

УДК 62-503.57

ОПТИМАЛЬНАЯ НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Шах А.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.

Рассматривается инженерный метод оптимизации параметров ПИД-регулятора для объекта управления второго порядка с запаздыванием. Для оптимизации системы управления предложен интегральный критерий качества с минимизацией управляющего воздействия, который отличается от существующих корректным учетом управляющего воздействия на технологический процесс. Это позволяет минимизировать расход материальных и/или энергетических ресурсов, при этом ограничивается износ и увеличивается срок службы регулирующих устройств. С использованием теории оптимизации численно подтверждена унимодальность предложенного критерия качества для задач оптимальной настройки регулятора. Для одноконтурной системы управления с помощью расчетных методов определена функциональная взаимосвязь оптимальных параметров регулятора от динамических свойств объекта управления.

Ввод в эксплуатацию систем автоматического управления сложными технологическими процессами, как правило, занимает много времени и для его выполнения требуются квалифицированные специалисты. Несмотря на это, как свидетельствует опыт, в большинстве случаев принятые в эксплуатацию системы управления оказываются настроенными далеко не оптимальным образом, что влечет за собой соответствующие (обычно скрытые, поскольку они специально не регистрируются) экономические потери. Автоматизация процесса настройки позволяет существенно уменьшить эти потери, а также сроки ввода САУ в действие.

Математическая модель объекта управления представлена апериодическим звеном второго порядка с запаздыванием:

$$W_{об}(p) = \frac{K_0 e^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(\sigma p + 1)}, \quad (1)$$

где K_0 – коэффициент передачи объекта;

T_1 и σ – постоянные времени,

τ – запаздывание.

Передаточная функция ПИД-регулятора:

$$W_p(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_d p}{T_f p + 1} \right), \quad (2)$$

где K_p – коэффициент передачи быстродействующего канала,

T_i – время интегрирования быстродействующего канала,

T_d – время дифференцирования быстродействующего канала,

T_f – временная постоянная фильтра.

В данном разделе приводится расчет оптимальной системы регулирования температуры пара за потолочным экраном прямоточного котла ТПП-210А. За основу взят объект регулирования второго порядка с запаздыванием [1]:

$$W_{об}(p) = \frac{2,3 \cdot e^{-10p}}{(98p + 1)(49p + 1)}. \quad (3)$$

Рассмотрим

САР №1: КПИ

Используя настройки динамической настройки ПИД-регулятора [таблица 1, 1] запишем передаточную функцию регулятора:

$$W_p(p) = 1,64 \left(1 + \frac{1}{99p} + \frac{27,8p}{2,78p + 1} \right)$$

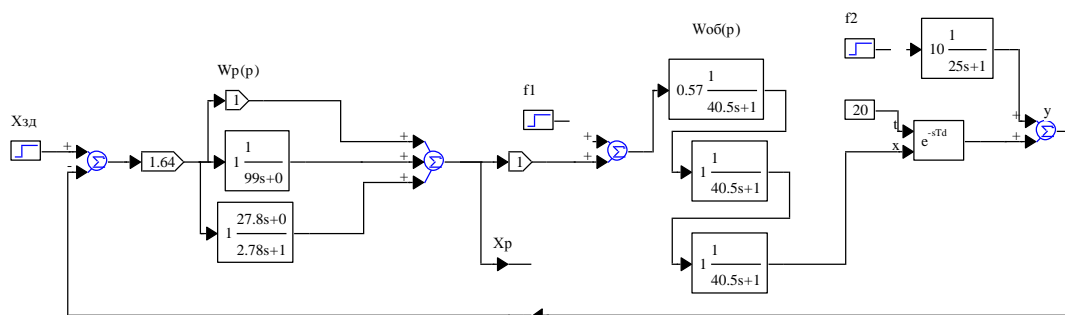


Рисунок 1. Структурная схема САР №1 КПИ
 САР №2: БНТУ на базе регулятора Кулакова

