

УДК 62-5

**ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ СТРУКТУРЫ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА**

Григорович А.И.

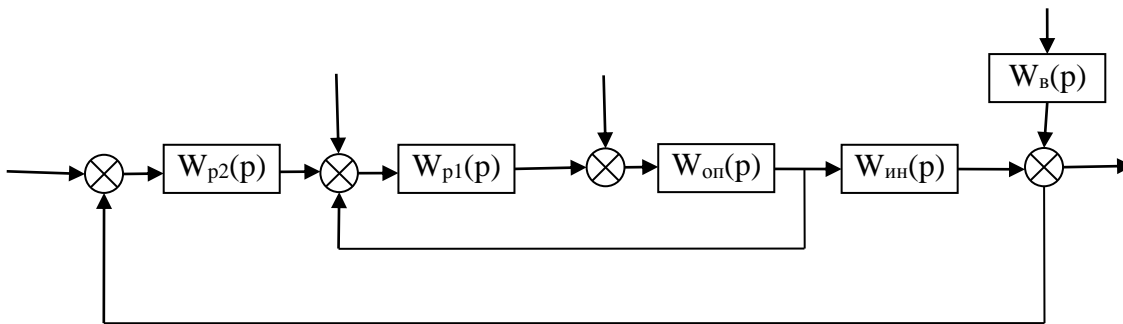
Научный руководитель – Воюш Н.В.

**1. Постановка задачи**

Динамика объекта регулирования:

$$k_{оп} = 1,9 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Т/ч}}; T_{оп} = 15,2 \text{ с}; \sigma_{оп} = 1,6 \text{ с}; k_{ин} = 1 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Т/ч}}; T_{ин} = 95 \text{ с}$$

$$\sigma_{ин} = 19,2 \text{ с}; \tau_y = 27 \text{ с};$$



$$k_{в} = 10 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Т/ч}}; T_{в} = 30 \text{ с}$$

Рисунок 1. Структурная схема каскадной САР

Стабилизирующий регулятор:

$$W_{p1}(p) = \frac{K_{p1}(T_{и1}p + 1)}{T_{и1}p + 1} \tag{1.1}$$

Корректирующий регулятор:

$$W_{p2}(p) = \frac{K_{p2}(T_{и2}p + 1)}{T_{и2}p + 1} \tag{1.2}$$

Опережающий участок объекта регулирования:

$$W_{оп}(p) = \frac{k_{оп}}{(T_{оп}p + 1)(\sigma_{оп}p + 1)} = \frac{1,9}{(15,2p + 1)(1,6p + 1)} \tag{1.3}$$

Инерционный участок объекта регулирования:

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин} e^{-\tau_y p}}{(T_{ин}p + 1)(\sigma_{ин}p + 1)} = \frac{1 e^{-27p}}{(95p + 1)(19,2p + 1)} \tag{1.4}$$

Крайнее внешнее возмущение:

$$W_{в}(p) = \frac{k_{в}}{T_{в}p + 1} = \frac{10}{30p + 1} \tag{1.5}$$

**2. Расчет параметров оптимальной динамической настройки типовой КСАР по методам БНТУ**

Стабилизирующий регулятор

$$T = \frac{T_{оп}}{\sigma_{оп}} = \frac{15,2}{1,6} = 9,5 \tag{2.1}$$

$$K = (k_p \cdot k_{оп}) = 0,7395 \cdot T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2 - 1 = 0,7395 \cdot 9,5 \left(1 + \frac{1}{9,5}\right)^2 - 1 = 7,582 \tag{2.2}$$

$$k_p = \frac{K}{k_{оп}} = \frac{7,582}{1,9} = 3,990 \frac{\text{т/ч}}{^{\circ}\text{C}} \quad (2.3)$$

$$I = \left( \frac{T_{ин}}{\sigma_{оп}} \right) = \frac{6,36 \cdot K}{T \left( 1 + \frac{1}{T} \right)^3} = \frac{6,36 \cdot 7,582}{9,5 \left( 1 + \frac{1}{9,5} \right)^3} = 3,759 \quad (2.4)$$

