

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ШУМА НА РЕЗУЛЬТАТЫ  
НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ  
ШУМОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ КАНАЛЕ**

Преимуществом интегральных критериев является обеспечение баланса различных качеств переходного процесса [1-3]. Каждая точка ответа вносит свой вклад в значение интегрального критерия. Минимизация интегрального критерия дает уникальный набор значений для коэффициентов настройки.

Как уже отмечалось в других работах, существует различные варианты интегральных критериев. В работе для структуры на рис. 1 произведено сравнение следующих интегральных критериев:

$$IAE = I_1 = \int_0^{t_M} |x| dt \rightarrow \min ; \quad (1)$$

$$ITAE = I_2 = \int_0^{t_M} |x|t dt \rightarrow \min ; \quad (2)$$

$$I_3 = \int_0^{t_M} |x|t^2 dt \rightarrow \min ; \quad (3)$$

$$I_4 = \int_0^{t_M} (|x| + |u|) dt \rightarrow \min ; \quad (4)$$

$$ISE = I_5 = \int_0^{t_M} x^2 dt \rightarrow \min ; \quad (5)$$

$$I_6 = \int_0^{t_M} x^2 t dt \rightarrow \min ; \quad (6)$$

$$I_7 = \int_0^{t_M} x^2 t^2 dt \rightarrow \min ; \quad (7)$$

$$I_8 = \int_0^{t_M} (x^2 + u^2) dt \rightarrow \min ; \quad (8)$$

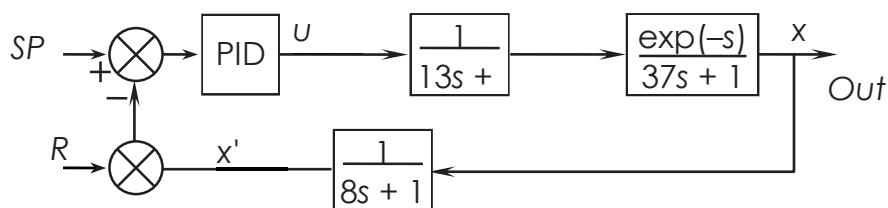


Рисунок 1 – Структура системы.  $SP$  – требуемое значение;  $x$  – параметр на выходе объекта;  $u$  – сигнал с регулятора;  $x'$  – сигнал сенсора

Дисперсия  $R$  случайного сигнала с нормальным распределением со значением и simple time = 0,1 (рис.1) имела два значения  $R_1 = 0$  и  $R_2 = 0,003$ . При минимизации использовались время моделирования  $t_M = 300$  и алгоритм ode45. Настройки ПИД- регулятора сведены в табл.1. Вид переходного процесса по каналу управления можно видеть на рис. 1–2.

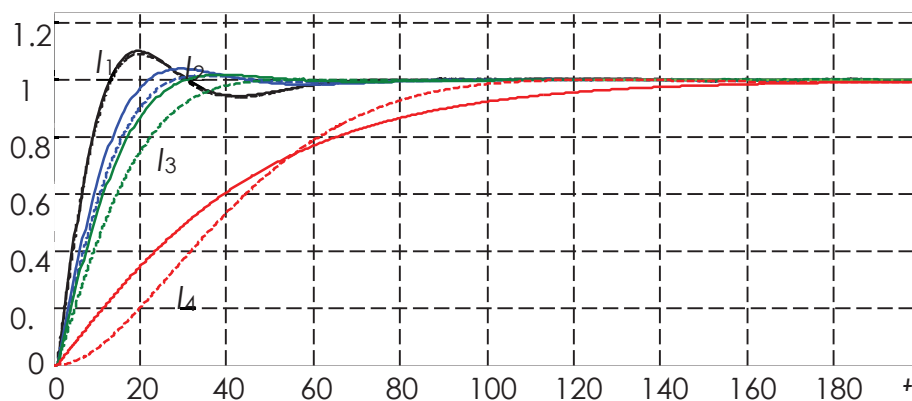


Рисунок 2 – Результаты настройки объекта по интегральным критерием I1 – I4 . сплошная линия при  $R = 0$ ; штриховая при  $R = 0,003$

