

УДК 62–82:004.94

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОПРИВОДА В НЕЛИНЕЙНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Н.И. Михеева

На основе имитационного моделирования нелинейного гидравлического привода получена зависимость переходной характеристики от вязкости гидравлической жидкости.

*Ключевые слова:* гидравлический привод; нелинейность; имитационное моделирование MatLab.

## SIMULATION MODELING OF THE HYDRAULIC DRIVE IN THE NONLINEAR APPROXIMATION

N.I. Miheeva

On the basis of simulation modeling of the nonlinear hydraulic drive the dependence of the transient response from viscosity of hydraulic fluid is received.

*Keywords:* hydraulic drive; nonlinearity; simulation modeling; MatLab.

Улучшение качества продукции, повышение производительности и надежности оборудования связано с совершенствованием всего производства. Это предъявляет повышенные требования к режимам работы машин – устойчивости, быстродействию, точности. Обеспечение перечисленных требований для гидропривода, работающего на минеральном масле с повышенной вязкостью, может быть осуществлено на основе моделирования динамики данного оборудования с учетом основных параметров его конструкции (рисунок 1).

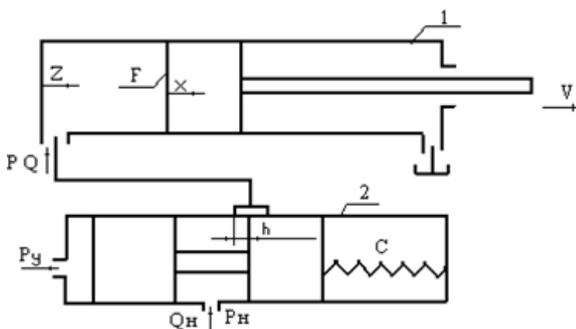


Рисунок 1 – Расчетная схема: 1 – силовой гидроцилиндр; 2 – регулятор расхода;

$P_y$  – управляющее давление;  $Q_n$ ,  $P_n$  – расход и давление насоса;  $Q$ ,  $P$  – расход и давление на входе гидроцилиндра;  $c$  – коэффициент жесткости пружины;  $h$  – величина открытия щели регулятора расхода;  $V$  – скорость поршня гидроцилиндра

Динамические свойства гидропривода могут быть описаны математической моделью зависимости скорости силового цилиндра  $V$  от управляющего давления золотника  $P_y$ . Эту модель можно получить при следующих упрощающих предположениях [1, 2]:

- рабочая жидкость является несжимаемой;
- гидродинамическая сила, возникающая при прохождении жидкости через регулятор, пренебрежимо мала, что правомерно при малых скоростях перемещения поршня золотника.

Процессы, происходящие в системе гидроцилиндр – регулятор расхода, могут быть проанализированы с помощью совокупности нескольких уравнений.

Уравнение динамики силового цилиндра:

$$Q = F \frac{dx}{dt} + \frac{k_y M}{F} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{v k_y}{F} \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{k_y}{F} (R_n + R_{mp}), \quad (1)$$

где  $Q$  – расход жидкости;  $F$  – площадь поршня цилиндра;  $k_y$  – коэффициент утечки;  $M$  – масса движущихся частей цилиндра, определяемая в основном нагрузкой;  $v$  – коэффициент вязкого трения;  $R_{tp}$  – силы трения;  $R_n$  – усилие, соответствующее полезной нагрузке;  $x$  – координата положения поршня.

Уравнение динамики золотника:

$$\frac{md^2 h}{dt^2} + v \left( \frac{dh}{dt} \right)^2 + ch = P_y f, \quad (2)$$

