

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  $F_{в1}$ , характеризующая внешнее воздействие на цилиндр со стороны рабочего органа. Как правило, время включения гидрораспределителя существенно меньше времени переходного процесса гидропривода, поэтому принято мгновенное включение

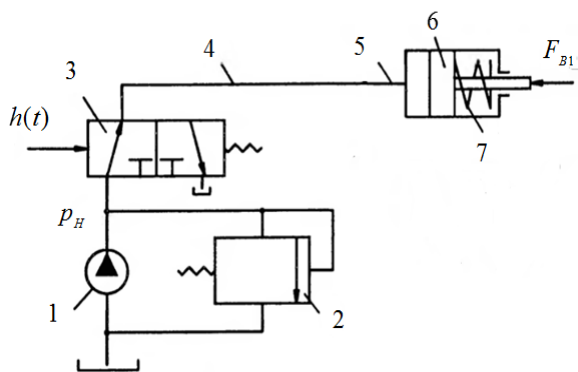


Рисунок 1 – Принципиальная схема гидросистемы

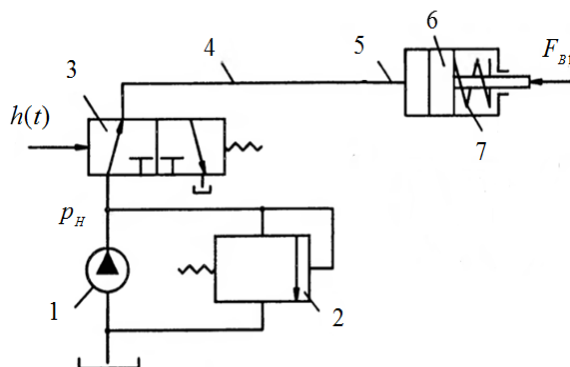


Рисунок 2 – Динамическая модель гидросистемы

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  $m_1, m_2, m_3, \text{кг/м}^4$ ;

2) упругие свойства гидросистемы и в большей степени возвратных пружин учтены с помощью упругих элементов с параметрами в виде коэффициентов жесткости  $c_1, c_2, c_3, \text{Н/м}^5$ ;

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

жении потока в трубопроводе, утечки через шель цилиндра и потери на трение при перемещении поршня относительно цилиндра (механические потери) учтены с помощью диссипативных элементов с параметрами в виде коэффициентов сопротивления  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \text{Н}\cdot\text{с/м}^5$ .

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  $Q_{B1}^*$ . Искомыми 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.

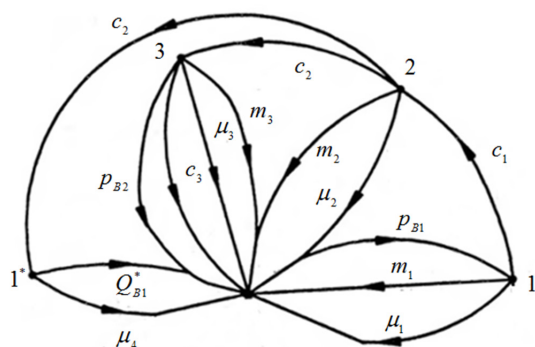


Рисунок 3 – Ориентированный граф гидросистемы

Таблица 1 – Матрица инцидентий

Узлы	Ветви									
	$p_{B1}$	$p_{B2}$	$p_{B1}^*$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$
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

