

Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук;
 Н.М. Олиферович, ст. преп.; Е.В. Ивашко, инж.;
 И.С. Шетько, студ. (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОПТИМАЛЬНЫЕ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ШУМОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ КАНАЛЕ

Одним из методов настройки систем регулирования является минимизация интегральных критериев качества. Обычно алгоритм применения данного подхода для настройки заключается в определении первичных настроек с помощью какого-либо грубого метода, например, метода Циклера-Никольсона. А затем запуск поискового алгоритма, который производит имитационное моделирование при данных настройках, определение интегрального критерия качества. В общем виде интегральный критерий представляется как

$$I = \int_0^{\infty} f(x, t) dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

где x – выходной параметр системы; t – время начала переходного процесса от изменения SP (рис. 1.) или F .

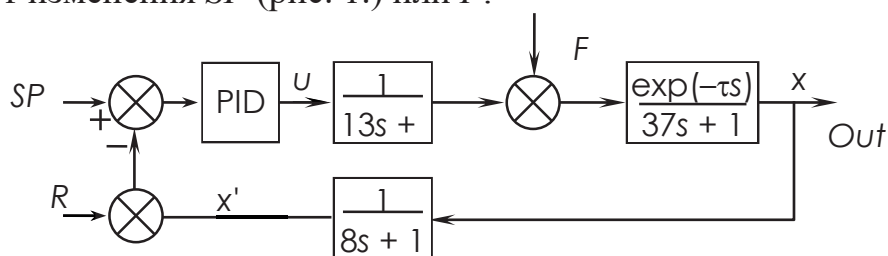


Рисунок – Структурная схема моделирования системы с ПИД-регулятором. SP – задание; x – физический параметр системы; u – сигнал управления исполнительный механизм; x' – сигнал датчика

Одним из тонких моментов настройки по интегральным критериям является выбор времени моделирования. В классической формулировке присутствует параметр бесконечность. В случае имитационного моделирования в таких системах как Matlab значение бесконечности подменяется каким-либо значением конечного времени моделирования. С учетом особенностей численных методов, которые использует Matlab, не всегда результат будет соответствовать теоретическому.

В Matlab присутствуют следующие решатели дифференциальных уравнений: *ode45*; *ode23*; *ode113*; *ode23tb*; *ode15s*; *ode23s*; *ode23t*.

Очень интересно проследить влияние времени моделирования при настройке ПИД-регулятора в случае использования самого популярного метода моделирования в Simulink *ode45* и какое влияние здесь окажет наличие шумовой составляющей в измерительном канале. Дисперсия случайного сигнала с нормальным распределением сигнала R (рис.1 принимала значения $[0, 3,0e-05, 0,0001, 0,0003, 0,001, 0,003, 0,01]$).

Настройку ПИД-регулятора производили по интегральному критерию

$$I = \int_0^{t_M} |x| t^2 dt \rightarrow \min, \quad (2)$$

при разных значениях запаздывания $\tau = [0, 1, 5, 15]$ в объекте.

Результаты настройки можно видеть в табл.1 – 8.

Таблица 1 – Время дифференцирования при $t_M = 200$

Запаздывание	Дисперсия на выходе датчика						
	0	0,00003	0,0001	0,0003	0.001	0.003	0.01
0,1	31.9285	31.0555	30.6733	30.4005	29.5764	28.4739	26.9587
1	29.9050	29.2643	29.1161	28.8533	28.1864	27.2893	26.0914
5	23.2954	23.2300	23.0921	23.1041	23.2529	23.1264	22.7627
15	16.8356	16.8765	16.8460	16.8582	16.9276	17.3111	17.9144

Таблица 2 – Коэффициент усиления регулятора при $t_M = 200$

Запаздывание	Дисперсия на выходе датчика						
	0	0,00003	0,0001	0,0003	0.001	0.003	0.01
0,1	2.9033	2.8290	2.8006	2.7853	2.7387	2.6929	2.6504
1	2.7019	2.6466	2.6330	2.6173	2.5800	2.5458	2.5170
5	2.0408	2.0357	2.0248	2.0231	2.0296	2.0315	2.0322
15	1.3114	1.3143	1.3137	1.3154	1.3201	1.3357	1.3617

Таблица 3 – Время интегрирования при $t_M = 200$

Запаздывание	Дисперсия на выходе датчика						
	0	0,00003	0,0001	0,0003	0.001	0.003	0.01
0,1	18.0319	18.4448	18.6320	18.7561	19.1421	19.6000	20.2309
1	19.4140	19.7651	19.8643	20.0089	20.3515	20.7550	21.3179
5	25.9134	25.9893	26.1080	26.1330	26.1080	26.2279	26.5392
15	41.5216	41.5005	41.5642	41.5882	41.5659	41.2369	40.7217

Увеличение уровня шума приводит к уменьшению времени дифференцирования и коэффициента усиления регулятора и увеличению времени интегрирования. В табл. 5–8 таблицы представлены отношения минимальных значений интегральных критериев FI_1, FI_2 , отношения коэффициентов усиления FK_1, FK_2 , отношения времен дифференцирования FD_1, FD_2 и интегрирования FS_1, FS_2 соответственно при $t_M = 500$ к $t_M = 200$ и при $t_M = 350$ к $t_M = 200$ в процентах.

