

Огородников Дмитрий Витальевич

бакалавр, студент

Научный руководитель

Сизова Нина Алексеевна

соискатель, доцент

ФГБОУ ВО «Самарский государственный

технический университет»

г. Самара, Самарская область

РАСЧЕТ НАСТРОЕК ПИ-РЕГУЛЯТОРА В КОНТУРЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

***Аннотация:** в статье рассматривается актуальная задача расчёта оптимальных настроек пропорционально-интегрального регулятора в контуре регулирования температуры на выходе из теплообменника узла фракционирования колонны К-3 установки висбрекинга. Приведены методы аппроксимации динамических характеристик объекта управления и определения параметров регулятора. Получена передаточная функция объекта и рассчитаны коэффициенты настройки ПИ-регулятора. Построены графики переходных процессов.*

***Ключевые слова:** ПИ-регулятор, настройка регулятора, метод Циглера-Никольса, кривая разгона, передаточная функция, аппроксимация, контур регулирования температуры.*

Эффективное функционирование технологических процессов в нефтеперерабатывающей промышленности во многом определяется качеством работы систем автоматического регулирования. Особое значение приобретает точная настройка регуляторов, обеспечивающих поддержание заданных технологических параметров в условиях воздействия возмущающих факторов [1].

В составе установки висбрекинга узел фракционирования с колонной К-3 выполняет ключевую функцию разделения продуктов реакции крекинга. Стабильность температурного режима на выходе из теплообменника Т-ба

непосредственно влияет на качество получаемых фракций и энергоэффективность всей установки. Отклонение температуры от заданного значения приводит к нарушению фракционного состава продуктов, увеличению энергозатрат и, в конечном счёте, к снижению экономических показателей производства.

Задача настройки регулятора состоит в том, чтобы, располагая динамическими характеристиками объекта и регулятора, выбрать и установить настроенные параметры, обеспечивающие оптимальный переходный процесс в автоматической системе. Под оптимальными настройками понимаются такие параметры, которые для заданного объекта обеспечивают процесс регулирования, удовлетворяющий выбранным критериям качества.

Для расчёта параметров ПИ-регулятора использованы экспериментальные данные, полученные с режимного листа. Значения температуры (°C): 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30. Приняты следующие условия: шаг времени 10 с; входное воздействие при $t = 0$ составляет 140 °C; установившееся значение при $t = \infty$ – 20 °C; время запаздывания – 15 с.

Расчёт выполнен с применением программного комплекса «ОРИР» (Объект регулирования и регулятор), разработанного в Самарском государственном техническом университете. Программа реализует метод М.П. Симою для определения передаточной функции объекта по экспериментальной кривой разгона и метод наименьших квадратов для оценки погрешности аппроксимации. Для расчёта настроек ПИ-регулятора применён метод Циглера-Никольса [3]. На первом этапе система вводится в состояние колебаний, и определяется критическая частота и амплитуда. Затем, на основе полученных данных, рассчитываются оптимальные значения K_p и K_i , используя эмпирические формулы Циглера-Никольса. Эти настройки обеспечивают удовлетворительное быстродействие и устойчивость системы.

Уравнение ПИ-регулятора в временной области имеет вид:

$$y = k_p x + \frac{1}{T_u} \int_0^{t_0} x dt$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент пропорциональности; $T_{\text{и}}$ – постоянная времени интегрирования.

Передающая функция ПИ-регулятора:

$$Wp(S) = k_{\text{п}} + \frac{1}{T_{\text{и}}S}$$

По экспериментальным данным, полученным методом площадей, выполнена аппроксимация кривой разгона объекта регулирования. Рассчитанные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Рассчитанные параметры аппроксимации

Параметр	Значение
Постоянная времени T_1	0,83
Постоянная времени T_2	0,24
Коэффициент усиления k	0,08
Время запаздывания τ , с	15
Ошибка аппроксимации D , %	4,95

Для расчёта рекомендуемых параметров ПИ-регулятора применён первый вариант метода Циглера-Никольса, основанный на использовании запасов устойчивости. Процедура настройки начинается с экспериментального исследования системы, состоящей из П-регулятора и заданного объекта регулирования. Коэффициент передачи П-регулятора увеличивается до тех пор, пока на выходе системы не установятся колебания с постоянной амплитудой, то есть система не окажется на границе устойчивости.

Фиксируется критическое значение коэффициента передачи регулятора $k_{\text{п}}^*$, при котором система находится на границе устойчивости, и измеряется период критических колебаний T^* . Значения параметров для ПИ-регулятора рассчитываются по формулам:

$$k_{\text{п}} = 0.45k_{\text{п}}^*$$

$$k_{\text{и}} = \frac{0.54k_{\text{п}}^*}{T^*}$$

Альтернативный второй вариант метода Циглера-Никольса использует реакцию объекта на ступенчатое изменение управляющего воздействия (кривую разгона), показанную на рисунке 1.

