

Настройка регуляторов является необходимым условием нормального функционирования систем автоматического регулирования с заданными показателями качества. Существует большое количество методов настройки ПИД-регуляторов, начиная от простейших эмпирических методов [1] и заканчивая оптимизационными методами [2]. Все эти методы в той или иной степени требуют априорной информации о свойствах регулируемого объекта, которая получается в результате проведения специально организованного эксперимента.

Следовательно, получаемые в результате применения того или иного метода оценки параметров настройки регуляторов при неправильно организованном эксперименте могут оказаться сильно смещенными. Предлагаемая методика позволяет получать не только точечные, но и доверительные оценки параметров настройки регуляторов и при больших значениях доверительных оценок потребовать проведения дополнительных экспериментов.

Методика состоит из следующих этапов.

Регистрация временных трендов входа и выхода регулятора в процессе нормальной эксплуатации системы регулирования.

Оценка времени запаздывания объекта с использованием корреляционного метода.

Обработка временных трендов с использованием рекуррентных методов оценивания и идентификации

Расчет точечных и доверительных оценок параметров АРСС – модели, получаемой в результате идентификации.

Расчет точечных и доверительных оценок параметров настройки регулятора с использованием метода компенсации полюсов передаточной функции объекта регулирования.

Расчет временных и частотных показателей качества системы регулирования.

В качестве примера рассматриваются два варианта применения предлагаемой методики. В первом варианте для заранее известного объекта методом математического моделирования в замкнутой системе получают временные тренды входа и выхода регулятора, а затем рассчитываются его параметры настройки. Во втором варианте обрабатываются реальные временные тренды, зарегистрированные в системе автоматического регулирования давления пара горячего коллектора паровой турбины.

На рис 1 показана модель САП, реализованная в Simulink,

На рис. 2. – структурная схема объекта с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{(T_1p+1)(T_2p+1)}, \quad (1)$$

где $k=2$; $\tau=30$ с; $T_1=50$ с; $T_2=10$ с.

На рис. 3а приведены реализации временных трендов входа и выхода объекта показанного на рис. 1. Данные регистрировались через 1 с на протяжении 3000 с. На вход объекта для моделирования шумов подавался случайный сигнал, имеющий равномерное распределение в интервале $[-1, 1]$.

На рис. 3б показаны тренды изменения давления горячего коллектора паровой турбины (кг/см²) и положение регулирующего клапана в %. Данные регистрировались через 3 с SCADA – системой КРУГ.

На рис. 4 – взаимная корреляционная функция между первыми разностями входного и выходного сигналов, экстремальное значение этой функции соответствует времени запаздывания.

На рис. 5 – изменение коэффициентов АРСС – модели объекта второго порядка, полученные в результате применения рекуррентного метода наименьших квадратов. Результаты идентификации свидетельствуют о хорошей сходимости оценок модели. Оценки параметров соответственно равны:

для модели $a_1=-1,8847$; $a_2=0,8866$; $b_1=0,0030$; $b_2=0,0008$, доверительные интервалы для оценок – $\Delta a_1=1,424 \times 10^{-6}$; $\Delta a_2=1,415 \times 10^{-6}$; $\Delta b_1=0,080 \times 10^{-6}$; $\Delta b_2=0,041 \times 10^{-6}$;

для горячего коллектора $a_1=0,2323$; $a_2=0,2408$; $b_1=-0,0100$; $b_2=-0,0143$, доверительные интервалы для оценок – $\Delta a_1=12 \times 10^{-4}$; $\Delta a_2=0,9 \times 10^{-4}$; $\Delta b_1=10^{-4}$; $\Delta b_2=10^{-4}$;

В результате идентификации получены следующие передаточные функция объектов:

для модели

$$W_m(p) = \frac{k(T_3p+1)e^{-p\tau}}{(T_1p+1)(T_2p+1)}; \quad (2)$$

для горячего коллектора

$$W_k(p) = \frac{-0,011(p^2+1,154p+0,6495)}{p^2+0,4928p+0,4262} \quad (3)$$

Полученные в результате идентификации оценки коэффициента передачи, постоянных времени и запаздывания моделируемого объекта попадают в доверительный интервал, хорошо совпадают с аналогичными коэффициентами исходного объекта (1) и принимают следующие значения: $k=1,994$; $\tau=30$ с; $T_1=50,05$ с; $T_2=10,18$ с; $T_3=0,2667$ с.

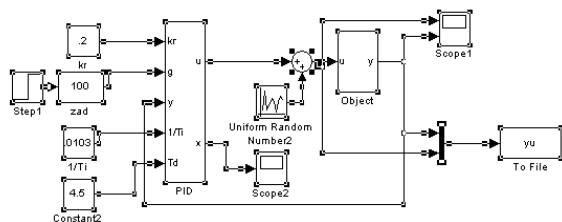


Рис.1. Структурная схема САП

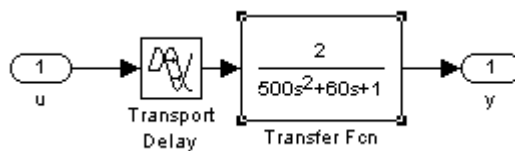
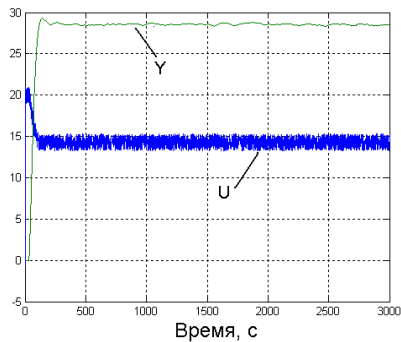
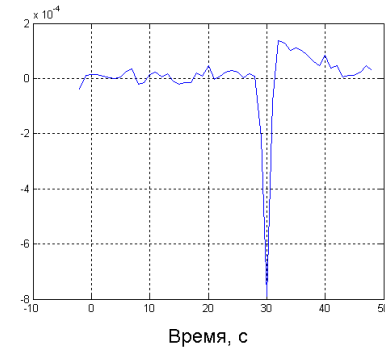


