

УДК 62-3

О РАСЧЁТЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АРМАТУРЫ

А. В. Теленнева, Д. Д. Дымочкин

Донской государственной технической
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

dvornikova.1995@inbox.ru
dydedmi_77_06_02@mail.ru

М.В. Теленнев

ООО «Камозци Пневматика», Москва, Российская
Федерация

tmv1991@mail.ru

В работе рассмотрена стандартная методика определения гидравлических характеристик запорно-регулирующей арматуры (ЗРА) и указаны её недостатки. Даны рекомендации по уточнению данной методики за счёт применения метода наименьших квадратов (МНК). Применение МНК позволяет определить значение начальной пропускной способности ЗРА, построить расчётную пропускную характеристику, более точно определить наименьшую и наибольшую пропускную способность, диапазон регулирования и соответствие (несоответствие) требованиям ГОСТ.

Ключевые слова: запорно-регулирующая арматура, равнопроцентная характеристика, пропускная способность, расходная характеристика.

Введение. Управление потоками жидкостей и газов в трубопроводных системах, линиях и участках осуществляется с использованием устройств, объединённых общим названием трубопроводная арматура. Запорно-регулирующей арматурой (ЗРА) называются устройства, предназначенные для регулирования различных параметров технологических процессов за счёт изменения расхода транспортируемой среды.

Одной из основных характеристик ЗРА, определяющей область её применения, является пропускная характеристика, которая может быть линейной, равнопроцентной и специальной [1].

ЗРА с равнопроцентной характеристикой рекомендуют использовать в тех случаях, когда пропускная способность ЗРА превышает пропускную способность трубопроводной системы более чем в шесть раз [2].

Равнопроцентной называется пропускная характеристика регулирующей арматуры, при которой приращение относительной пропускной способности по ходу пропорционально текущему значению относительной пропускной способности и имеет математическое выражение [1]:

UDC 62-3

ON THE CALCULATION OF HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF SHUT-OFF AND CONTROL VALVES

A. V Telepneva, D. D. Dymochkin

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

dvornikova.1995@inbox.ru
dydedmi_77_06_02@mail.ru

M.V Telepnev

Camozzi Pneumatic, Moscow, Russian Federation

tmv1991@mail.ru

The paper considers the standard method for determining the hydraulic characteristics of shut-off and control valves and its shortcomings. Recommendations on the improvement of this technique through the use of the least squares method are given. The use of the least squares method allows you to determine the value of the initial capacity, to build the calculated capacity characteristics, to more accurately determine the lowest and the highest capacity, to control the range and compliance (non-compliance) with the requirements of GOST.

Keywords: shut-off and control valves, equal percentage characteristic, capacity, flow characteristic.

$$\Phi = \Phi_0^{1-h_i} \quad (1)$$

где Φ - относительная пропускная способность, Φ_0 - относительная начальная пропускная способность, h_i - относительный ход запорного элемента.

Относительная пропускная способность:

$$\Phi = \frac{K_{vi}}{K_{vy}} \quad (2)$$

где K_{vi} - пропускная способность на текущем ходе, K_{vy} - условная пропускная способность.

Относительная начальная пропускная способность:

$$\Phi_0 = \frac{K_{v0}}{K_{vy}} \quad (3)$$

где K_{v0} - пропускная способность, задаваемая для построения пропускной характеристики при ходе, равном нулю.

В зависимости от величины Φ_0 пропускная характеристика может иметь вид, представленный на рисунке 1 [2].

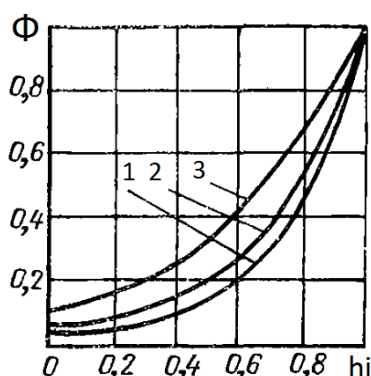


Рис. 1 – пропускные характеристики регулирующих клапанов.

