

Отчет по модели управления температурой в резервуаре

Ким Даниль Константинович

1 Введение

Модель предназначена для управления температурой жидкости в резервуаре с использованием ПИД-регулятора. Цель работы — достижение целевой температуры $T_{\text{цель}} = 80^\circ\text{C}$ с минимальным перерегулированием и быстрой стабилизацией.

2 Описание модели

2.1 Системные параметры(в качестве примера)

- Объем резервуара: $V = 0.1 \text{ м}^3$
- Максимальная мощность нагревателя: $P_{\text{max}} = 20,000 \text{ Вт}$
- Теплоемкость воды: $C = 4180 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$
- Коэффициент теплопотерь: $k_{\text{потерь}} = 10 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$

2.2 Математическая модель

Основное уравнение теплового баланса:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P_{\text{нагрева}} - k_{\text{потерь}}(T - T_{\text{окр}})}{C \cdot \rho \cdot V}, \quad (1)$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды, $T_{\text{окр}} = 20^\circ\text{C}$.

3 ПИД-регулятор

Управляющее воздействие рассчитывается как:

$$P_{\text{нагрева}} = K_p \cdot e + K_i \cdot \int e \, dt + K_d \cdot \frac{de}{dt}, \quad (2)$$

где $e = T_{\text{цель}} - T$.

3.1 Параметры регулятора

- $K_p = 1500$ — быстрая реакция на ошибку
- $K_i = 8$ — устранение статической ошибки
- $K_d = 200$ — подавление перерегулирования

4 Anti-Windup механизм

Интегральная составляющая ограничивается при насыщении:

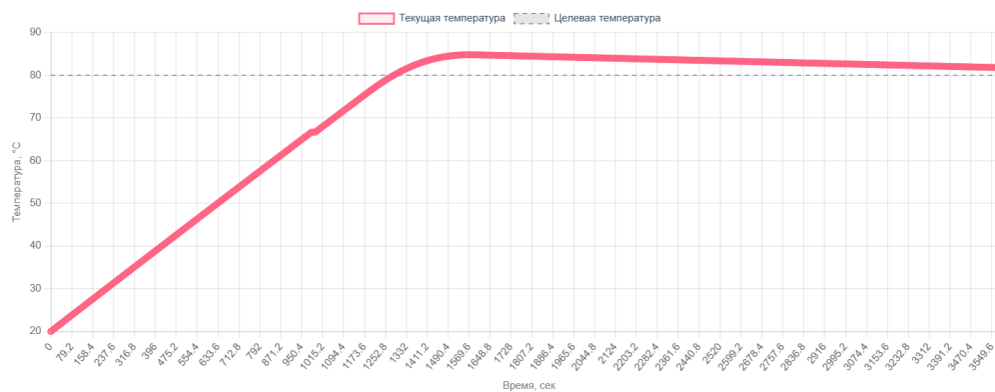
$$\begin{aligned} \text{Если } 0 < P_{\text{нагрева}} < P_{\text{max}} : \quad & \frac{d}{dt}(\text{IntError}) = e \\ \text{Иначе :} \quad & \frac{d}{dt}(\text{IntError}) = 0 \end{aligned}$$

5 Результаты симуляции

5.1 Получившиеся графики

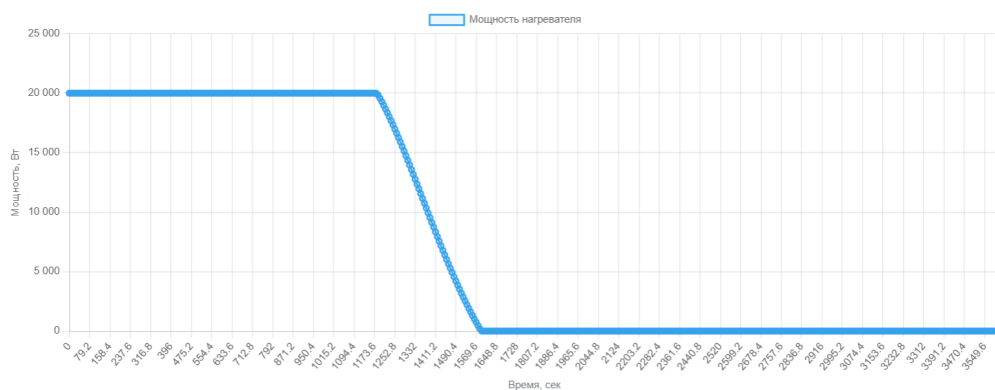
Динамика температуры жидкости

Отображает изменение температуры в резервуаре в течение времени симуляции. Красная линия показывает текущую температуру, серая пунктирная линия - целевую температуру (уставку).



Мощность нагревательного элемента

Показывает изменение мощности нагревателя в процессе работы системы. Максимальное значение ограничено установленным параметром. Синяя область показывает фактическое потребление мощности.



6 Проверка корректности

6.1 Тепловой баланс в стационаре

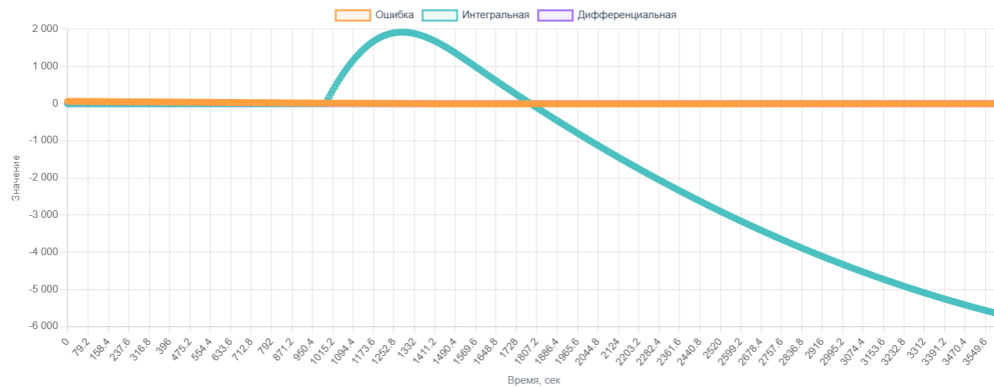
$$P_{\text{нагрева}} = k_{\text{потерь}} \cdot \Delta T = 10 \cdot 60 = 600 \text{ Вт}$$

Регулятор поддерживает $P \approx 600 \text{ Вт}$ при $T = 80^\circ\text{C}$.

Компоненты ПИД-регулятора

График работы составляющих ПИД-контроллера:

- **Ошибка** - текущая разница между заданной и фактической температурой
- **Интегральная составляющая** - накопленная сумма ошибок за время работы
- **Дифференциальная составляющая** - скорость изменения ошибки



6.2 Время нагрева

Теоретический расчет:

$$t = \frac{m \cdot C \cdot \Delta T}{P_{\max}} = \frac{100 \cdot 4180 \cdot 60}{20000} \approx 1254 \text{ сек (21 мин)}$$