

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАБОТЫ ЗЛОТНИКОВОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КЛАПАНА

Ю. И. Железнякова, Д. Л. Стасенко

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

Приведены порядок моделирования динамики работы золотникового гидравлического клапана и основное уравнение равновесия запорно-регулирующего элемента под действием приложенных сил.

**Ключевые слова:** динамика, математическая модель, моделирование, гидравлический клапан, золотниковый клапан.

## MODELING OF DYNAMIC OPERATION OF A SPOOL HYDRAULIC VALVE

Y. I. Zheleznyakova, D. L. Stasenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The article presents the sequence of modeling dynamic work of a spool hydraulic valve and the basic equation of the equilibrium of the spool under the action of applied forces.

**Keywords:** dynamics, mathematical model, modeling, hydraulic valve, spool valve.

Целью исследования является формирование математической модели динамики работы золотникового гидравлического клапана.

Объектом исследования является золотниковый гидравлический распределитель со встроенным клапаном предохранительным MR100.T2. На рис. 1 представлена конструкция модернизированного гидрораспределителя с принципиальной гидравлической схемой, где линия  $P$  – отверстие для подачи рабочей жидкости под давлением;  $A$  – отверстие для подключения к рабочему органу;  $T$  – линия слива рабочей жидкости в бак;  $a$  – линия для подачи сигнала управления;  $KП$  – клапан предохранительный [1].

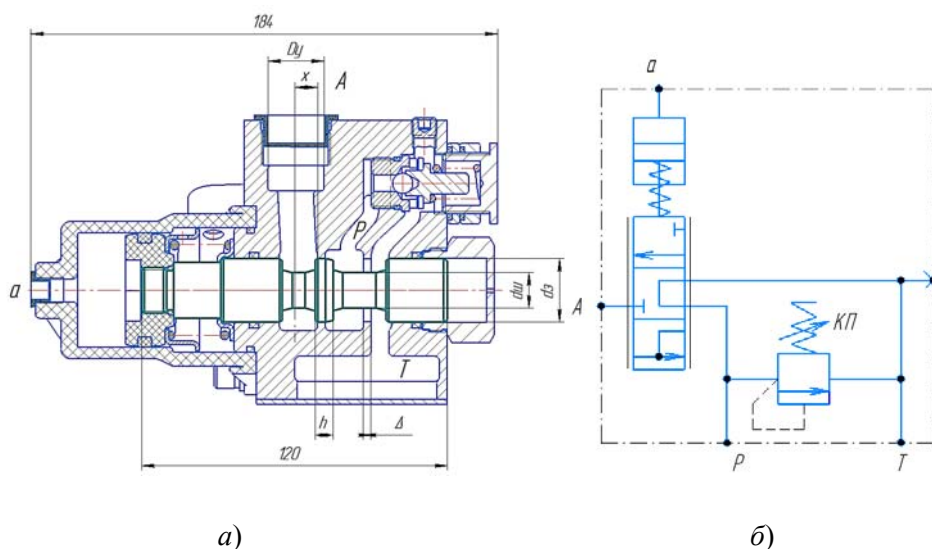


Рис. 1. Модернизированный распределитель MR100.T2:  
а – конструкция гидрораспределителя; б – схема гидравлическая принципиальная

В качестве основных исходных данных приняты конструктивные размеры модернизированного гидрораспределителя:  $D_y = 22$  мм – условный диаметр внутренних каналов;  $d_3 = 25$  мм – диаметр запорно-регулирующего элемента;  $d_{ш} = 14$  мм – диаметр шейки золотника;  $h = 11$  мм – длина рабочего пояса золотника;  $\Delta = 3$  мм – величина перекрытия;  $F_{упр} = 180$  Н – максимальное усилие управления;  $c = 12500$  Н/м – жесткость пружины;  $z = 16$  мм – величина предварительного сжатия пружины;  $Q_{max} = 150$  л/мин – максимальный расход рабочей жидкости;  $P_{сл} = 0,15$  МПа – давление на сливе;  $P = 16$  МПа – давление в системе.

Для моделирования динамических процессов согласно гидравлической принципиальной схеме и конструкции гидрораспределителя составлена расчетная схема запорно-регулирующего элемента (рис. 2).

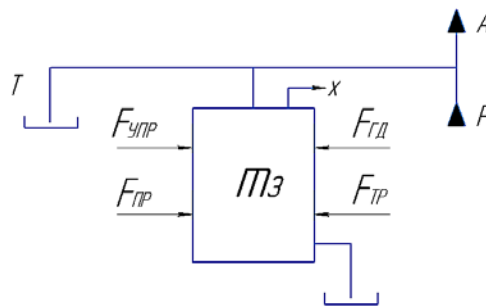


Рис. 2. Расчетная схема золотника:

$m_3$  – масса золотника;  $x$  – перемещение золотника;  
 $F_{упр}$  – усилие управления;  $F_{пр}$  – усилие сжатия пружины, обеспечивающей принудительное возвращение золотника в нейтральное положение;  $F_{гд}$  – гидродинамическая сила, действующая в каждом из окон распределителя и стремящаяся вернуть золотник в нейтральное положение;  
 $F_{тр}$  – сила трения, действующая на золотник

Для анализа влияния различных параметров на динамические характеристики гидравлического распределителя необходимо разработать математическую модель, позволяющую адекватно описать внутренние динамические процессы, происходящие в исследуемом распределителе [2].

