

*к.т.н., доц. Потапов В. Д.,  
магистр Тофан Т. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ**

*Наведені отримані в результаті теоретичних досліджень графічні залежності та алгоритми які дозволяють ідентифікувати структуру та параметри технологічних об'єктів управління по експериментально отриманій інформації про значення двох векторів комплексної частотної характеристики.*

При проектировании и внедрении АСУ ТП часто возникает задача настройки регуляторов, решение которой затрудняется как априорной неопределенностью характеристик объекта управления, так и не стационарностью этих характеристик, т.е. дрейфом параметров объекта управления во времени. Такие объекты требуют использования адаптивных регуляторов, позволяющих осуществлять непрерывную подстройку своих параметров под изменяющиеся характеристики объекта, при этом ключевой задачей процесса адаптации является получение модели достаточно точно описывающей реальный объект управления (ОУ).

Анализ известных работ [1-5], посвященных вопросам идентификации показал, при построении моделей структуру оператора модели обычно выбирают исходя из опыта и интуиции разработчика, и очень часто динамические характеристики объекта управления аппроксимируются оператором  $W(p) = K e^{-\tau p} / (Tp + 1)^n$  [1-3,]. Использование для различных объектов оператора одного типа не позволяет учесть особенности конкретных объектов управления, что приводит к усложнению алгоритмов адаптации. В этих работах отмечается, что выбор критерия приближения модели должен осуществляться на основе системного подхода, т.е. критерий аппроксимации должен быть непосредственно связан с критерием оптимальной настройки системы. Так например, если при расчете оптимальных настроек системы управления, где в качестве дополнительного ограничения используется ограничение на допустимый показатель колебательности, можно считать, что модель с необходимой точностью отражает свойства объекта, если КЧХ модели при

частоте резонанса оптимально настроенной по этой модели системы совпадает с КЧХ самого объекта и, кроме того совпадают их первые производные [2]. Экспериментально производная определяется по конечному приращению КЧХ в области частоты резонанса  $\omega_p$ , т.е. критерием приближения аппроксимирующей характеристики к действительной является требование их совпадения при двух частотах  $\omega_p$  и  $(\omega_p + \Delta\omega)$ . Следовательно, чтобы удовлетворить сформулированному критерию приближения, достаточно чтобы аппроксимирующая передаточная функция (АПФ) содержала четыре варьируемых коэффициента.

При практических расчётах информацию о векторах КЧХ целесообразно представить в виде системы из четырёх уравнений: двух для модулей  $R_{об}(\omega)$  и двух для фазовых углов  $\varphi_{об}(\omega)$  векторов.

Если объект аппроксимируется моделью в виде цепочки из  $n$  последовательно соединённых апериодических звеньев первого порядка и звена чистого запаздывания, то значения модулей и фаз векторов КЧХ в функции безразмерной частоты  $\Omega = \omega_1 T_1$ , где  $T_1$  – наибольшая постоянная времени оператора, можно представить в виде системы уравнений:

$$R_{об}(\omega_1) = \frac{K_{об}}{\sqrt{\prod_{i=1}^n \left[ \left( \frac{T_i}{T_1} \Omega \right)^2 + 1 \right]}}; \quad (1)$$

$$\varphi_{об}(\omega_1) = -\frac{\tau}{T_1} \Omega - \sum_{i=1}^n \operatorname{arctg} \frac{T_i}{T_1} \Omega; \quad (2)$$

$$R_{об}(\omega_2) = \frac{K_{об}}{\sqrt{\prod_{i=1}^n \left[ \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \frac{T_i}{T_1} \Omega \right)^2 + 1 \right]}}; \quad (3)$$

$$\varphi_{об}(\omega_2) = -\frac{\omega_2}{\omega_1} \frac{\tau}{T_1} \Omega - \sum_{i=1}^n \operatorname{arctg} \frac{\omega_2}{\omega_1} \frac{T_i}{T_1} \Omega. \quad (4)$$

На основе информации об отношении модулей векторов и разности их фаз были получены расчётные соотношения и графические зависимости, связывающие область допустимых значений отношений модулей и фаз векторов комплексной частотной характеристики объекта, полученные для двух частот, с коэффициентами оператора модели. Кроме того, эта информация позволила определить наличие или отсутствие в объекте запаздывания, порядок оператора модели, обладает или не обладает объект самовыравниванием.

