

УДК 621.22.01

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ГИДРОСИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Ю.А. Мефедова, Т.А. Ефремова

Разработана математическая модель гидравлической системы энергетических установок методом функционально законченных элементов, на основании которой реализована и исследована Simulink-модель.

Ключевые слова: энергетические установки; гидравлическая система; структурно-матричный метод; Simulink-модель.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MODELS OF HYDRAULIC SYSTEMS OF POWER PLANTS

Yu.A. Mefedova, T.A. Efremova

It is developed the mathematical model of the hydraulic system of power plants by the method of functionally complete elements, which investigated and implemented Simulink model.

Keywords: power plant; hydraulic system; structural-matrix method; Simulink model.

Энергетические установки, предназначенные для производства (преобразования), передачи, накопления, распределения или потребления энергии могут быть оснащены гидравлическими системами (гидросистемами), особенно силовые устройства и приводы управления.

Любая гидросистема состоит из следующих частей:

- энергообеспечивающая, состоящая из насоса или насосной станции, включая емкости с рабочей жидкостью (фильтры, гидроаккумуляторы, гидробаки);
- исполнительная, к которой относят агрегаты, являющиеся потребителями гидравлической энергии (гидроусилители, гидроцилиндры и гидромоторы);
- направляющая и регулирующая, предназначенная для обеспечения возможностей изменения скоростей, и направления движения гидравлических двигателей (дроссели, предохранительные клапаны, гидрораспределители);
- трубопроводы и гибкие шланги;
- информационная и логико-вычислительная подсистемы.

Компоновка гидросистемы обуславливается необходимостью непосредственной близости ее энер-

гетической части к источникам энергии, которыми служат электродвигатели, осуществляющие привод гидравлических насосов и непосредственной связи агрегатов – потребителей гидравлической энергии с органами управления и узлами механизации.

Особенность применения гидравлических приводов заключается в их высокой энергоемкости, в возможности получения простыми средствами бесступенчатого регулирования скорости в широком диапазоне, малой инерционности и компактности, долговечности и надежности и т. д. [1].

В данной статье рассмотрена гидравлическая система, состоящая из насоса 1 с переливным клапаном 2, гидрораспределителя 3, участков трубопровода 4, 5 разной длины и диаметров, гидравлического цилиндра 6 с возвратной пружиной 7. Гидроцилиндр приводит в действие рабочий орган некоторого механизма энергетической установки (рисунок 1).

Внешними воздействиями в системе являются: функция $h(t)$, характеризующая процесс включения и выключения гидрораспределителя, функция $F_{вп}$, характеризующая внешнее воздействие на цилиндр со стороны рабочего органа. Как правило, время включения гидрораспределителя существенно меньше времени переходного процесса гидропривода, поэтому принято мгновенное включение

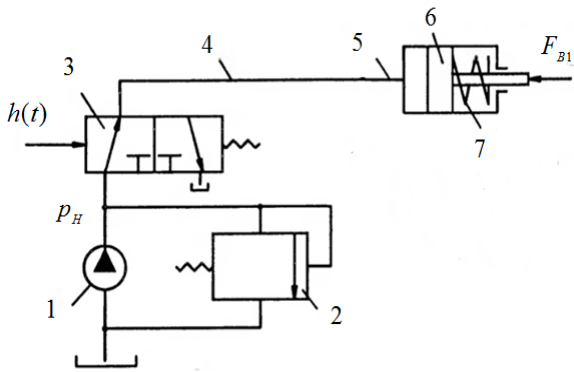


Рисунок 1 – Принципиальная схема гидросистемы

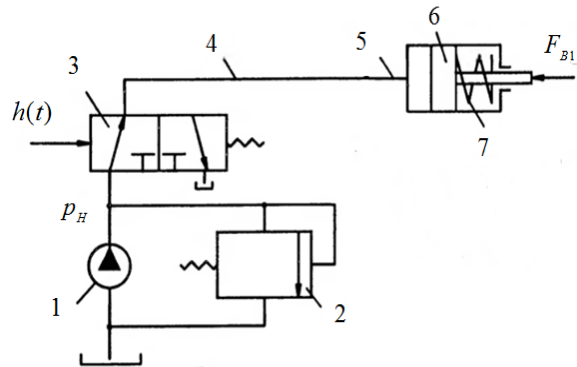


Рисунок 2 – Динамическая модель гидросистемы

гидрораспределителя. Также учтено незначительное падение давления насоса при включении, то есть $p_H = \text{const}$.

