

Гидравлические характеристики трубопроводной арматуры и управление ими

Е.Г. Пинаева, к.т.н., начальник отдела, М.И. Силивина, заместитель начальника отдела, ЗАО «НПФ «ЦКБА»

*«Инновация – это внедренное новшество, обладающее высокой эффективностью.»
Всемирная энциклопедия Википедия*

Создание высокоэффективной арматуры предполагает, что предприятие, проектирующее, изготавливающее и поставляющее эту арматуру, имеет банк знаний, содержащий 100% или близкую к этой цифре информацию о характеристиках, которыми должна обладать арматура, и уметь управлять ими, то есть предприятие должно обладать инновационным заделом и развивать его.

Основой стратегии, принятой в отделе экспертизы, диагностики, испытаний, гидравлических исследований и расчетов арматуры ЗАО «НПФ «ЦКБА» для создания инновационного задела, является получение информации о гидравлических характеристиках и управление ими.

Для реализации этой стратегической цели:

- проводится гидравлический анализ технологических систем, для которых поставляется арматура, с целью определения критических режимом эксплуа-



Елена Григорьевна Пинаева



Марина Ильинична Силивина

тации, таких как кавитация, наличие двухфазного потока (пар-жидкость) на входе в арматуру, критическая скорость пара или газа на выходе арматуры, а также анализ переходных процессов при работе обратных затворов и предохранительных клапанов;

- широко используются теория подобия и размерностей (моделирование), теория планирования эксперимента и методы математической статистики для постановки экспериментов и обработки экспериментальных данных с целью получения достоверных результатов;

- осуществляется экспериментальное определение по специальным методикам на специализированных стендах коэффициентов сопротивления, расхода, пропускной способности, пропускных и кавитационных характеристик, уровней звукового давления арматуры любых типов и видов с выдачей протоколов