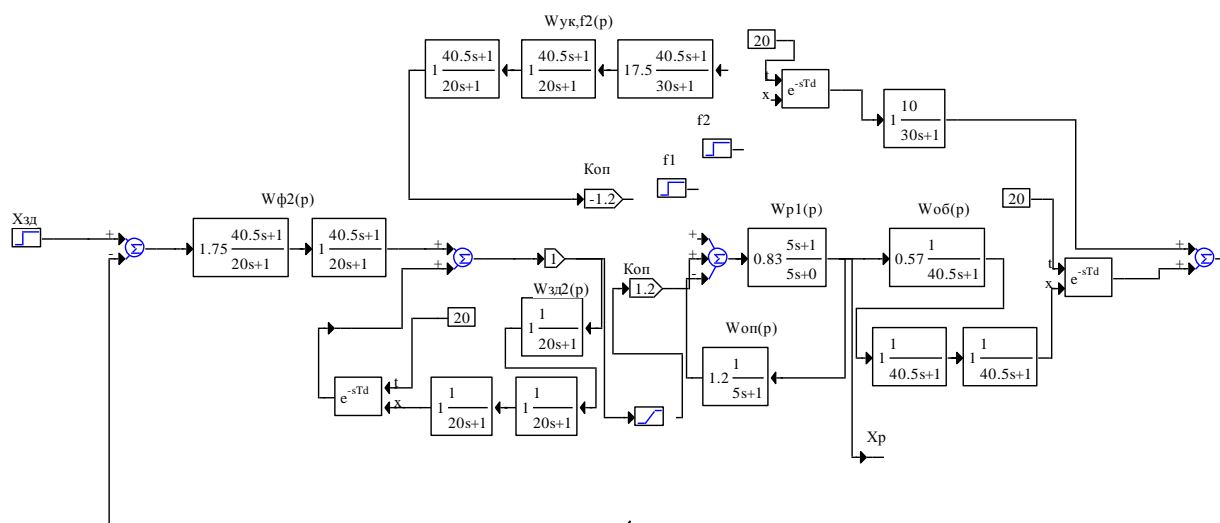


Рисунок 2. Структурная схема САР №2 БНТУ на базе регулятора Кулакова

Передаточная функция объекта регулирования без запаздывания:

$$W_{об}^o(p) = \frac{k_0}{(Tp + 1)^3} = \frac{0,57}{(40,5p + 1)^3}. \quad (4)$$

Передаточная функция оптимального регулятора Кулакова:

$$W_p^{opt}(p) = [W_{об}^o(p)]^{-1} \cdot W_{зд2}(p) = \frac{(40,5p + 1)^3}{0,57} \cdot \frac{1}{1 - \frac{e^{-\tau p}}{(T_{зд2}p + 1)^3}}, \quad (5)$$

где $T_{зд} = \gamma \cdot \tau$,

$\gamma = (0,618; 0,382; 0,09)$,

$T_{зд1}^{opt} = 20$.

