

ниторинга качественных показателей воды является перспективным направлением, так как поиск эффективного, оптимального и точного устройства не завершен.

Список использованной литературы

1. Щербаков, С. В. Исследование качества воды поверхностных и подземных источников южных регионов / С. В. Щербаков, В. С. Иванов // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства : Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Феодосия, 11–14 мая 2025 года. – Керчь: Керченский государственный морской технологический университет, 2025. – С. 142–144. – EDN BHLWUFU.

2. Контроль качества воды: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2004. -154с.

3. Vavilova G. Testing of Liquid Media In-Processes by Conductometry / G. Vavilova, A. Vtorushina , E. Liukiiu // Studies in Systems, Decision and Control – 2023. – № 433. – P. 51–62.

УДК 631.171:004.738.5

Ковалев В.А., к.т.н., доцент

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск*

Кулаков А.Т., к.т.н., доцент

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА МОДАЛЬНОГО ОПТИМУМА ПРИ НАСТРОЙКЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ АПК

Многие энергетические объекты АПК (теплогенераторы зерносушилок, котлоагрегаты котельных установок и др.) отличаются значительным запаздыванием и достаточно высоким порядком математической модели, адекватно описывающей их свойства. Одним из аналитических методов настройки систем автоматического регулирования (САР) таких объектов может использоваться метод модального оптимума.

В методе модального оптимума (МО) полная модель объекта регулирования, представлена передаточной функцией вида:

$$W_0^{полн}(p) = \frac{K_0}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) \dots (T_n p + 1)} = \frac{K_0}{\prod_{i=1}^n (T_i p + 1)}, \quad (1)$$

где: K_0 – коэффициент усиления объекта; T_i – постоянные времени, $i = 1, n$.

В работе [1] подробно описана методика обоснованного выбора типа регулятора в зависимости от соотношения значений постоянных времен $T_i, i = 1, n$ модели объекта. Расчет настроек регуляторов выполняется по параметрам расчетной модели объекта $W_0^{расч}(p)$ порядка не выше третьего.

Существенным недостатком метода МО является то, что для объектов представленных инерционными звеньями первого и второго порядков допустимы только интегральный (И-) и пропорционально-интегральный (ПИ-) регуляторы соответственно.

Передаточные функции рассматриваемых регуляторов:

$$\text{- И-регулятор } W_p^{И-}(p) = \frac{1}{T_i p}, \quad (2)$$

где T_i – постоянная интегрирования регулятора.

$$\text{- ПИ-регулятор } W_p^{ПИ-}(p) = \frac{K_p(T_n p + 1)}{T_i p}, \quad (3)$$

где T_i – постоянная времени интегрирования, K_p – коэффициент усиления регулятора;

Расчетные модели объектов соответственно:

$$\text{- } W_0^{расч}(p) = \frac{K_0}{\delta p + 1}, \text{ где } \delta = T_1; \quad (4)$$

$$\text{- } W_0^{расч}(p) = \frac{K_0}{(T_1 p + 1)(\delta p + 1)}, \text{ где } \delta = T_2 \text{ (} T_1 \geq T_2 \text{)} \quad (5)$$

Формулы расчета параметров настройки регуляторов:

$$\text{- И-регулятор } T_i = 2K_0 \delta; \quad (6)$$

$$\text{- ПИ-регулятор } T_i = T_1; \quad (7)$$

$$K_p = \frac{T_1}{2K_0 \delta}. \quad (8)$$

Передаточная функция замкнутой системы регулирования настроенной методом МО представлена стандартной передаточной функцией вида:

$$W_{3c}(p) = \frac{1}{2\delta^2 p^2 + 2\delta p + 1}. \quad (9)$$

Метод МО обеспечивает следующие прямые показатели качества переходного процесса при обработке задающего воздействия:

- время регулирования $t_p = 8,4\delta$;
- перерегулирование $\sigma = 4,3\%$ (по зоне 2%).

Предложенная модификация метода МО базируется на передаточной функции оптимального регулятора приведенной, в частности, в работе [2]:

$$W_p^{\text{опт}}(p) = \frac{1}{W_o(p)} \cdot \frac{W_{3д}(p)}{1 - W_{3д}(p)}, \quad (10)$$

где $W_o(p)$ – передаточная функция модели объекта; $W_{3д}(p)$ – заданная передаточная функция замкнутой системы относительно задающего воздействия.

Поскольку передаточная функция (9) системы настроенной методом модального оптимума является колебательным звеном, то передаточную функцию $W_{3д}(p)$ принимаем в виде:

$$W_{3д}(p) = \frac{1}{T_{3д}^2 p^2 + 2\xi T_{3д} p + 1}, \quad (11)$$

где $T_{3д}$ – заданная постоянная времени (единственный параметр настройки), коэффициент демпфирования ξ изменяется в диапазоне $0 \leq \xi \leq 1$.

В модифицированном методе МО при $\xi = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$ получаем переходные процессы, соответствующие системе регулирования настроенной методом модального оптимума, а при $\xi = 1$ – линейному оптимуму (монотонный переходной процесс).

Кроме этого, поскольку величина постоянной времени $T_{3д}$ в модифицированном методе модального оптимума является единственным параметром настройки системы, то за счет выбора значения этой постоянной можно уменьшить время регулирования t_p путем ввода расчетной величины $\delta_{\text{РАСЧ}}$:

$$T_{3д} = \delta_{\text{РАСЧ}} \sqrt{2} = \lambda \delta \sqrt{2}, \quad (12)$$

где коэффициент λ выбирается из диапазона, например $0,5 \leq \lambda \leq 1$.

При этом уменьшение величины $T_{зд}$ существенно улучшается качество отработки внутренних возмущений приложенных к входу объекта регулирования.

Список использованной литературы

1. Фрер, Ф. Введение в электронную технику регулирования/ Ф. Фрер, Ф. Орттенбургер; пер. с нем. М.: Энергия, 1973. 192 с.
2. Astrom, Karl J. PID controllers: theory, design, and tuning/Karl J. Astrom, Tore Hagglund – 2nd ed. p. cm. Rev. ed. of Automatic tuning of PID controllers. c1988).

УДК 621.586.6

Дайнеко В.А., к.т.н., доцент, Равинский Н.А., ст. преподаватель, Прищепова Е.М., к.т.н., доцент
Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ

Простым решением проблемы контроля влажности почв может служить конструкция и схема датчика влажности, основанная на измерении комплексной проводимости почвы между электродами. Свойства диэлектрика в электрическом поле характеризуется его комплексной диэлектрической проницаемостью [1]:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - \varepsilon'', \quad (1)$$

где ε' – действительная составляющая комплексной диэлектрической проницаемости, обусловленная, в основном, токами смещения в диэлектрике;

ε'' – мнимая составляющая комплексной диэлектрической проницаемости (коэффициент потерь), обусловленная, главным образом, токами проводимости в диэлектрике.

Для диэлектриков, у которых токи смещения преобладают над токами проводимости, потери, характеризуемые тангенсом угла потерь малы, а добротность велика:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \rightarrow \min; \quad Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} \rightarrow \max, \quad (2)$$