$$T_{ин} = I \cdot \sigma_{оп} = 3,759 \cdot 1,6 = 6,014 \text{ с} \quad (2.5)$$

$$W_{p1}(p) = \frac{3,99(6,014p+1)}{6,014p+1} \quad (2.6)$$

**Корректирующий регулятор**

$$T_{и} = T_{к} = T_{ин} + \sigma_{ин} = 95 + 19,2 = 114,2 \text{ с} \quad (2.7)$$

$$k_{p2} = \frac{T_{к}}{4 \cdot k_{ин} \cdot \tau_y} = \frac{114,2}{4 \cdot 1 \cdot 27} = 1,057 \frac{\text{т/ч}}{^{\circ}\text{C}} \text{ при } \varepsilon = 1 \quad (2.8)$$

$$W_{p2}(p) = \frac{1,057(114,2p+1)}{114,2p+1} \quad (2.9)$$

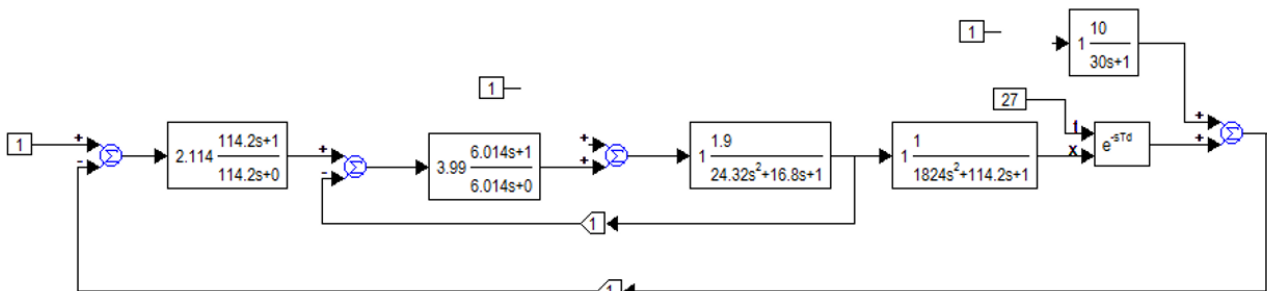


Рисунок 2. Схема типовой КСАР настроенная по методу БНТУ

### 3. Структурно-параметрическая оптимизация КСАР

Исходные предпосылки:

- 1) Отказываемся от типовых законов регулирования.
- 2) Используем передаточную функцию оптимального регулятора.
- 3) Учитываем динамику внутреннего контура при выборе структуры корректирующего устройства.

Алгоритм:

Оптимизацию структуры САР начинаем с внутреннего контура при следующих условиях: структура СР выбираем на основе передаточной функции опережающего участка. В формуле передаточной функции оптимального регулятора настраиваем на оптимальную обработку скачка задания 1.

$$W_p^{opt}(p) = \frac{T_{он}^* p + 1}{K_{он} T_{зод1} p} \quad (3.1)$$

Т.о. передаточную функцию СР представляет собой ИПИ регулятор, но с одним параметром настройки  $T_{зод1}$ , численное значение которое выбирается по правилу золотого сечения.

$$T_{зод1} = j_1 T_{он}^* \quad (3.2)$$

где,  $j_1$  выбирается в соответствии с правилом золотого сечения.

Внутренний контур ведет при обработке скачка задания ведет себя как заданная передаточная функция при обработке скачка задания 1.

