

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Сейдахмет А.Ж., Гриценко И.С.

*Алматы, Республика Казахстан, Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
seydakhmet@mail.ru*

IDENTIFICATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MOBILE ROBOT

Seidakhmet A., Gritsenko I.

Almaty, Kazakhstan, Al-Farabi Kazakh National University, seydakhmet@mail.ru

В работе рассмотрена проблема идентификации динамической характеристики мобильного робота. Модель, описывающая динамику мобильного робота используется для исследования навигационной системы, системы планирования траектории движения и эффективного управления движением робота, при использовании регулятора с упреждением. Рассмотрен способ получения высокоточной динамической характеристики реального мобильного робота и проведена оценка точности полученной характеристики.

In the paper we consider the problem of identifying the dynamic characteristics of the mobile robot. Model describing the dynamics of the mobile robot is used to study the navigation system, the planning system trajectories and efficient motion control of the robot, using the controller with anticipation. The way of obtaining highly accurate dynamic characteristics of a real mobile robot and evaluated the accuracy of the resulting characteristics.

В последние годы отмечается повышение интереса к автономным промышленным транспортным средствам. Системы управления для таких аппаратов должны учитывать все возможные влияния на систему, возникающие в ходе их работы. Их навигационные системы должны быстро реагировать и приспосабливаться к изменяющимся условиям среды. Большинство стандартных методов управления подобными системами требуют физического описания системы со всеми ее параметрами. Для точного описания системы робота необходимо создать объективную динамическую модель. Динамическая модель позволяет учесть влияние массы, сил трения и инерции. Информация о динамике мобильного робота играет большую роль при планировании траектории движения и позволяет оценить «выполнимые» траектории. Особенно это важно при управлении роботом в случае движущихся препятствий (люди, другие роботы и т.п.) в таких ситуациях точность отработки движения позволяет предотвратить столкновение. При планировании траектории движения динамическая модель используется для определения пределов скоростей гарантирующих безопасность отработки движения.

На кафедре механики КазНУ им. аль-Фараби спроектирован и изготовлен мобильный робот грузоподъемностью 220 кг, имеющий в качестве подъемного механизма шарнирно-рычажного механизма 4-го класса с заданным относительным движением подвижных звеньев (рисунок 1). Мобильный робот имеет электрогидравлический насос, вращение колес осуществляется с помощью двух гидравлических двигателей расположенных на передних колесах, первый гидроцилиндр поворачивает передние колеса, второй гидроцилиндр используется в механизме подъема.

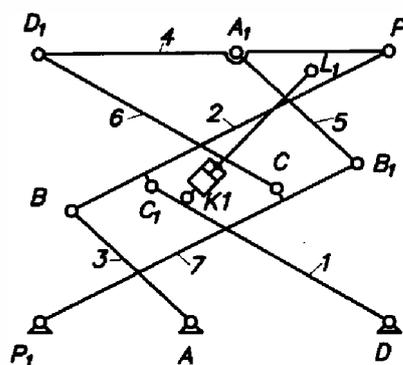


Рисунок 1

Для планирования траектории движения и эффективного управления движением робота в статье рассмотрена проблема идентификации динамической характеристики мобильного робота. Динамическая модель исследуемого мобильного робота описана в статье [1].

Рассмотрим структуру системы представленную на рисунке 1.

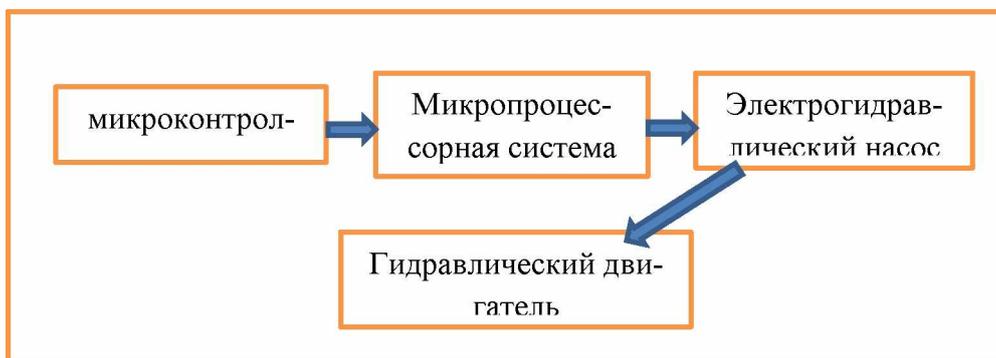


Рисунок 1. Структура системы управления приводом исследуемого мобильного робота.

