

## СИНТЕЗ АДАПТИВНЫХ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ КОТЛОМ В ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ.

Турсунова Садокат Абдусалом кизи магистрантка 2 курса ТГТУ  
имени Ислама Каримова

**Аннотация:** В статье обсуждается задача синтеза системы управления прямоточным котлом. Предлагается использовать подход каскадного управления для управления объектом, так как есть возможность измерения промежуточной переменной. Параметры контура внешнего нагревателя нестационарный и зависят от нагрузки котла, поэтому для управления им предлагается использовать надежный ПИД-регулятор. Основным преимуществом метода является использование вектора производной для вычислений управляемой переменной, что позволяет иметь дело с отложенным типом объекта управления. Результаты показывают, что полученная система управления имеет достаточно хорошее качество переходных процессов. Разработанный набор регуляторов был применен к большой нелинейной модели прямоточного котла, обеспечивающей более реалистичные переходные процессы. Поэтому можно сказать, что разработанная система управления полностью соответствует всем требованиям.

**Ключевые слова:** *нагреватель, каскадное регулирование, нестационарный объект, ПИД-регулятор, метод локализации.*

Паровые котлы широко применяются в тепло-энергетике и промышленности. Их основным назначением является генерация насыщенного или перегретого пара высокого давления, который приводит в движение турбину. Существуют два типа паровых котлов: газотрубные и водотрубные котлы.

Последние, в свою очередь, делятся на барабанные и прямоточные [1]. Главным отличием принципа действия прямоточного котла является то, что вода проходит через испарительные трубы однократно, постепенно превращаясь в пар. В случае барабанного котла кратность циркуляции воды может достигать 30 раз, что приводит к более длительному времени приведения такого типа котлов в рабочее состояние и замедляет время нагрева пара.

Особенности прямоточного котла как объекта управления Нагреватель как объект управления обладает следующим рядом особенностей, которые необходимо учитывать при выборе регулятора:

- параметры и порядок объекта зависят от текущей нагрузки (см. табл. 1);
- управление в системе ограничено;
- на вход и выход нагревателя действуют возмущения.

При работе с ним следует помнить, что управляющее воздействие может изменяться только в диапазоне от 0 до 1 (0...100 %), что соответствует полностью открытому и полностью закрытому положениям клапана.

Также следует отметить, что единственная возможность воздействия на систему - это охлаждение пара. Если температура пара слишком мала, то единственное возможное действие с точки зрения регулирования температуры - закрыть клапан до тех пор, пока температура пара не войдет в рабочую зону.

В системе имеется два типа возмущений, причем работа со вторым типом (приложенным к выходу системы) является наиболее трудной, так как возмущение "проходит" напрямую в регулятор. Следовательно, при синтезе регулятора нужно учитывать необходимость отработки такого возмущения.

Отметим также, что "наихудшим" случаем является система с параметрами, соответствующими нагрузке 50 % от максимальной. Этому состоянию соответствуют наибольший порядок системы, наибольшие постоянные времени и наибольший коэффициент усиления, что по отдельности и в целом затрудняет синтез регулятора.

Стабилизация внутреннего контура. Исследуемая модель проточного котла включает в себя два контура, процессы в которых являются разнотемповыми, так как постоянные времени внутреннего и внешнего контуров различаются более чем на один порядок. В этом случае можно синтезировать регуляторы для внутреннего  $G_{C1}(p)$  и внешнего контуров  $G_{C2}(p)$  независимо друг от друга.

Для стабилизации внутреннего контура целесообразно использовать пропорциональный регулятор [2].

При расчете внешнего контура внутренний можно не учитывать, поскольку процессы в нем уже закончились. В качестве регулятора внешнего контура предлагается использовать типовой адаптивных нечетких ПИД регулятор



$$G_{c1}(p) = K_p + \frac{K_i}{p} + \frac{K_d p}{\tau p + 1}, \quad (1)$$

где  $\tau$  - постоянная времени реального дифференцирующего устройства. В результате преобразований (3) принимает вид

$$G_{c1}(p) = \frac{(K_d + K_p)p^2 + (K_p + \tau K_i)p + K_i}{p(\tau p + 1)}, \quad (2)$$

