	Бумага 80 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 0,5	Уч. изд. л. 0,5
Заказ 4	Тираж 25	Не для продажи

БИЦ Курганского государственного университета.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.