Требуется определить вид передаточной характеристики угловой скорости от сигнала управления:

$$\frac{w(s)}{u(s)}$$

где $w(s)$ - угловая скорость, $u(s)$ - сигнал управления.

Передаточная характеристика системы микроконтроллера и микропроцессорной системы управления определяется только задержкой передачи сигнала [1]:

$$e^{-Ts}$$

где T - время задержки передачи сигнала управления.

Передаточная функция электродвигателя постоянного тока представляет собой уравнение второго порядка [2]:

$$W_1(p) = \frac{1}{K\Phi} \frac{1}{\frac{JR_x}{(K\Phi)^2} T_x p^2 + \frac{JR_x}{(K\Phi)^2} p + 1}$$

где R – активное сопротивление обмоток, Φ – мгновенное значение потока, K – конструктивный коэффициент, $T_x = L_x / R_x$ – электромагнитные постоянные времени якорной обмотки, J – момент вращения якоря дпт.

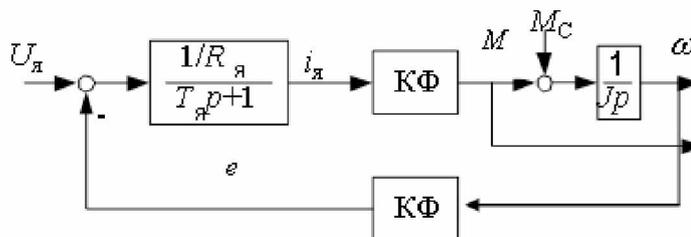


Рисунок 2. Структурная схема двигателя при постоянном потоке

Для получения формы передаточной характеристики представим передаточную функцию дпт в виде:

$$\frac{K1}{K2 s^2 + K3 s + K4}$$

Передаточная функция насоса и гидравлического привода представляет собой коэффициент передачи мощности [3].

Передаточная функция всей системы представленной на рисунке 1 записывается в виде:

$$(e^{-Ts}) \left(\frac{K1}{K2 s^2 + K3 s + K4} \right)$$

Для идентификации коэффициентов передаточной характеристики требуется определить значения коэффициентов. Время транспортной задержки определяем экспериментально – замером задержки между подачей сигнала управления и сигналом с энкодера на колесе робота ($T=0.058 \pm 0.001$). На основе экспериментальных замеров была получена выходная характеристика системы на изменяющийся во времени сигнал управления. Для более получения более точной характеристики реакции системы сигнал управления подавался в 3-х формах – прямоугольный, синусоидальный, пилообразный.

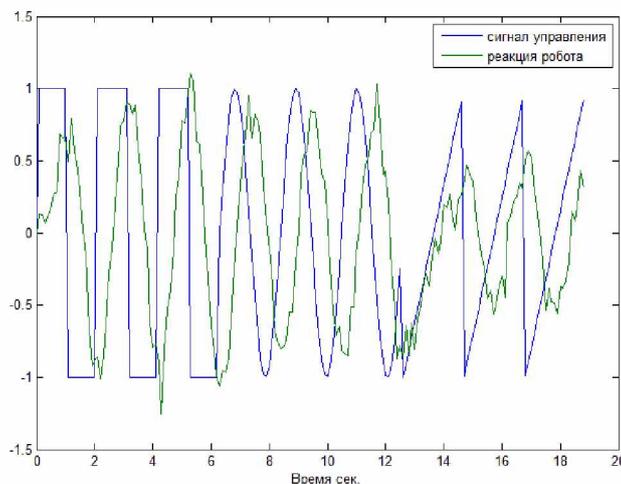


Рисунок 3 Измеренная реакция привода мобильного робота на сигнал управления

С целью получения статистически достоверной характеристики выхода была проведена серия экспериментальных замеров из 74 опытов реакции на управляющий сигнал. Результат представлен на рисунке 4.