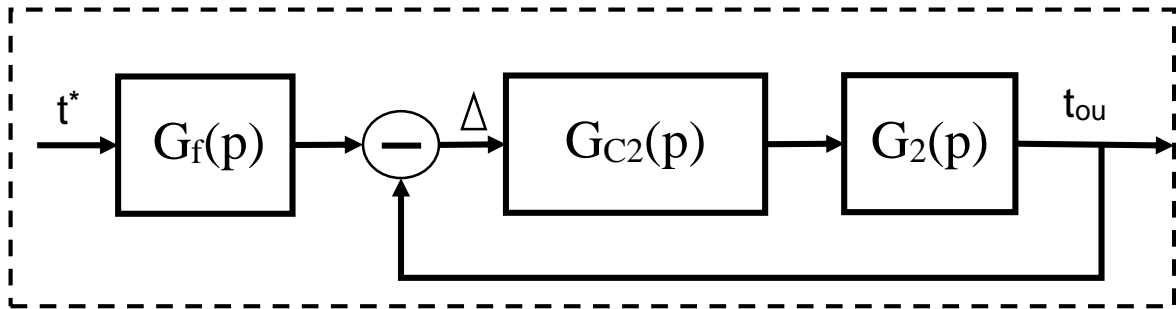


Рис. 5. Структурная схема внешнего контура.

Как видно, регулятор  $G_{c2}(p)$  содержит форсирующий полином и для  $G_{c2}(p)$  второго порядка по форме соответствует регулятору, основанному на методе локализации [7, 8]. В связи с этим предлагается рассчитывать параметры ПИД регулятора (1) на базе данного метода, аналогично работам [3, 4]. Предварительно выражение (2) записывается в форме

$$G_{c2}(p) = K \frac{p^2 + 2cp + c^2}{p(\tau p + 1)}, \quad (3)$$

где  $c$  - параметр, который определяет длительность процесса,  $K$  - точность. Их численные значения следующие:  $K = 35$ ,  $c = 0.017$ ,  $\tau = 20$ .

С учетом этого системы предварительный фильтр  $G_f(p)$ , который позволяет качество переходного процесса:

$$G_f(p) = \frac{c}{p^2 + 2cp + c^2}, \quad (4)$$

В соответствии с алгоритмом расчета робастного адаптивных нечетких ПИД регулятора [9, 10] его параметры определяются по соотношениям

$$K_p = Kc(2 - \tau c), K_i = Kc^2, K_d = K - \tau K_p$$

и имеют численные значения:  $K_p = 0,988$ ;  $K_i = 0,0101$ ;  $K_d = 0,0656$ .

В работе исследована возможность использования робастного ПИД регулятора в системе управления прямоточным котлом. Главным отличием и преимуществом полученного регулятора по сравнению с разработанным ранее адаптивным регулятором является то, что он имеет постоянные параметры и структуру. Использование старшей производной выходной величины при формировании управляющего воздействия позволяет парировать влияние нелинейных характеристик и нестационарных параметров нагревателя. Описанные качества предложенного регулятора говорят о его эффективности, и, следовательно, данный подход может быть использован для решения относительно широкого круга задач управления.

### *Список литературы.*

1. Yusupbekov N.R, Igamberdiev H.Z, Mamirov U.F: Adaptive control system with a multilayer neural network under parametric uncertainty condition. CEUR Workshop Proc. 2782, 228–234 (2020)
2. Yusupbekov N.R, Igamberdiev H.Z, Zaripov O.O, Mamirov U.F.: Stable iterative neural network training algorithms based on the extreme method. In: Aliev, RA, Kacprzyk, J., Pedrycz, W., Jamshidi, M., Babanli, M., Sadikoglu, FM (eds.) ICAFS 2020. AISC, vol. 1306, pp. 246–253. Springer, Cham (2021). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64058-3\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64058-3_30)
3. Французова Г. А., Земцов Н. С. Применение метода локализации для расчета робастного ПИД-регулятора // Научный вестник НГТУ. 2013. № 3 (52). С. 18-21.
4. Zemtsov N. S., Frantsuzova G. A., Hubka L., Modrlak O. Calculation of robust PID-controller // Proc. of 12th Intern. Conf. "Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE-2014)" (2-4 October 2014). Novosibirsk. 2014. Vol. 1. P. 675-678.
5. Hubka L. Temperature dynamics of heat exchangers in boiler // Proc. of 7th Eurosime Congress on Modeling and Simulation. Praha. 2010.