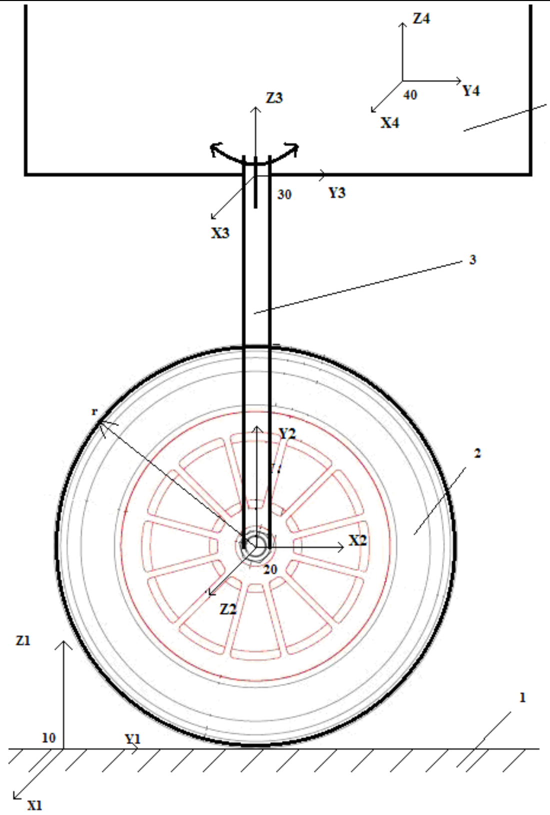


Рис. 3. Управляемое колесо: 1 – неподвижное основание, 2 – колесо, 3 – вилка, 4 – платформа. 10 – базисный трехгранник, 20 – трехгранник в сочленении колеса и вилки, 30 – трехгранник в сочленении вилки и платформы, 40 – трехгранник, жестко связанный с платформой

Для данного звена формализованное описание имеет вид $\mathrm{ZWR}(k, i, m, \alpha, \beta, \gamma, r)$ и включает следующие параметры: $\alpha$ – угол поворота трехгранника $O_{10}x_1y_1z_1$ вокруг оси x до совмещения оси z с плоскостью ($x_2$,$z_2$); $\beta$ – угол поворота трехгранника вокруг оси y; $\gamma$ – угол поворота трехгранника $O_{10}x_1y_1z_1$ вокруг оси $z_1$ до совмещения оси $z_1$ с осью $z_2$; r – радиус колеса.

**Заключение**

Формализованное описание колесных звеньев, представленное в статье, может быть применено на практике для различного типа колесных роботов, так как все большее и большее число мобильных роботов конструируются с применением платформ на колесах, что обеспечивает более точное и быстрое маневрирование таких платформ, а также простое управление.

**Литература**

1. Малышенко А.М. Формализованное описание структур параметров кинематических цепей манипуляторов // Машиноведение. – 1989. – № 4. – С. 61–67.
2. Зобова А.А. Применение лаконичных форм уравнений движения в динамике неголономных мобильных роботов. // Нелинейная динамика. Т. 7. – 2011. – № 4 (Мобильные роботы), С. 771–783.

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ, ОПИСЫВАЕМЫХ ИРРАЦИОНАЛЬНЫЕ И/ИЛИ ТРАНСЦЕНДЕНТНЫЕ ПЕРЕДАТОЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ

Тхан В.З.
Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина,30
E-mail: dungvietthan@gmail.com

**Введение**

Получение математического описания объектов управления является важной задачей в исследовании систем автоматического управления (САУ) и придании им адаптивных свойств. В ряду таких задач особое место занимают вопросы идентификации объектов управления с распределёнными параметрами. Известны многочисленные объекты, имеющие распределенные в пространстве параметры.

Особенности объектов управления с распределенными параметрами определены тем, что их математические описания представляют собой дифференциальные уравнения в частных производных или иные, отличные от обыкновенных. Широко применяемый в теории и практике автоматического управления операторный метод приводит такие описания к сложным передаточным функциям, которые определяют связь «вход-выход» между двумя точками объекта. Сложность их состоит в том, что они содержат иррациональные и/или трансцендентные составляющие, не позволяющие применять хорошо разработанные методы и средства, ориентированные на модели с сосредоточенными параметрами.

Передаточные функции объектов с распределенными параметрами в общем случае имеют вид [1]

$$W(p) = W\left(e^{-\sqrt{T_1 p}}, \frac{1}{\sqrt{T_2 p}}, \sqrt{p}, \mathrm{sh}\sqrt{T_3 p}, \mathrm{ch}\sqrt{T_3 p}, \mathrm{sh}\sqrt{ap^2+bp+c}...\right). \qquad (1)$$

Найти даже несколько параметров формы (1) всегда затруднительно, а в большинстве случаев невозможно. Поэтому в настоящее время распространенный и практически единственный способ идентификации – поиск моделей объекта в классе дробно-рациональных передаточных функций. Иными словами, объект с распределенными параметрами описывают моделью, соответствующей объекту с сосредоточенными параметрами. Естественно, что такая замена упрощает задачу идентификации, но сразу вносит погрешность в решение этой и последующих задач [2].

