

УДК 620.93: 681.515

## СРАВНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО РЕГУЛЯТОРА РЕСВИКА И СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРЕДЛАГАЕМОГО ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА

Селюк И.Г., Слуцкий А.Н.

Научные руководители – д.т.н. профессор Кулаков Г.Т., к.э.н. доцент Кравченко В.В.

Регулятор Ресвика впервые был опубликован в 1967 году в журнале “Автоматика и телемеханика”. Он основан на системе с вспомогательной обратной связью, содержащей запаздывание. Для этого необходимо знать точную математическую модель с запаздыванием и без запаздывания, при этом знание реакции объекта без запаздывания позволяет регулятору предвидеть будущее, а элементы предвиденья как раз и основаны на системе с вспомогательной обратной связью, содержащей запаздывание.

Исходные данные для моделирования:

В качестве объекта будем использовать инерционное звено первого порядка с запаздыванием:

$$W_{об}(p) = \frac{k_1 e^{-\tau_1 p}}{(T_1 p + 1)}$$

$$k_1 = 1 ; T_1 = 128 \text{ с}; \tau_1 = 39 \text{ с}.$$

Передаточная функция регулятора Ресвика:

$$W_p(p) = \frac{1}{W_{об}^0(p)} \cdot \frac{1}{1 - \beta e^{-\tau_1 p}}$$

Получаем следующую структурную схему:

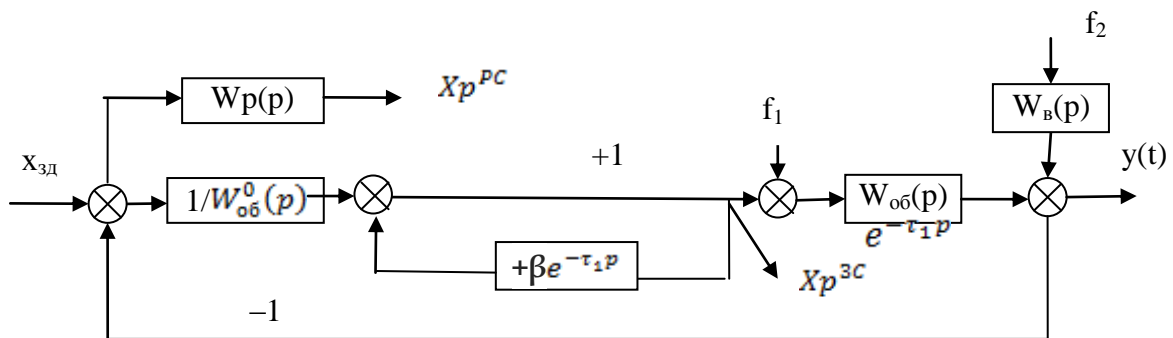


Рисунок 1 – Схема регулятора Ресвика

При реализации данной схемы, мы пришли к выводу, что инверсная передаточная функция объекта не реализуема в качестве фильтра регулятора, так как порядок числителя больше порядка знаменателя. По этой причине для реализации регулятора Ресвика в передаточную функцию регулятора добавляем идеальное интегрирующее звено  $\frac{1}{T_1 p}$  и получаем ПИ регулятор. Ресвик рекомендовал  $\beta < 1$ , таким образом, подберем  $\beta = (0,618; 0,148)$ . Соответственно получаем следующую схему моделирования в программе VisSim:

