

УДК 621.311

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕАЛЬНЫХ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ
COMPARATIVE STUDY OF DIFFERENT METHODS OF STRUCTURAL-PARAMETRIC OPTIMIZATION OF REAL PID-REGULATORS

Е. Р. Сазоненко

Научный руководитель – Г. Т. Кулаков, д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

tes_bntu@tut.by

E. Sazonenko

Supervisor – G. Kulakov, Doctor of Technical Sciences, Professor
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье производится выбор и обоснование структуры реализации и методов параметрической оптимизации ПИД-регуляторов. В ходе работы проводились экспериментальные исследования по сравнению методов динамической настройки ПИД-регуляторов.*

***Abstract:** the article selects and justifies the implementation structure and methods for parametric optimization of PID controllers. In the course of the work, experimental studies were carried out to compare methods for dynamic tuning of PID controllers.*

***Ключевые слова:** ПИД-регуляторы, сравнительное исследование, методы БНТУ, динамические настройки.*

***Keywords:** PID controllers, comparative study, BNTU methods, dynamic setting.*

Введение

Задача эффективного управления технологическими процессами остается актуальной проблемой для предприятий различных отраслей промышленности. Особенно актуальна эта задача для газо-мазутных тепловых электрических станций (ТЭС) энергосистемы Республики Беларусь, вынужденных работать в пиковой и полупиковой части графиков электрических нагрузок из-за работы энергоблоков БелАЭС в базовой части электрических нагрузок (второй энергоблок БелАЭС будет введен в эксплуатацию в 2022 году).

Большинство методов динамической настройки ПИД-регуляторов позволяют определить параметры динамической настройки регулятора в аналитической форме.

Сравнительные исследования различных методов структурно-параметрической оптимизации реальных ПИД-регуляторов показали явное преимущество экспресс-методов БНТУ.

Основная часть

В работе [1] приведены результаты сравнительных исследований качества переходных процессов в одноконтурных САР с ПИ-регуляторами, настроенными по методу полной компенсации большей постоянной времени передаточной функции объекта (Метод полной компенсации в частном виде – МПК в ЧВ-I),

а также методу частичной компенсации (МЧК) при обработке внутренних возмущений в сравнении с известными методами, применяемыми в теплоэнергетике и обоснованы преимущества методов БНТУ (МПК в ЧВ-I и МЧК).

Целесообразность перехода к ПИД-регуляторам обоснована повышением быстродействия и точности. Это существенно уменьшает расход электрической энергии на привод регулирующих клапанов, что приводит к повышению экономичности работы ТЭС за счет уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды.

Вначале проведем расчет параметров динамической настройки ПИД-регулятора по МПК в ЧВ-I [1]:

$$W_{об}^{расч} = \frac{k_{об} \cdot e^{-\tau p}}{T_k p + 1}, \tag{1}$$

где $T_k = T_1 + \sigma = 3 + 1 = 4$ мин; (2)

$$W_p(p) = \frac{k_{об}(T_{И2}p + 1)}{T_{И2}p}, \tag{3}$$

где настройки ПИ-регулятора рассчитывают по формулам:

$$T_{И2} = T_k = 4 \text{ мин}; \tag{4}$$

$$\xi_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} : k_{p2} = \frac{T_1}{2k_{об}\tau_y} = \frac{3}{2 \cdot 1 \cdot 5} = 0,3; \tag{5}$$

$$\xi_2 = 1 : k_{p2} = \frac{T_1}{4 \cdot 1 \cdot 5} = 0,15; \tag{6}$$

Схемы моделирования переходных процессов САР с ПИ-регуляторами приведены на рис. 1, 2.

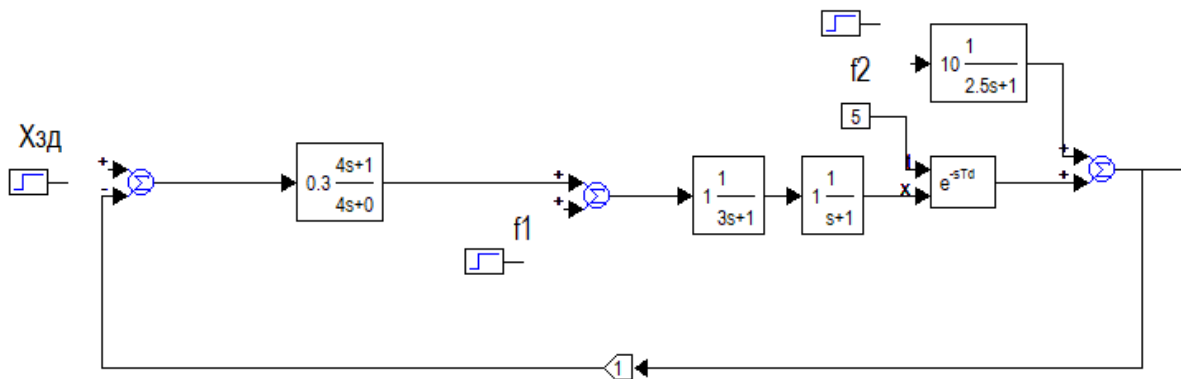


Рисунок 1 – Структурная схема САР, построенной по МПК в ЧВ-I ($\xi = 1/\sqrt{2}$)