$$W_{з\partial 1}(p) = \frac{1}{T_{з\partial 1}p + 1} \tag{3.3}$$

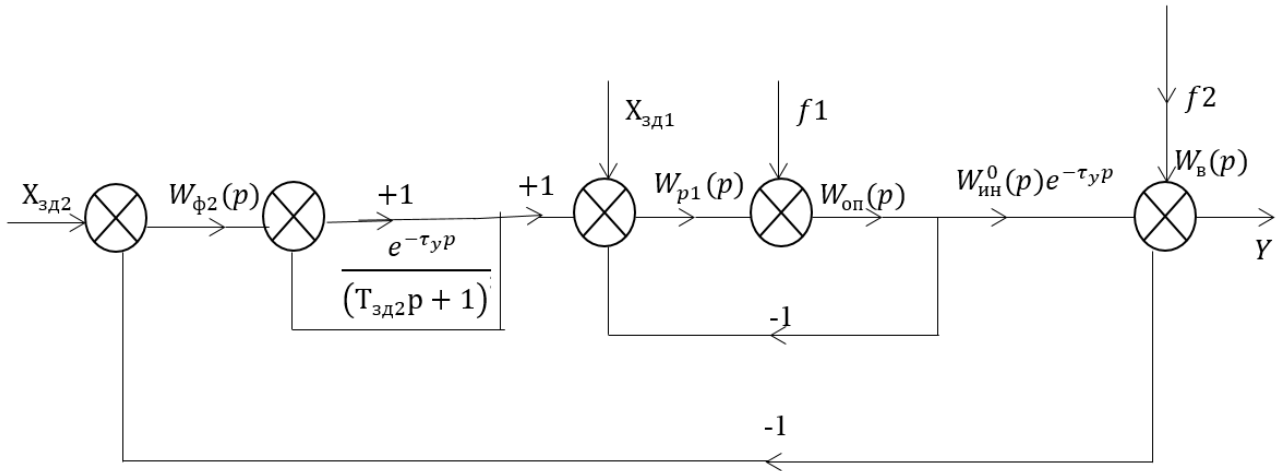


Рисунок 3. Структурная схема КСАР настроенной с помощью оптимального регулятора

$$W_{ф2}(p) = \frac{W_{з\partial 2}(p)}{W_{экв2}(p)};$$

$$W_{з\partial 2}(p) = \frac{e^{-\tau_y p}}{(T_{з\partial 2}p + 1)^3}, \text{ где } \partial T_{з\partial 2} = j_2 \tau_y, \tag{3.4 - 3.6}$$

$j_2$  выбирается в соответствии с правилом золотого сечения

$$W_{экв2}(p) = \frac{K_{ун} e^{-\tau_y p}}{(T_{ун}p + 1)(\sigma_{ун}p + 1)(T_{з\partial 1}p + 1)} \tag{3.5}$$

Расчет

$$T_{з\partial 1} = j_1 T_{оп}^* = 0,09 \cdot 16,8 = 1,51 \text{ с}; \tag{3.6}$$

$$T_{з\partial 2} = j_2 \tau_y = 0,382 \cdot 27 = 10,31 \text{ с} \tag{3.7}$$

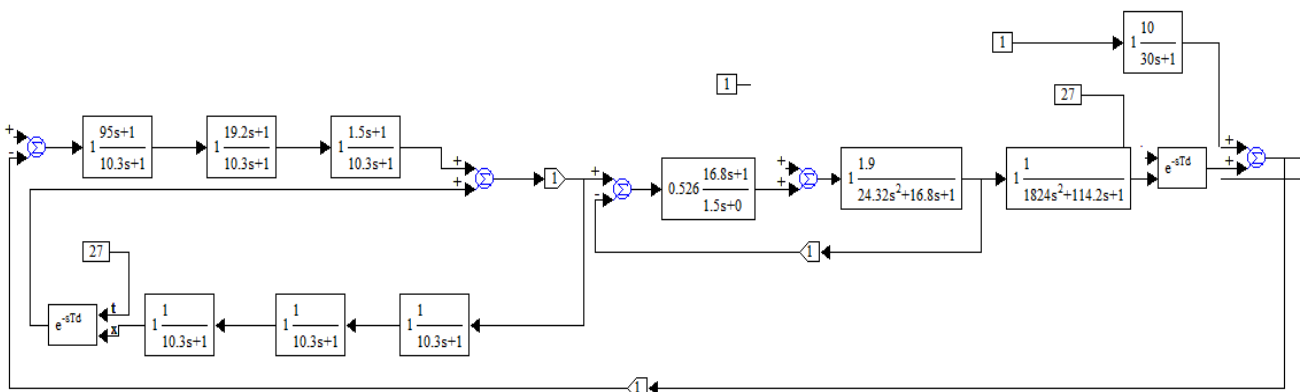


Рисунок 4. Схема структурно-параметрической оптимизации КСАР

### Улучшение качества регулирования за счет использования принципа инвариантности

Принцип инвариантности: независимость основной регулируемой величины «у» от изменения крайнего внешнего возмущения «f2». Для того чтобы существенно улучшить

качество регулирования необходимо дополнительно измерить «f<sub>2</sub>», например, с помощью датчика расхода пара, и выход датчика подать на устройство компенсации «f<sub>2</sub>».