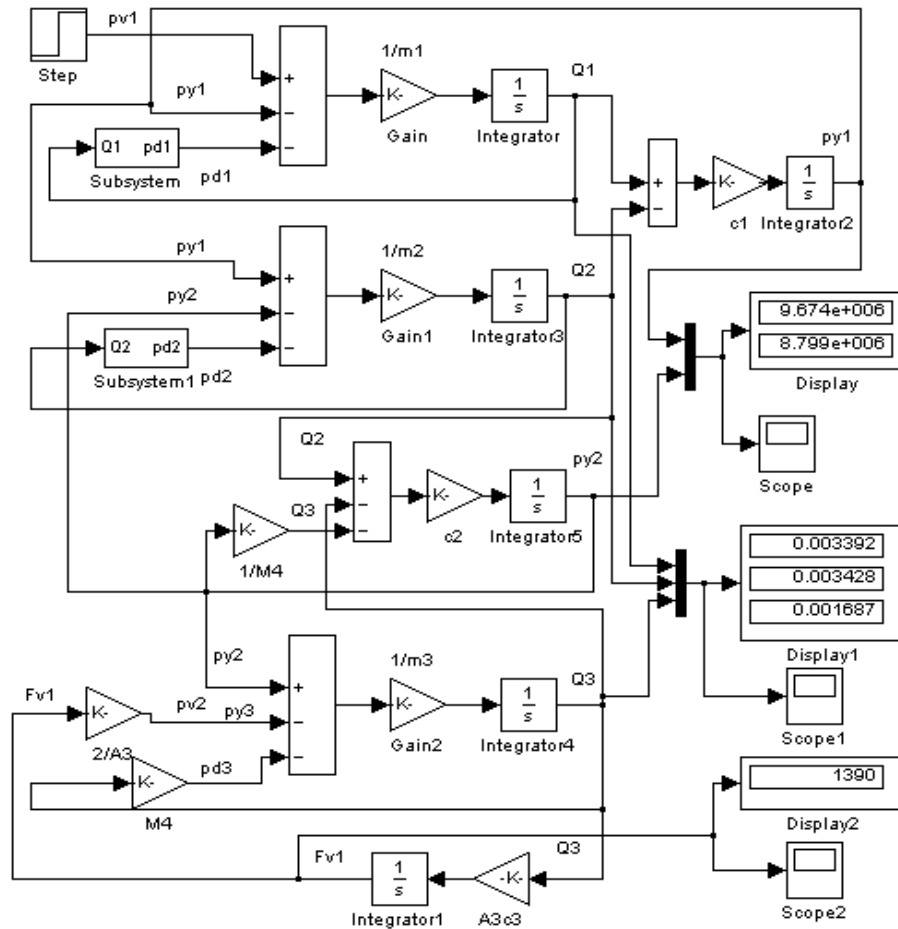


Рисунок 4 – Simulink-модель

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-

нимаем, 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

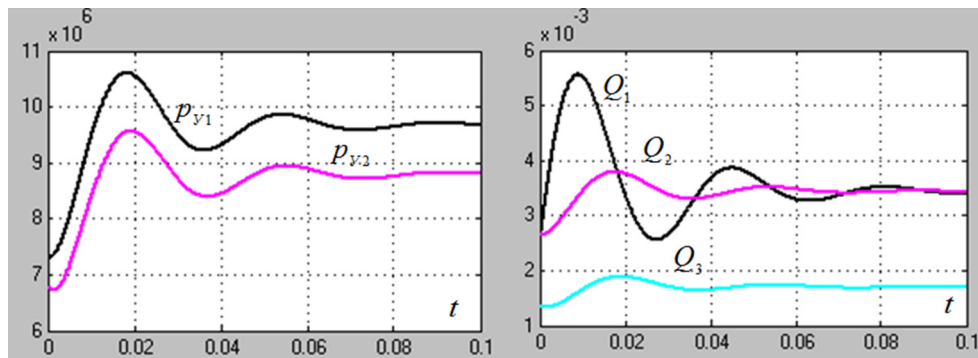


Рисунок 5 – Результаты моделирования

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 –  $V = 0,0025$  м<sup>3</sup>.

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  $p_{в1} = 0,75 \cdot 10^7$  Па и положении поршня в крайнем левом положении. Ступенчатое воздействие осуществлено при изменении давления до величины  $p_{в1} = 1,0 \cdot 10^7$  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.