1 – при $\Phi_0 = 0,02$; 2 – при $\Phi_0 = 0,04$; 3 – при $\Phi_0 = 0,1$

Величина Φ_0 , определяющая вид пропускной характеристики, влияет также на диапазон регулирования ЗРА [1]:

$$D = \frac{K_{vy}}{K_{vmin}} \quad (4)$$

где K_{vmin} - наименьшая пропускная способность, при которой сохраняется пропускная характеристика в допустимых пределах.

Согласно [3] отечественные регулирующие клапаны должны иметь Φ_0 не более 4% (0,04) при диапазоне регулирования не менее 16. Зарубежная арматура может иметь диапазон регулирования до 50.

Вид пропускной характеристики (величина Φ_0) в итоге совместно с пропускной способностью трубопровода определяет расходную характеристику трубопроводной системы [2]. Однако, в каталогах компаний-производителей ЗРА, значения начальной пропускной способности и(или) диапазона регулирования, как правило, не указываются [4-7]. Поэтому, для проведения более точных расчётов и моделирования трубопроводных систем желательно определять эти показатели экспериментально или аналитически.

Определение гидравлических характеристик ЗРА.

Определение гидравлических характеристик ЗРА по результатам экспериментов и расчётов регламентируется [8]. В общих чертах определение пропускной способности по экспериментальным данным проводят для хода регулирующего элемента (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100)% в следующей последовательности:

– В установившемся режиме измеряют расход, перепад давления и рассчитывают величину пропускной способности.

– По результатам испытаний строят графики зависимости $K_V = f(h_i)$.

– Рассчитывают значение относительной пропускной способности для равнопроцентной характеристики по формуле (1).

– Рассчитывают допустимые значения пропускной способности (минимальное $\min K_{V, \text{доп}}$ и максимальное $\max K_{V, \text{доп}}$) по формулам:

$$\min K_{V, \text{доп}i} = K_{Vi}(1 - 0,01 \cdot \delta(K_{Vi})) \quad (7)$$

$$\max K_{V, \text{доп}i} = K_{Vi}(1 + 0,01 \cdot \delta(K_{Vi})) \quad (8)$$

где K_{Vi} – пропускная способность на текущем ходе, $\delta(K_{Vi})$ – допустимое относительное отклонение:

$$\delta(K_{Vi}) = \pm 15 \cdot \Phi_i^{-0,2} \quad (9)$$

Диапазон регулирования рассчитывают по формуле

$$D = \frac{K_{Vmax}}{K_{Vmin}} \quad (10)$$

где K_{Vmax} – максимальное значение пропускной способности в диапазоне хода регулирующего элемента, в котором сохраняется заданный вид пропускной характеристики. Чаще всего, $K_{Vmax} = K_{Vy}$ и формула (10) преобразуется в (4).

Данную методику поясняет рисунок 2.

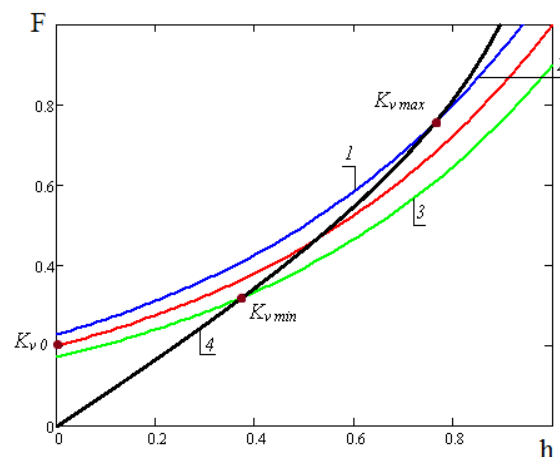


Рис. 2 – Определение гидравлических характеристик ЗРА

1 - верхнее допустимое отклонение, 2 – расчетная характеристика,

3 – нижнее допустимое отклонение, 4 – экспериментальная характеристика.

Уточнение стандартной методики.

Основным недостатком рассмотренной методики является необходимость расчёта относительной пропускной способности по формуле (1), для которой, как было указано выше, значение начальной пропускной способности (Φ_0), как правило, неизвестно.

Для определения Φ_0 предлагается следующая методика, основанная на методе наименьших квадратов (МНК).