Для этого необходимо составить уравнение движения подвижных элементов распределителя, которое формируется на основе равновесия движущих элементов под действием приложенных сил в соответствии со вторым законом Ньютона:

$$ma = \sum F_a - \sum F_c, \quad (1)$$

где  $m$  – масса подвижных элементов распределителя;  $a$  – ускорение поступательно движущих элементов;  $\sum F_a$  – сумма активных сил, действующих на элементы распределителя;  $\sum F_c$  – сумма сил сопротивления.

Согласно расчетной схеме золотника (рис. 2) дифференциальное уравнение движения золотника исследуемого распределителя будет иметь вид:

$$m_3 \frac{d^2x}{dt^2} = F_{упр} + F_{тр} - F_{тр} - F_{гд}. \quad (2)$$

Силу трения можно представить в виде двух составляющих:

$$F_{тр} = F_{тр.п} \operatorname{sign} \frac{dx}{dt} + F_B, \quad (3)$$

где  $F_{тр.п}$  – сила трения покоя;  $F_B$  – сила трения со смазочным материалом:

$$F_B = \nu \rho \frac{A_{\max}}{\varepsilon} \frac{dx}{dt}, \quad (4)$$

где  $\nu$  – вязкость рабочей жидкости;  $\rho$  – плотность рабочей жидкости;  $A_{\max}$  – площадь дроссельной щели, перекрываемая золотником;  $\varepsilon$  – радиальный зазор между золотником и корпусом распределителя.

Усилие пружины, обеспечивающее принудительное возвращение золотника в нейтральную позицию, определяется по формуле

$$F_{пр} = c_{пр}(z + x), \quad (5)$$

где  $c_{пр}$  – коэффициенты жесткости пружины;  $z$  – предварительный натяг пружины.

Если пренебречь инерционностью жидкости внутри распределителя, гидродинамическую силу, действующую в каждом из окон распределителя и стремящуюся вернуть золотник в нейтральное положение, можно определить по выражению

$$F_{гд} = 2\mu^2 \pi d_3 x \cos \theta (P_n - P_A + P_B - P_{сл}), \quad (6)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода жидкости в окне распределителя;  $\theta$  – угол наклона вектора гидродинамической силы к оси золотника;  $P_n$ ,  $P_A$ ,  $P_B$  – соответственно давление жидкости перед распределителем, на входе в трубопровод высокого давления и на выходе трубопровода низкого давления.

Результаты расчетов сил, действующих на золотник в крайнем правом положении, представлены в таблице.

**Значения сил, действующих на золотник в распределителе**

Параметры	Значение, Н
Сила трения, $F_{тр}$	50
Гидродинамическая сила, $F_{гд}$	330
Усилие управления, $F_{упр}$	180

С учетом данных, приведенных в таблице, результирующее дифференциальное уравнение движения золотника будет иметь вид:

$$0,27 \frac{d^2x}{dt^2} = 180 + 12500(0,016 + x) - 5 \cdot \frac{dx}{dt} - 330x. \quad (7)$$

В результате проведенных работ получена математическая модель, описывающая динамический режим работы модернизированного гидрораспределителя MR100.T2 с улучшенными динамическими характеристиками, которая может быть использована для выбора рациональных параметров распределителя, обеспечивающих требуемые характеристики качества переходных процессов.

**Л и т е р а т у р а**

1. Гидрораспределители : каталог продукции «Гидросила». – Режим доступа: <http://www.hydrosila.com/files/catalog/en-catalog-11.pdf>. – Дата доступа: 10.09.2022.
2. Лаевский, Д. В. Рекомендации по проектированию направляющих аппаратов / Д. В. Лаевский, Д. Л. Стасенко // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 20–21 окт. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. С. И. Тимошина. – Гомель, 2016. – С. 63–64.

УДК 621.74:004

**ПРИНЦИПЫ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ 3D-МОДЕЛЕЙ ОТЛИВОК**

**И. Б. Одарченко, В. А. Жаранов, И. В. Предчанко**

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

*При решении задач кластеризации предложено использование интеллектуального подхода с помощью самоорганизующихся нейронных сетей, в которых информация о каждой отливке представлена в виде вектора конструктивных и технологических характеристик.*

**Ключевые слова:** кластеризация, технологичность, геометрическая сложность, анализ.

**PRINCIPLES OF COMPUTER ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEXITY OF 3D-MODELS OF CASTINGS**

**I. B. Odarchenko, V. A. Zharanov, I. V. Predchanko**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*When solving clustering problems, it is proposed to use an intelligent approach using self-organizing neural networks, in which information about each casting is presented as a vector of design and technological characteristics.*

**Keywords:** clustering, manufacturability, geometric complexity, analysis.

Современный аппарат компьютерного моделирования создает возможность проведения комплексной разработки литейной технологии на основе оценки геометрической сложности параметров трехмерных моделей отливок. При этом возможности создания алгоритма компьютеризированной оценки сложности геометрии тела отливки не раскрыты в полной мере. В частности, отсутствует универсальная система признаков, характеризующих критериальные связи между параметрами геометрической сложности и критериями технологичности отливки, а также производственно-технологическими условиями и режимами их изготовления. Разработка методики кластеризации групп отливок, связывающих их конструктивные особенности (признаки) и необходимые техно-