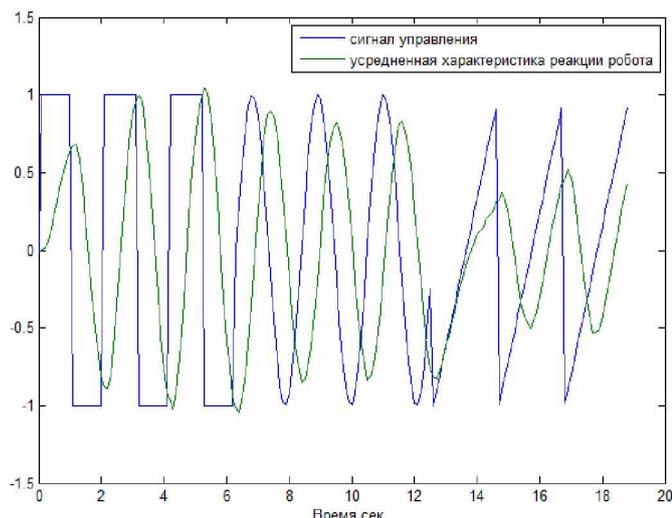


Рисунок 4. Усредненная характеристика измерений реакции привода мобильного робота на сигнал управления

Для определения коэффициентов K1-K4 использовался метод наименьших квадратов,

$$\sum_i e_i^2 = \sum_i (y_i - f_i(x))^2 \rightarrow \min_x$$

где y_i - измеренный выход системы, $f_i(x)$ - реакция «гипотетической» системы с подставленными значениями K1..K4.

Для определения минимума функции использовался метод градиентного спуска:

$$\text{grad}(f(K1, K2, K3, K4)) = \frac{\text{stepk1 } df(K1, K2, K3, K4)}{dK1} + \frac{\text{stepk2 } df(K1, K2, K3, K4)}{dK2} + \frac{\text{stepk3 } df(K1, K2, K3, K4)}{dK3} + \frac{\text{stepk4 } df(K1, K2, K3, K4)}{dK4}$$

Полученная передаточная характеристика имеет вид:

$$(e^{-0.058s}) \left(\frac{4.443}{s^2 + 2.022 K3 s + 11.56 K4} \right)$$

На рисунке 5 приведены графики усредненного значения измерений и полученной передаточной функции на сигнал управления.

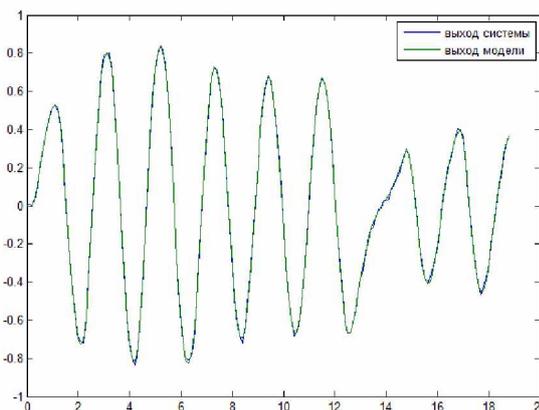


Рисунок 5 Усредненные данные измерений и реакции полученной модели системы

На рисунке 6 представлена характеристика расхождения данных и модели. Максимальное значение ошибки = 0.0340, среднее значение ошибки = 0.0095. Оценка соответствия модели данным $(1 - \sum(e(i))^2) = 97.33\%$.

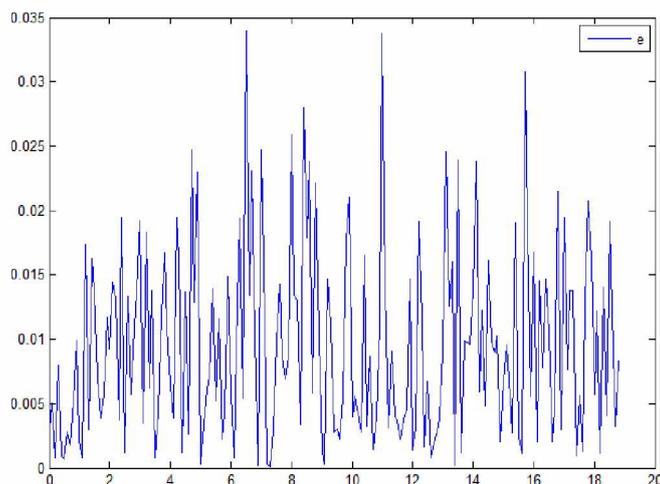


Рисунок 6. Расхождение (ошибка) между данными измерений и полученной моделью

В статье было описано получение высокоточной динамической характеристики движения мобильного робота. Вначале была получена аналитическая характеристика передаточной функции и на ее основе с использованием данных экспериментальных измерений были идентифицированы коэффициенты передаточной функции. Проведенная оценка точности модели, позволила численно охарактеризовать соответствие полученной модели реальному роботу на 97.33%. Полученная модель используется при создании алгоритмов навигации робота и систем управления роботом, а также позволяет использовать высокоэффективные системы управления с моделью, что позволит значительно увеличить точность управления.