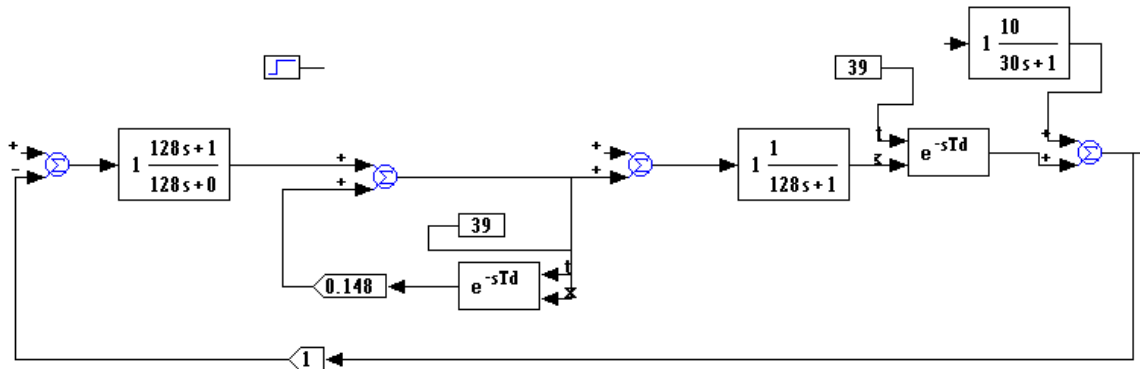


Рисунок 2 – Схема регулятора Ресвика в программе VisSim

**Оптимальный регулятор.**

В отличие от регулятора Ресвика в нашем методе присутствует  $W_{зд}^0 = \frac{1}{(T_{зд}p+1)}$  в фильтре и в дополнительной обратной связи с  $\beta = 1$ .

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{W_{об}^0(p) \cdot (T_{зд}p + 1)}; W_p^{opt}(p) = W_{\phi}(p) \cdot \frac{1}{1 - W_{зд}^0(p) e^{-\tau_1 p}}$$

Выбор оптимального  $T_{зд}$  производится по правилу “Золотого сечения”, принимая за целое  $\tau_1$ , с учетом максимальной величины регулирующего воздействия.

$$T_{зд} = \gamma \cdot \tau_1 = 0,382 \cdot 39 = 14,9 \text{ с}$$

$$T_{зд} = \gamma \cdot \tau_1 = 0,618 \cdot 39 = 24,1 \text{ с}$$

Имеем следующую структурную схему:

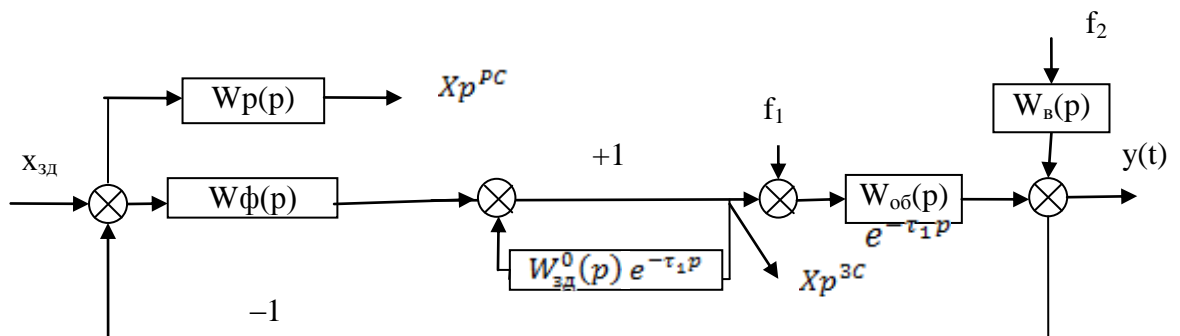


Рисунок 3 – Структурная схема оптимального регулятора

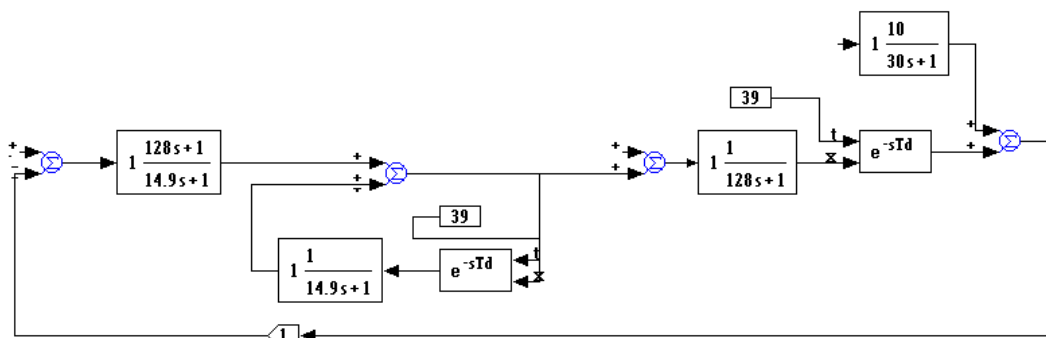


Рисунок 4 – Структурная схема оптимального регулятора в программе VisSim

Проведем сравнение данных регуляторов в программе VisSim:

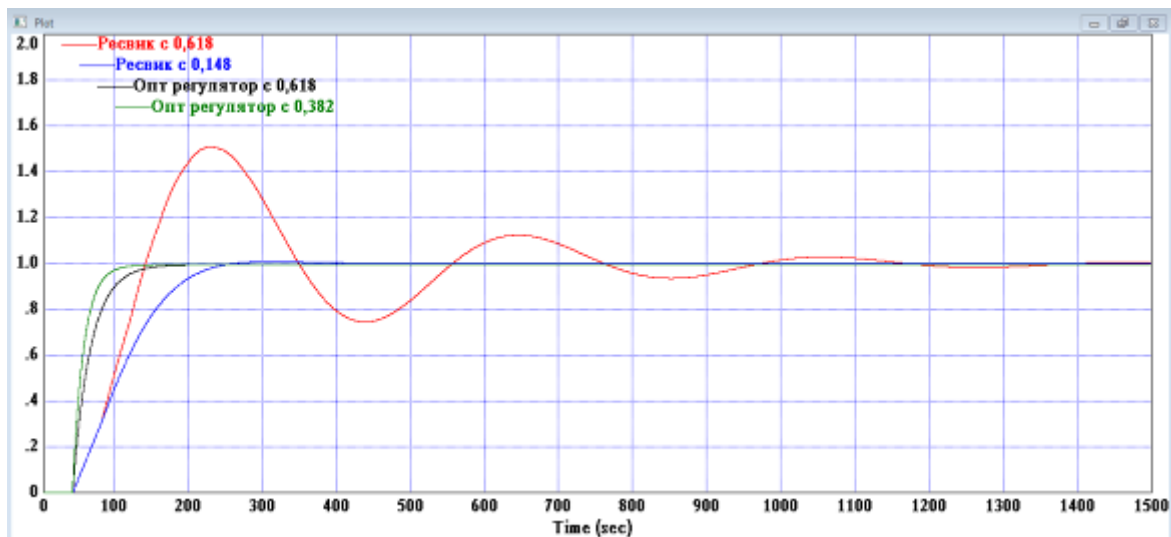


Рисунок 5 – График отработки скачка задания  $X_{зд}$

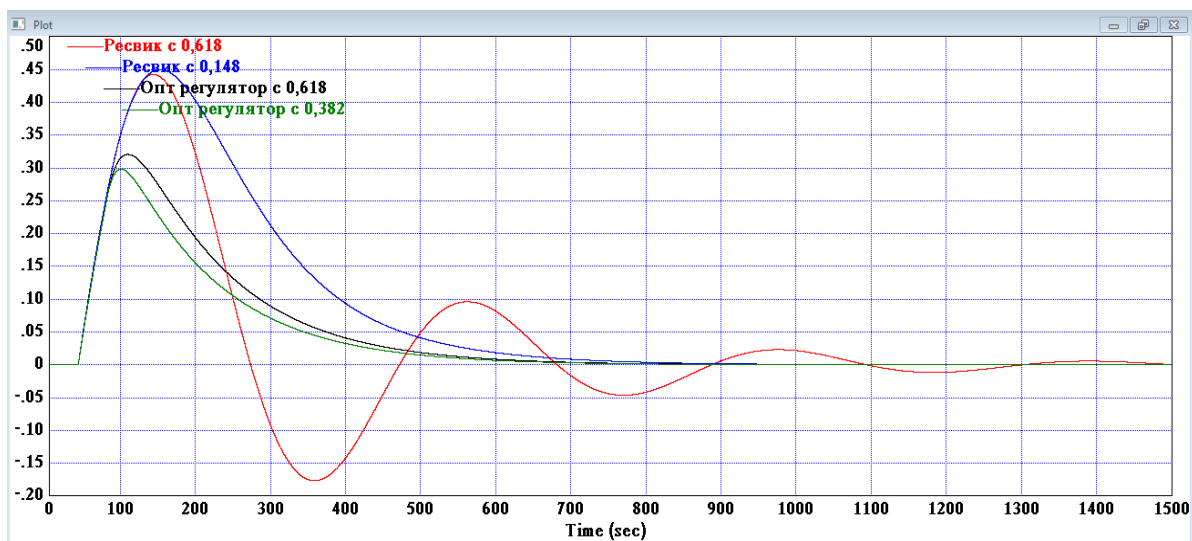