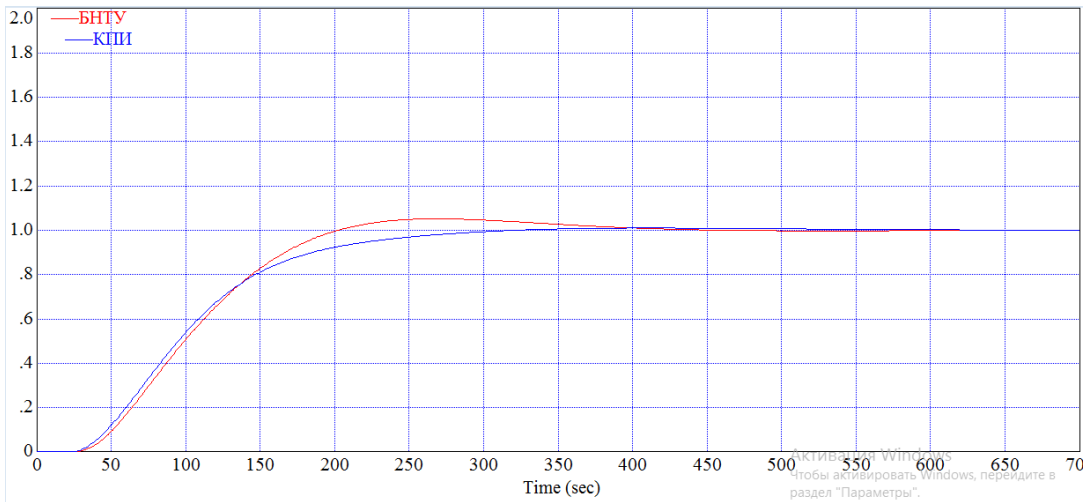


Рисунок 3. Регулируемая величина при отработке скачка задания $x_{зд}$

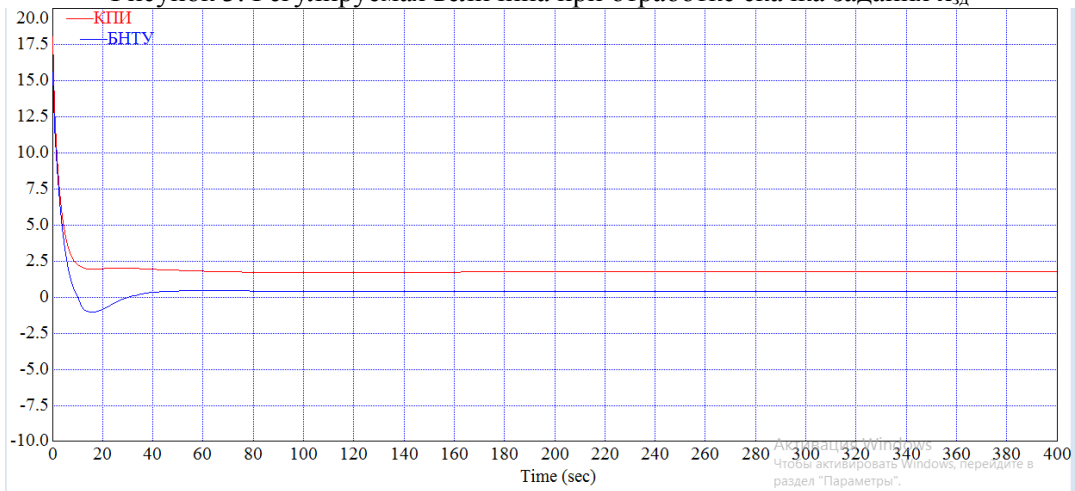


Рисунок 4. Регулирующее воздействие при отработке скачка задания $x_{зд}$

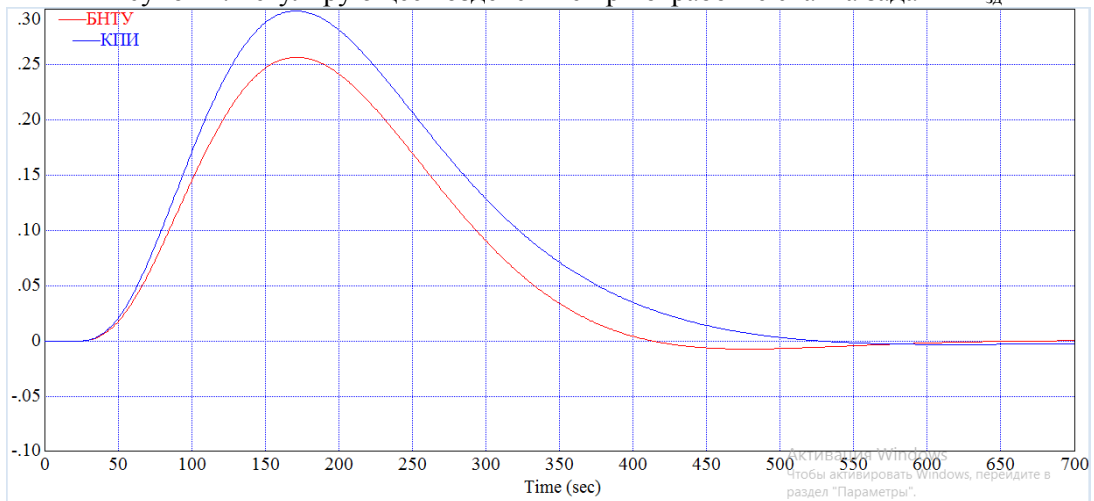


Рисунок 5. Регулируемая величина при отработке внутреннего возмущения f_1

