

УДК 621.316.79

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ

Солдатов В.В., д.т.н.,

Берлянский А.В., д.т.н.

*Московский государственный агроинженерный университет**им. В.П. Горячкина*

Тел. (926) 334-89-76

Аннотация – предложен метод расчета параметров настройки ПИД-регулятора, позволяющий добиться оптимальных параметров устойчивости системы.

Ключевые слова – ПИД-регулятор, робастный метод, устойчивость системы.

Постановка проблемы. Задачу управления технологическими объектами нередко приходится решать в условиях информационной неопределенности относительно статистических характеристик действующих на объект возмущений. Поэтому для эффективного управления рассматриваемым объектом целесообразно использовать робастные методы, обеспечивающие высокое качество управления при возможных изменениях статистических характеристик возмущений в весьма широких пределах [1,2].

Отметим, что название «робастный» происходит от английского слова *robust*, имеющего значения: сильный, крепкий, грубый.

Анализ последних исследований. На практике среди типовых регуляторов широкое распространение получили ПИД-регуляторы с передаточной функцией

$$W_{\text{ПИД}}(s) = K_p T_D s + K_p + \frac{K_p}{T_I s}, \quad (1)$$

где K_p – коэффициент передачи регулятора; T_I и T_D – постоянные времени интегрирования и дифференцирования соответственно; s – комплексная переменная. Для односвязных систем с ПИД-регуляторами робастность системы управления достигается при вы-

боре значений параметров настройки данных регуляторов, обеспечивающих выполнение требования [1].

$$K_p/T_I = \max, \quad (2)$$

с учетом следующих ограничений на расположение полюсов передаточных функций замкнутой системы:

$$m = \min | \operatorname{Re} s_k / \operatorname{Im} s_k | \geq m_{\Pi}; \quad (3)$$

$$k = \overline{1, n_d},$$

$$\eta = \min (-\operatorname{Re} s_k) > 0, \quad (4)$$

$$k = \overline{1, n},$$

где m и m_{Π} – соответственно величина относительного демпфирования свободного движения замкнутой системы и ее предельно допустимое значение; η – величина абсолютного демпфирования свободного движения замкнутой системы; s_k – полюс передаточной функции замкнутой системы; n_d – число доминирующих полюсов, т.е. полюсов ближайших к мнимой оси, а n – общее число полюсов.

Отметим, что выполнение ограничений (3) и (4) позволяет обеспечить соответственно желаемую колебательность замкнутой системы и ее устойчивость, причем при расчетах параметров настройки регуляторов значение величины m_{Π} задается априорно, так чтобы обеспечить желаемую колебательность системы.

Доказано [1], что в системах с ПИД-регулятором выполнение требования (2) при ограничениях (3) и (4) обеспечивается при следующем расположении доминирующих полюсов

$$s_{1,3} = -\eta(1 + i/m_{\Pi}); s_{2,4} = -\eta(1 - i/m_{\Pi}). \quad (5)$$

Формулирование цели статьи. Рассмотрим объект с передаточной функцией канала управления технологическим параметром $y(t)$ (t – переменная времени) следующего вида

$$W_{об}(s) = K_{об} \frac{e^{-\tau s}}{(1+T_1s)(1+T_2s)}, \quad (6)$$

где $\tau = 3 \text{ с}$; $T_1 = 15 \text{ с}$; $T_2 = 20 \text{ с}$; $K_{об} = 1,5$. (7)

Основная часть. Значение величины m_{Π} зададим равенством

$$m_{\Pi} = 1,5. \quad (8)$$

Характеристическое уравнение замкнутой системы (1), (6) и (7) принимает вид

$$se^{\tau s}(1+T_1s)(1+T_2s) + K_{об}K_pT_Ds^2 + K_{об}K_p s + K_{об}\frac{K_p}{T_{И}} = 0. \quad (9)$$

Решив уравнение (9) с учетом равенств (7) и (8), а также требований (5) получим

$$K_p = 6,3986; \quad T_D = 5,3710 \text{ с}; \quad T_{И} = 17,1679 \text{ с}. \quad (10)$$

Определим динамические характеристики замкнутой системы (1), (6), (7) и (10).

Колебательность системы определяется амплитудно–частотной характеристикой (АЧХ) $A_{y_{зд}y}(\omega)$ канала передачи сигналов $y_{зд}(t) \rightarrow y(t)$, где $y_{зд}(t)$ – сигнал задания.