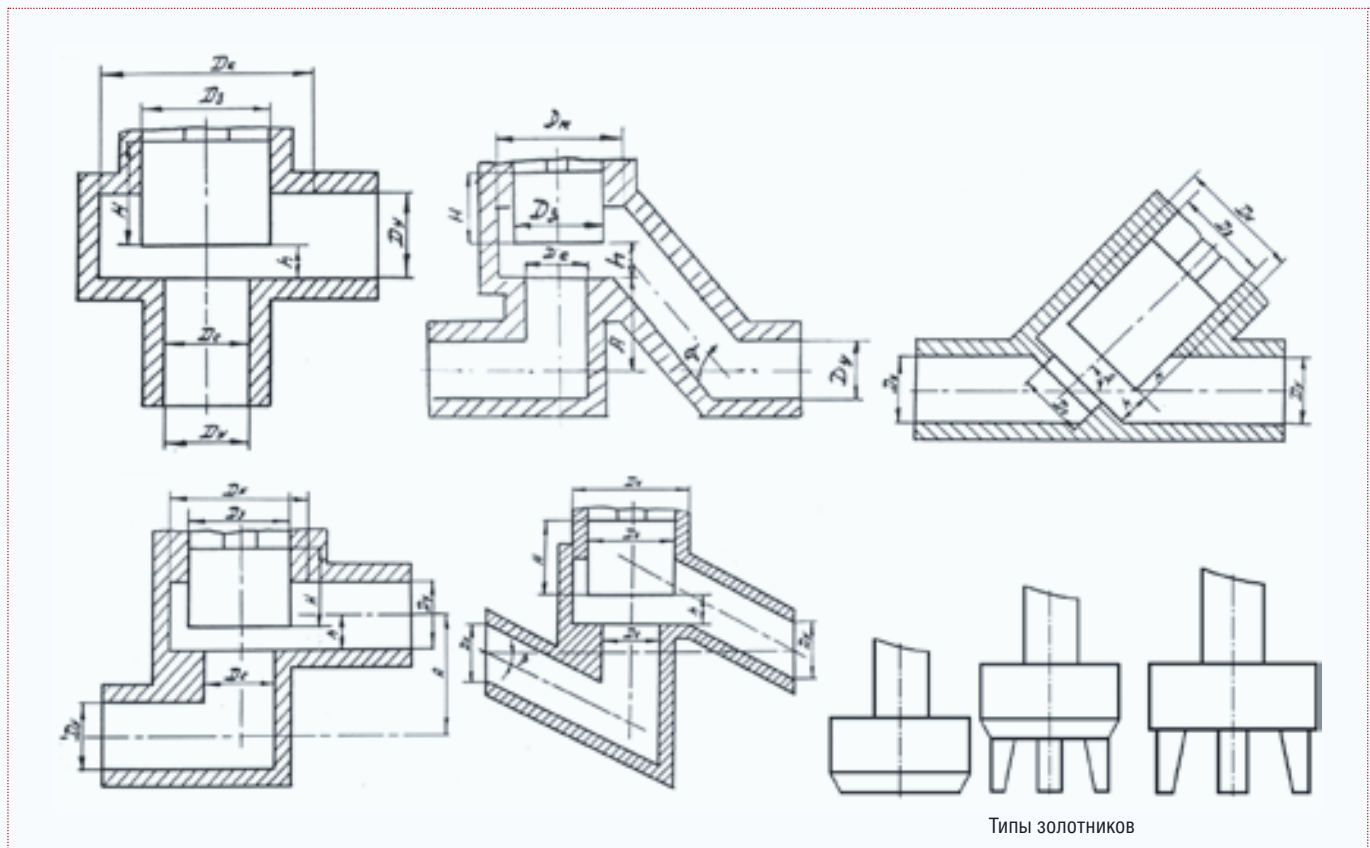


Рис. 1. Проточные части запорных клапанов

испытаний и рекомендаций по улучшению гидравлических характеристик.

На базе многолетних экспериментальных исследований гидравлических характеристик различных типов и видов арматуры отдел располагает уникальной информацией, позволяющей решать следующие задачи:

- создавать арматуру с заранее заданными гидравлическими характеристиками с учетом различных критериев оптимизации конструкций (масса, габариты, ресурс, показатели надежности и т.д.);
- выбирать запорную, регулирующую, предохранительную и обратную арматуру в технологические системы, в том числе в системы автоматического регулирования, с гарантией оптимального и устойчивого функционирования как арматуры, так и системы в целом.

Гидравлической характеристикой запорной арматуры является коэффициент сопротивления ζ . Чрезвычайно важно то, что эта характеристика является критерием подобия, то есть все геометрически подобные проточные части арматуры, независимо от номинального диаметра, имеют один и тот же коэффициент сопротивления.

Гидравлические характеристики регулирующей и предохранительной арматуры, о которой пойдет речь дальше, так или иначе связаны с коэффициентом сопротивления и поэтому тоже являются критериями подобия.

Управлять коэффициентом сопротивления означает уметь решать 2 задачи:

- по заданной величине коэффициента сопротивления сформировать геометрию проточной части,
- по геометрии проточной части дать прогноз величины коэффициента сопротивления.