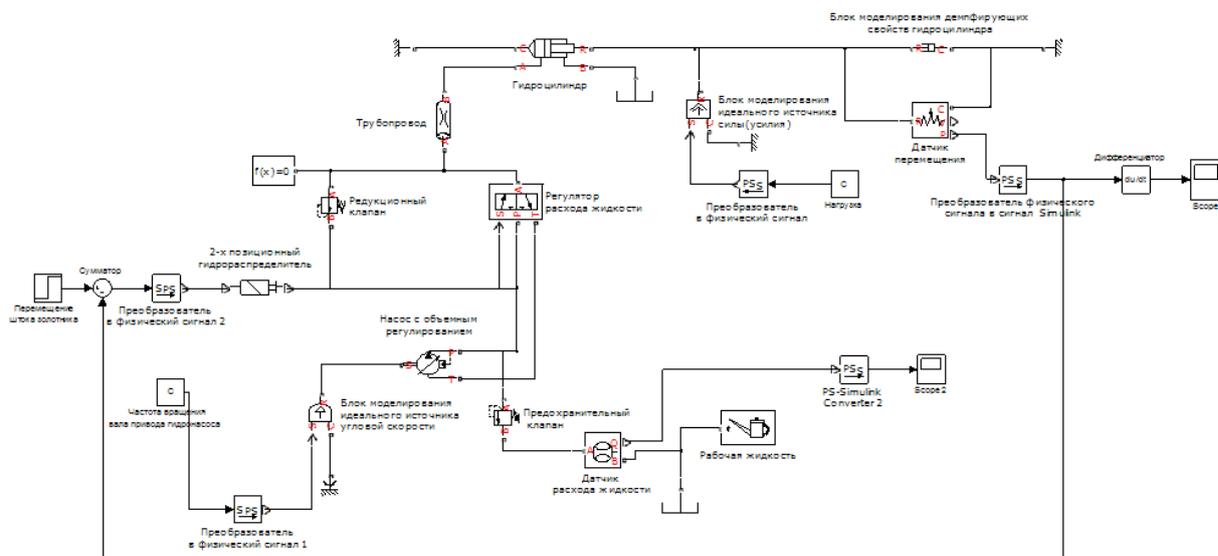


Рисунок 2 – Simulink модель гидропривода

где  $m$  – масса движущихся частей золотника;  $h$  – ширина щели;  $c$  – жесткость пружины;  $f$  – площадь торца поршня золотника;  $P_y$  – управляющее давление.

Выражение величины расхода жидкости, поступающей в цилиндр через регулятор:

$$Q = hK_3, \quad (3)$$

где  $K_3$  – постоянная золотника:

$$K_3 = \mu \pi d \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (P_n - P)}, \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода;  $d$  – диаметр поршня золотника;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\gamma$  – удельный вес рабочей жидкости.

Очевидно, что нелинейный характер рассматриваемой модели обусловлен членами в выражениях (1) и (2), содержащими множитель “ $\sqrt{\phantom{x}}$ ”. При совместном использовании уравнений (1)–(4) получается выражение зависимости скорости штока гидроцилиндра  $V$  от  $P_y$  с учетом влияния вязкости гидравлической жидкости на параметры гидропривода. Оно представляет собой нелинейное дифференциальное уравнение третьего порядка нестандартного вида, поэтому использовать его для расчета и анализа весьма затруднительно.

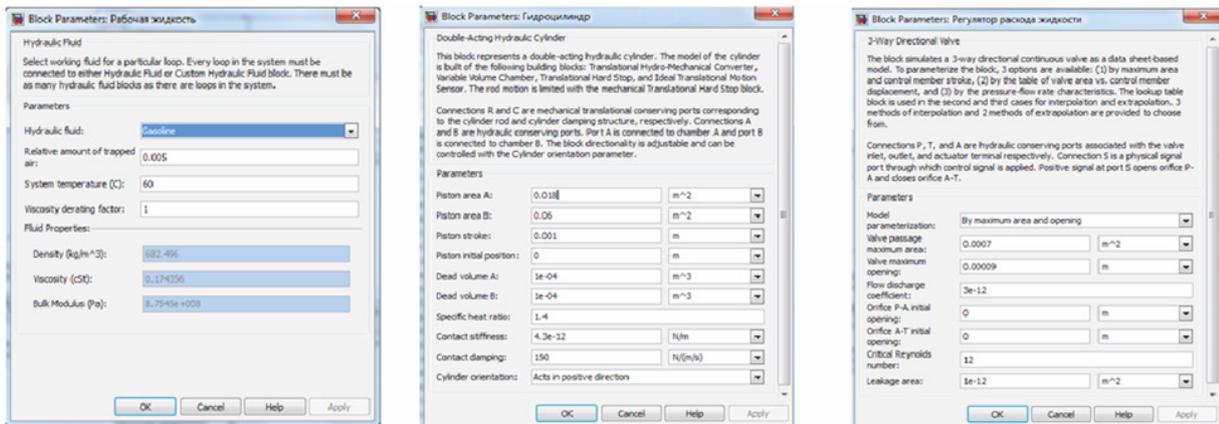
Представляется целесообразным оценить возможность применения существующих методов и средств компьютерного имитационного моделирования, позволяющих выявлять закономерности взаимосвязи между различными параметрами систем.

Одним из наиболее удобных средств является пакет визуального программирования MatLab Simulink. Он позволяет производить исследование

поведения динамических линейных и нелинейных систем в диалоговом режиме путем сборки на экране схемы соединений функциональных звеньев с помощью технологии Drag-and-Drop. Параметры звеньев (стандартных и пользовательских) можно задавать в широких пределах.

Для имитационного моделирования гидропривода подходит раздел Simscape Simhydraulics, который является составной частью большого набора различных программных продуктов, позволяющих имитировать взаимосвязанную работу гидропривода и остального оборудования, включая электронные системы управления [3]. Библиотека Simhydraulics позволяет создавать модели гидравлических систем в среде Simulink и имитировать их работу. Все блоки Simhydraulics обладают графическим интерфейсом, что позволяет довольно просто формировать структурные схемы систем достаточной степени сложности, используя как стандартный набор различных компонентов, так и создавая собственные блоки. Построение схем осуществляется путем копирования блоков из библиотеки в рабочее окно модели с последующим соединением между собой и заданием конкретных параметров для каждого из блоков системы.