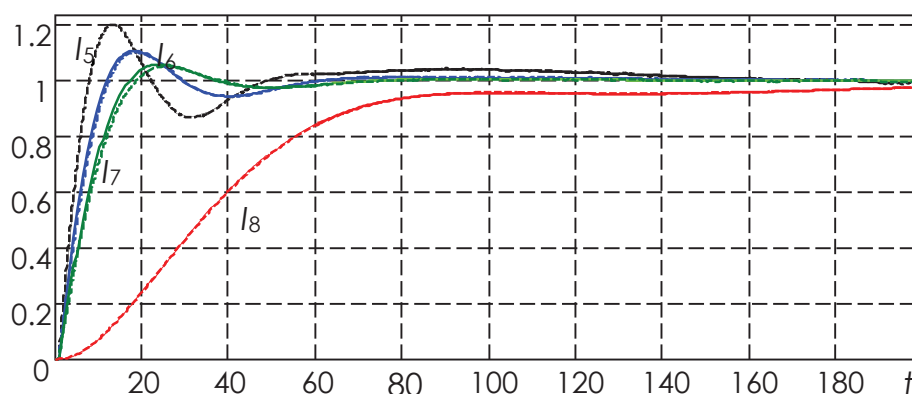


Рисунок 3 – Результаты настройки объекта по интегральным критерием I5 – I8 . сплошная линия при  $R = 0$ ; штриховая при  $R = 0,003$

Параметры качества регулирования в табл.2, где  $tp_3$  – время переходного процесса по 3%;  $tp_5$  – время переходного процесса по 5%;  $A$  – перерегулирование в процентах;  $D_{OUT}$  – дисперсия на выходе объекта;  $D_{PID}$  – значение дисперсии на выходе регулятора.

**Таблица 1 – Настройки ПИД-регулятора**

Параметры настройки	$R$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_4$	$I_8$
Коэффициент усиления	$R_1$	3.98	3.27	2.82	3.84	3.96	3.57	1.05	0.995
	$R_2$	3.92	2.95	2.35	3.88	3.93	3.47	1.04	0.852
Время интегрирования	$R_1$	13.7	16.5	18.8	9.29	12.5	14.7	51.5	49.5
	$R_2$	14.1	18.1	22.2	9.39	12.7	15.4	51.6	50.0
Время дифференцирования	$R_1$	59.6	39.5	31.5	94.1	63.8	48.0	0.0091	9.20
	$R_2$	58.7	34.4	24.6	93.5	62.5	45.0	0.0001	0.0003

**Таблица 2 – Результаты основных параметров качества настройки**

Критерий	$tp3$		$tp5$		$A$		$D_{OUT}$	$D_{PID}$
	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$	$R_2$	$R_2$
$I_1$	54.7	55.2	47.3	48.8	10.2	9.16	0.1425 e-03	9875
$I_2$	35.3	24.3	18.8	22.7	4.00	1.58	0.0124 e-03	3398
$I_3$	26.5	37.7	24.8	34.3	1.82	0.433	0.1905 e-03	1737
$I_5$	122	124	41.8	42.4	20.3	20.1	0.6350 e-03	250710
$I_6$	50.4	51.4	44.0	45.3	10.9	10.2	0.1310 e-03	112150
$I_7$	32.1	32.4	28.3	27.5	6.01	5.31	0.0587 e-03	5809
$I_4$	183	183	87.2	87.1	-0.03	0.203	0.1974 e-03	0.0011
$I_8$	135	92.0	116	85.3	0.267	0.246	0.0083 e-03	0.0008

Для данного объекта выбор критерия сказывается на перераспределении времени интегрирования и дифференцирования, за исключением критериев  $I_4$  и  $I_8$ .  $I_5$ – $I_8$  – характеризуются высоким быстродействием на начальной стадии, но затянутой стадией выхода на установившееся значение. Наличие случайного процесса в большей степени сказывается на критериях  $I_1$ – $I_4$ . Введение в критерий времени способствует снижению перерегулирования и времени приходного процесса. При наличии шума в измерительном канале настройка по критерию  $I_2$   $I_3$  предпочтительна, а еще лучше  $I_4$  и  $I_8$ , однако это способствует снижению быстродействию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hryniuk D., Suhorukova I., Orobei I. Non-linear PID controller and methods of its setting // Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream). Vilnius, 2017. P. 1–4.
2. Сухорукова И. Г., Гринюк Д. А., Оробей И. О. Применение в ПИД-законе регулирования нелинейных функций преобразования ошибки // Труды БГТУ. 2013. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 95–98.
3. Анализ эффективности ПИД-регуляторов с двумя степенями свободы с помощью интегральных критериев / Д. А. Гринюк [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информатика. 2018. № 2. С. 82–88.