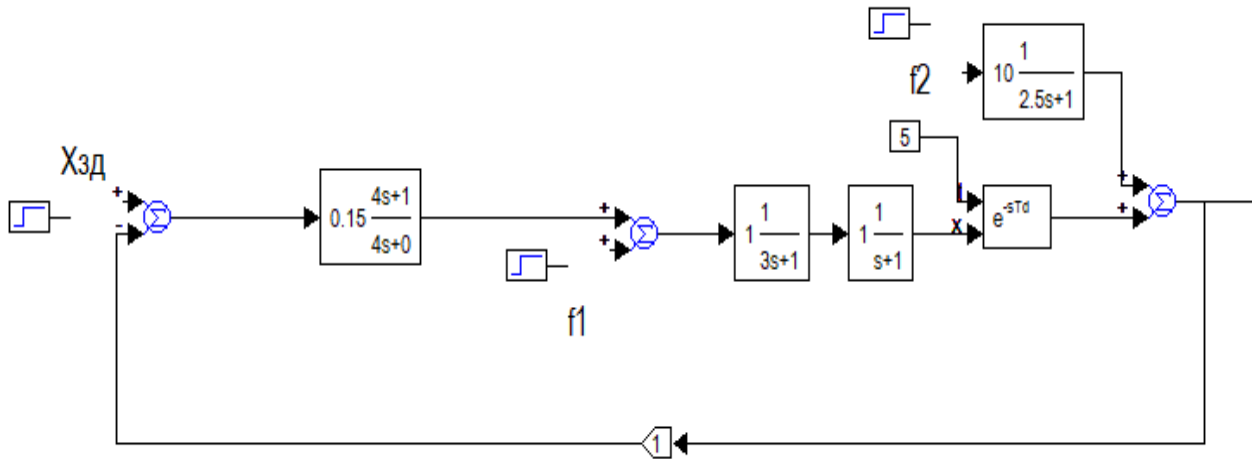


Рисунок 2 – Структурная схема САР, построенной по МПК в ЧВ-I ($\xi = 1$)

Выберем структуру регулятора на базе передаточной функции оптимального регулятора с использованием обратной передаточной функции объекта и заданной передаточной функции разомкнутой системы при $n = 2$ с одним расчетным параметром динамической настройки $T_{зд}$, определяемым как доля от величины запаздывания, которое принимаем за целое, и выбираем из ряда чисел пропорции золотого сечения [2]:

$$W_p^{opt}(p) = [W_{об}^*(p)] W_{зд}^{PC(n=2)} = \frac{k_p (T_k p + 1)(\tau p + 1)}{T_k p (\frac{T_{зд}}{2} p + 1)}, \quad (7)$$

где $k_p = \frac{T_k}{2T_{зд}}$ (8)

Здесь $T_{зд1} = 0,382 \cdot \tau = 1,91$ мин, $k_p = 1,05$; (9)

$$T_{б1} = \frac{T_{зд2}}{2} = \frac{1,91}{2} = 0,955 \text{ мин}; \quad (10)$$

$$W_{p2}^{opt}(p) = \frac{1,05(4p + 1)(5p + 1)}{4p(0,955p + 1)}; \quad (11)$$

На рис. 3 приведена схема моделирования переходных процессов САР с РПИД, реализованная на передаточной функции оптимального регулятора с использованием принципа динамической компенсации [2].