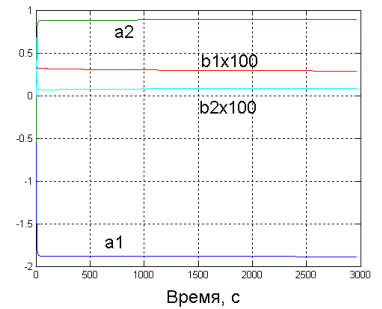
Рис. 2. Структурная схема объекта



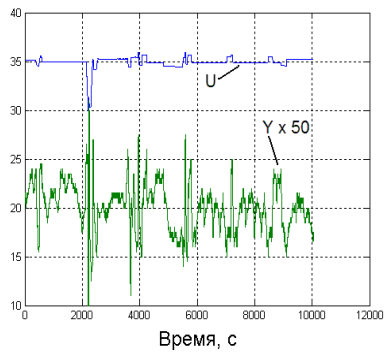
а)



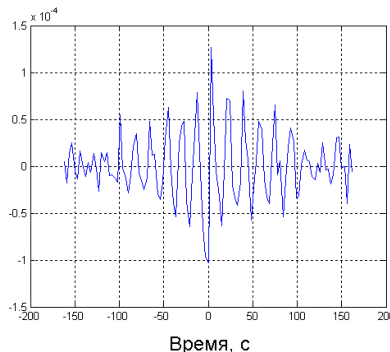
а)



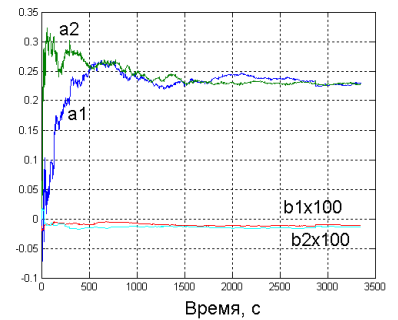
а)



б)



б)



б)

Рис.3. Входной (U) и выходной (Y) сигналы объекта

Рис. 4. Взаимная корреляционная функция между входом и выходом объекта

Рис.5. Коэффициенты АРСС – модели объекта

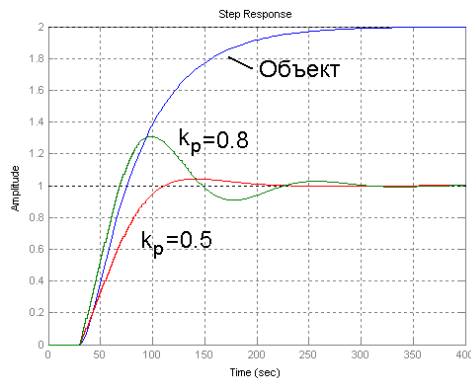


Рис.6. Результаты настройки системы для различных значений коэффициента k_p

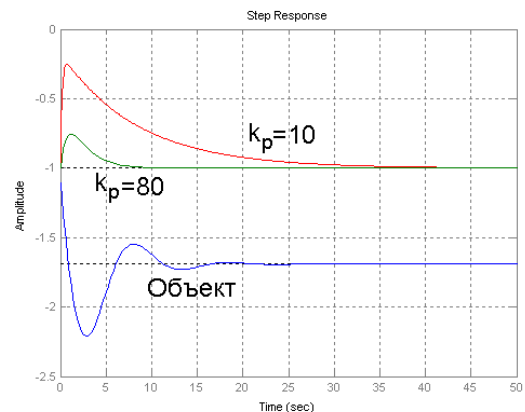


Рис. 7. Переходные характеристики горячего коллектора и системы

Расчет настроек ПИД – регулятора с передаточной функцией

$$W_p(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_u p} + T_d p \right) \quad (3)$$

проводился из условия компенсации полюсов передаточной функции модели объекта (2). Этому условию отвечают следующие соотношения между параметрами объекта и регулятора

$$\begin{aligned} T_1 T_2 &= T_u T_d; \\ T_1 + T_2 &= T_u. \end{aligned} \quad (4)$$

В процессе настройки значения коэффициент k_p регулятора задаются оператором исходя из желаемого качества переходного процесса. Чем не больше значение этого коэффициента, тем больше колебательность процесса.

На рис 6. приведены результаты настройки системы, показанной на рис. 1 для различных значений коэффициента k_p .

На рис.7 приведены переходные характеристики горячего коллектора и замкнутой системы для разных параметров настройки регулятора.

Предлагаемая методика настройки параметров ПИД – регуляторов не требует специального вмешательства в процесс функционирования объекта, она позволяет получать статистические оценки параметров объекта и регулятора, контролируя тем самым точность идентификации объекта и настройки параметров регулятора, оператору предоставляется возможность вручную получать желаемое качество регулирования, увеличивая или уменьшая колебательность переходного процесса в системе.

В том случае если естественные шумы объекта не позволяют получить сходящиеся оценки параметров АРСС – модели, то можно рекомендовать искусственное возмущение объекта внешним воздействием, имеющими характеристики белого шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Настройка средств автоматизации и автоматических систем регулирования. / А.С. Ключев, А.Г. Лебедев, С.А. Ключев, А.Г. Товарнов. Под ред. А.С. Ключева, 2-ое изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989.- 368 с.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления / под ред Н.Д. Егулова. - М.: Изд-во МГТУ им Баумана, 2000. - 736 с.