Между тем понятно, что с целью получения максимально точного результата решение следует искать в виде, который учитывает распределенность параметров, т.е. передаточная функция модели должна содержать иррациональные и трансцендентные составляющие. В случае необходимости упрощения задачи к дробно-рациональной форме следует переходить лишь на заключительных этапах расчета САУ.

В работе предлагается новый подход к идентификации объектов рассматриваемого класса, который встречает меньше препятствий при решении задачи. Подход базируется на вещественном интерполяционном методе (ВИМ) [4], который характеризуется двумя главными особенностями. Первая – задача решается в области изображений, что в вычислительном отношении имеет определенные преимущества перед областью времени. Вторая особенность связана с тем, что модели, используемые ВИМ, представляют собой функции с вещественным аргументом.

Поясним значение последней особенности. Классические операторные описания динамических систем представляют собой функции с комплексной переменной (в случае преобразования Лапласа) или мнимой переменной (в случае преобразования Фурье). Переход к численным моделям в этих случаях требует рассмотрения трехмерных представлений или выделения вещественных и мнимых составляющих, что при наличии иррациональных и трансцендентных составляющих проблематично для достаточно простых выражений и невозможно в более общих случаях. При использовании ВИМ эти препятствия почти снимаются.

ВИМ относится к числу методов, оперирующих математическими описаниями из области изображения. Метод базируется на вещественном интегральном преобразовании,

$$F(\delta) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-\delta t} dt, \delta \in [C, \infty), C \geq 0 \qquad (2)$$

которое ставит в соответствие оригиналу f(t) изображение F(δ) в виде функции вещественной переменной δ. Формулу прямого преобразования (2) можно рассматривать как частный случай прямого преобразования Лапласа при замене комплексной переменной $p = \delta + j\omega$ на вещественную δ. Еще один шаг, направленный на развитие инструментария метода, - переход от непрерывных функций F(δ) к их дискретным аналогом с целью применения средств вычислительной техники и численных методов. Для этих целей в ВИМ введены численные характеристики $\{F(\delta_i)\}_\eta$. Их получают как совокупность значений функции F(δ) в узлах $\delta_i = 1, 2, ..., \eta$, где η – количество элементов численной характеристики, называемое ее размерностью.

Выбор узлов интерполирования $\delta_i$ является ведущим этапом при переходе к дискретной форме, отказывая существенное влияние на вычислительные особенности и точность решения задач. Распределение узлов в наиболее простом варианте принимают равномерном. Еще одно важное положение ВИМ – наличие перекрестного свойства преобразования (2). Оно состоит в том, что поведение функции F(δ) при больших значениях аргумента δ определяется в основном поведением оригинала f(t) при малых значениях переменной t. Справедливо и обратное: поведение функции F(δ) при малых значениях аргумента δ определяется в основном поведением оригинала f(t) при больших значениях переменной t. Это обеспечивает возможность при поиске приближенных решений перераспределять погрешность в области времени путем соответствующих изменений в области изображений [4].

При рассмотрении в качестве оригиналов f(t) временных динамических характеристик динамических систем формула (2) приводит к операторным моделям, которые при определенных условиях можно рассматривать как частные случаи моделей на базе преобразования Лапласа. Так, принимая в (2) вместо функции f(t) переходную характеристику объекта h(t), получим его передаточную функцию

$$W(\delta) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-\delta t} dt, \delta \in [C, \infty), C \geq 0.$$

Отсюда можно найти элементы дискретной модели объекта и его передаточной функции, осуществив процедуру дискретизации по узлам:

$$W(\delta_i) = \delta_i \int_0^{\infty} h(t) . e^{-\delta_i t} dt, \quad i = \overline{1, \eta}. \qquad (3)$$

Математическая модель объекта в форме численной характеристики должна иметь однозначную связь с исходной непрерывной вещественной передаточной функцией. Такую связь можно установить с помощью системы алгебраических уравнений

$$W(\delta_i) = W\left(e^{-\sqrt{T_1 \delta_i}}, \frac{1}{\sqrt{T_2 \delta_i}}, \sqrt{\delta_i}, \operatorname{sh} \sqrt{T_3 \delta_i}, \operatorname{ch} \sqrt{T_3 \delta_i}, \operatorname{sh} \sqrt{a \delta_i^2 + b \delta_i + c} ...\right), i = \overline{1, \eta}. \qquad (4)$$

Эта система уравнений является основой для определения численных значений коэффициентов искомой передаточной функции. Рассмотрим этот путь.