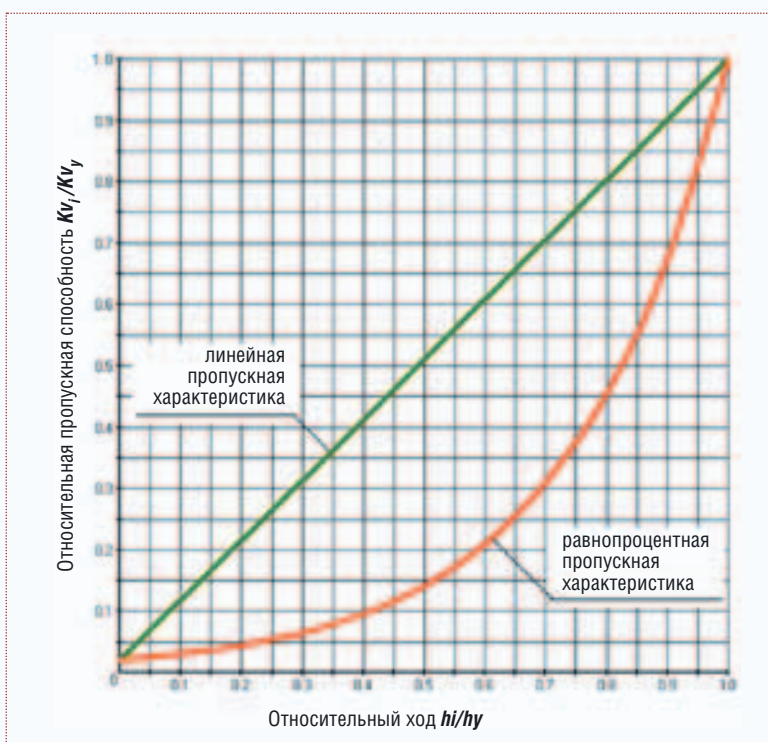


Рис. 2. Пропускная характеристика

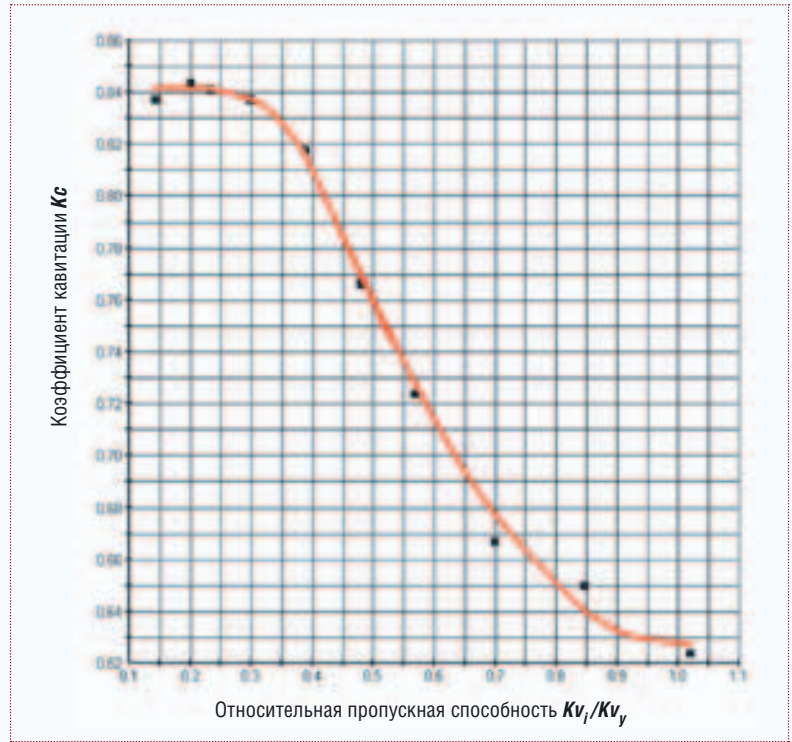


Рис. 3. Кавитационная характеристика

Для запорной арматуры – запорных клапанов, проточные части которых представлены на *рис. 1*, и зауженных задвижек разработаны диалоговые системы «Гидравлика» и «Ра33», позволяющие решать обе эти задачи. С учетом типов золотников и направления подачи рабочей среды расчеты проводятся для 32 типов проточной части.

Гидравлическими характеристиками регулирующей арматуры (РА) являются:

- условная пропускная способность K_{v_y} ;
- пропускная характеристика (зависимость пропускной способности от хода регулирующего органа) $K_v = f(h)$, представленная на *рис. 2*;
- диапазон регулирования;
- кавитационная характеристика (зависимость коэффициента кавитации K_c от хода или относительной пропускной способности $K_c = f(h)$ или $K_c = f_1(K_v/K_{v_y})$, представленная на *рис. 3*.

