

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.

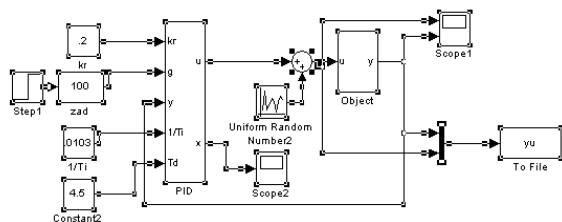


Рис.1. Структурная схема САП

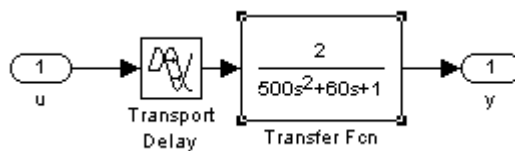
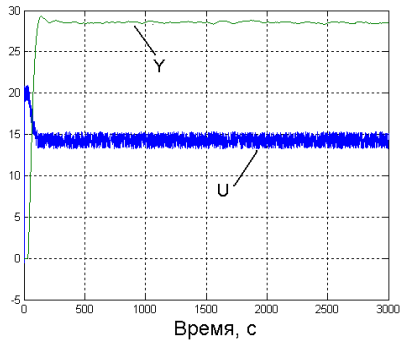
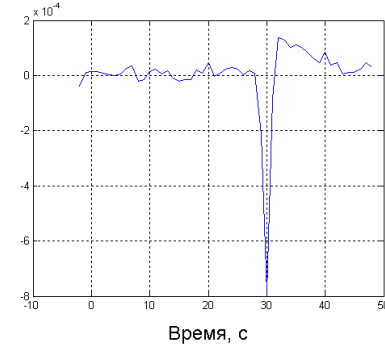


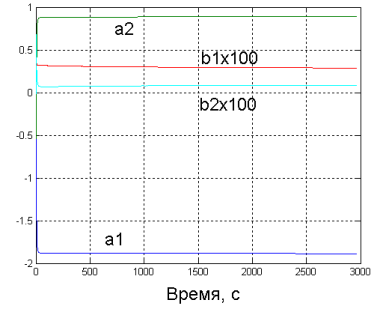
Рис. 2. Структурная схема объекта



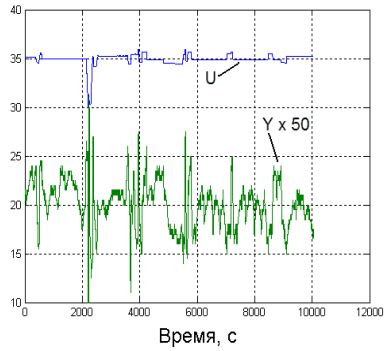
а)



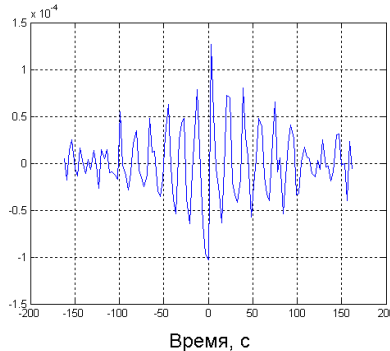
а)



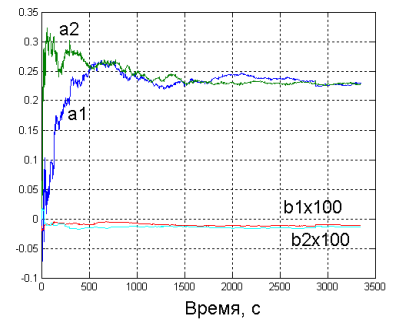
а)



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

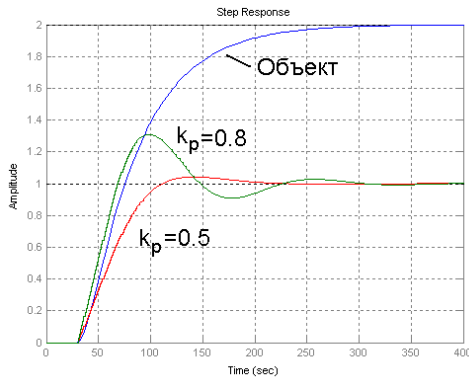


Рис.6. Результаты настройки системы для различных значений коэффициента k_p

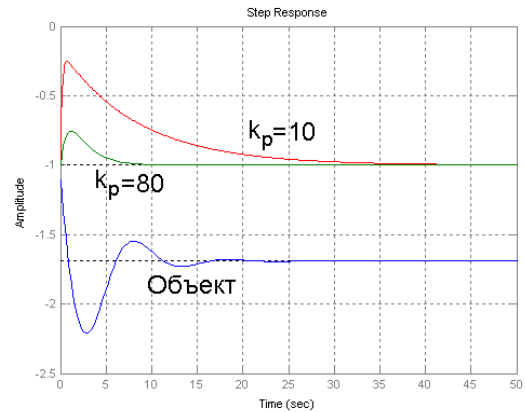


Рис.7. Переходные характеристики горячего коллектора и системы

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 коэффициента 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. Наладка 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.