На рисунке 2 показана модель гидропривода, построенная при помощи блоков библиотек Simscape и Simhydraulics, и позволяющая исследовать влияние вязкости гидравлической жидкости на переходную характеристику. Так, в правом верхнем углу окна модели гидропривода расположены блоки, связанные с моделированием механических функций гидроцилиндра: блок моделирования



а б в  
Рисунок 3 – Окна настройки параметров элементов гидропривода:  
а – рабочая жидкость, б – гидроцилиндр, в – регулятор расхода жидкости

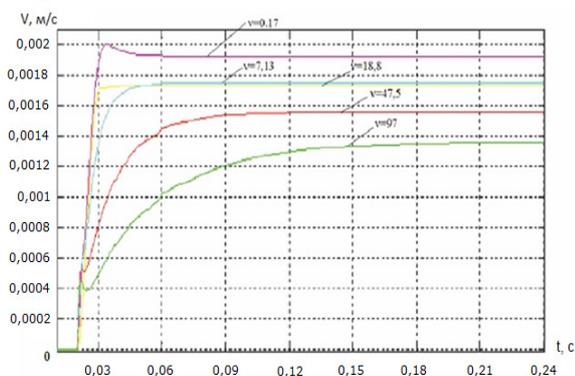


Рисунок 4 – Переходные характеристики гидропривода при различных значениях вязкости

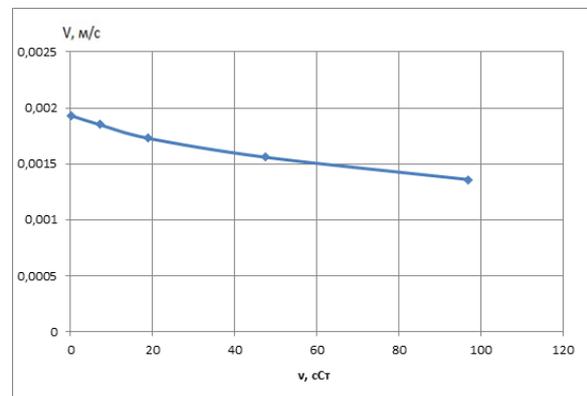


Рисунок 5 – Зависимость установившегося значения скорости гидропривода от вязкости

демфирующих свойств гидроцилиндра, блок измерения перемещений штока гидроцилиндра, блок моделирования силового воздействия на шток. Входным параметром являлась величина перемещения золотника регулятора, выходным – скорость перемещения штока гидроцилиндра. Данная модель позволяет учесть важнейшие особенности конструкции и физические параметры элементов системы.

На рисунке 3 представлены окна настройки параметров элементов гидропривода, при этом значения параметров выбирались аналогично [4].

Гидравлическая жидкость (ГЖ), являясь неотъемлемым компонентом гидропривода, во многом определяет его эксплуатационные свойства. Основным свойством ГЖ, определяющим ее применимость в конкретном гидроприводе, является вязкость. С возрастанием нагрузок и требований к точности работы требуемая вязкость увеличива-

ется. Величина кинематической вязкости российских масел типа МГ может лежать в диапазоне от единиц сСт до 100 и более сСт [5]. При нескольких значениях вязкости из указанного диапазона были получены переходные характеристики гидропривода (рисунок 4). Зависимость установившегося значения скорости от вязкости представлена на рисунке 5.

На графиках видно, что с увеличением вязкости уменьшается скорость и увеличивается время регулирования системы, что объясняется увеличением сил сопротивления движению штока гидроцилиндра. В диапазоне значений  $\nu$  от 0,17 до 97 сСт время регулирования возрастает почти в 3 раза, а установившееся значение скорости снижается в 1,4 раза, или на 25 % по отношению к величине скорости  $V$  при нулевой вязкости.

Практическая ценность рассмотренного способа моделирования заключается в том, что он по-

звляет оперативно изменять любые параметры системы, имитировать ее работу и анализировать полученные результаты. Все это ведет к улучшению качества и удешевлению процесса проектирования. Представляется целесообразным применять подобное имитационное моделирование в учебном процессе для направлений, связанных с данным разделом техники.

**Литература**

1. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.
2. *Муслимов А.П.* Автоматические системы управления режимами работ гидропривода машин / А.П. Муслимов, В.И. Нифадьев, П.И. Пахомов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2009. 130 с.
3. Моделирование и визуализация механических систем в MatLab: учеб. пособие / В.С. Щербаков и др. М., 2007.
4. *Михеева Н.И.* Исследование переходного процесса регулятора расхода силового гидропривода, работающего на минеральном масле с повышенной вязкостью / Н.И. Михеева // Матер. межд. научно-технич. симп. "Образование через науку". Бишкек, 7–9 сентября, 2004 г. Бишкек: Кырг. техн. ун-т. С. 80–83.
5. ГОСТ 17479.3–85 Масла гидравлические. Классификация и обозначение.