Равнопроцентную характеристику (1) можно представить в следующем виде:

$$\Phi^* = \Phi_0^* \cdot h^* \quad (11)$$

где $\Phi^* = \ln \Phi$; $\Phi_0^* = \ln \Phi_0$; $h^* = 1 - h_i$

В данном случае Φ_0^* является неизвестным коэффициентом модели, который в соответствии с методом наименьших квадратов, минимизируя функционал F , можно определить по формуле:

$$\Phi_0^* = \frac{\sum_{i=1}^N (\Phi_i^* \cdot h_i^*)}{\sum_{i=1}^N (h_i^*)^2} \quad (12)$$

Тогда

$$\Phi_0 = e^{\Phi_0^*} \quad (13)$$

При необходимости можно также определить K_{Vmin} и D . Для этого на графике совместно с пропускной характеристикой строим её верхнее и нижнее предельное отклонение. В соответствии с [3] предельные отклонения определяются:

$$\Delta \Phi_i = \Phi_i \left[1 \pm 0,15 \left(\frac{1}{\Phi_i} \right)^{0,2} \right] \quad (14)$$

Рассмотрим данную методику на примере седельного регулирующего клапана серии VL10 [9]. Односедельный двух ходовой регулирующий клапан серии VL10 специально разработан для регулирования расхода продукта в различных условиях эксплуатации, таких как: вода, пар, перегретый пар и др. Пропускная характеристика клапана представлена на рисунке 3.

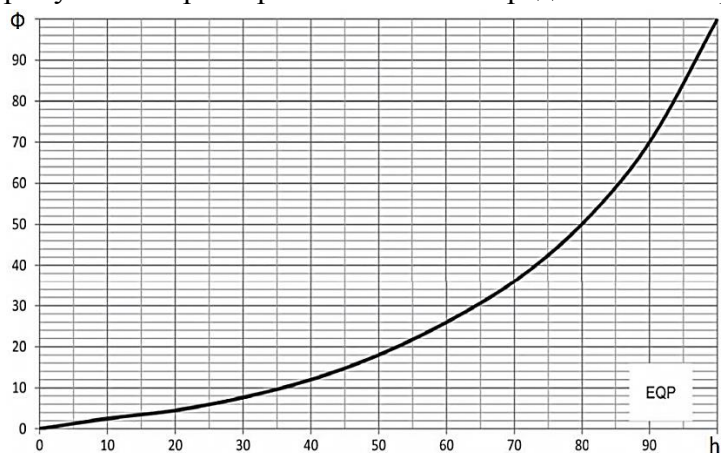


Рис. 3 - Пропускная характеристика регулирующего клапана серии VL10 в относительных единицах (%).

По графику определяем исходные данные для расчёта, которые представлены в таблице 1. Расчёты, проведенные в программе Mathcad по (1), (11-14), дают следующие результаты, также представленные в таблице 1 и на рисунках 4, 5.

Таблица 1 – Исходные данные и результаты расчётов

Исходные данные										
Переменные	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
h*	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
Φ	0,025	0,045	0,075	0,12	0,18	0,26	0,36	0,5	0,7	1
Φ*	-3,689	-3,101	-2,59	-2,12	-1,715	-1,347	-1,022	-0,693	-0,357	0
Результаты расчётов										
Φ*	-3,399	-3,021	-2,644	-2,266	-1,888	-1,511	-1,133	-0,755	-0,378	0
Φ	0,033	0,049	0,071	0,104	0,151	0,221	0,322	0,47	0,685	1
Φ _{max}	0,043	0,062	0,089	0,128	0,184	0,266	0,383	0,552	0,796	1,15
Φ _{min}	0,024	0,035	0,053	0,079	0,118	0,176	0,261	0,388	0,575	0,85

На рисунке 4 красной пунктирной линией показана расчётная пропускная характеристика, красными сплошными линиями – верхнее и нижнее предельные отклонения. На рисунке 5 в

увеличенном масштабе показан начальный участок пропускной характеристики для определения K_{Vmin} , которая составляет 2,2% или 0,022.

Начальная относительная пропускная способность, определённая по формулам (12, 13) $\Phi_0 = 0,023$ (2,3%).

Из рисунка 4 также видно, что в области полного открытия клапана его реальная пропускная характеристика не выходит за пределы допустимых отклонений расчётной характеристики, следовательно, $K_{Vmax} = K_{vy} = 1$ (100%).

