ОБ АЛГОРИТМИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ЛИНЕАРИЗАЦИИ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА СИСТЕМЫ ДРОССЕЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.

А.С. Шагинян, Д.Н. Андрианов, А.В. Захаров
Гомельский политехнический институт им.П.О. Сухого, Беларусь

Введение. При математическом описании процессов в элементах и системах автоматического регулирования наиболее широко используются дифференциальные уравнения динамики. Уравнения динамики элементов и систем автоматического регулирования составляются на основании физических законов, которым подчиняются исследуемые процессы. Вследствие сложности явлений, влияющих на процессы в элементах и системах, и конструктивных особенностей элементов, математическое описание реальных систем может привести к нелинейным дифференциальным уравнениям. В некоторых случаях несовместимость удобства и простоты использования линейных дифференциальных уравнений для исследования систем автоматического регулирования с полученными для реальных систем нелинейными дифференциальными уравнениями оказывается устранимой с помощью методов линеаризации. В результате применения этих методов нелинейные уравнения динамики заменяются приближенными линейными уравнениями.[1]

Постановка задачи. Большинство методов линеаризации основаны на условии достаточной малости отклонений переменных величин от значений, определяющих равновесное состояние элемента или системы. Но существует ряд технических систем, которые находятся в безразличном состоянии равновесия в некотором интервале переменных величин (физический эквивалент – безразличное равновесное состояние шара на ограниченной плоскости стола). Проведем линеаризацию уравнения движения ГИМ (гидравлического исполнительного устройства) подобной системы дроссельного регулирования. Такой системой может считаться разрывная или универсальная испытательная машина с гидравлическим или электрогидравлическим приводом (типа МР, ИР, УРС, ИК и т.д.).

Уравнение движения (скорости) ГИМ в общем виде имеет вид:

$$v = \frac{k_v}{\sqrt{P_0}} \cdot \sqrt{(P_0 - \Delta P)} \cdot x_p\,, \qquad (1)$$

где: v – для испытательной машины скорость движения активного захвата; k_v – коэффициент крутизны скоростной характеристики для исполнительных механизмов поступательного движения; [2]; P_0–эффективное давление гидропитания, $P_0 = P_n - P_{сл}$; P_n - подводимое давление насосно-аккумуляторной станции; $P_{сл}$ - давление слива; ΔP - перепад давления на ГИМ; x_p – задающее положение распределительного золотника.

Пусть входным сигналом будет перепад давления ΔP, а выходным – скорость активного захвата v. Задаемся некоторым положением распределительного золотника x_p и получаем некоторую нелинейную функцию скорости ГИМ вида $v = f(\Delta P)$. При этом v, k_v, P_0 и x_p считаются постоянными. Для испытательной машины интервал допустимых перепадов давления на силовозбуждающем устройстве достаточно большой. Уравнение (1) приводится к виду:

$$v = k_v \cdot \sqrt{(1 - n)} \cdot x_p\,, \qquad (2)$$

где: $n = \frac{\Delta P}{P_0}$ - безразмерный коэффициент, определяющий соотношение давления нагрузки и подводимого давления. Нелинейное уравнение принимает вид $v = f(n)$. Необходимо линеаризовать уравнение (2) на большом промежутке значений коэффицента n. (Например, для разрывной машины МР-200 коэффициент n находится в пределах от 0,04 до 0,92).

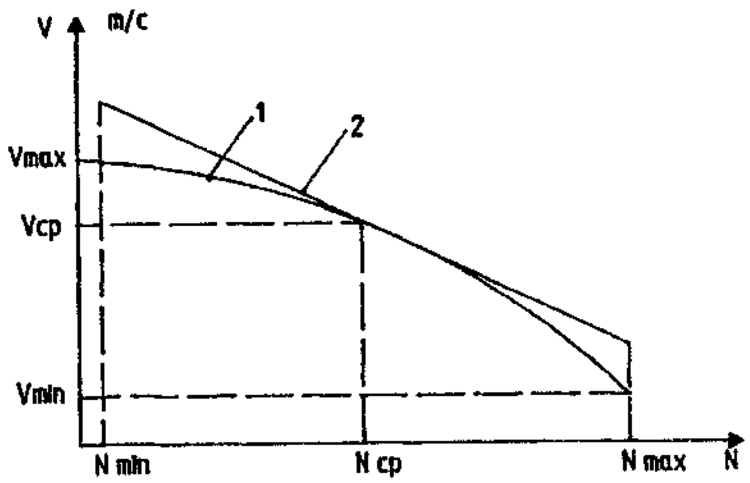

Рис.1 Исходное.уравнение движения ГИМ (1) и параметрическая прямая (2).

В общем случае линеаризованное уравнение скорости ГИМ имеет вид:

$$v = a \cdot n + b \,, \qquad (3)$$

где: а – угловой коэффициент прямой, равный тангенсу угла, образованного прямой с положительным направлением оси 0x прямоугольной декартовой системы координат; b – отрезок, отсекаемый ею на оси 0y.(см. рис.1) [3].

