

проф. Иркиевский В.Д.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

НЕЛИНЕЙНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА С ЗАПАЗДЫВАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

Розглянута автоматизована система з нелінійним елементом та ланком чистого запізнювання. Запропонована методика послідовності знайдення алгоритмів фазових траєкторій, дозволяючим також використовувати метод модифікованих допоміжних функцій, якщо інтегрування заважке.

Модифицированный метод вспомогательных функций (ММВФ) [1] можно применить для расчета нелинейных систем автоматизированного управления и построения переходного процесса управляемой величины. Пусть последней будет принята температура воздуха [2] в стволе шахты. Для этого в зимнее время года применяют калориферные установки (рис. 1, 2).

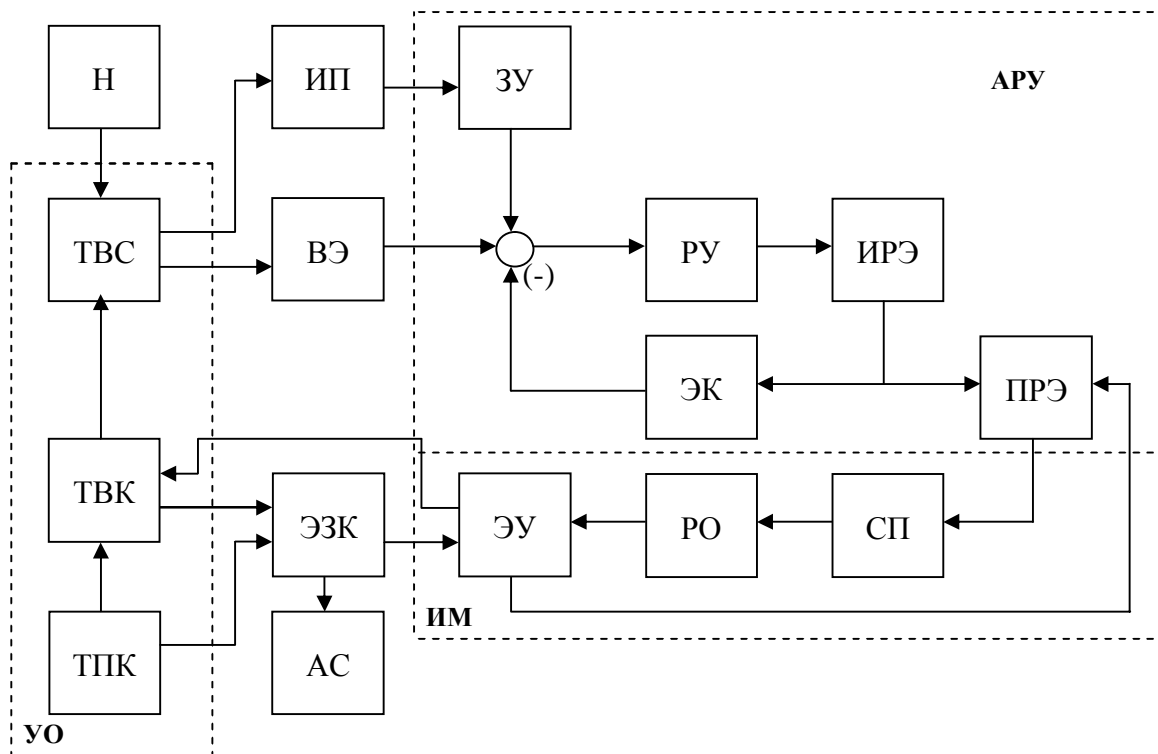


Рисунок 1 – Функциональная схема реального объекта

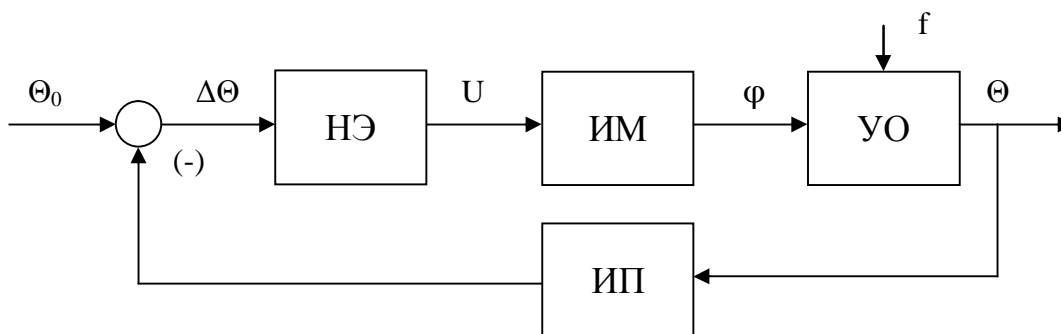


Рисунок 2 – Функциональная схема установки

Обозначения на функциональных схемах (рис. 1, 2):

Н - внешние условия;