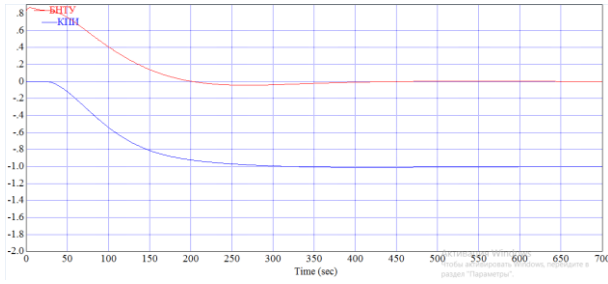


Рисунок 6. Регулирующее воздействие при отработке внутреннего возмущения f1

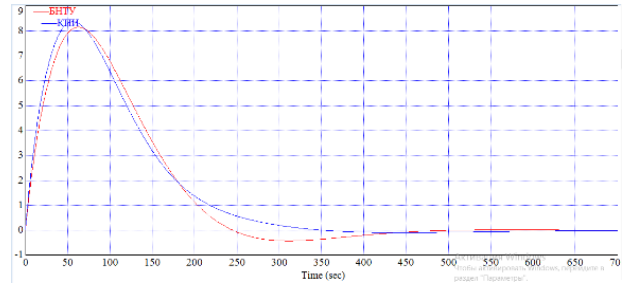


Рисунок 7. Регулируемая величина при отработке крайнего внешнего возмущения f2

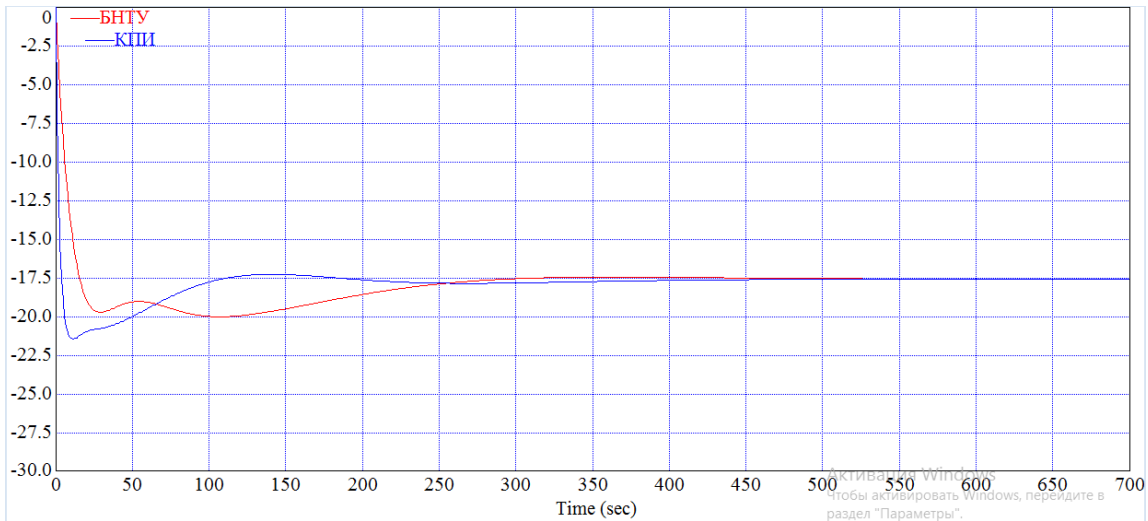


Рисунок 8. Регулирующее воздействие при отработке крайнего внешнего возмущения f2

