

УДК 681.3

Д.С. Карпович,

БГТУ, г. Минск, Республика Беларусь

О.А. Жумаев,

НГГТУ, г. Навои, Республика Узбекистан

О.Р. Абдурахмонов

БГТУ, г. Бухара, Республика Узбекистан

ЗАМЕНА ФУНКЦИИ $(1-W(p))$ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В ЦЕПИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ РЕАЛЬНО ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИМ ЗВЕНОМ И АПЕРИОДИЧЕСКИМ ЗВЕНОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА

***Аннотация.** Рассмотрено представление функции $(1-W(p))$ с запаздыванием в виде реального дифференцирующего звена и последовательного соединения со звеном второго порядка. Показано влияние изменения величины запаздывания и постоянной времени объекта на точность аппроксимации.*

Dzmitry Karpovich,

BSTU, Minsk, Republic of Belarus

Odil Jumaev,

NSUMT, Navoi, Republic of Uzbekistan

Abduraxmonov Olim

BSTU, Bukhara, Republic of Uzbekistan

REPLACEMENT OF THE $(1-W(p))$ FUNCTION WITH DELAY IN THE FEEDBACK CIRCUIT BY A DIFFERENTIATING FUNCTION AND A SECOND-ORDER APERIODIC FUNCTION

***Abstract.** This article examines the representation of the function $(1-W(p))$ in the form of a real differentiating transfer function and a sequential transfer function of the second order. The article shows the effect of changing the delay value and the time constant of the object on the approximation accuracy.*

При управлении сложными объектами с большими запаздываниями зачастую требует реализацию функции $(1-W(p))$ для реализации предиктора или системы управления в целом. Данная функция имеет сложности при реализации, обусловленные в том числе и большим запаздыванием функции $W(p)$.

Разность $(1-W(p))$ зачастую сложна в реализации обратной связи или просто в виде элемента синтезируемой системы управления, и по этой причине для реализации сложных схем вроде предикторов часто прибегают к её представлению в ином виде. Рассмотрим вариант, где

нам необходимо получение функции $(1-W(p))$ путем аппроксимации звена запаздывания реально-дифференцирующим элементом.

Для этого исходную передаточную функцию со звеном чистого запаздывания

$$W_{зд}(p) = \frac{1 * e^{-\tau_{зд}p}}{T_{зд}^2 p^2 + 2T_{зд}\xi_{зд}p + 1},$$

где $\tau_{зд}$ – величина чистого запаздывания, $T_{зд}$ – постоянная времени исходной передаточной функции, $\xi_{зд}$ – коэффициент демпфирования, можно представить в виде последовательного соединения реального дифференцирующего звена и звена второго порядка вида:

$$1 - W_{зд}(p) \cong \frac{kp}{T_d p + 1} * \frac{1}{T_d^2 p^2 + T_1 p + 1}$$

где коэффициенты аппроксимирующей функции связаны с параметрами исходной функции следующими зависимостями:

$$k = 2T_{зд}\xi_{зд} + \tau_{зд};$$

$$T_d = \frac{0.5\tau_{зд} - \frac{T_{зд}^2}{\tau_{зд}}}{\frac{2T_{зд}\xi_{зд}}{\tau_{зд}} + 1};$$

$$T_2 = T_{зд}; T_1 = 2T_{зд}\xi_{зд} [1].$$

При этом следует выделить важное условие для изначальной системы, которое должно выполняться для корректной аппроксимации запаздывания:

$$T_{зд}^2 < 0.5\tau_{зд}^2. \quad (1)$$

Исходная функция $(1-W(p))$ имеет переходную характеристику следующего вида:

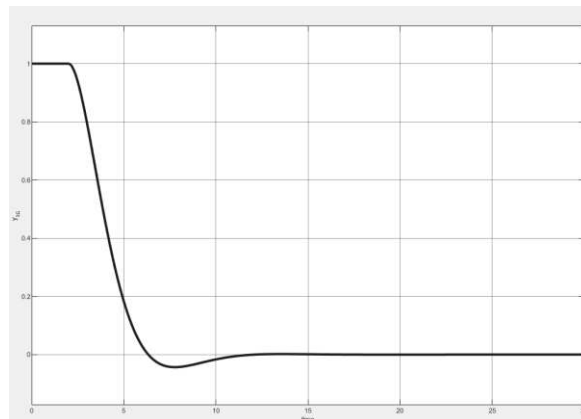


Рис. 1. График переходной характеристики
исходной передаточной функции с запаздыванием.

При этом аппроксимированная функция будет обладать переходной характеристикой вида, представленного на рис. 2.

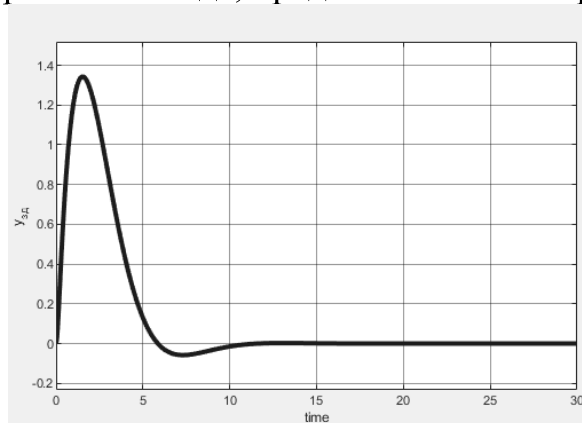


Рис. 2. График переходной характеристики
аппроксимированной функции

Как можно заметить, у данных переходных характеристик есть отличия. Если сравнить площади под кривыми, представленными на рис. 1 и 2, можем получить следующие графики:

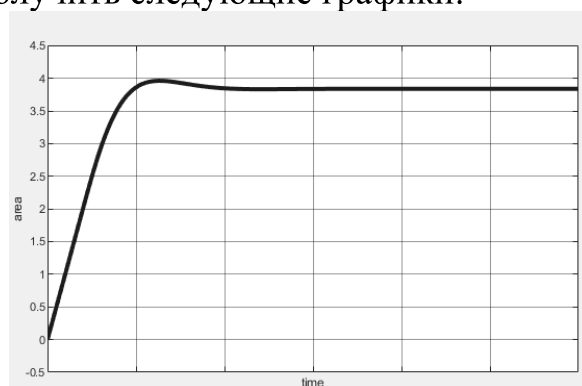


Рис. 3. График интеграла переходной характеристики исходной
передаточной функции

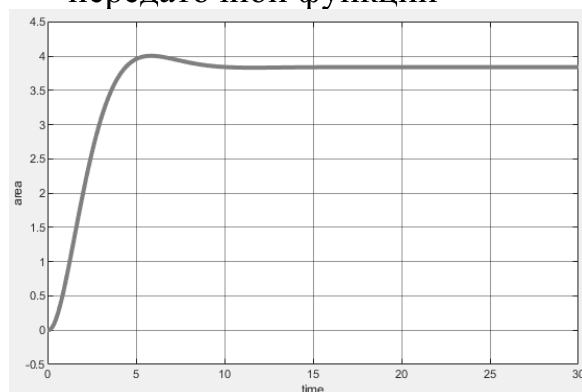


Рис. 4. График интеграла переходной характеристики аппроксимированных передаточной функции

Анализируя рис. 3 и 4, можно сделать вывод, что площади подынтегральных кривых близки друг к другу.

Определим, какое влияние оказывает величины параметров исходного объекта на ошибку аппроксимации. Для этого произведём ряд симуляций с изменением одного параметра при неизменных иных параметрах и построим графики изменения модуля ошибки площади под кривой.

При изменении запаздывания график модуля ошибки площадей под кривыми в зависимости от величины чистого запаздывания $\tau_{зд}$ меняется в соответствии с видом, представленным на рис. 6.

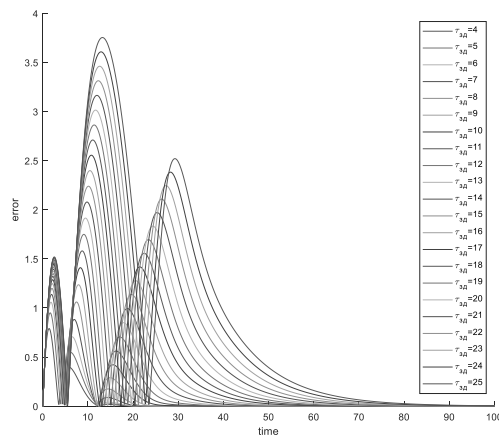


Рис. 6. График изменения модуля ошибки площадей под кривыми в зависимости от величины чистого запаздывания $\tau_{зд}$.

Данные, представленные на рис. 6, были получены для передаточной функции $W_{зд}(p)$ следующего вида:

$$W_{зд}(p) = \frac{1 * e^{-\tau_{зд}p}}{1,99^2 p^2 + 2,828p + 1},$$

где $\tau_{зд}$ изменялось в диапазоне от 4 до 25 с.

Анализ рис. 6 позволяет сделать вывод, что увеличение запаздывания $\tau_{зд}$ приводит к росту ошибки на первом и втором пиках в примерно равных пропорциях, но при этом приводит лишь к небольшому смещению этих двух пиков во времени в районе нескольких десятков секунд.

При изменении постоянной времени объекта $T_{зд}$ график модуля ошибки площади под кривой меняется в соответствии с графиком, представленным на рис. 7.

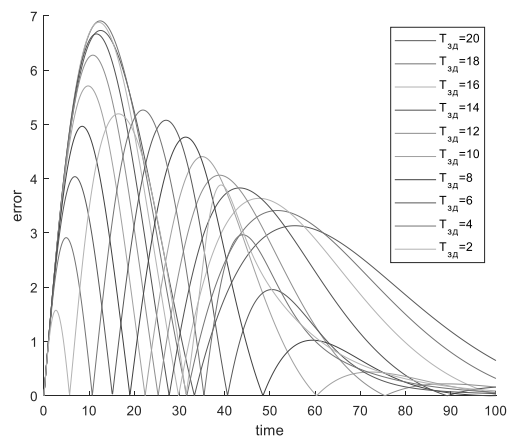


Рис. 7. График изменения модуля ошибки площадей под кривыми в зависимости от величины постоянной времени объекта , $T_{зд}$.

Как можно заметить, увеличение постоянной времени $T_{зд}$ приводит к увеличению первого пика ошибки, при постепенном уменьшении второго и третьего пиков, но при этом приводит к существенному смещению этих двух пиков во времени, в отличие от изменений запаздывания.

Список использованных источников

1. Kulakov G. T. Kulakov A. T. Kravchenko V.V. Theory of automatic control. Edited by G.T. Kulakova. Publisher: Higher School, 2022. 197 p.
2. Kuzmitsky, I. F., Kulakov, G. T. Theory of automatic control, a textbook for university students in the specialties "Automation of technological processes and production", "Automation of steam turbine plants and nuclear reactors of nuclear power plants", "Information technology and management in technical systems" Minsk: BSTU, 2010 .- 572 p.
3. Popov, E.P. Theory of linear systems and control / E.P. Popov. – М.: Nauka, 1987. – 341 p.