

УДК 62-33:004.942

**А.Е. Кобитянский, А.Н. Мульков**

**A.E. Kobityanskiy, A.N. Mul'kov**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

## **ФОРМИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КЛАПАННОЙ СИСТЕМЫ**

### **FORMATION OF VALVE SYSTEM MATHEMATICAL MODEL**

На основе конструкторско-технологической классификации предложена обобщенная структурно-функциональная схема клапанных систем. Приведены критерии качества функционирования клапанов с учетом требований, предъявляемых к их работе. Сформирована математическая модель клапанной системы в динамической взаимосвязи всех ее основных элементов.

**Ключевые слова:** клапан, математическая модель, критерии качества, синтез, проектирование.

On the basis of design technological classification the global structural and functional scheme of valve systems was offered. It was shown the valve systems quality criteria of functioning with considering of requirements them imposed to. The mathematical model of a valve system with dynamic interconnection of the all elements was formed.

**Keywords:** valve, mathematical model, quality criteria, synthesis, engineering.

Множество технологических процессов с участием жидкостей или газов требуют поддержания определенных режимов, например, таких как температура, давление, концентрация компонентов и др. При этом широко применяются клапанные системы, позволяющие регулировать заданные режимы за счет изменения расхода и дросселирования рабочей среды [1].

Синтез клапанных систем имеет актуальное и важное значение для качественного функционирования промышленного оборудования различного назначения, применяемого в таких отраслях промышленности, как химическая, машиностроительная, нефтеперерабатывающая, авиационная, медицинская и др. [2].

Выбор клапана и его параметров обычно основан на конструкторско-технологической классификации [3]. В качестве примера на рис. 1 приведен один из вариантов подобной классификации, позволяющий направленно переходить к проектированию клапанных систем с учетом их конструкции и назначения.



Рис. 1. Конструкторско-технологическая классификация клапанных систем

При этом следует учитывать ряд требований к процессам их функционирования, связанных с технологическими и эксплуатационными характеристиками [4]. Эти требования являются критериями качества, которые могут быть выражены количественно и с помощью которых осуществляются проектирование и синтез клапанных систем (рис. 2) [5].

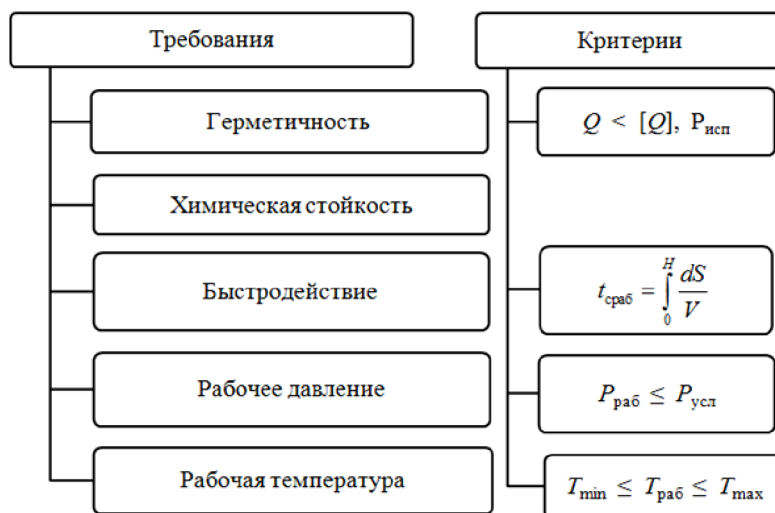


Рис. 2. Требования и критерии, предъявляемые к клапанам

На рис. 2  $Q$  – утечка через клапан,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $P_{\text{исп}}$ ,  $P_{\text{раб}}$ ,  $P_{\text{усл}}$  – давление испытаний, работы и допустимое соответственно, МПа;  $T$  – температура работы клапана;  $dS$ ,  $V$ ,  $H$  – перемещение, скорость и ход рабочего органа клапана соответственно.

С учетом конструктивных и технологических особенностей клапанных систем их обобщенная структурно-функциональная схема может быть представлена следующим образом (рис. 3).

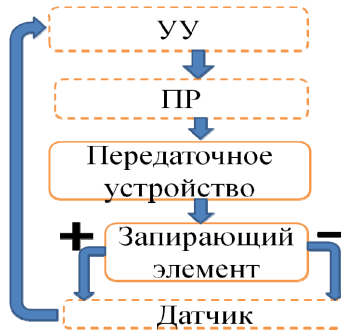


Рис. 3. Обобщенная структурно-функциональная схема клапана: УУ – устройство управления; ПР – привод исполнительного органа; передаточное устройство – передает усилие от привода к запирающему элементу; запирающий элемент – деталь клапана, перекрывающая поток жидкости или газа; датчик – устройство, регистрирующее положение запирающего элемента

Такие элементы, как привод, передаточное устройство, датчик, устройство управления, в ряде случаев могут отсутствовать.