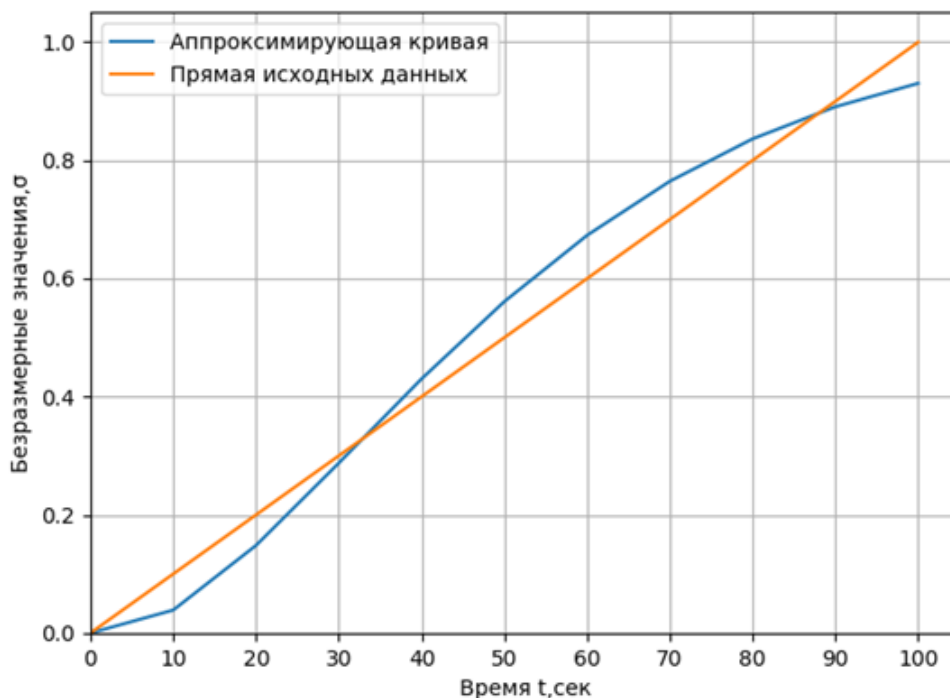


Рис. 1. График реальной и аппроксимирующей кривых разгона

В этом случае параметры регулятора рассчитываются непосредственно по параметрам передаточной функции объекта:

$$k_{\text{п}} = \frac{0.9T}{k\tau}$$

$$k_{\text{и}} = \frac{0.9T}{k\tau^2}$$

где k – коэффициент передачи; T – постоянная времени; τ – время запаздывания.

По результатам расчётов в программе «ОриР» получены следующие рекомендуемые параметры ПИ-регулятора, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Рассчитанные параметры ПИ-регулятора

Параметр	Значение
----------	----------

Коэффициент пропорциональности k_p	15,52
Коэффициент интегрирования k_i	0,02

Передаточная функция настроенного ПИ-регулятора:

$$Wp(s) = 15.52 + \frac{1}{0.02s}$$

С полученными параметрами настройки построен график переходного процесса в замкнутой системе регулирования (рисунок 2). Анализ графика показывает, что система обладает удовлетворительным быстродействием и устойчивостью. Перерегулирование находится в допустимых пределах, а время переходного процесса соответствует инерционным свойствам объекта управления.

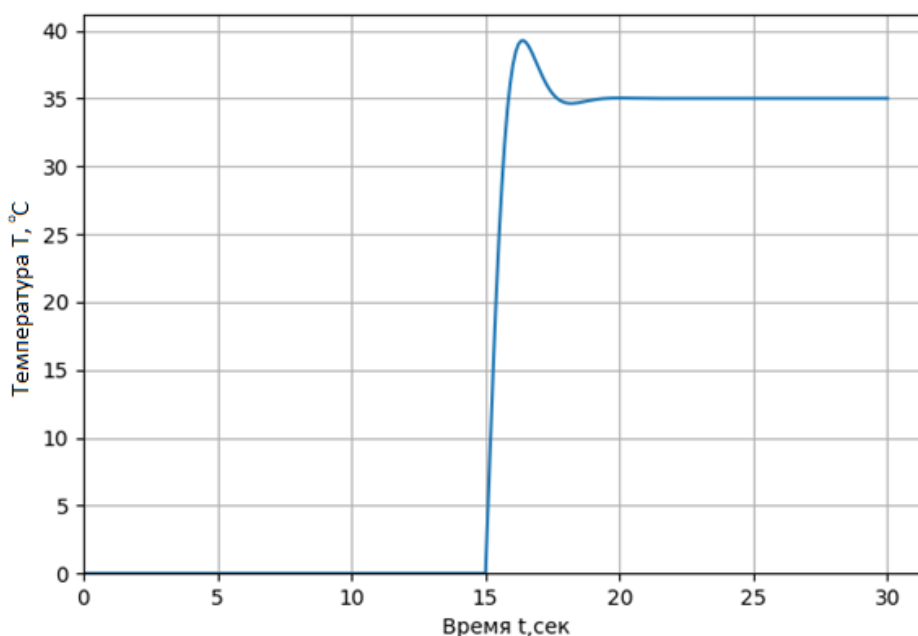


Рис. 2. График переходного процесса

Полученные настройки обеспечивают поддержание температуры на выходе теплообменника Т-ба в заданных пределах при воздействии типовых возмущений: изменении расхода продуктов, колебаниях температуры оборотной воды, вариациях теплосодержания потока. Это подтверждает корректность выбранной структуры регулятора и адекватность математической модели объекта управления.

Список литературы

1. Постоянный технологический регламент работы установки Висбрекинга.
2. Кайзеров Е.С. Методические указания по работе с программой: объект регулирования и регулятор / Е.С. Кайзеров. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2024. – 25 с.