Литература

1. Дракунов Ю.М., Сейдахмет А.Ж., Еспаев Б.А. Разработка конструкции мобильного робота с подъемником. Известия Ошского технологического университета, №2, Ош, 2013, с. 121-125.
2. Edouard Ivanjko, Toni Petrini. Modelling of mobile robot dynamics. Prentice-Hall, Inc. 2001.
3. Dorf and Bishop, Modern Control Systems, 9th Ed., Prentice-Hall, Inc. 2001.

СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЧ – АД МЕТОДОМ МНК НА ЭВМ В СРЕДЕ MATLAB

Мельничук В.

Современный электропривод является не только энергосиловой основой, позволяющий обеспечить производственные механизмы необходимой механической энергией, но и средством управления технологическими процессами, так как реализация производственных процессов в большинстве случаев возлагаются на системы управления регулируемые электроприводами [1]. В настоящее время среди регулируемых электроприводов широкое применение получили частотно – регулируемые асинхронные электроприводы. Формирование требуемых статических и динамических свойств асинхронного частотно – регулируемого электропривода возможно лишь в замкнутой системе регулирования его координат [2]. В процессе проектирования системы управления замкнутой системы преобразователь частоты асинхронный двигатель (ПЧ – АД) синтез параметров является одной из необходимых задач проектирования, в особенности нелинейных систем управления.

Поиск параметров систем управления частотно – регулируемых асинхронных электроприводов промышленных установок лучше всего осуществлять с применением ЭВМ при заданной структуре электропривода. Структурная схема линеаризованной системы ПЧ – АД с обратной связью по скорости [2] представлена на рисунке 1.

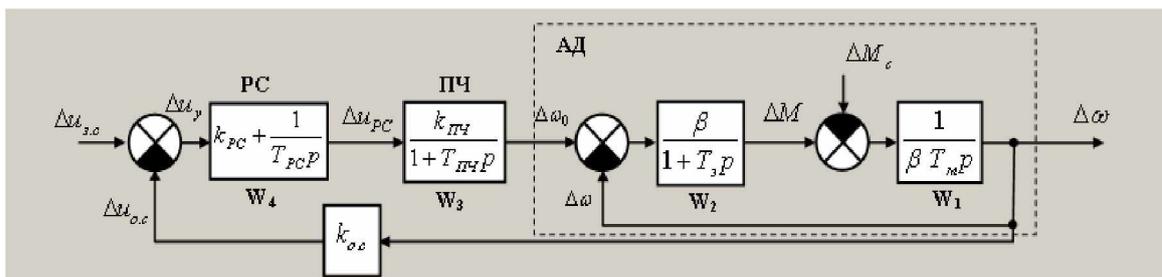


Рисунок 1. Структурная схема замкнутой системы ПЧ – АД.

Для обеспечения свойств самонастройки по величине ошибки, возникающей в системе в процессе управления, введем в систему ПЧ – АД (рисунок 1) нелинейное звено типа насыщения [3]. Замкнутая система ПЧ – АД становится нелинейной системой. Структурная схема нелинейной замкнутой системы ПЧ – АД в среде MATLAB приведена на рисунке 2. Как видно из рисунка 2 кроме введенного нелинейного звена в систему добавлена ещё обратная связь с выхода регулятора скорости на вход нелинейного звена системы управления.

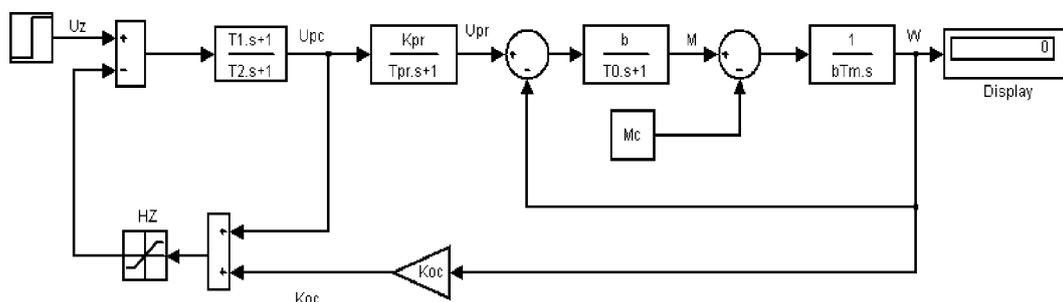


Рисунок 2. Структурная схема замкнутой системы ПЧ – АД.