Таблица 4– Значение интегрального критерия $I \cdot 10^{-4}$ при $tM = 200$

Запаздывание	Дисперсия на выходе датчика						
	0	0,00003	0,0001	0,0003	0.001	0.003	0.01
0,1	0.2256	0.2372	0.2668	0.3212	0.4342	0.6229	0.9943
1	0.2757	0.2810	0.3073	0.3587	0.4674	0.6512	1.0182
5	0.6253	0.6033	0.6024	0.6240	0.6937	0.8365	1.1412
15	2.5775	2.5487	2.5248	2.4861	2.4110	2.3315	2.3221

Таблица 5 – Сравнение значений интегральных критериев

τ	Дисперсия на выходе датчика													
	0		0,00003		0,0001		0,0003		0.001		0.003		0.01	
	FI_1	FI_2	FI_1	FI_2	FI_1	FI_2	FI_1	FI_2	FI_1	FI_2	FI_1	FI_2	FI_1	FI_2
0,1	103	103	567	222	1144	294	843	373	1462	456	1688	505	1811	512
1	103	103	490	202	1030	266	740	342	1365	428	1622	488	1781	507
5	104	104	273	143	618	177	413	228	941	306	1291	389	1639	468
15	112	112	146	115	227	118	176	125	332	141	514	173	857	234

Таблица 6 – Сравнение коэффициентов усиления ПИДокторегулятора

τ	Дисперсия на выходе датчика													
	0		0,00003		0,0001		0,0003		0.001		0.003		0.01	
	FK_1	FK_2	FK_1	FK_2	FK_1	FK_2	FK_1	FK_2	FK_1	FK_2	FK_1	FK_2	FK_1	FK_2
0,1	100	100	90.1	94.5	86.6	92.8	81.6	89.4	75.4	84.9	69.8	76.2	49.4	62.4
1	100.	100	91.3	95.1	87.9	93.1	84.1	90.4	78.0	86.0	72.8	79.8	52.3	64.3
5	101	101	95.7	97.5	94.0	96.7	92.0	95.1	89.2	92.5	84.9	89.2	65.1	79.0
15	99.5	99.4	98.8	99.2	98.4	99.2	98.2	98.9	96.8	98.5	95.1	97.7	93.0	96.3

Таблица 7 – Сравнение времени дифференцирования ПИДокторегулятора

τ	Дисперсия на выходе датчика													
	0		0,00003		0,0001		0,0003		0.001		0.003		0.01	
	FD_1	FD_2	FD_1	FD_2	FD_1	FD_2	FD_1	FD_2	FD_1	FD_2	FD_1	FD_2	FD_1	FD_2
0,1	99.6	99.7	87.4	92.9	82.9	90.7	76.2	86.2	67.9	79.7	61.4	68.2	39.8	49.3
1	99.8	99.8	88.7	93.5	84.3	90.8	79.2	87.3	71.0	81.2	64.8	72.5	42.8	52.3
5	101	100	94.0	96.3	91.7	95.3	89.0	93.0	84.7	89.2	78.8	84.3	57.7	69.7
15	97.0	96.9	96.6	97.0	96.6	97.5	96.9	97.5	95.4	97.3	93.0	96.2	90.3	94.5

Таблица 8 – Сравнение времени интегрирования ПИДокторегулятора

τ	Дисперсия на выходе датчика													
	0		0,00003		0,0001		0,0003		0.001		0.003		0.01	
	FS_1	FS_2	FS_1	FS_2	FS_1	FS_2	FS_1	FS_2	FS_1	FS_2	FS_1	FS_2	FS_1	FS_2
0,1	100	100	90.9	95.0	87.6	93.4	82.8	90.2	77.1	85.9	72.3	78.1	55.1	66.7
1	100	100	92.1	95.6	88.9	93.7	85.2	91.1	79.6	86.9	75.1	81.3	57.8	68.4
5	100	100	96.3	97.8	94.8	97.2	92.8	95.7	90.1	93.2	86.1	90.0	69.3	81.3
15	98.9	98.8	98.5	98.8	98.4	99.0	98.3	98.9	97.3	98.7	95.7	98.0	93.9	96.7

Результаты показывают, что время моделирования оказывают существенное влияние на результат настройки регулятора, и на выбор времени моделирования стоит обращать внимание.