Рисунок 6 – График отработки внутреннего возмущения  $f_1$

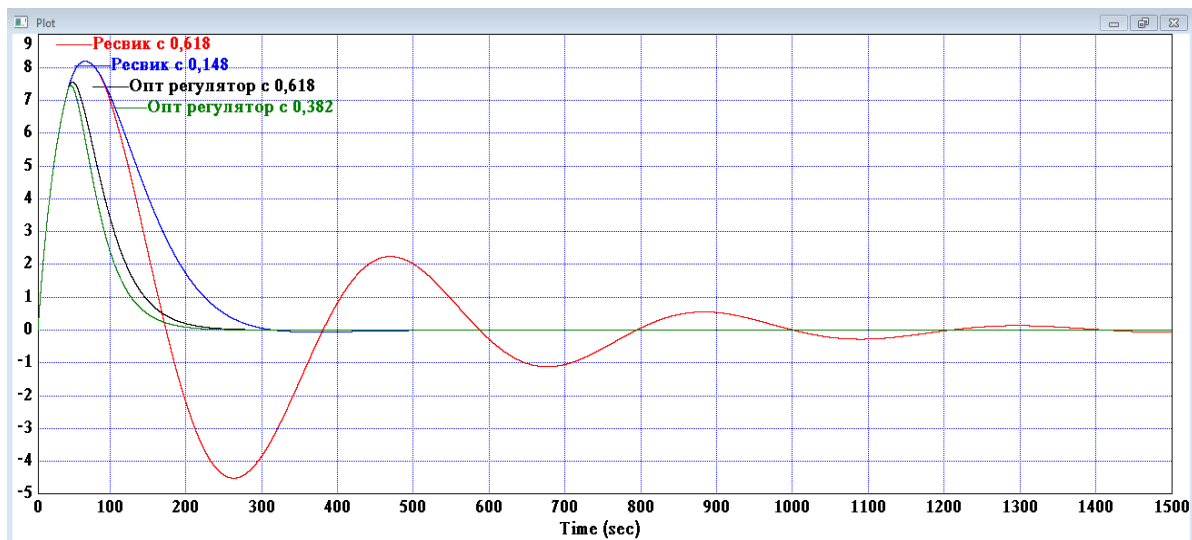
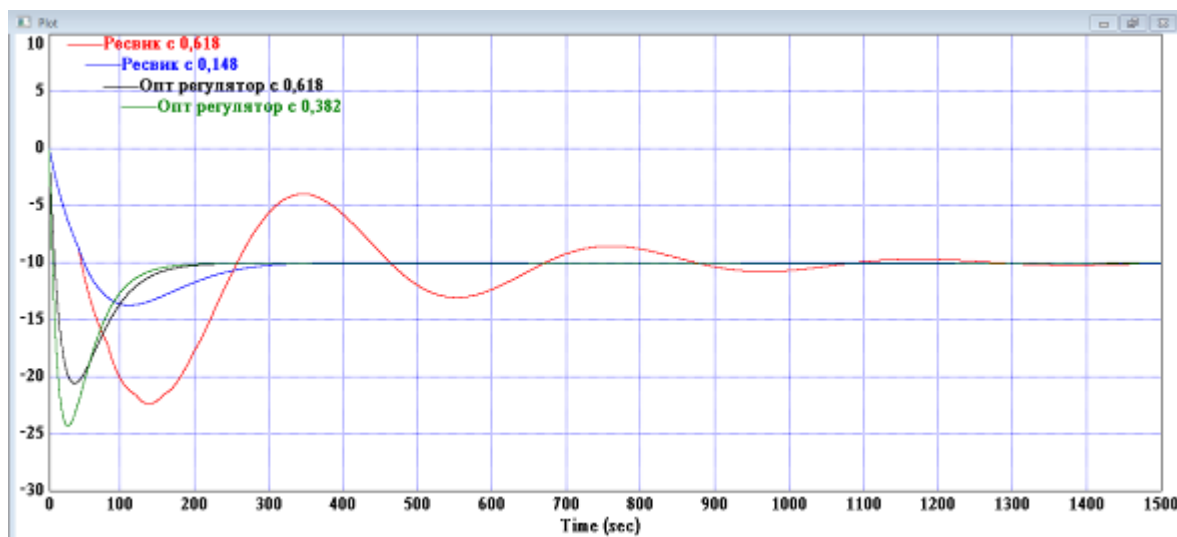