В соответствии со структурно-функциональной схемой обобщенная математическая модель клапана формируется в виде соотношений

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{дв} = M_{дв}(\varphi, t) \text{ или } P_{дв} = P_{дв}(x, t), \\ m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{ст} - F_{упр} - F_{дин} - F_{тр}, \\ \frac{dp}{dt} = Q_{н} - Q, \\ Q = \mu f_k \sqrt{\frac{2g}{\rho}} \Delta p, \\ \Delta F = \sum F_i, \\ \Delta F_i = f_i \Delta p, \\ f_i = f_i(d, h), \\ F_{ст} = F_1 + F_2, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $f_k$  – площадь дроссельной щели клапана;  $F_{ст}$  – гидростатическая сила,  $F_{ст} = F_1 + F_2$ ;  $F_1$  – постоянная составляющая,  $F_1 = f_1 \Delta p = \frac{\pi d^2}{4} \Delta p$ ;  $F_2$  – составляющая от давления,  $F_2 = \frac{\pi(d_b^2 - d^2)}{4} \Delta p$ ;  $F_{дин}$  – гидродинамическая сила (на-

правлена на закрытие клапана);  $v_1$  – скорость потока до входа в клапан,  $v_1 = \frac{4Q}{\pi d^2}$ ;  $v_2$  – скорость потока в дроссельной щели,  $v_2 = \frac{Q}{f_x}$ .

При этом начальные условия для данной модели следующие:  $t = 0, x = 0, v = 0, p = p_0$ .

Основой для реализации представленной математической модели служат типовые расчетные схемы клапанов и соотношения между их параметрами и характеристиками (рис. 4), которые представлены в виде трехмерных номограмм (рис. 5), позволяющих выбрать начальные параметры клапана, уточняемые в процессе синтеза.

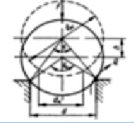
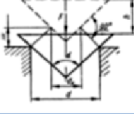
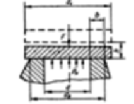
Конструкция затвора	Расход	Площадь дроссельной щели	Силы давления на клапан
	$Q = \mu f_x \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta p}$	$f_x = \frac{\pi}{2} \left( d + \frac{dd_m}{2A} \right) \left( A - \frac{d_m}{2} \right)$ $A = \sqrt{\frac{d^2}{4} \left( \pi + \sqrt{\frac{d^2}{4} - d^2} \right)^2}$	$F_{cm} = F_1 + F_2$ $F_1 = f_1 \Delta p = \frac{\pi d^2}{4} \Delta p$
		$f_x = \frac{\pi}{2} (h \cdot \sin \alpha + 2d) \cdot h \sin \frac{\alpha}{2}$	$F_2 = \frac{\pi (d_1^2 - d^2)}{4} \Delta p$ $F_{dyn} = \frac{Q\gamma}{g} (v_1 - v_2 \cos \frac{\alpha}{2})$
		$\pi dh$	$v_1 = \frac{4Q}{\pi d^2}, v_2 = \frac{Q}{f_x}$

Рис. 4. Расчетные схемы и основные соотношения типовых конструкций клапанов

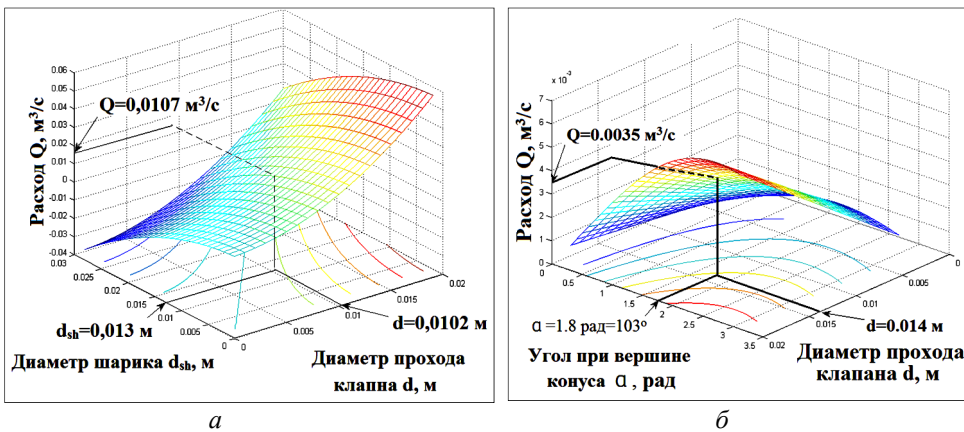


Рис. 5. Зависимости расхода: *а* – для шарикового клапана; *б* – для клапана с конусным затвором

Таким образом, в данной работе:

- 1) рассмотрена структурно-функциональная схема работы клапана, являющаяся основой для создания математической модели;
- 2) сформирована обобщенная математическая модель клапанной системы, учитывающая динамическую взаимосвязь ее основных элементов.

Предложенная модель позволяет перейти к этапу численного математического моделирования в процессе синтеза клапанных систем в соответствии с требованиями, предъявляемыми к ним.

### Список литературы

1. Наземцев А.С., Рыбальченко Д.Е. Пневматические и гидравлические приводы и системы: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 2. Гидравлические приводы и системы. Основы. – М.: ФОРУМ, 2007. – 304 с.
2. Емельянова О.В. Динамика нестационарных режимов движения клапана прецизионного дозатора жидких сред: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Курск, 2001. – 16 с.
3. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. – М.: ЛКИ, 2008. – 480 с.
4. Шпаков О.Н. Азбука трубопроводной арматуры: справ. пособие. – СПб., 2003. – 217 с.
5. Адамов Е.О., Драгунов Ю.Г., Орлов В.В. Машиностроение ядерной техники. – М.: Машиностроение, 2005. – Кн. 1. – 960 с.

Получено 08.12.2015

**Кобитянский Алексей Ефимович** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин», механико-технологический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

**Мильков Александр Николаевич** – магистрант кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин», механико-технологический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alexandermulkov@gmail.com.