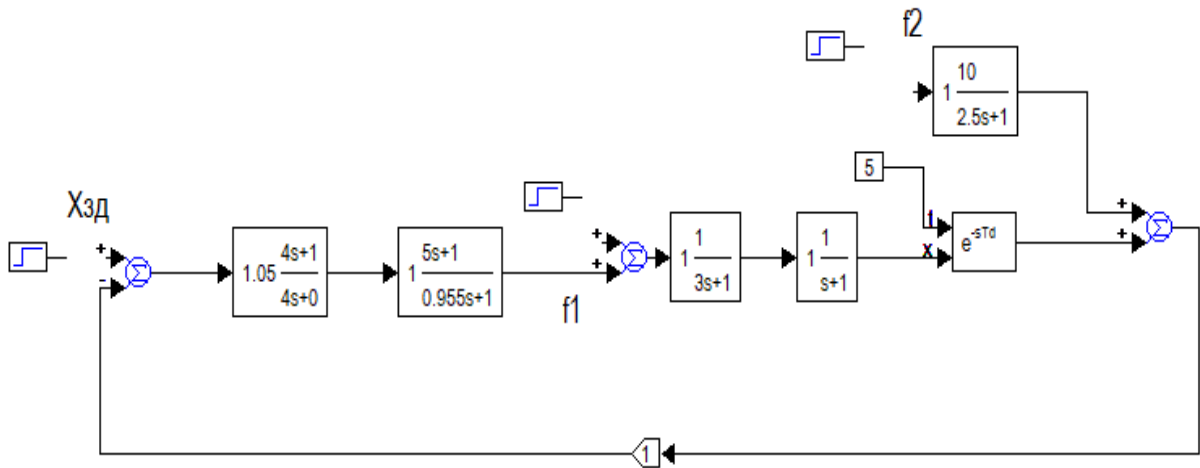


Рисунок 3 – Структурная схема САР с РПИД на базе передаточной функции оптимального регулятора ($T_{зд1} = 1,91$ мин)

Сравним наилучшие методы настройки ПИД-регуляторов БНТУ:

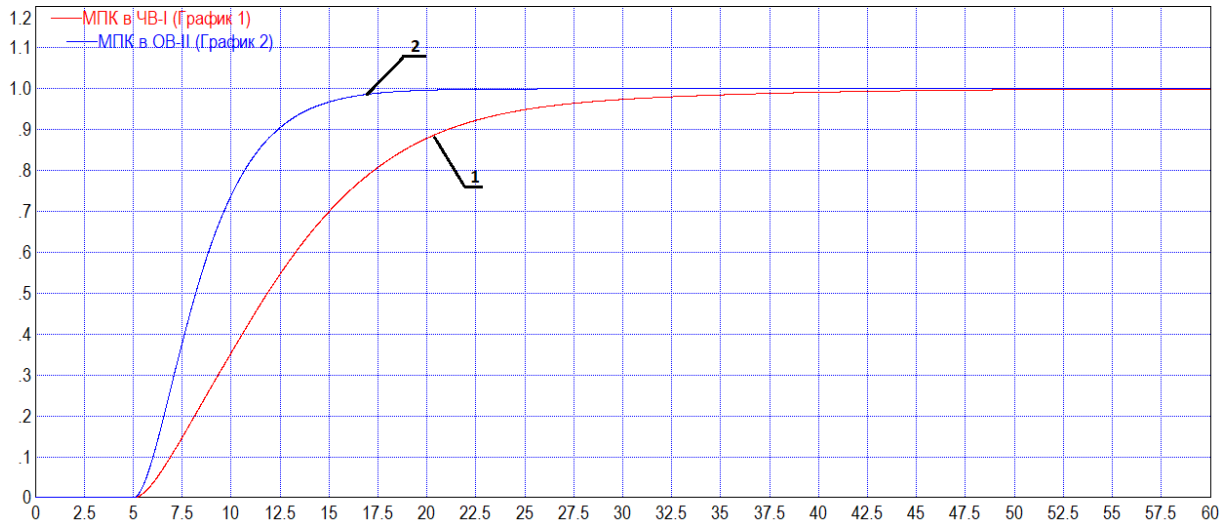


Рисунок 4 – Оработка скачка задания $x_{зд}$

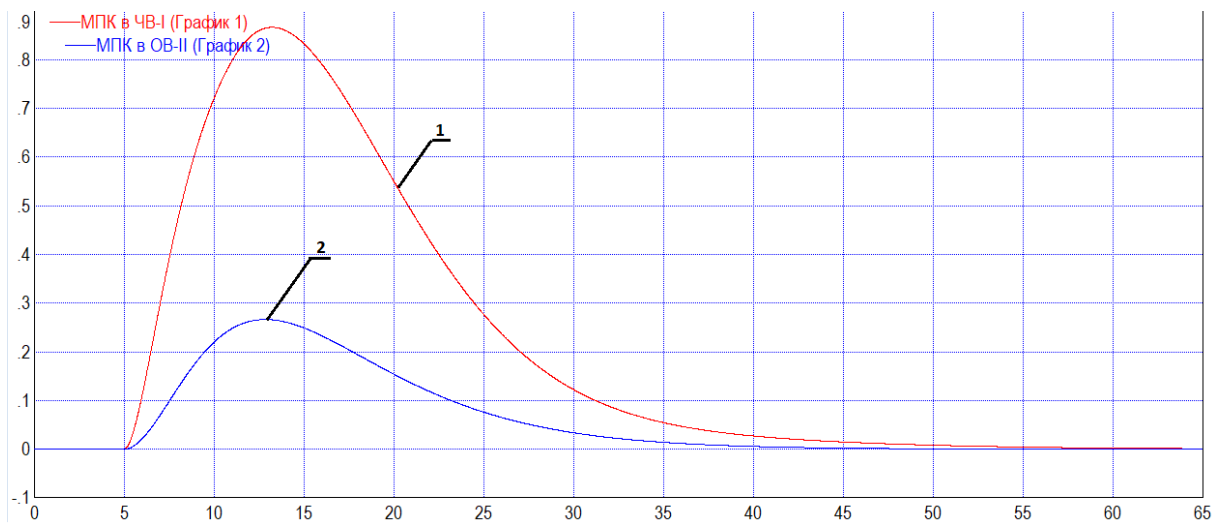


Рисунок 5 – Оработка внутреннего возмущения f_1

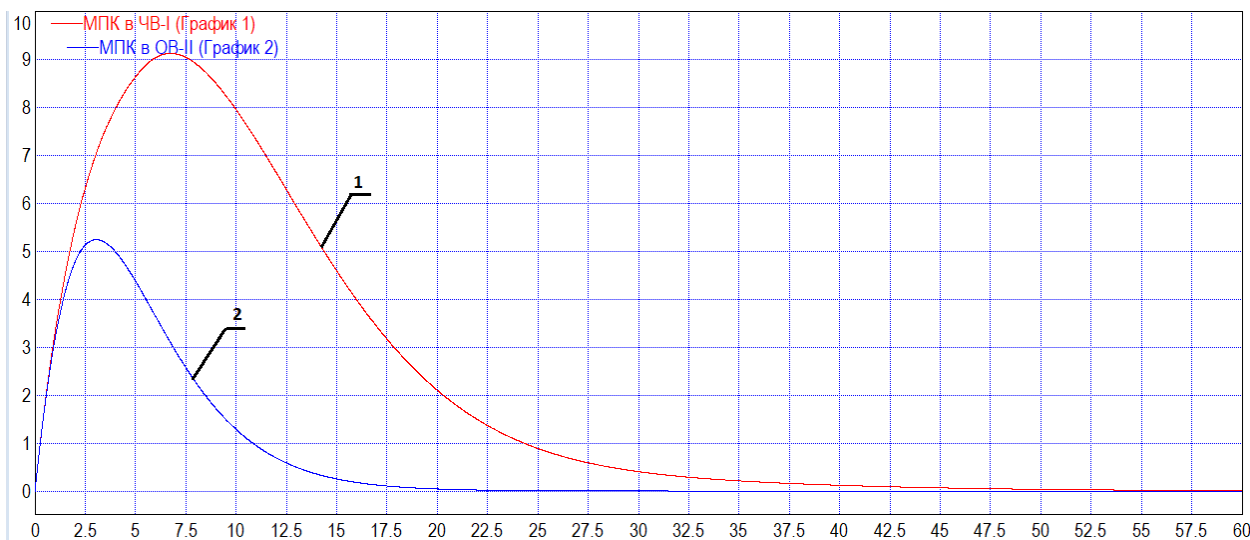


Рисунок 6 – Отработка внешнего возмущения f_2

Заключение

Для объектов регулирования, передаточные функции которых имеют отношение величины запаздывания по каналу регулирующего воздействия ко времени разгона меньше единицы, можно сделать следующие выводы по структурно-параметрической оптимизации ПИД-регуляторов:

1. При использовании типовых ПИД-регуляторов для улучшения качества регулирования при основных воздействиях целесообразно использовать структуру последовательного соединения ПИ-регулятора и звена быстрого реагирования.

2. Для повышения быстродействия и точности САР при отработке задания в 2 раза и более и уменьшения времени отработки внешнего возмущения от 1,9 раза и более, целесообразно вместо ПИД-регулятора использовать структуру передаточной функции оптимального регулятора БНТУ как произведение передаточной функции фильтра на обратную передаточную функцию ошибки регулирования при отработке скачка крайнего внешнего возмущения.

Литература

1. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г. Т. Кулаков. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 192 с.
2. Теория автоматического управления: учеб.-метод. пособие / Г. Т. Кулаков [и др.]; под общ. ред. Г. Т. Кулакова. – Минск: БНТУ, 2017. – 133 с.
3. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. для вузов / В. Я. Ротач. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.