Рисунок 7 – График отработки крайнего внешнего возмущения  $f_2$

Рисунок 8 – График обработки регулирующего воздействия  $X_p$ 

Анализ прямых показателей качества по графикам переходных процессов для соответствующих возмущений:

Таблица 1 – Прямые показатели качества

Метод	$x_{зд}$			$f_1$			$f_2$			$x_p$
	$t_p$ , с	$\sigma$ , %	$\Psi$	$t_p$ , с	$A_1^+$	$\Psi$	$t_p$ , с	$A_1^+$	$\Psi$	
Ресвик с 0,618	1115	50,8	0,25	1212	0,44	0,77	1145	8,18	0,73	22,3
Ресвик с 0,148	230	-	1	662	0,45	1	276	8,18	1	13,75
Оптимальный регулятор с 0,618	137	-	1	581	0,32	1	200	7,54	1	20,58
Оптимальный регулятор с 0,382	107	-	1	520	0,3	1	175	7,43	1	24,25

### Выводы

При реализации обратной передаточной функции той части объекта, которая не содержит запаздывания, для физической реализуемости последней умножаем ее на передаточную функцию идеального интегрирующего звена, в результате чего получаем модифицированный регулятор Ресвика, который будем сравнивать с передаточной функцией оптимального регулятора, настраиваемого с учетом правила золотого сечения [1].

В результате в первой части модифицированного регулятора Ресвика получился ПИ регулятор. Так же можно сказать, что при настройке модифицированного регулятора  $\beta$  не может быть больше 1, так как появляется перерегулирование, процесс становится неустойчивым, а регулирующее воздействие при обработке внешнего возмущения увеличивается.

Для сравнения модифицированного регулятора Ресвика использован метод [1] с использованием оптимального регулятора с одним параметром динамической настройки  $T_{зд}$ , которое выбирается по правилу золотого сечения [1], приняв за целое запаздывание по каналу регулирующего воздействия. При уменьшении  $T_{зд}$  качество регулирования улучшается, но при этом регулирующее воздействие увеличивается.

В целом после сравнения двух видов регуляторов выяснилось, что оптимальный регулятор с численным коэффициентом 0,382 имеет быстроедействие при обработке скачка задания примерно в 2 раза больше, чем модифицированный регулятор Ресвика, не имеет

перерегулирования и уменьшает максимальную динамическую ошибку регулирования при отработке внутреннего возмущения на 33 % и внешнего возмущения на 8 %.

Кроме того можно отметить, что  $T_{зд}$  для оптимального регулятора имеет неограниченный диапазон значений, в то время как  $\beta$  может выбираться только от 0 до 1.

#### Литература

1. Кулаков, Г.Т. Методика структурно-параметрической оптимизации каскадных систем автоматического регулирования на основе модифицированного упреждителя Смита / Г.Т. Кулаков, А.Т. Кулаков, В.В. Кравченко // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2012. – № 2. – С. 40–45.