Управление характеристиками регулирующей арматуры

Поскольку пропускная способность K_v является обратной величиной коэффициента сопротивления:

$$K_v = \frac{G}{B \sqrt{\Delta P \rho}} = \frac{5,04 \cdot FN}{\sqrt{\zeta}}$$

то для формирования проточной части корпусов используются диалоговая система «Гидравлика» и СТ ЦКБА 047-2007 «Арматура трубопроводная. Проточная часть корпусов двухседельных литых клапанов. Конструкция, размеры, условная пропускная способность».

Заданный вид пропускной характеристики обеспечивается путем формирования профиля регулирующего органа (РО) РА. Для его расчета

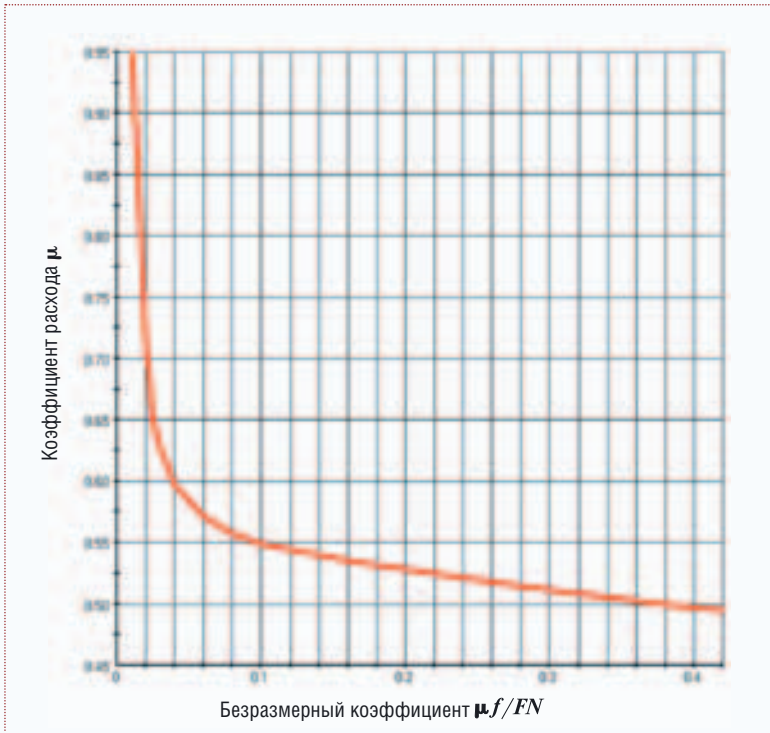


Рис. 4. Универсальная зависимость $\mu = \varphi(\mu f/FN)$

используется зависимость $\mu_i = \varphi(\mu f_i/FN)$, представленная на рис. 4, где f_i – проходная площадь между седлом и регулирующим элементом.

Отдел гидравлических исследований располагает огромным банком данных по зависимости коэффициента расхода от $\mu f/FN$ для различных типов РА, позволяющим обеспечить требуемую пропускную характеристику с первого раза.

Зависимость коэффициентов кавитации K_c от хода нужна для того, чтобы рассчитать допустимый перепад давления $\Delta P_{кав}$, при котором наступает кавитация $\Delta P_{кав} = K_c(P_1 - P_{н.н.})$.

Сегодня нет формализованных методик, как создать проточную часть под заданное значение K_c . Однако, хорошо известны конструктивные приемы, позволяющие создавать РА с высокими коэффициентами кавитации. Каждая такая конструкция требует экспериментальной проверки.

Гидравлической характеристикой предохранительных клапанов является эффективная площадь $F_{эф} = \alpha F_c$, рассчитываемая по исходным данным заказчика из формул ГОСТ 12.2.085-2002 «Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности», где F_c – минимальная проходная площадь в седле.