ТВС – температура воздуха в стволе;

ТВК – температура воздуха через калорифер;

ТПК – температура пара калорифера;

УО – управляемый объект (ТВС, ТВК, ТПК);

ИП – измерительный прибор;

ВЭ – воспринимающий элемент;

ЗУ – задающее устройство;

РУ - релейно-регулирующее устройство;

ИРЭ – исполнительный релейный элемент;

ЭК – элемент контроля и обратной связи;

ПРЭ – промежуточный релейный элемент;

АРУ – автоматическое регулирующее устройство (ЗУ, РУ, ИРЭ, ЭК, ПРЭ);

СП – сервопривод;

РО – регулирующий орган;

ЭУ – элемент управления;

ИМ – исполнительный механизм (СП, РО, ЭУ);

АС – средства аварийной сигнализации;

ЭЗК – элемент защиты и контроля;

НЭ – нелинейный элемент;

f – случайное воздействие;

Θ_0 – предписанное значение температуры;

Θ – фактическое значение температуры управляемого объекта;

$\Delta\Theta$ – отклонение фактической температуры от заданной;

U – управляющее воздействие;

ϕ – угол открытия заслонки подачи теплового воздуха от калорифера.

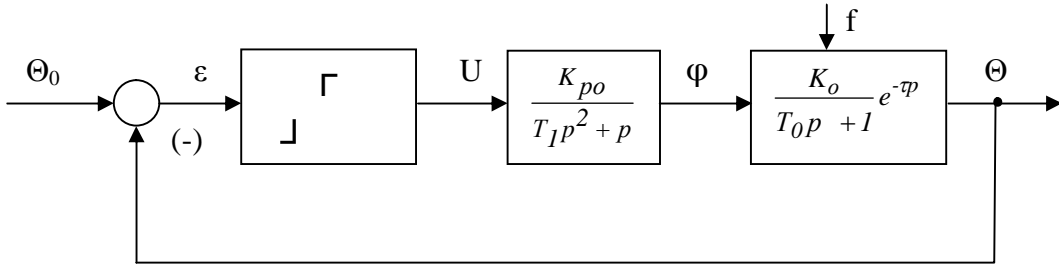
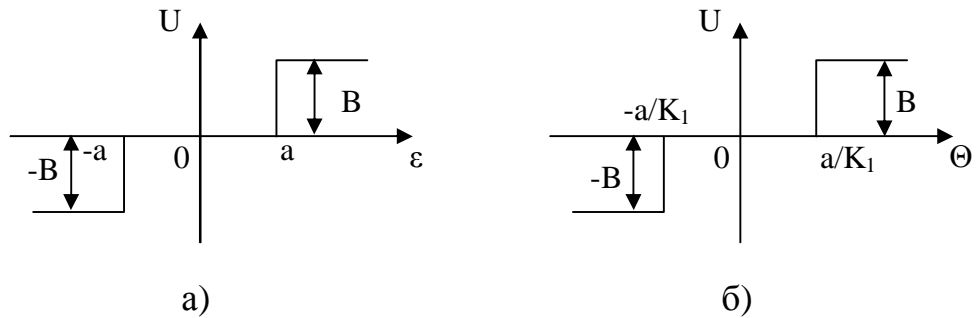