При определении структуры модели объекта управления, экспериментально снимаются две точки частотной характеристики объекта управления:

первая –  $\omega_1, R_{об}(\omega_1), \varphi_{об}(\omega_1)$ ;

вторая –  $\omega_2, R_{об}(\omega_2), \varphi_{об}(\omega_2)$ .

Вычисляются параметры:

$\Delta\varphi^* = \varphi_{об}(\omega_2) - \omega_2 \varphi_{об}(\omega_1)/\omega_1$  и  $R_{об}(\omega_1) / R_{об}(\omega_2)$ , вычисляется параметр  $RF = \Delta\varphi^* / [2 \ln(R_{об}(\omega_1) / R_{об}(\omega_2))]$  и оценивается по рисунку 1 величина  $\Omega$ , а следовательно постоянная времени  $T_1$ .

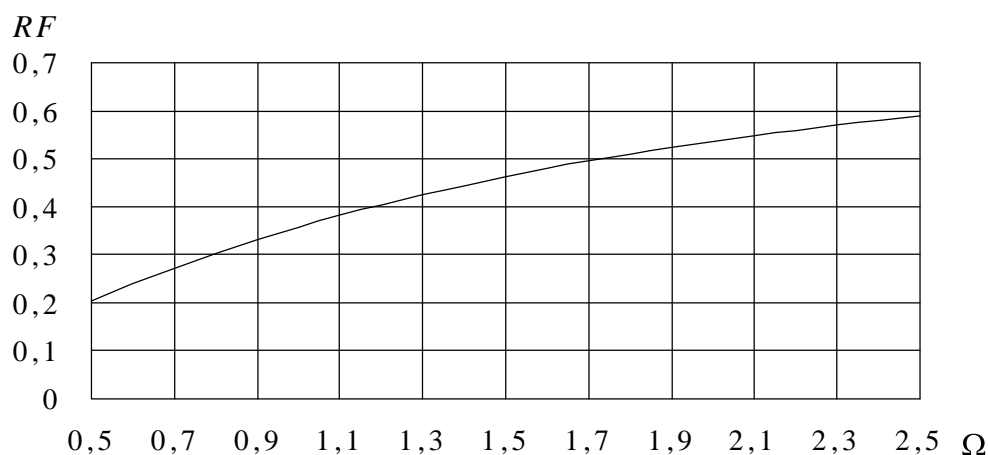


Рисунок 1 – Зависимость параметра  $RF$  от безразмерной частоты  $\Omega$

По зависимостям приведенным на рисунке 2 оценивается число звеньев входящих в АПФ

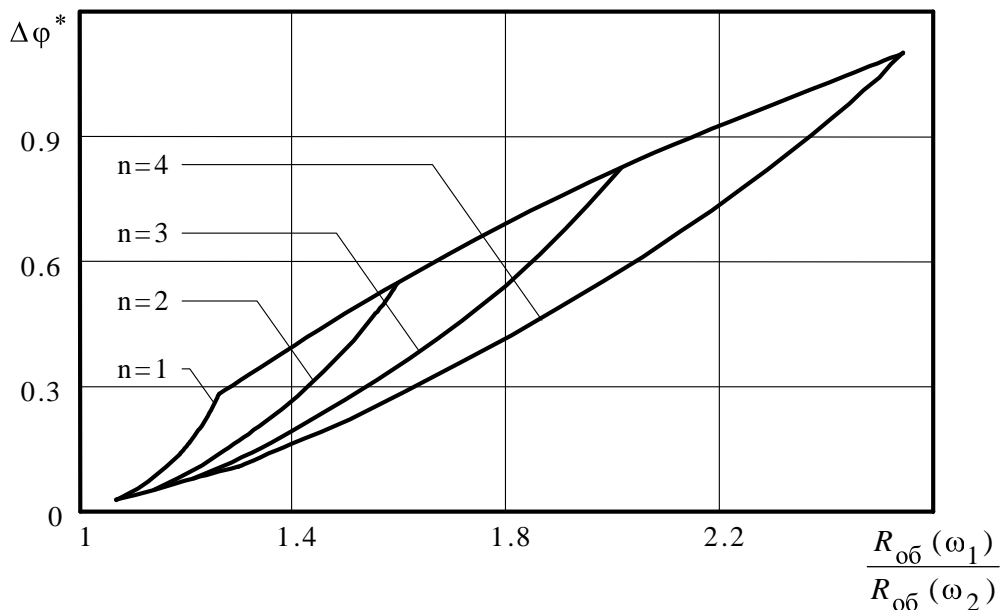


Рисунок 2 – Области допустимых значений  $\Delta\varphi^*$  и  $\frac{R_{об}(\omega_1)}{R_{об}(\omega_2)}$  для моделей с различным числом звеньев  $n$