Решение задачи синтеза параметров системы управления ПЧ – АД, в данном случае определение коэффициента передачи ПЧ K_{PR} и коэффициента обратной связи по скорости K_{OC} , осуществляется в два этапа. На первом этапе синтеза параметров системы управления определяются коэффициенты полиномиальной модели

$$F(x_1, x_2) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2 + \beta_4 x_1^2 + \beta_5 x_2^2 \tag{1}$$

методом наименьших квадратов (МНК) [4]. В полиномиальной модели (1) переменные $x_1 = K_{OC}$, $x_2 = K_{PR}$ и $F(x_1, x_2) = \omega$ (ω – угловая частота вращения вала двигателя). Отметим, что параметры асинхронного двигателя, параметры регулятора скорости (T_1, T_2) и постоянная времени ПЧ (T_{pr}) остаются неизменными в процессе решения задачи синтеза. Для определения коэффициентов полиномиальной модели (β_i) создается таблица №1 параметров в следующем виде:

Таблица №1

ω	K_{OC}	K_{PR}	T_0	T_1	T_2	T_{PR}	T_m	b	U_Z
7,936	0,05	5	0,05	0,1	0,05	0,001	0,2	28	5
14,29	0,1	10	0,05	0,1	0,05	0,001	0,2	28	5
15,97	0,15	15	0,05	0,1	0,05	0,001	0,2	28	5
15,48	0,2	20	0,05	0,1	0,05	0,001	0,2	28	5
14,29	0,25	25	0,05	0,1	0,05	0,001	0,2	28	5
12,99	0,3	30	0,05	0,1	0,05	0,001	0,2	28	5
11,78	0,35	35	0,05	0,1	0,05	0,001	0,2	28	5

Отметим, что таблица №1 составлена при заданных численных значениях

коэффициента обратной связи по скорости с шагом $h_{oc} = 0.05$, а численные значения коэффициента передачи ПЧ с шагом $h_{oc} = 5$, т.е. задается диапазон изменения определяемого параметра, из которого затем выбирается оптимальное значение соответствующего параметра. Численные значения частоты вращения вала двигателя ω получены с помощью структурной модели замкнутой системы ПЧ – АД (рисунок 2) в среде MATLAB, при подаче на вход системы единичного входного сигнала U_Z . Другие параметры, указанные в каждой строке таблицы №1, остаются без изменения.

Программа определения коэффициентов полиномиальной модели (β_i) в среде MATLAB [4] приведена на рисунке 3.

```
function regres
    Y=[7.936;14.29;15.97;15.48;14.29;12.99;11.78];
    x1=[0.05;0.1;0.15;0.2;0.25;0.3;0.35];
    x2=[5;10;15;20;25;30;35];
    o=ones(7,1);
    X=[o,x1,x2,x1.*x2,x1.^2,x2.^2];
    b=inv(X'*X)*X'*Y;
    X=vpa(X,4),b
end
```

Рисунок 3. Программа расчета коэффициентов полиномиальной модели.

На втором этапе синтеза численных значений коэффициента обратной связи по скорости (K_{OC}) и численных значений коэффициента передачи (K_{PR}) определяются частные производные полинома (1):

$$\frac{\partial F}{\partial x_1} = \beta_1 + \beta_3 x_2 + 2\beta_4 x_1 = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial F}{\partial x_2} = \beta_2 + \beta_3 x_1 + 2\beta_5 x_2 = 0.$$

Преобразуем систему уравнений (2) к удобному виду для их матричного решения:

$$\begin{aligned} 2\beta_{11}x_1 + \beta_{12}x_2 &= -\beta_1, \\ \beta_{12}x_1 + 2\beta_{22}x_2 &= -\beta_2. \end{aligned} \quad (3)$$

В системе уравнений (3) $\beta_{11} = \beta_4$, $\beta_{12} = \beta_3$, $\beta_{22} = \beta_5$. На основании системы (3) матрица коэффициентов при неизвестных и вектор – столбец свободных членов уравнений имеют следующий вид:

$$A = \begin{bmatrix} 2\beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{12} & 2\beta_{22} \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} -\beta_1 \\ -\beta_2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