Коэффициент расхода связан с коэффициентом сопротивления формулой $\alpha = FN/(F_c \sqrt{\zeta})$ и поэтому является критерием подобия.

Как создавать проточную часть, чтобы обеспечить заданную $F_{эф}$, изложено в РД 26-07-262-86 «Методика расчета полноподъемных предохранительных клапанов при подаче среды под золотник».

Для обратной арматуры гидравлическими характеристиками являются:

- коэффициент сопротивления при полном открытии $\zeta_{по}$;
- зависимость коэффициента сопротивления от скоростного давления $\zeta = f(\rho v^2/2)$, приведенная на рис. 5

Однако, универсальной гидравлической характеристикой обратной арматуры является зависимость коэффициента сопротивления от удельного динамического давления $\zeta = f(\omega)$.

- для обратных клапанов $\omega = \frac{\rho v^2 F_3}{2 m}$;
- для обратных затворов $\omega = \frac{\rho v^2 F_c L}{2 m l_{ум}}$,

где ρ – плотность рабочей среды, кг/м³;
 v – средняя скорость, отнесенная к проходной площади седла, м/с;

F_3 – площадь золотника обратного клапана, м²;

F_c – проходная площадь в седле обратного затвора, м²;

m – вес подвижных частей обратного клапана или затвора, Н;

L – расстояние от оси поворота диска затвора до центра диска (центра седла), м;

$l_{ум}$ – расстояние от оси поворота диска затвора до центра тяжести системы подвижных частей, м.

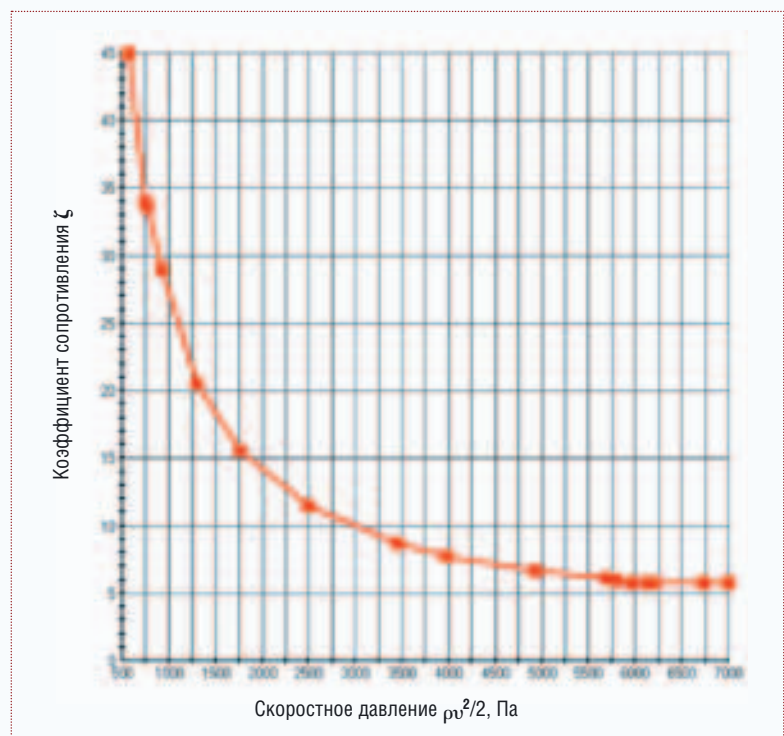


Рис. 5. Зависимость коэффициента сопротивления от скоростного давления $\zeta = f(\rho v^2/2)$

Эти характеристики позволяют:

- оценить коэффициент сопротивления и потери давления обратной арматуры любого другого типоразмера;
- определить, как надо изменить весовые и габаритные характеристики арматуры, чтобы при той же скорости рабочей среды достичь любого заданного коэффициента сопротивления.