Для нахождения линеаризованного уравнения скорости необходимо составить и решить параметрическую систему уравнений.

На первом этапе определим параметры этой системы уравнения. Для этого получим уравнение $v = a_1 \cdot n + b_1$ как уравнение касательной к (2) в средней точке. Координаты средней точки находим из условия:

$$n_{cp} = n_{min} + \frac{n_{max} - n_{min}}{2} \,, \qquad (4)$$

$$v_{cp} = k_v \cdot \sqrt{(1 - n_{cp})} \cdot x_p \,, \qquad (5)$$

где: v_{min} - минимальная скорость ГИМ на всем диапазоне значений n; v_{max} - максимальная скорость ГИМ на всем диапазоне значений n;

В этом случае значение a_1 и b_1 определяются следующими формулами:

$$a_1 = -\frac{k_v \cdot x_p}{2 \cdot \sqrt{(1 - n_{cp})}} \,, \qquad (6)$$

$$b_1 = \frac{v_{cp}^2 + k_v^2 \cdot x_p}{2 \cdot v_{cp}} \,. \qquad (7)$$

График исходной функции (2) и параметрической прямой $v = a_1 \cdot n + b_1$ представлен на рис.1.

Составим условие нахождения уравнения (3). Уравнение (3) должно быть таким, чтобы выполнялось условие равенства площадей (рис. 2): $S_2 = S_1 + S_3$. Для этого зафиксируем угловой коэффициент a_1 и будем изменять коэффициент b так, чтобы выполнялось условие $S_2 = S_1 + S_3$.

Составим параметрическую систему уравнений:

$$b \triangleleft \frac{v_{cp}^2 + k_v^2 \cdot x_p}{2 \cdot v_{cp}}$$

$$n_{max} \triangleright d \triangleright c \triangleright n_{min}$$

$$S_1 = \int_{n_{min}}^{c} (a_1 \cdot n + b) dn - \int_{n_{min}}^{c} k_v \cdot x_p \cdot \sqrt{1-n} \cdot dn$$

$$S_3 = \int_{d}^{n_{max}} (a_1 \cdot n + b) dn - \int_{d}^{n_{max}} k_v \cdot x_p \cdot \sqrt{1-n} \cdot dn \qquad (8)$$

$$S_2 = \int_{c}^{d} k_v \cdot x_p \cdot \sqrt{1-n} \cdot dn - \int_{c}^{d} (a_1 \cdot n + b) dn$$

$$S_2 = S_1 + S_3$$

Данная система решается численными методами с применением программного пакета MCAD версий 2,0 и выше. Результатом решения является коэффициент b.

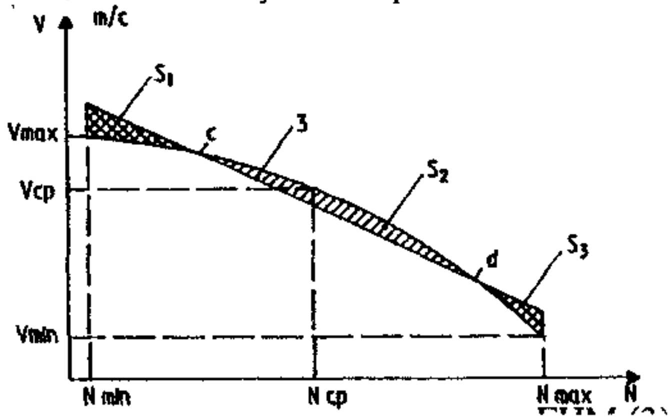

Рис. 2. Линеаризованное уравнение движения ГИМ (3).

Уравнение линеаризованной прямой имеет вид:

$$v = -\frac{k_v \cdot x_p}{2 \cdot \sqrt{(1 - n_{cp})}} n + b \, , \qquad (9)$$

где: b – решение системы (8). Условие нахождения линеаризованного уравнения $S_2 = S_1 + S_3$ соответствует условию «наименьшего предельного отклонения».

При проведении проверочных расчетов результаты хорошо согласуются с данными полученными в [4].

Резюме:

1. По мнению авторов данный способ линеаризации прост и достаточно алгоритмизирован, для своего применения требует только знания математического программного пакета MCAD.

2. Полученное линеаризованное уравнение с достаточной для инженерных расчетов точностью описывает движение ГИМ системы, для которой невозможно однозначно определить ее рабочую точку.

Литература

1.Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. - М: Машиностроение, 1977.

2. Хохлов В.А. Электрогидравлический следящий привод. -М-; Наука,1966.
3. Гусак А.А. Пособие к решению задач по высшей математике. – Минск: Вышейшая школа,1968.
4. Шагинян А.С. О линеаризации уравнения движения гидравлического исполнительного механизма. - В кн. Расчеты на прочность и жесткость элементов сельскохозяйственных машин и технологического оборудования. : Сборник статей. - Ростов-на-дону: Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения,1974. - С. 25-30.