С учетом программы расчета коэффициентов полиномиальной модели (рисунок 3) и (4) получим программу в MATLAB, с помощью которой осуществляется расчет коэффициента обратной связи по скорости K_{OC} и коэффициента передачи K_{PR} . Программа расчета K_{OC} и K_{PR} представлена на рисунке 4.

```

1 function pregres
2 disp(' Программа синтеза параметров замкнутой');
3 disp(' системы преобразователь частоты - асинхронный двигатель');
4 Y=[7.938;14.29;15.97;15.48;14.29;12.99;11.78];
5 x1=[0.08;0.1;0.15;0.2;0.25;0.3;0.35];
6 x2=[5;10;15;20;25;30;35];
7 o=ones(7,1);
8 X=[o,x1,x2,x1.*x2,x1.^2,x2.^2];
9 b=inv(X'*X)*X'*Y;
10 b0=b(1); b1=b(2); b2=b(3);
11 b12=b(4); b11=b(5); b22=b(6);
12 A=[2*b11 b12;b12 2*b22]; v=[-b1;-b2];
13 Km=A^-1*v;
14 Km=simplify(abs(Km));
15 Koc=Km(1); Kpr=Km(2);
16 disp(' Коэффициент обратной связи по скорости');
17 disp('Koc='); disp(Koc);
18 disp(' Коэффициент передачи преобразователя частоты');
19 disp('Kpr='); disp(Kpr);
20 end
21

```

Рисунок 4. Программа расчета коэффициента обратной связи по скорости и коэффициента передачи преобразователя частоты

Результаты счета программы: $K_{OC} = 0.18$, $K_{PR} = 31,36$.

Литература

1. Браславский И. Я., Ишматов З. Ш., Поляков В. Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.
2. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
3. Попов Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
4. Мещеряков В. В. Задачи по статистике и регрессивному анализу с MATLAB. – М.: Диалог – МИФИ, 2009.

УДК: 621.373.121

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОПРИВОДА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Абдыкеримова Д. К.

*Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, Бишкек,
Кыргызская Республика*

В статье приведены принципиальная схема гидропривода с обратной связью, математические модели, необходимые для расчета статических его характеристик и область применения.

The paper presents: a schematic diagram of a hydraulic drive with feedback, mathematical models necessary to calculate its static characteristics and applications.

В металлорежущих станках широко применяются гидроприводы, которые обладают рядом преимуществ; основными из которых является: высокая весовая отдача, развивают большие усилия, малые габариты и масса привода и др.

Для более совершенной их работы необходимо решить вопросы стабилизации и регулирования его выходных параметров, которые решаются разработкой гидропривода с обратной связью.

Цель исследования: разработка и исследование гидропривода с обратной гидравлической связью, расчет его основных характеристик.

Разработанная гидравлическая автоматическая система применительно к гидравлическим силовым головкам допускает использование обратных связей как на «входе», так и «на выходе».

Принципиальная схема с обратной связью показана на рис. 1.

```

1 function pregres
2 disp(' Программа синтеза параметров замкнутой');
3 disp(' системы преобразователь частоты - асинхронны двигатель');
4 Y=[7.938;14.29;15.97;15.48;14.29;12.99;11.78];
5 x1=[0.08;0.1;0.15;0.2;0.25;0.3;0.35];
6 x2=[5;10;15;20;25;30;35];
7 o=ones(7,1);
8 X=[o,x1,x2,x1.*x2,x1.^2,x2.^2];
9 b=inv(X'*X)*X'*Y;
10 b0=b(1); b1=b(2); b2=b(3);
11 b12=b(4);b11=b(5);b22=b(6);
12 A=[2*b11 b12;b12 2*b22]; v=[-b1;-b2];
13 Km=A^-1*v;
14 Km=simplify(abs(Km));
15 Koc=Km(1); Kpr=Km(2);
16 disp(' Коэффициент обратной связи по скорости');
17 disp('Koc='); disp(Koc);
18 disp(' Коэффициент передачи преобразователя частоты');
19 disp('Kpr='); disp(Kpr);
20 end
21

```

Рисунок 4. Программа расчета коэффициента обратной связи по скорости и коэффициента передачи преобразователя частоты

Результаты счета программы: $K_{OC} = 0.18$, $K_{PR} = 31,36$.

Литература

1. Браславский И. Я., Ишматов З. Ш., Поляков В. Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.
2. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов. - М.: Издательский центр «Академия», 2008.
3. Попов Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
4. Мещеряков В. В. Задачи по статистике и регрессивному анализу с MATLAB. – М.: Диалог – МИФИ, 2009.