В качестве примера рассмотрим задачу, которая имеет точное решение, позволяющее оценить полученный результат путем сравнения коэффициентов точной и сформированной передаточных функций.

В качестве примера возьмем передаточную функцию, описывающую т.н. короткие тросы [3]:

$$W(p) = \exp(\frac{-\tau_L \cdot p}{\sqrt{1+\tau . p}}).$$

Здесь $\tau_L$ – время прохождения волны вдоль троса, $\tau$ – постоянное времени внутреннего трения. Известна экспериментальная переходная характеристика такого объекта, имеющего параметры $\tau_L$ = 0,05 с и $\tau$ = 0,01 с. Она не приведена в работе, так как представляет собой типичную монотонную характеристику динамического объекта. В этом примере задача состоит в вычислении значений параметров $\tau_L$ и $\tau$ по экспериментальной характеристике h(t). Дополнительная информация об объекте – время установления переходного процесса $t_y$ = 0,12с. Размерность численной характеристики определена числом искомых коэффициентов: $\eta = 2$. Приняв в формуле:

$$\delta_1 = \frac{-\ln(\frac{\Delta}{h(t_y)})}{t_y} \qquad (5)$$

$$\delta_i = i\delta_1, i = \overline{2,\eta}.$$

$$\Delta = 0,001,$$

найдем значение первого узла, затем по условию равномерной сетки второго: δ1 = 57, δ2 = 114.

При параметрах интегрирования Δt= 0,001 и N= 120 по формуле (4) определится численная характеристика объекта: Теперь можно составить систему уравнений вида (7):

$$\begin{cases} W(\delta_1) = \exp(\frac{-57\tau_L}{\sqrt{1+57\tau}}) = 0,09804, \\ W(\delta_2) = \exp(\frac{-114\tau_L}{\sqrt{1+114\tau}}) = 0,01890. \end{cases}$$

Решение системы дает следующие результаты: $\tau_{L м} = 0,05133$; $\tau_м = 0,01020$ .

Результаты можно признать удовлетворительными. Были найдены оценки на основе частотных характеристик. Они тоже показали, что улучшать решение нет необходимости, поэтому задача считается решенной.

**Заключение**

В работе предложен способ идентификации объектов управления, описываемых передаточными функциями с характерными для объектов с распределенными параметрами – с иррациональными и/или трансцендентными составляющими. Способ основан на применении машинно-ориентированного метода, позволяющего привлекать численные методы и цифровые вычислительные средства. Способ может быть использован для расчета регуляторов САУ. Еще одно, прямое направление в его применении, построение самонастраивающихся регуляторов, работающих на идентификационном принципе.

**Литература**

1. Шевяков А.А. Управление тепловыми объектами с распределенными параметрами / А.А. Шевяков, Р.В. Яковлева. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.
2. Кувшинов Г.Е, Наумов Л.А, Чупина К.В. Системы управления глубинной погружения буксируемых объектов: монография. Владивосток: Дальнаука, 2005. – 285 с.
3. W. Harmon Ray. Advanced process control. – New York: McGraw-Hill Book Company, 1981. –376 p.
4. Гончаров В.И. Вещественный интерполяционный метод синтеза системы автоматического управления. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 1995. – 109 с.

# ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В СИСТЕМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ВНУТРИПРОМЫСЛОВОЙ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Тутов И.А.
Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина,30
E-mail: ivantutov@tpu.ru

Базовые вопросы теории автоматического регулирования (ТАР) были решены ещё в 60-х годах прошлого века. В дальнейшем были достигнуты значительные результаты в применении систем автоматического управления (САУ) и последующее развитие теории привело к формированию самостоятельной инженерной дисциплины – теории автоматического управления (ТАУ). Классически рассматриваемым регулятором в данной дисциплине является ПИД-регулятор. В своей основе он позволяет практически решить около 80% задач автоматизации. Регулятор довольно прост в устройстве, инженеру любой квалификации ясен принцип его функционирования и разработано огромное количество методов его настройки. Благодаря этим качествам данный регулятор получил весьма широкое распространение в составе САУ и автоматизированных системах управления (АСУ). Однако оптимальная настройка ПИД-регулятора с учетом нелинейностей по-прежнему является довольно непростой задачей. Наиболее часто при анализе систем управления технологическим процессом приходится учитывать нелинейности типа «ограничение» и «насыщение».

В нефтегазовой области основной сложностью в применении САУ является необходимость учёта постоянно изменяющихся параметров системы для достижения оптимального управления [1, 2]. В этих обстоятельствах инженеру необходимо постоянно производить подстройку под изменяю-