Рисунок 3 – Структурная схема установки

$$\left\{ \begin{array}{l} T_0 \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = -k_0 \Phi + f(t) \\ T_1 \frac{d^2\Phi}{dt^2} + \frac{d\Phi}{dt} = k_{po} U \\ U = B \text{sign} \varepsilon(t - \tau) = B \text{sign} \varepsilon(t) \mathbb{1}(t - \tau), \\ \varepsilon = k_1 \Theta \\ \varepsilon = \Theta_0 - \Theta \end{array} \right. \quad (1)$$

где k_0 , k_{po} , k_1 – статические коэффициенты усиления объекта регулирования, регулирующего органа и обратной связи; T_0 , T_1 – постоянные времени объекта регулирования и регулирующего органа.

Случайное внешнее воздействие $f(t)$ можно принять равным нулю. Чтобы запаздывание учесть как единичное воздействие: выделить $\varepsilon(t)$ в самостоятельную функцию. Решить систему уравнений с учетом вида характеристики нелинейного элемента.



а) характеристика однозначной нелинейности $U=f(\varepsilon)$
 б) характеристика однозначной нелинейности $U=f(\Theta)$

Рисунок 4 – Характеристики нелинейностей

Структурная схема (рис. 3) с учетом рис. 4 и уравнения (1) примет вид (рис. 5).

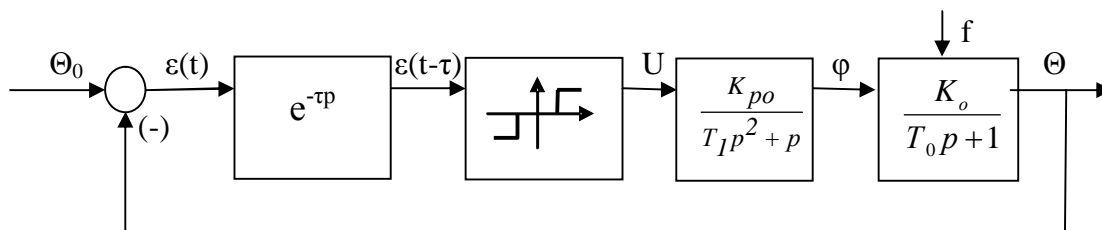


Рисунок 5 – Преобразованная структурная схема установки

Для построения фазовых траекторий данной структуры (рис. 5) необходимо из уравнений (1) исключить функцию времени t в явной форме. Решение сводят к результату $\dot{\Theta} = f(\Theta)$. При этом построение провести справа, слева и в зоне нечувствительности нелинейного элемента на фазовой плоскости.

Решим уравнение (1) относительно Θ и управляющего воздействия.

Для этого установим зависимости для $\frac{d\varphi}{dt}$ и $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$

$$\begin{aligned} T_0 \frac{d^2\Theta}{dt^2} + \frac{d\Theta}{dt} &= -k_0 \frac{d\varphi}{dt} \\ T_0 \frac{d^3\Theta}{dt^3} + \frac{d^2\Theta}{dt^2} &= -k_0 \frac{d^2\varphi}{dt^2} \end{aligned} \quad (2)$$

И используем их в следующем уравнении

$$T_1 \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{d\varphi}{dt} = -k_0 k_{po} U,$$

получим

$$\frac{T_1}{-K_0} \left(T_0 \frac{d^3\Theta}{dt^3} + \frac{d^2\Theta}{dt^2} \right) + \frac{1}{-K_0} \left(T_0 \frac{d^2\Theta}{dt^2} + \frac{d\Theta}{dt} \right) = K_{po} U \quad (3)$$

Считаем $T_1 T_0 \approx 0$, тогда

$$(T_1 + T_0) \frac{d^2\Theta}{dt^2} + \frac{d\Theta}{dt} = -k_0 k_{po} B \text{sign} \varepsilon(t) l(t - \tau);$$

$$(T_1 + T_0) \frac{d^2\Theta}{dt^2} + \frac{d\Theta}{dt} = -k_0 k_{po} K_1 B \text{sign} \Theta$$