$$W_{ук}^{f_2}(p) = \frac{1 - W_{зд2}(p)}{W_{зд2}(p)} W_B(p) \tag{3.8}$$

$$W_{зд2}(p) = \frac{1}{(T_{зд2}p + 1)^3} = \frac{1}{(T_{зд2}p + 1)^3 (\tau_y p + 1)} \tag{3.9}$$

$$W_{ук}^{f_2}(p) = \left[ 1 - \frac{1}{(T_{зд2}p + 1)^3 (\tau_y p + 1)} \right] \cdot \frac{K_B (\tau_y p + 1)}{(T_B p + 1)} \cdot \frac{(T_{зд2}p + 1)^3}{(T_6 p + 1)^3} \tag{3.10}$$

При T<sub>6</sub> = T<sub>зд2</sub>

$$W_{ук}^{f_2}(p) = \left[ 1 - \frac{1}{(T_{зд2}p + 1)^3 (\tau_y p + 1)} \right] \cdot \frac{K_B (\tau_y p + 1)}{(T_B p + 1)} \tag{3.11}$$

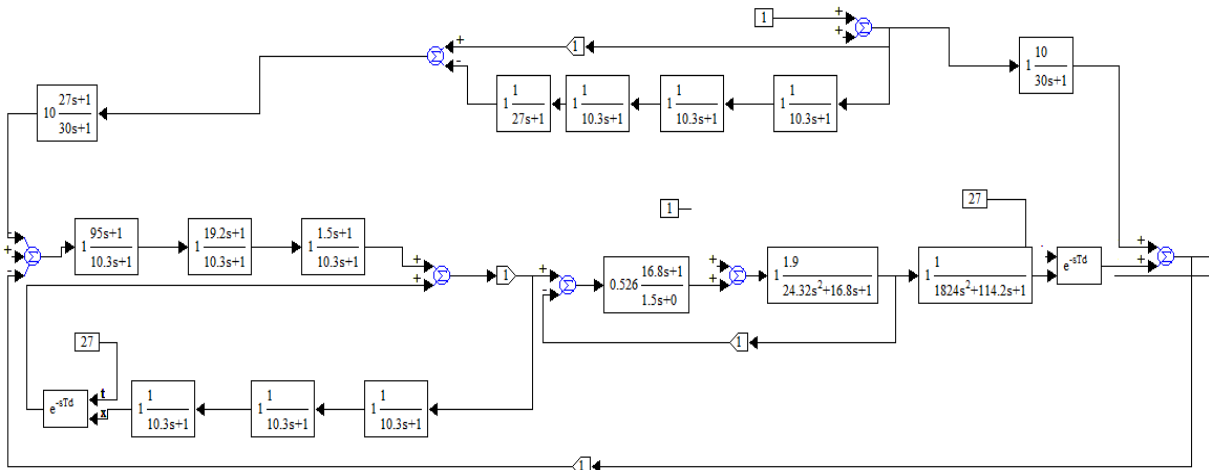


Рисунок 5. Схема инвариантной КСАР

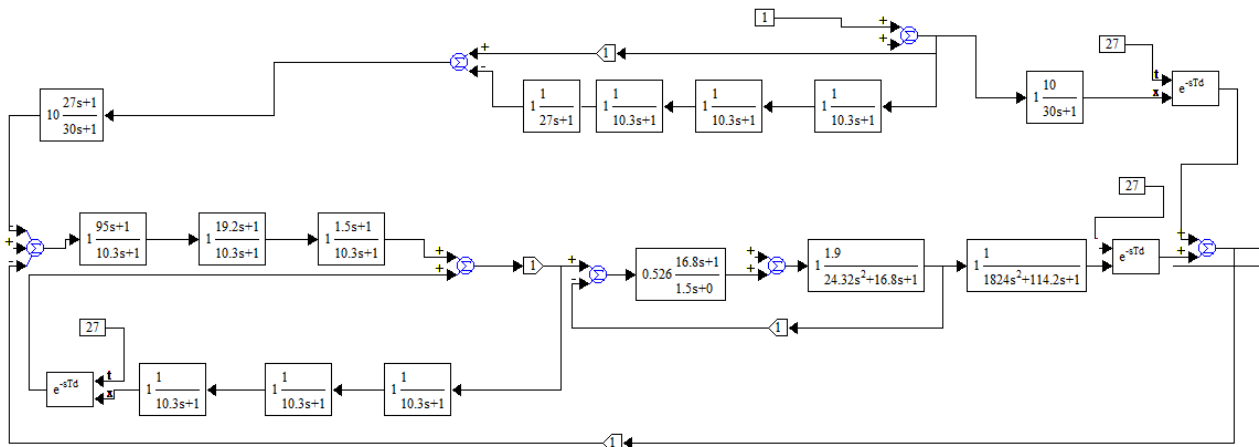


Рисунок 6. Схема инвариантной КСАР при плановом изменении нагрузки

### Сравнение методов

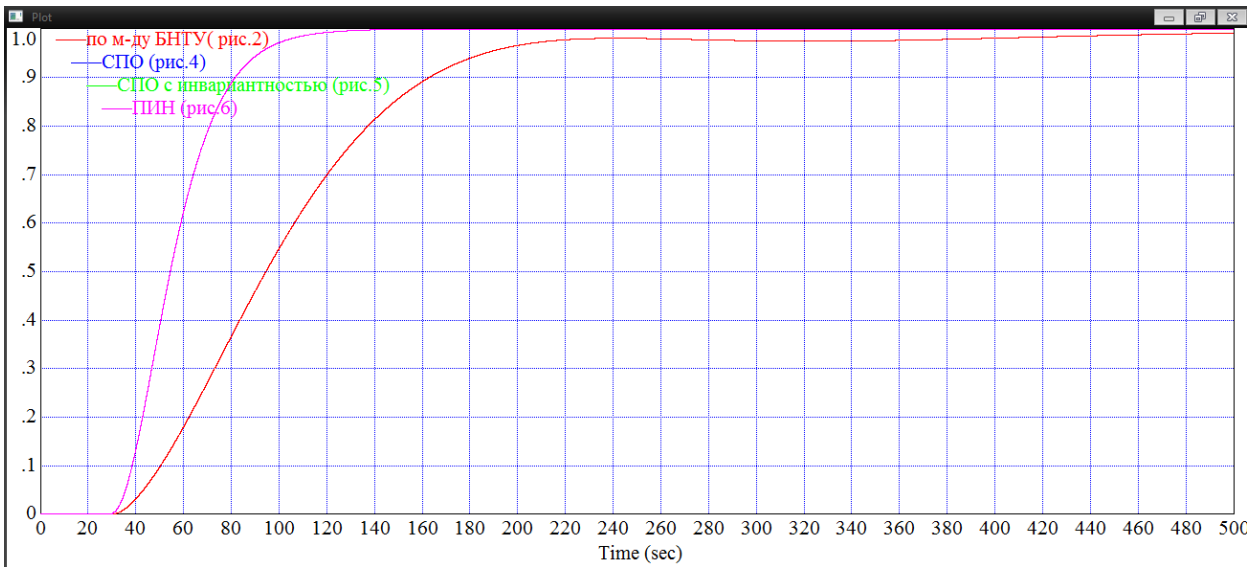


Рисунок 7. Отработка скачка задания  $x_{зд}$

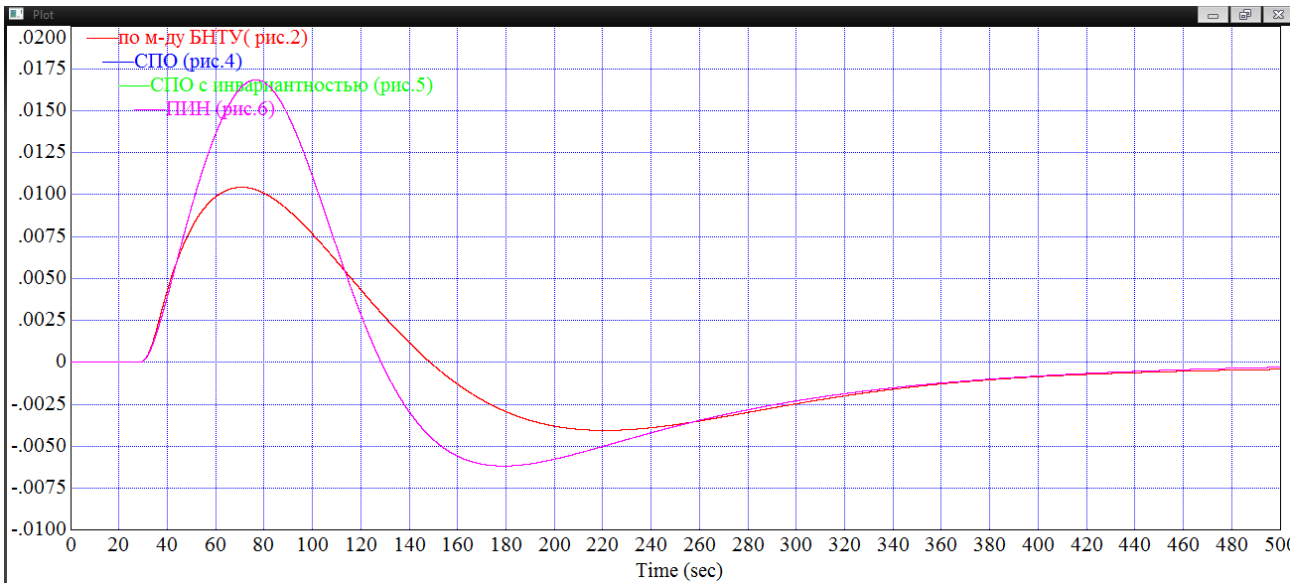


Рисунок 8. Отработка внутреннего возмущения  $f_1$

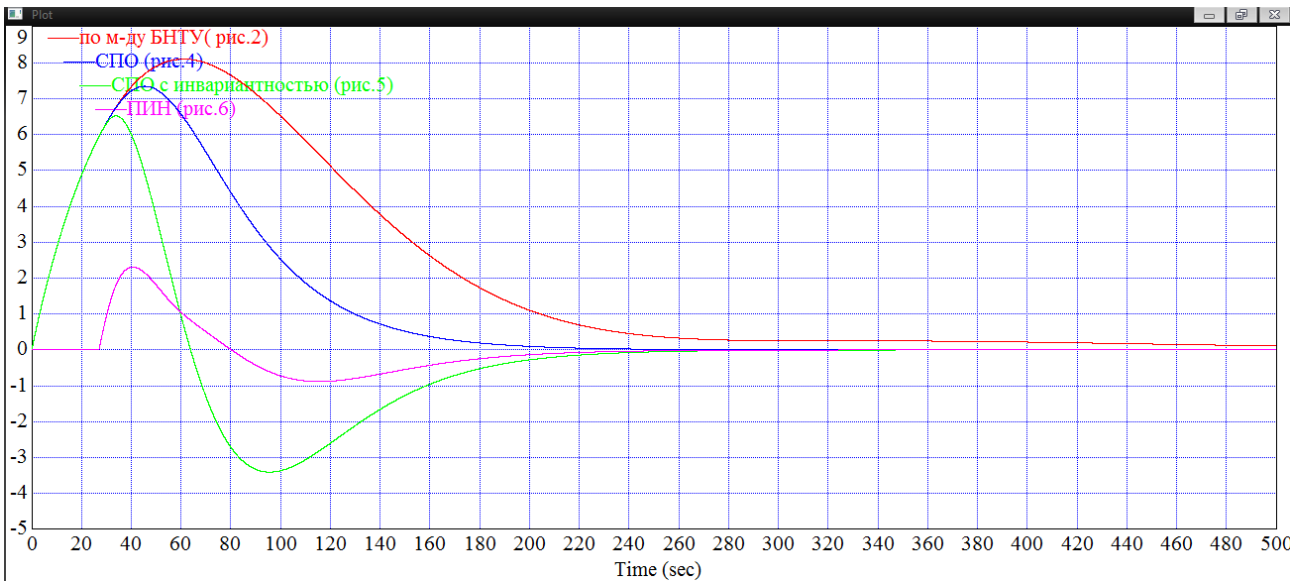


Рисунок 9. Отработка внешнего возмущения  $f_2$

**Заключение**

Отказавшись от типовых законов регулирования (метод БНТУ) и использовав расчет системы автоматического регулирования на базе структуры оптимального регулятора, я добился следующих результатов:

- 1) Время отработки скачка задания уменьшилось в 4 раза;
- 2) При отработке внутреннего возмущения оба варианта расчета показали хороший результат, т.к. находятся в зоне нечувствительности;
- 3) Отработка внешнего возмущения улучшилась в 4 раза.