

особенность дает возможность преодолевать большие инерционными нагрузками, что позволяет использовать гидросистемы с клапанной адаптацией к нагрузке в мобильных машинах по типу мобильного крана [3].

В результате проделанной работы была построена прикладная модель гидравлической системы с клапанной адаптацией к нагрузке в среде «*AmeSim*». Анализ диаграммы времени работы элементов гидросистемы показал, что насос работает практически постоянно, а наименее нагруженными элементами системы являются обратные клапаны. Анализ значений зависимости расхода от давления в системе показал, что оба параметра изменяются пропорционально. Таким образом, полученная имитационная модель гидросистемы с клапанной адаптацией к нагрузке может использоваться для дальнейших исследований, направленных на определение оптимальных параметров работы данного типа гидросистем.

Литература

1. Stasenko, D. Comparative analysis of load-sensing hydraulic systems for mobile machines / D. Stasenko, A. Hinzburh, Y. Khazeyeu // Scientific-technical union of mechanical engineering “INDUSTRY 4.0” : VI International scientific conference winter session, Borovets, Bulgaria, 08–11 Dec. 2021. – Borovets, 2021. – P. 189–192.
2. Хазеев, Е. В. Анализ имитационного моделирования гидравлических систем мобильных машин в различных программных комплексах / Е. В. Хазеев, Ю. А. Андреевец, К. В. Пупенко // Машиностроение: инновационные аспекты развития : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 2022 / НИЦ МС. – СПб., 2022. – № 5. – С. 18–22.
3. Хазеев, Е. В. Анализ современных гидросистем с объемной адаптацией к нагрузке / Е. В. Хазеев, Д. Л. Стасенко, А. А. Гинзбург // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сб. тез. докл. 5-й Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 2021 г. / Науч.-техн. центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш». – Гомель, 2021. – С. 62–64.

УДК 621.225.7

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОСИСТЕМЫ С КЛАПАННОЙ АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ

Е. В. Хазеев, Д. Л. Стасенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены вопросы построения теоретического моделирования гидросистемы с клапанной адаптацией к нагрузке средствами узлового метода моделирования. Определено, что данный метод моделирования рационально применять для данного типа гидросистем.

Ключевые слова: гидросистема, клапанная адаптация к нагрузке, теоретическое моделирование.

THEORETICAL MODELING OF THE HYDRAULIC SYSTEM WITH VALVE ADAPTATION TO LOAD

Y. V. Khazeyeu, D. L. Stasenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

In this paper, the issues of constructing a theoretical simulation of a hydraulic system with valve adaptation to load by means of a nodal modeling method are considered. It is determined that this modeling method is rational to apply for this type of hydraulic systems.

Keywords: hydraulic system, valve adaptation to load, theoretical modeling.

42 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

В настоящее время все большую актуальность приобретает теоретическое моделирование, направленное на изучение неустановившихся процессов гидросистем с клапанной адаптацией к нагрузке. Данный интерес вызван непрерывно растущими технико-экономическими требованиями к мобильным машинам [1].

Целью настоящей работы являются математическое моделирование гидравлической системы с клапанной адаптацией к нагрузке средствами узлового метода моделирования и выполнение подбора основных математических уравнений гидроэлементов системы.

Для построения теоретической математической модели гидросистемы с клапанной адаптацией к нагрузке средствами узлового метода моделирования необходимо произвести расчет исследуемой схемы гидросистемы (рис. 1) [1]. Данный расчет сводится к определению переменных давлений, расходов (подач), скоростей и положений подвижных частей в точках соединения гидроэлементов – узлах системы. Причем один и тот же узел является одновременно выходом одного элемента и входом другого. Каждый элемент схемы, за исключением золотникового распределителя, можно представить в виде трехузлового элемента с узлами i, j, k , связывающими его с другими элементами схемы. В таблице приведен перечень узлов элементов, использованных в исследуемой гидросистеме.

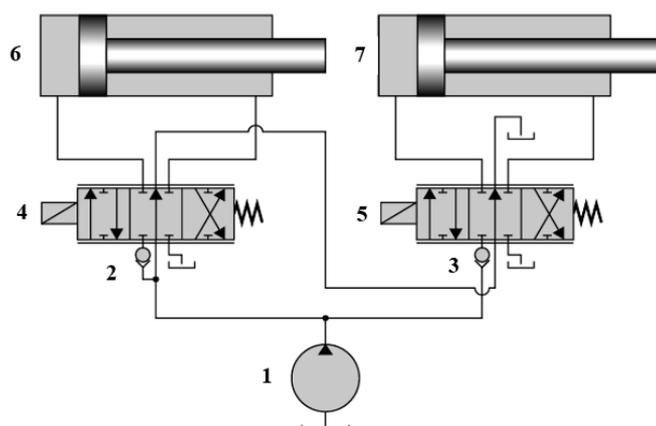


Рис. 1. Принципиальная схема гидравлической системы с клапанной адаптацией к нагрузке и нерегулируемым насосом:

1 – нерегулируемый насос; 2, 3 – обратные клапаны;
4, 5 – распределители; 6, 7 – цилиндры

Узлы элементов гидросистемы с клапанной адаптацией к нагрузке

Название элемента	Узел		
	i	j	k
1. Насос	Вход (всасывающая линия)	Выход (напорная линия)	Узел получения мощности от электродвигателя (вращение вала)
2. Гидроцилиндр	Вход (напорная линия)	Выход (сливная линия)	Узел передачи мощности к рабочему механизму (перемещение штока)