Для разработки модели такой гидромеханической системы, содержащей как гидравлические, так и механические взаимодействующие элементы, использован метод функционально законченных элементов на основе компонентных и топологических уравнений [2].

Приняты следующие положения:

1) инерционные свойства жидкости в отдельных участках трубопровода, поршне гидродвигателя с учетом присоединенной массы рабочего органа и массы жидкости в гидроцилиндре учтены с помощью инерционных элементов, параметры которых представляют собой коэффициенты масс m_1, m_2, m_3 , кг/м⁴;

2) упругие свойства гидросистемы и в большей степени возвратных пружин учтены с помощью упругих элементов с параметрами в виде коэффициентов жесткости c_1, c_2, c_3 , Н/м⁵;

3) диссипативные свойства, учитывающие потери давления на преодоление трения при дви-

жении потока в трубопроводе, утечки через щель цилиндра и потери на трение при перемещении поршня относительно цилиндра (механические потери) учтены с помощью диссипативных элементов с параметрами в виде коэффициентов сопротивления $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$, Н·с/м⁵.

Динамическая модель гидросистемы имеет вид, представленный на рисунке 2, а ориентированный граф – на рисунке 3. На рисунках введены функции источников потенциалов: p_{B1} – отображает воздействие насоса на систему; $p_{B2} = F_{B1}/A_3$, где A_3 – площадь сечения цилиндра. Утечки из полости гидродвигателя учтены в виде источника потока Q_{B1}^* . Искомые фазовыми координатами являются расходы в трубопроводе Q_1, Q_2 и в гидроцилиндре Q_3 , а также давление в условной точке разделения трубопровода p_{y1} , давление в полости гидроцилиндра p_{y2} , давление p_{B2} , эквивалентное начальному значению усилия F_{B1} и возвратных пружин. На поршень наложена односторонняя неудерживающая связь. В таблице 1 представлена матрица инцидентий, составленная на основе графа.

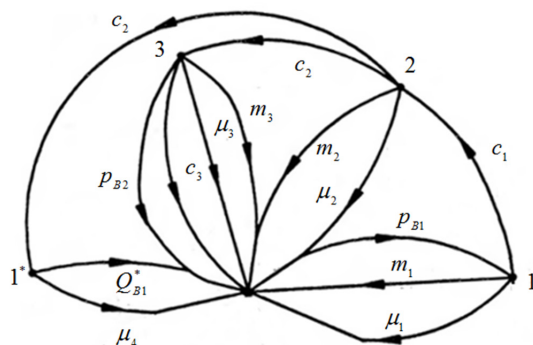


Рисунок 3 – Ориентированный граф гидросистемы

Таблица 1 – Матрица инцидентий

Узлы	Ветви									
	p_{B1}	p_{B2}	p_{B1}^*	c_1	c_2	c_3	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
1	1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0
2	0	0	0	1	-1	0	0	-1	0	0
3	0	-1	0	0	1	-1	0	0	-1	0
1*	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	-1