Тогда:

$$D = \frac{1}{0,022} = 45$$

Следовательно, пропускная характеристика клапана VL10 соответствует требованиям ГОСТ 12893-2005.

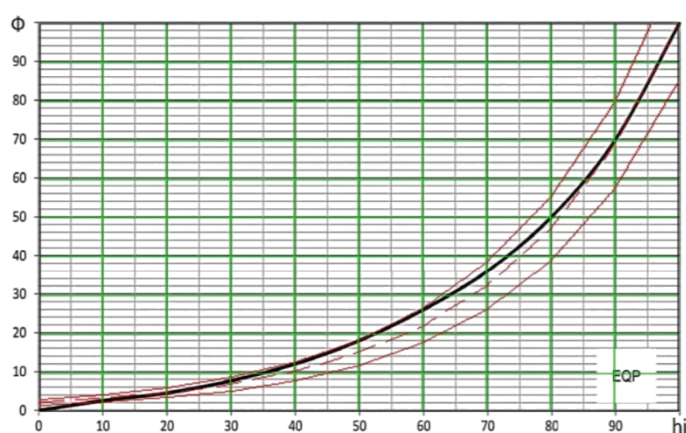


Рис. 4 – Расчетная и исходная пропускные характеристики с предельными отклонениями

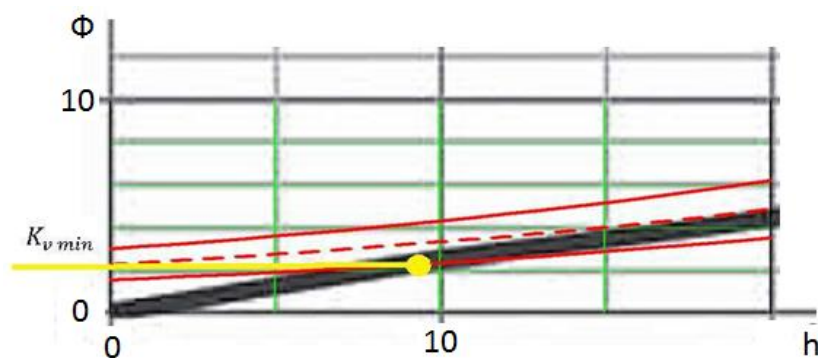


Рис. 5 – Определения минимальной пропускной способности

Заключение

Предложено уточнение стандартной методики определения гидравлических характеристик запорно-регулирующей арматуры, что позволит уточнить расчёты трубопроводных систем на этапе проектирования.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 52720-2007 / Арматура трубопроводная. Термины и определения. – Москва : Стандартинформ, 2007 – 28 с.
2. Гуревич Д. Ф. Трубопроводная арматура: Справочное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Ленинград: Машиностроение, 1981. — 368 с.
3. ГОСТ 12893-2005 / Клапаны регулирующие односедельные, двухседельные и клеточные. Общие технические условия. - Москва : Стандартинформ, 2008 – 34 с.



4. Ю.Д. Логанова Трубопроводная арматура. Номенклатурный каталог – справочник, Том 1 Краны. Указатели уровня. Затворы дисковые поворотные – Москва : Алекс 2006.- 614 с.
5. Ю.Д. Логанова Трубопроводная арматура. Номенклатурный каталог – справочник, Том 4, Клапаны регулирующие. Регуляторы давления и других параметров. Клапаны смесительные. Распределители. – Москва : Алекс 2006.- 692 с.
6. Каталог ООО «Danfoss» Запорно-регулирующая арматура для систем водоснабжения - Москва 2014 – 98 с.
7. Технический каталог «Система Heisskraft-industry». Трубопроводная арматура – Москва 2013.- 26 с.
8. ГОСТ Р 55508-2013 / Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик.- Москва : Стандартиформ, 2014 – 53 с.
9. Каталог трубопроводной арматуры. Версия 4.1. Клапаны регулирующие. Серия VL10 / ООО «Камоцци Пневматика» - Режим доступа: http://www.catalog.camozzi.ru/pdf/series_vl10.pdf/ (дата обращения: 11.02.2019)