Для зоны справа от линий переключения на фазовом портрете и зоны слева имеем

$$(T_1 + T_0) \frac{d^2 \Theta}{dt^2} + \frac{d\Theta}{dt} = -k_0 k_{po} B, \text{ при } \Theta > \frac{a}{K_1} \quad (4)$$

$$(T_1 + T_0) \frac{d^2 \Theta}{dt^2} + \frac{d\Theta}{dt} = k_0 k_{po} B, \text{ при } \Theta < -\frac{a}{K_1} \quad (5)$$

Для зоны нечувствительности

$$(T_1 + T_0) \frac{d^2 \Theta}{dt^2} + \frac{d\Theta}{dt} = 0, \text{ при } -\frac{a}{K_1} \leq \Theta \leq \frac{a}{K_1}$$

Чтобы исключить функцию времени из уравнений (4), (5), обозначим $y = \frac{d\Theta}{dt}$ и разделим левую и правую часть уравнений (4) и (5) на y .

$$(T_1 + T_0) \frac{dy}{d\Theta} = \frac{-y - K_0 K_{po} B}{y}$$

$$d\Theta = -(T_1 + T_0) \frac{y dy}{y + K_0 K_{po} B} \quad (6)$$

Проинтегрировав уравнение (6), получают уравнение для фазовых траекторий справа от линии переключения нелинейно элемента (7).

$$\Theta = (T_1 + T_0) [k_0 k_{po} B \ln(y + k_0 k_{po} B) - y] + c_2, \quad (7)$$

где c_2 – постоянная интегрирования определяется начальными условиями переходного процесса.

Слева от линии переключения (8)

$$\Theta = (T_1 + T_0) [k_0 k_{po} B \ln(y - k_0 k_{po} B) + y] - c_3 \quad (8)$$

Для зоны нечувствительности имеем

$$\begin{aligned}
(T_1 + T_0) \frac{dy}{d\Theta} + 1 &= 0 \\
(T_1 + T_0) dy &= -d\Theta \\
dy &= -\frac{1}{(T_1 + T_0)} d\Theta
\end{aligned}
\tag{9}$$

После интегрирования выражения (9)

$$y = -\frac{1}{(T_1 + T_0)} \Theta + c_1 \tag{10}$$

где c_1, c_2, c_3 – постоянные интегрирования на интервале $-\infty < c_i < \infty$.

По уравнениям (7,8,9) строят фазовые траектории, учитывая запаздывание τ . Анализ рассмотренной нелинейной системы возможен с помощью модифицированного метода [3] вспомогательных функций (ММВФ), что исключает необходимость интегрирования в случаях когда это затруднено.

Выводы. 1. Рассмотренный пример исследования нелинейной автоматизированной системы с чисто запаздывающим элементом показал возможность получения аналитических решений для установления показателей переходного процесса с помощью фазовых траекторий.

2. В случаях сложных алгоритмов, интегрирование которых затруднено следует применять метод модифицированных вспомогательных функций, который охватывает более широкий класс задач, где входящие параметры являются разрывными или обобщенными функциями.

Рассмотрена автоматизированная система с нелинейным элементом и чисто запаздывающим звеном. Предложена методика последовательности получения алгоритмов фазовых траекторий, позволяющим также использовать метод модифицированных вспомогательных функций, если интегрирование затруднено.

Non-linear element and pure lag row automation system was observed. The method of phase trajectory is offered, that permits to use the method of modifying additional function if the integration is hampered.

Библиографический список.

1. Иркиевский В.Д., Ризун В.И. Математические методы исследования движения сложных подвижных объектов. – К.: ИСДО, 1994. – 409с.

2. Иркиевский В.Д. Автоматическое управление. Учебн. пособие. – К.: Лыбидь, 1992. – 200с.

3. Ризун В.И. Современные проблемы науки и техники, связанные с решением дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами (Методы решения и их применения): Монография: В 4-х т. – Луганск: ВНУ, 2006. – 834с.

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