САР №3: КПИ

Используя настройки динамической настройки ПИД-регулятора [таблица 1, 1] запишем передаточную функцию регулятора:

$$W_p(p) = 1,64 \left(1 + \frac{1}{99p} + \frac{27,8p}{2,78p + 1} \right)$$

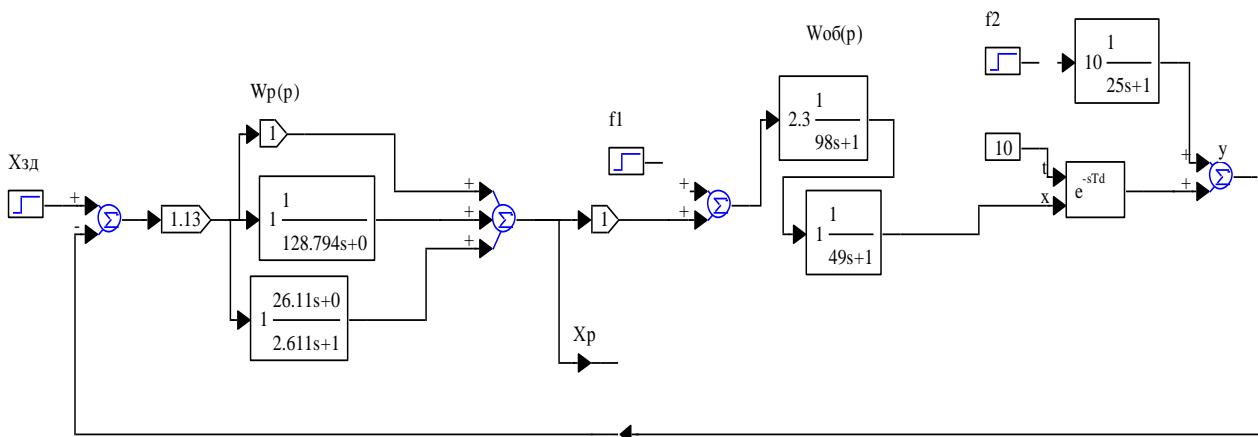


Рисунок 9. Структурная схема САР №3 КПИ

САР №4: БНТУ на базе регулятора Кулакова

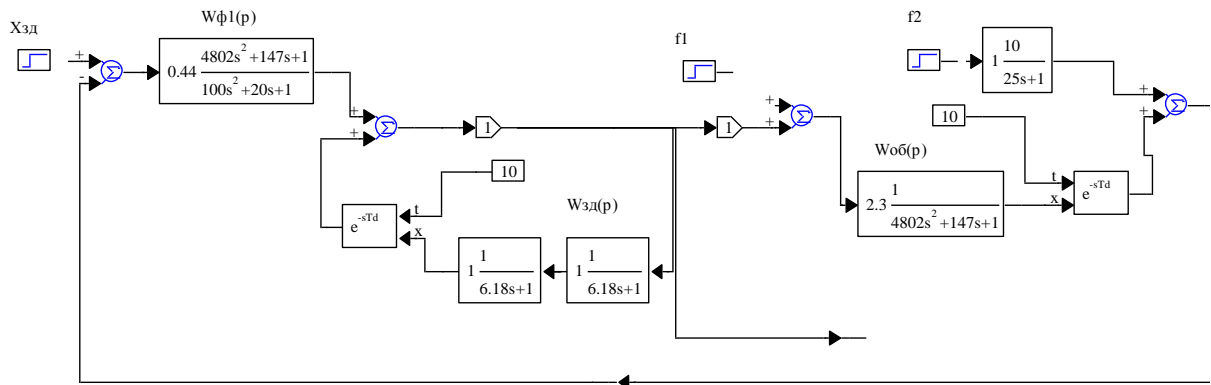


Рисунок 10. Структурная схема САР №4 БНТУ на базе регулятора Кулакова

Передаточная функция объекта регулирования без запаздывания:

$$W_{об}^o(p) = \frac{K_0}{(T_p + 1)(\sigma p + 1)} = \frac{2,3}{(98p + 1)(49p + 1)}. \quad (6)$$

Передаточная функция оптимального регулятора Кулакова:

$$W_p^{opt}(p) = [W_{об}^o(p)]^{-1} \cdot W_{зд}(p) = \frac{(98p + 1)(49p + 1)}{2,3(T_{зд1}p + 1)^2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{e^{-\tau p}}{(T_{зд1}p + 1)^3}}, \quad (7)$$

где $T_{зд} = \gamma \cdot \tau$,

$\gamma = (0,618; 0,382; 0,09)$,

$T_{зд1} = 6,18$.