Название элемента	Узел		
	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>
3. Клапан прямого действия	Вход (напорная линия)	Выход (сливная линия)	Узел перемещения запорно-регулирующего элемента
4. Трубопровод	Вход	Выход	–

Таким образом, вход и выход элемента определяются принятым направлением потока рабочей жидкости. При изменении направления потока изменяется знак параметров, характеризующих элемент (перепад давления, расход). В соответствии с вышеуказанным перечнем узлов элементов, использованных в исследуемой гидросистеме (см. таблицу), каждый тип элемента системы получает специальный идентификатор, позволяющий при формировании общей модели системы выбрать нужную группу уравнений – математическую модель элемента [2].

Следовательно, принципиальную схему гидросистемы рассмотрим как совокупность составляющих ее элементов и узлов – точек соединения данных элементов. В соответствии с этим схема относится к определенному типу с соответствующими ему узлами *i, j, k*. Структура схемы после нумерации всех ее узлов описывается следующей матрицей *S*:

$$S = \begin{pmatrix} e_1 & i_1 & j_1 & k_1 \\ e_2 & i_2 & j_2 & k_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_N & i_N & j_N & k_N \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где e_1, \dots, e_N – элементы, входящие в схему; N – количество элементов, входящих в систему.

В результате описания структуры из общей библиотеки уравнений элементов выбираем уравнения, которыми описываются входящие в систему элементы, а индексация переменных, входящих в уравнения (условия связей), будет установлена на основании анализа узлов элементов, указанных в матрице *S*.

Таким образом, в исследуемую систему, согласно [3], входят уравнения насоса, распределителей, обратных клапанов, цилиндров и трубопроводов.

Единственный элемент гидросистемы, который сложно описать данным методом, – это золотниковый распределитель, так как число примыкающих к нему узлов может быть больше трех. Золотниковый распределитель – элемент, при помощи которого изменяется структура схемы (при переключении золотника из одной позиции в другую происходит перераспределение потоков рабочей жидкости). Необходимо описание его структуры таким образом, чтобы иметь возможность производить единое описание всей схемы, т. е. при переключении золотника из одной позиции в другую автоматически определять схему подключений соединений элементов – это является важнейшей задачей. Рассмотрим, распределитель как совокупность местных сопротивлений – возможных соединений узлов золотника, каждое из которых имеет два узла (вход и выход). Описание его структуры можно формализовать дополнительной матрицей *U*:

$$U = \begin{pmatrix} i_1 & j_1 \\ i_2 & j_2 \\ \dots & \dots \\ i_L & j_L \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $i_1, j_1, \dots, i_L, j_L$ – номера узлов входа и выхода соединений $1, \dots, L$ распределителя.

Следовательно, описание структуры исследуемой гидросхемы формируется следующим путем: нанесение на схему узлов соединений элементов; нумерация узлов; формирование матрицы $S(1)$ на основе идентификации базовых элементов и нумерации узлов; формирование соответствующего числа матриц $U(2)$ при наличии в схеме золотниковых распределителей.

Таким образом, исходя из [2], при помощи выбранных уравнений формируем систему уравнений для каждого узла. Например, узел насоса постоянного объема, содержащий уравнение мотора и уравнение расходов на насосе:

$$N_n = \begin{cases} M_r = q_n f(q)(p_{j1} - p_{i1}) + a_\omega \frac{\omega_b}{u_d} + a_p |p_{j1} - p_{i2}| + a; \\ Q_{i1, j1} = q_n f(q) \frac{\omega_b}{u_d} \pm k_{yt} p_{i1, j1}. \end{cases} \quad (3)$$

Аналогичным образом, согласно [3], составляются системы уравнений для остальных узлов системы, а математическая модель исследуемой гидросистемы имеет вид:

$$N = N_n + 2N_{ц} + 2N_{о.к} + 14N_{тр} + 2 \sum_{i=1}^{N_{з.р}} n_i, \quad (4)$$

где $N_{ц}$ – система уравнений узла цилиндра; $N_{о.к}$ – система уравнений узла клапана обратного; $N_{тр}$ – система уравнений узла трубопровода; $N_{з.р}$ – система уравнений узла распределителя.

В результате сформирована методика, благодаря которой удалось построить математическую модель (4) гидросистемы с клапанной адаптацией к нагрузке средствами узлового метода моделирования. Данный метод теоретического моделирования можно применять в дальнейшем для создания математических моделей другого типа гидросистем.

Литература

1. Stasenko, D. Comparative analysis of load-sensing hydraulic systems for mobile machines / D. Stasenko, A. Hinzburh, Y. Khazeyeu // Scientific-technical union of mechanical engineering “INDUSTRY 4.0” : VI International scientific conference winter session, Borovets, Bulgaria, 08–11 Dec. 2021. – Borovets, Bulgaria, 2021. – P. 189–192.
2. Попов, Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем : учеб. для машиностроительных вузов / Д. Н. Попов. – М. : Машиностроение, 1976. – 424 с.
3. Бажин, И. И. Автоматизированное проектирование машиностроительного гидропривода / И. И. Бажин, Ю. Г. Беренгард, М. М. Гайцори. – М. : Машиностроение, 1988. – 312 с.