Если точка, соответствующая экспериментальным данным находится на одной из кривых 1-4, то оператор модели можно представить в виде последовательно соединенной цепочки из апериодических звеньев первого порядка (АЗПП) с одинаковыми постоянными времени, причем число звеньев соответствует номеру кривой. Если звенья модели имеют различные постоянные времени, то точка, соответствующая экспериментальным данным, находится в области между кривыми 1-4, при этом число звеньев АПФ равно номеру кривой расположенной правее точки. Разница между постоянными времени звеньев тем больше, чем дальше от кривых расположена точка.

По зависимостям приведенным на рисунке 3 можно судить о наличии или отсутствии запаздывания в ОУ, а также оценить его относительную величину

Зависимости получены для АПФ состоящей из двух АЗПП, при  $\omega_2/\omega_1=1,3$ . Если число АЗПП не два а  $n$ , то экспериментальное значение параметра необходимо скорректировать, разделить на  $(1+0,01n)$ .

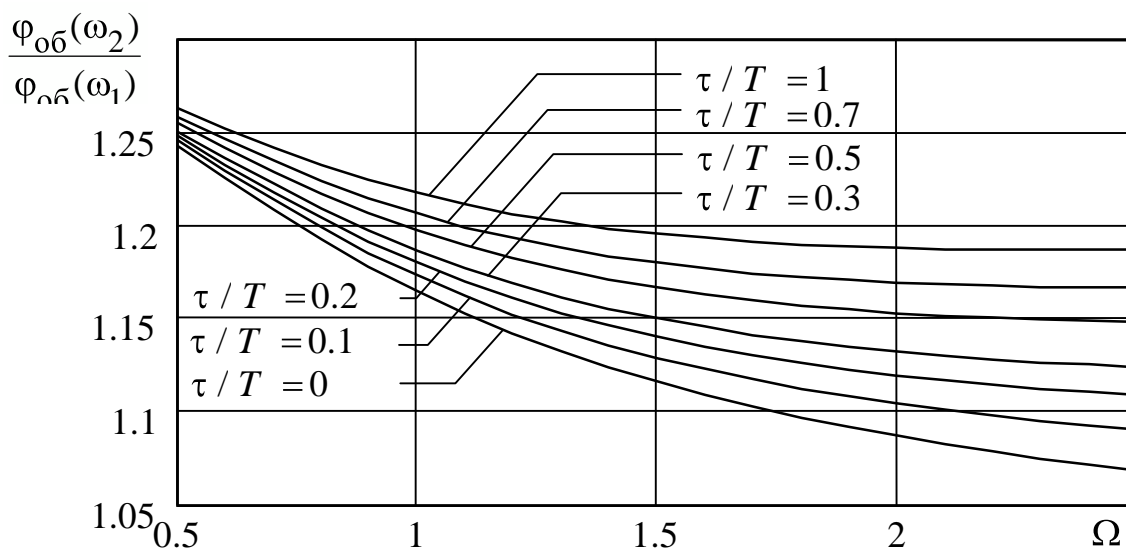


Рисунок 3 – Номограмма для оценки запаздывания объекта по зависимости отношения фазовых углов от безразмерной частоты  $\Omega$

После оценки структуры объекта управления по информации о значениях двух векторов его КЧХ можно приступать, используя библиотеку алгоритмов параметрической идентификации разработанную авторами, к определению числовых значений четырех коэффициентов АПФ. Так например, в качестве передаточных функций объектов с сосредоточенными параметрами, которые содержат четыре варьируемых параметра и отражают свойства объекта, необходимые для оптимизации настройки регулятора, может быть выбран оператор следующего вида:

$$W_{об}(p) = \frac{K_0 e^{-\tau p}}{T_0 p (T_1 p + 1) (T_2 p + 1)^{(-1)^m}}; \quad (5)$$