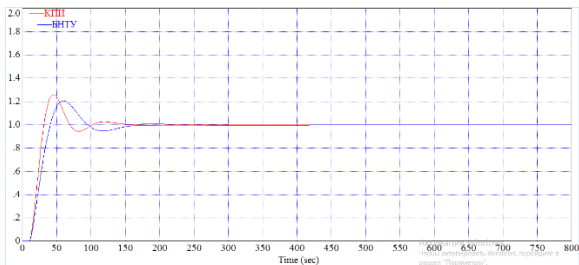


Рисунок 11. Регулируемая величина при отработке скачка задания Xзд

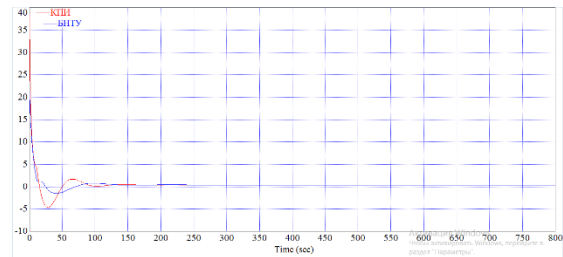


Рисунок 12. Регулирующее воздействие при отработке скачка задания Xзд

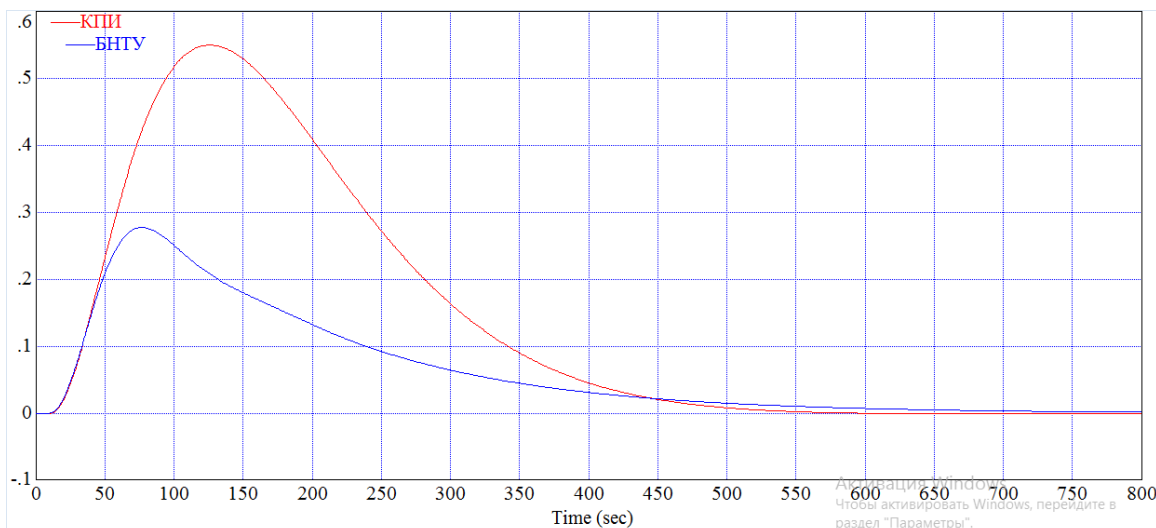


Рисунок 13. Регулируемая величина при отработке внутреннего возмущения f1

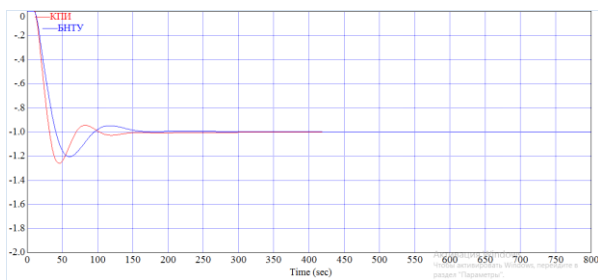


Рисунок 14. Регулирующее воздействие при отработке внутреннего возмущения f1

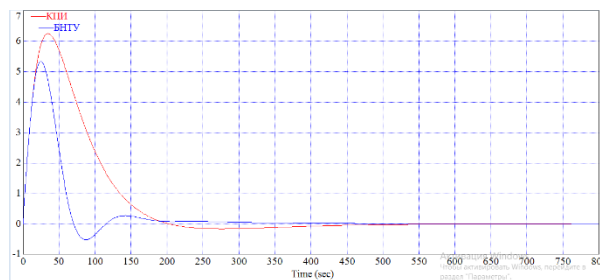


Рисунок 15. Регулируемая величина при отработке крайнего внешнего возмущения f2

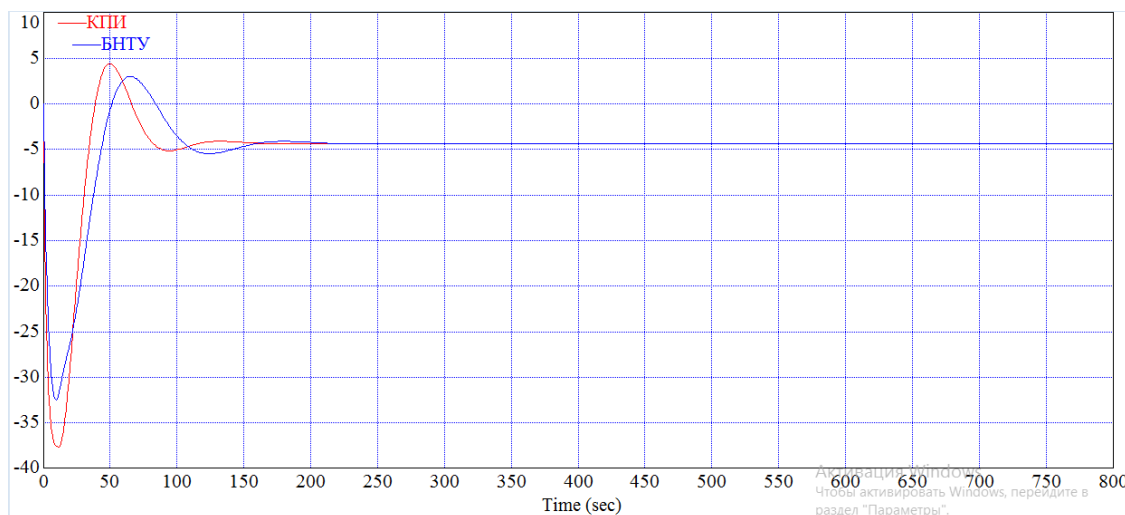


Рисунок 16. Регулирующее воздействие при отработке крайнего внешнего возмущения f2

Для метода расчета БНТУ структуру и оптимальную динамическую настройку стабилизирующего регулятора выбирают на базе передаточной функции оптимального регулятора, при этом заданную постоянную времени выбирают по правилу золотого сечения, приняв за целое время регулирования.

В результате анализа метода КПИ и БНТУ видно, что в методе БНТУ на основе регулятора Кулакова показатели прямого качества немного лучше метода КПИ.

Регулятор Кулакова имеет один показатель динамической настройки, по сравнению с регулятором КПИ (три показателя динамической настройки), что намного проще и дешевле.

Литература

1. Голинко, И.М. Оптимальная настройка системы управления для объекта второго порядка с запаздыванием [Текст] / И.М. Голинко// Теплоэнергетика. 2014. № 7. с. 63-71.
2. Голинко, И.М. Экспресс-метод оптимальной настройки аналогового регулятора по интегральным критериям качества[Текст] / И.М. Голинко, Ю.М. Ковриго, А.И. Кубрак// Теплоэнергетика. 2014. № 3. с. 15-22.
3. Кулаков Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования. – Минск: Технопринт, 2003 г.
4. Кузмицкий И.Ф., Кулаков Г.Т. Теория автоматического управления. - Минск: БГТУ, 2010.
5. Кулаков Г.Т. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами/ под редакцией Г.Т. Кулакова –Минск: Высшая школа, 2017, 240 с.