Поскольку передаточная функция данного канала имеет вид

$$W_{y_{зд}y}(s) = \frac{W_{об}(s)W_{пид}(s)}{1 + W_{об}(s)W_{пид}(s)}, \quad (11)$$

то искомая АЧХ задается выражением

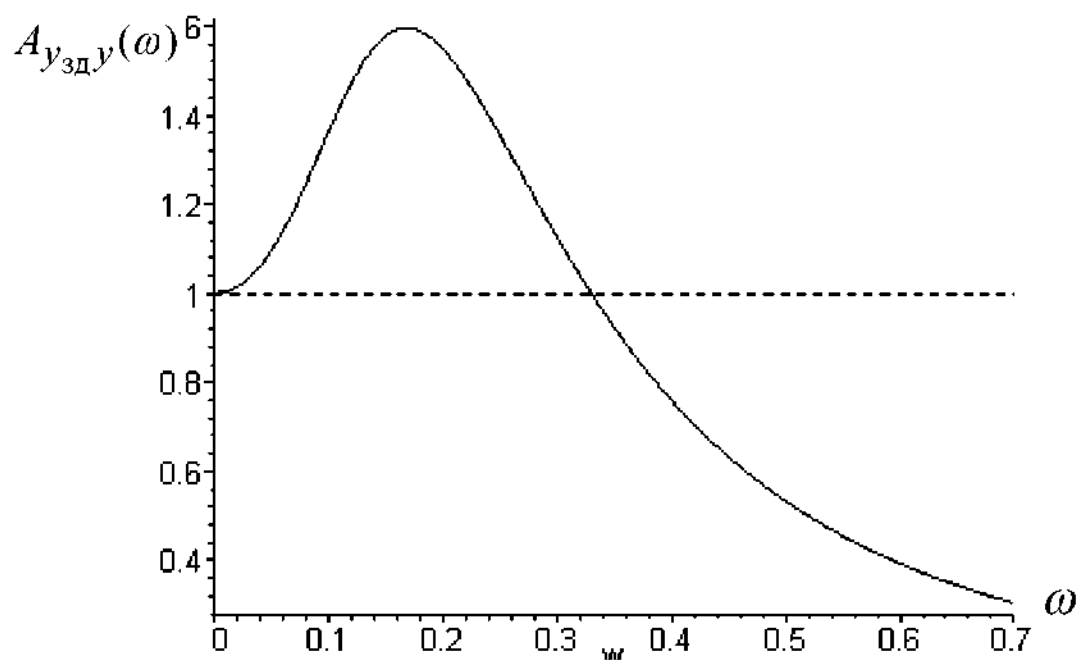
$$A_{y_{зд}y}(\omega) = |W_{y_{зд}y}(i\omega)|, \quad (12)$$

а ее график представлен на рис 1.

Фильтрующие свойства системы определяются АЧХ $A_{y_{зд}\varepsilon}(\omega)$, отвечающей каналу передачи сигналов $y_{зд}(t) \rightarrow \varepsilon(t)$, где $\varepsilon(t)$ – сигнал ошибки управления.

Поскольку передаточная функция данного канала имеет вид

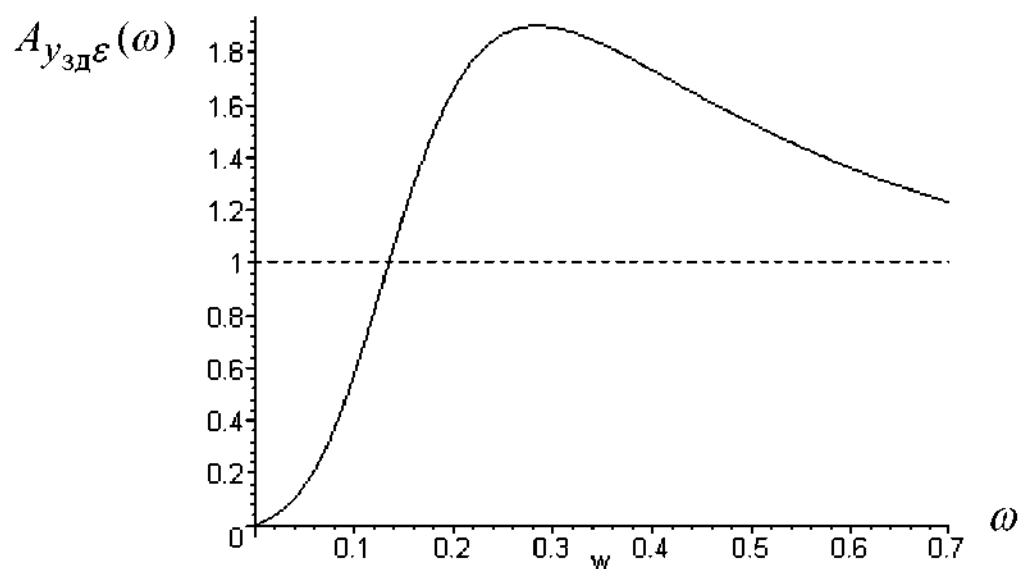
$$W_{y_{3d}\varepsilon}(s) = \frac{1}{1 + W_{об}(s)W_{пид}(s)}, \quad (13)$$

Рис.1. График зависимости $A_{y_{3d}y}(\omega)$.

то искомая АЧХ задается выражением

$$A_{y_{3d}\varepsilon}(\omega) = |W_{y_{3d}\varepsilon}(i\omega)|, \quad (14)$$

а ее график представлен на рис 2.

Рис. 2. График зависимости $A_{y_{3d}y}(\omega)$.