Ниже приведена система уравнений позволяющая определить коэффициенты оператора:

$$\begin{aligned} \varphi_{об}(\omega_2) - \frac{\omega_2}{\omega_1} \varphi_{об}(\omega_1) - \varphi_0 \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right) = -\arctg T_1 \omega_2 + \\ + \frac{\omega_2}{\omega_1} \left( \arctg T_1 \omega_1 + (-1)^m \arctg T_2 \omega_1 \right) - (-1)^m \arctg T_2 \omega_2; \end{aligned} \quad (6)$$

$$T_1 = \sqrt{\frac{A^2(\omega_2)(T_2^2 \omega_2^2 + 1)^{(-1)^m} - A^2(\omega_1)(T_2^2 \omega_1^2 + 1)^{(-1)^m}}{\omega_1^2 A^2(\omega_1)(T_2^2 \omega_1^2 + 1)^{(-1)^m} - \omega_2^2 A^2(\omega_2)(T_2^2 \omega_2^2 + 1)^{(-1)^m}}}; \quad (7)$$

$$K_{об} = A(\omega_1) \sqrt{(T_1^2 \omega_1^2 + 1)(T_2^2 \omega_2^2 + 1)^{(-1)^m}}; \quad (8)$$

$$\tau = \frac{1}{\omega_1} \left[ \varphi_{об}(\omega_1) - \varphi_0 - (-1)^m \operatorname{arctg} T_2 \omega_1 - \operatorname{arctg} T_1 \omega_1 \right], \quad (9)$$

где  $A(\omega_1) = R_{об}(\omega_1)$ ;

$A(\omega_2) = R_{об}(\omega_2)$  — для операторов с самовыравниванием;

$A(\omega_1) = \omega_1 R_{об}(\omega_1)$ ;

$A(\omega_2) = \omega_2 R_{об}(\omega_2)$ ;

$\varphi_0 = -\pi/2$

$K_{об} = K_0/T_0$  — для операторов без самовыравнивания.

При определении численных параметров АПФ вводятся исходные данные  $\omega_1, \omega_2, R_{об}(\omega_1), R_{об}(\omega_2), \varphi_{об}(\omega_1), \varphi_{об}(\omega_2)$ , затем в зависимости от выбранной структуры оператора модели вводятся соответствующие значения коэффициентов  $m, \varphi_0, A(\omega_1), A(\omega_2)$ .

Определяется, из решения трансцендентного уравнения (6) коэффициент оператора модели и  $T_2$ , затем из решения уравнения (7) определяется параметр  $T_1$ , а затем значения параметров  $K_{об}$  и  $\tau$ .

Разработанные алгоритмы позволяют определить параметры объектов: с запаздыванием и без запаздывания; с сосредоточенными и с распределенными параметрами; обладающих и не обладающих самовыравниванием. Разработано программное обеспечение для определения параметров модели объекта регулирования при проведении процедуры идентификации.

Алгоритмы и программы могут использоваться как в виде отдельных средств идентификации, так и в составе комплексов автоматической и автоматизированной настройки систем управления технологическими процессами.

*Приведены полученные в результате теоретических исследований графические зависимости и алгоритмы позволяющие идентифицировать структуру и параметры технологических объектов управления по экспериментально полученной информации о значении двух векторов комплексной частотной характеристики.*

*Here are the stepping rates curves and the algorithms, which were received as the result of the teoretical researches, which allows to identify the structure and parametres of experimental received information of the meaming of two vectors of fully frequency characteristic.*

### **Библиографический список**

1. Ротач В.Я Об адаптивных системах управления с текущей идентификацией объектов // Автоматизация в промышленности. – 2004. – №6. – С. 12–16.
2. Автоматизация настройки систем управления/ В. Я. Ротач, В.Ф. Кузицин, А. С. Клюев и др. / Под ред. В. Я. Ротача. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – с. 272, ил.
3. Адаптивный регулятор с идентификацией в замкнутом контуре/ И.А. Полищук, Ю.М. Ковриго, А.П. Мовчан// Энергетика: економіка, технології, екологія. - 2004. - №2. – С. 16-22.
4. Карабутов Н.Н Адаптивная идентификация систем: Информационный синтез: М.: КомКнига, 2006. – с. 384. ил.
5. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С., Куссуль Н.Н. Робастные методы оценивания, идентификации и адаптивного управления. К.: НАУ, 2004. –с. 498, ил.

*Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Денищиком Ю.С.*