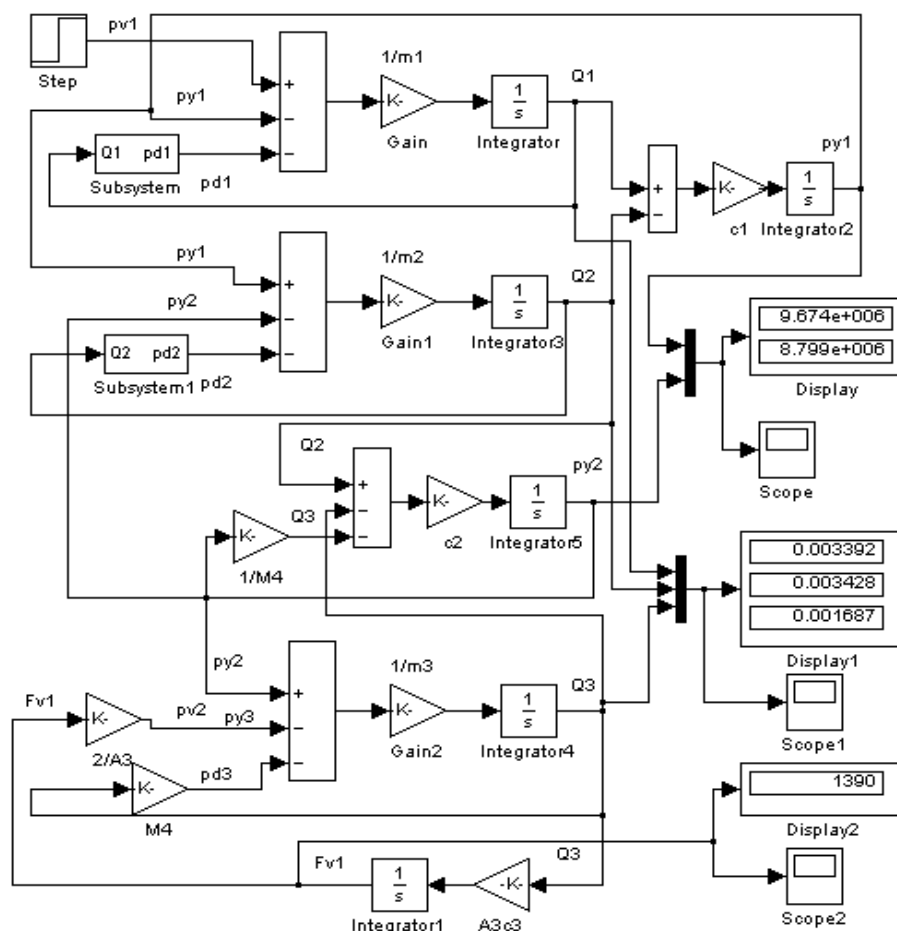


Рисунок 4 – Simulink-модель

Система уравнений, составленная на основе матрицы инцидентий, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dQ_1}{dt} = \frac{1}{m_1} \cdot [p_{B1} - p_{V1} - p_{D1}]; \\ \frac{dQ_2}{dt} = \frac{1}{m_2} \cdot [p_{V1} - p_{V2} - p_{D2}]; \\ \frac{dQ_3}{dt} = \frac{1}{m_3} \cdot [-p_{B2} + p_{V2} - p_{V3} - p_{D3}]; \\ \frac{dp_{V1}}{dt} = c_1 \cdot [Q_1 - Q_2]; \\ \frac{dp_{V2}}{dt} = c_2 \cdot [Q_2 - Q_3 - Q_{B1}^*]; \\ \frac{dp_{V3}}{dt} = c_3 \cdot Q_3. \end{cases} \quad (1)$$

С учетом известных выражений для давлений диссипативных элементов p_{D1} , p_{D2} , p_{D3} , а также при-