Для анализа устойчивости замкнутой системы воспользуемся критерием Найквиста. С этой целью построим годограф комплексной частотной характеристики (КЧХ) разомкнутой системы. Поскольку ее передаточная функция определяется выражением

$$W_{pc}(s) = W_{об}(s)W_{пид}(s), \quad (15)$$

то соответствующая КЧХ задается равенством

$$W_{pc}(i\omega) = W_{об}(i\omega)W_{пид}(i\omega). \quad (16)$$

Обозначив

$$R(\omega) = \text{Re} [W_{об}(i\omega)W_{пид}(i\omega)]; \quad (17)$$

$$I(\omega) = \text{Im} [W_{об}(i\omega)W_{пид}(i\omega)], \quad (18)$$

построим годограф КЧХ, вид которого представлен на рис. 3.

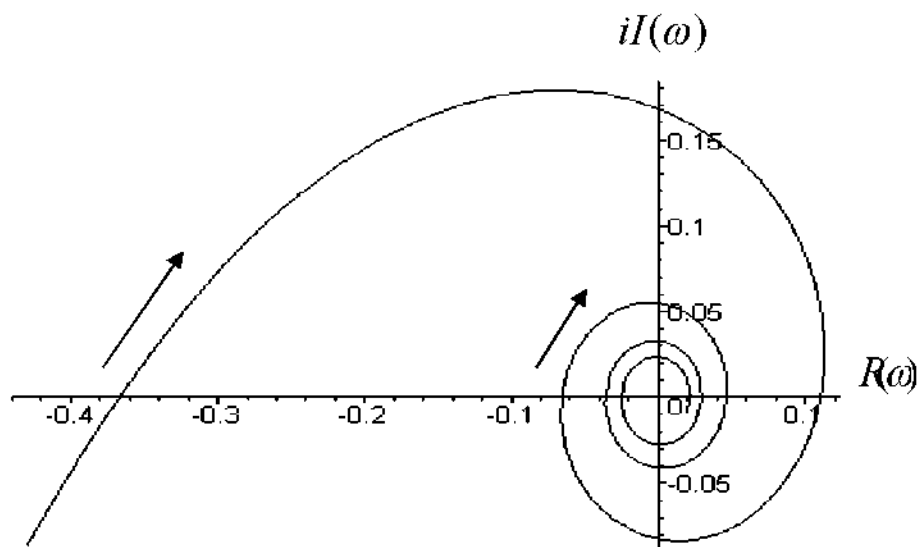


Рис. 3. Зависимость $iI(\omega)$ от $R(\omega)$.

Поскольку годограф на рис. 3 не охватывает точку с координатами $(-1, i0)$, то замкнутая система устойчива.

Качество переходных процессов в системе при действии по каналу задания единичного ступенчатого возмущения иллюстрируется рис. 4.

Как видно из данного рисунка система хорошо демпфирована, т.к. переходный процесс совершает всего одно колебание.

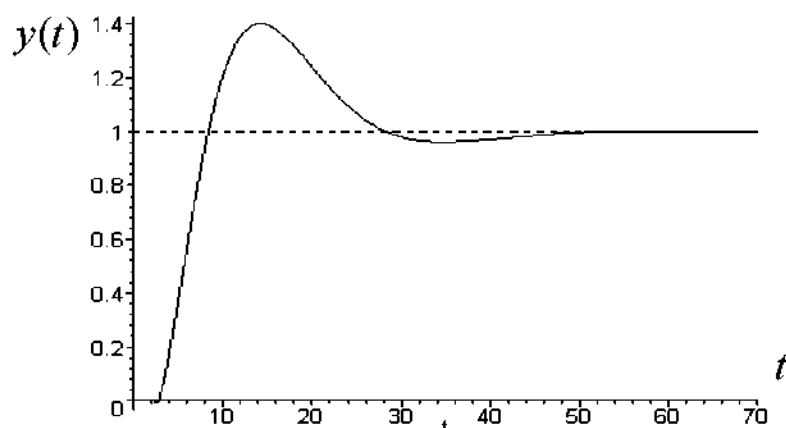


Рис. 4. Зависимость $y(t)$.

Выводы. Таким образом, проведенный анализ показал, что использованный метод расчета параметров настройки ПИД-регулятора позволяет добиться устойчивости системы и обеспечивает ее требуемую колебательность и хорошие фильтрующие свойства.

Литература

1. Шавров А.В. Многокритериальное управление в условиях статистической неопределенности / А.В. Шавров, В.В. Солдатов. – М. : Машиностроение, 1990. – 174 с.

2. Солдатов В.В. Методы робастного и адаптивного управления технологическими процессами / В.В. Солдатов, В.П. Борцов // Труды Международной научной конференции «Control – 2003». – М. : Издательство МЭИ, 2003. – С. 21-28.

МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ НАЛАГОДЖЕННЯ РЕГУЛЯТОРІВ

Солдатов В.В., Берлянський А.В.

Анотація - запропоновано метод розрахунку параметрів настройки ПИД-регулятора, що дозволяє домогтися оптимальних параметрів стійкості системи.

MODEL OF CALCULATION OF PARAMETERS OF ADJUSTMENT REGULATORS

V. Soldatov, A. Berlyanskiy

Summary

A method for calculating the parameters of the PID controller settings, allowing for the optimal parameters of system stability.