

проводить численное моделирование конструкций в различных постановках (одномерный случай на базе конечных элементов BEAM, трехмерный случай на базе конечных элементов BEAM, трехмерный случай на базе конечных элементов SOLID).

Использование разработанных на основе инструментальных программных средств САПР почвообрабатывающих агрегатов показало их функциональную достаточность и эффективность, позволило повысить качество конструкций, сократить ее удельное энергопотребление за счет оптимизации параметров конструкции и снижении веса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кротюк Ю.М. Интегрированная система информационной поддержки процессов проектирования и инженерного анализа машиностроительных конструкций / Ю.М. Кротюк, А.Г. Гривачевский // Проблемы создания информационных технологий. – М. : ООО «Техполиграфцентр», 2013. – С.201 – 205.

**Кулаков Г.Т., д.т.н., профессор, Кулаков А.Т., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский национальный технический университет»  
Ковалев В.А., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**

#### **ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРЕДИКТИВНОГО ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА**

**Ключевые слова.** Пропорционально-интегральный регулятор, предиктивный ПИ-регулятор, динамическая настройка, метод полной компенсации.

**Аннотация.** The report highlights approaches to parametric optimization of a predictive PI controller. The use of a predictive PI controller allows to significantly reduce the time of regulation.

Широкое распространение в области автоматизации технологических процессов получил метод полной компенсации в частном виде [1,2], позволяющий рассчитывать параметры динамической

настройки ПИ-регулятора, соответствующие критерию оптимального модуля.

При этом время интегрирования регулятора компенсирует постоянную времени передаточной функции объекта, динамика которого представляется инерционным звеном первого порядка:

$$W_O(p) = \frac{K_O e^{-\phi_y p}}{T_O p + 1}.$$

При этом полное время регулирования в системе автоматического регулирования (САР) определяется численным значением условного запаздывания.

Для уменьшения времени регулирования можно применить предиктивный ПИ-регулятор с передаточной функцией вида:

$$W_P(p) = K_P + \frac{e^{-\phi_y p}}{T_I p}. \quad (1)$$

Для расчета параметров настройки предиктивного ПИ-регулятора предлагается использовать следующую методику.

Передаточная функция регулятора (1) может быть приближенно представлена передаточной функцией вида:

$$W_P(p) = \frac{(K_P T_I - \phi_y) p + 1}{T_I p}. \quad (2)$$

Передаточная функция разомкнутой САР равна:

$$W_{PC}(p) = W_P(p) W_O(p) = \frac{[(K_P T_I - \phi_y) p + 1] K_O(p) e^{-\phi_y p}}{T_I p (T_O p + 1)}. \quad (3)$$

При выполнении условия

$$T_O = K_P T_I - \phi_y \quad (4)$$

передаточная функция (3) принимает следующий вид:

$$W_{PC}(p) = \frac{K_O e^{-\phi_y p}}{T_I p} = \frac{e^{-\phi_y p}}{T_I^* p}, \quad (5)$$

$$\text{где } T_I^* = \frac{T_I}{K_O}.$$

С учетом (5) передаточная функция замкнутой САР по задающему воздействию:

$$W_{зс}(p) = \frac{1}{\frac{1}{W_{рс}(p)} + 1} = \frac{e^{-\phi_y p}}{(T_{и}^* - \phi_y)p + 1} = \frac{e^{-\phi_y p}}{T_{зд}p + 1}, \quad (6)$$

где  $T_{зд}$  - заданное значение постоянной времени критерия оптимальной отработки скачка задания, равное  $T_{зд} = \gamma\phi_y$ . При этом коэффициент выбирается из ряда чисел правила золотого сечения [2].

Задавшись значением параметра  $T_{зд}$  с учетом (6) находим численное значение постоянной времени  $T_{и}^* = T_{зд} + \phi_y$ , а затем вычисляем значение постоянной интегрирования по следующей формуле:

$$T_{и} = K_o(T_{зд} + \phi_y). \quad (7)$$

Коэффициент передачи регулятора с учетом (6) рассчитывается из равенства (4):

$$K_p = \frac{T_o + \phi_y}{T_{и}} = \frac{T_o + \phi_y}{K_o(T_{зд} + \phi_y)}. \quad (8)$$

Пусть передаточная функция объекта регулирования имеет следующие параметры:  $K_o = 2$ ;  $T_o = 20$  с;  $\phi_y = 10$  с.

Примем численное значение  $T_{зд} = 0,618\phi_y = 6,18$  с, тогда параметры динамической настройки предиктивного ПИ-регулятора (1) будут равны:  $T_{и} = 32,36$  с;  $K_p = 0,927$ . Типовой ПИ-регулятор, настроенный по методу полной компенсации в частном виде [1] имеет следующие значения параметров динамической настройки:

$$T_{и} = T_o = 20 \text{ с}; \quad K_p = \frac{T_o}{2K_o\phi_y} = 0,5.$$

Переходные процессы в замкнутой системе автоматического регулирования с типовым ПИ-регулятором и предиктивным ПИ-регулятором при отработке задающего воздействия приведены на рис.1.

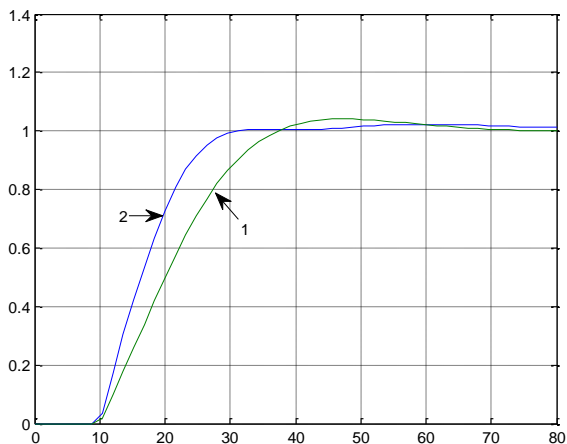


Рисунок 1 - Переходные процессы в замкнутой САР с типовым ПИ-регулятором и предиктивным ПИ-регулятором при отработке скачка задающего воздействия: 1 – САР с типовым ПИ-регулятором; 2 – САР с предиктивным ПИ-регулятором.

Из анализа графиков переходных процессов следует, что использование предиктивного ПИ-регулятора позволяет существенно сократить время регулирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кулаков Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков, Минск, 1989.- 192с.: Ил.
2. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Высшэйшая школа, 2017. – 238с.: Ил.