нимая, что средой, в которой происходит утечка, является окружающий воздух ($p_{B1}^* = 0$), получим:

$$\begin{cases} \frac{dQ_1}{dt} = \frac{1}{m_1} \cdot [p_{B1} - p_{V1} - (\mu_{L1} \cdot Q_1 + \mu_{H1} \cdot Q_1^2 \cdot \text{sign} Q_1)]; \\ \frac{dQ_2}{dt} = \frac{1}{m_2} \cdot [p_{V1} - p_{V2} - (\mu_{L2} \cdot Q_2 + \mu_{H2} \cdot Q_2^2 \cdot \text{sign} Q_2)]; \\ \frac{dQ_3}{dt} = \frac{1}{m_3} \cdot \left[-\frac{2F_{B1}}{A_3} + p_{V2} - \mu_{L3} \cdot Q_3 \right]; \\ \frac{dp_{V1}}{dt} = c_1 \cdot [Q_1 - Q_2]; \\ \frac{dp_{V2}}{dt} = c_2 \cdot \left[Q_2 - Q_3 - \frac{p_{V2}}{\mu_4} \right]; \\ \frac{dF_{B1}}{dt} = A_3 \cdot c_3 \cdot Q_3. \end{cases} \quad (2)$$

Для исследования модели, описываемой системой уравнений (2), разработана Simulink-модель в программе Matlab (рисунок 4). При расчете

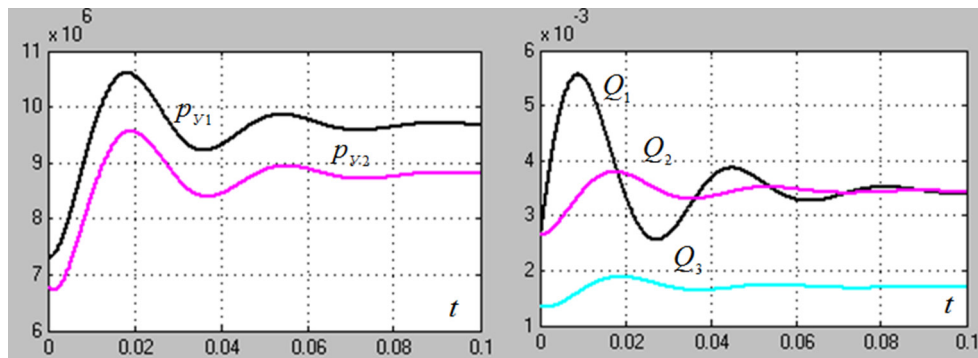


Рисунок 5 – Результаты моделирования

параметров элементов использованы следующие исходные данные: материал трубопроводов – сталь; диаметры элементов системы: $d_1 = 0,02$ м, $d_2 = 0,015$ м, $d_3 = 0,12$ м; длина: $l_1 = 1,5$ м, $l_2 = 0,45$ м, $l_3 = 0,5$ м; толщина стенки трубопровода: $\delta_1 = \delta_2 = 0,001$ м; коэффициент местных сопротивлений: $\xi_1 = 4$, $\xi_2 = 4,5$; начальный объем гидроцилиндра – $V = 0,0025$ м³.

На рисунке 5 представлены переходные характеристики исследуемой гидросистемы. В качестве начальных условий принимались значения искомых фазовых координат, полученных в результате предварительного исследования статического режима при давлении насоса $p_{B1} = 0,75 \cdot 10^7$ Па и положении поршня в крайнем левом положении. Ступенчатое воздействие осуществлено при изменении давления до величины $p_{B1} = 1,0 \cdot 10^7$ Па, в результате чего поршень перемещается на величину 0,25 м. В блоках Display отражены искомые координаты в установившемся режиме.

Таким образом, разработанная Simulink-модель позволяет адекватно оценивать характеристики гидравлической системы энергетической установки, а также проводить исследования при варьировании ряда параметров. Предложенная методика разработки модели может быть использована для гидравлических и гидромеханических систем, отличных по составу от рассмотренной в работе.

Литература

1. Схиртладзе А.Г. Гидравлические и пневматические системы: учеб. для сред. проф. учеб. заведений / А.Г. Схиртладзе, В.И. Иванов, В.Н. Карев; под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Высш. шк., 2006. 534 с.
2. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В.П. Тарасик. Мн.: ДизайнПРО, 2004. 640 с.