

Расчет регулятора расхода с проточной частью в виде длинной щели

Р. Р. Ионайтис

Изменение расхода жидкости осуществляется или дроссельным способом, или изменением режима работы насоса. В ядерной энергетике в большинстве случаев применяется дроссельный способ регулирования.

В зависимости от способа получения эффекта дросселирования гидравлические дроссельные устройства можно разделить на две группы: первая — с дросселированием в основном за счет местных сопротивлений; вторая — с дросселированием в основном за счет потерь трения.

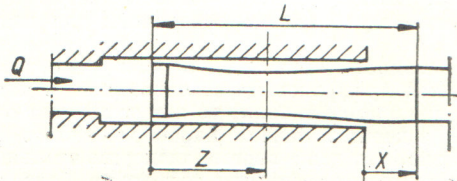


Рис. 1. Схема проточной части регулятора расхода: x — координата регулирующего органа; z — координата его сечения; L — его длина.

В промышленности, как правило, используются дроссельные устройства первой группы благодаря их относительно малым габаритам и незначительным перемещениям регулирующего органа. В связи с тем, что коэффициенты местных сопротивлений существенно зависят от формы и размеров проточной части, профиль регулирующего органа для заданной расходной характеристики обычно строится по предварительно полученной экспериментальной характеристике с последующей корректировкой [1—3].

Работы, содержащие методику расчета дроссельных устройств второй группы, автору неизвестны. В то же время конструкторам ядерных реакторов такая методика необходима.

Схема проточной части регулятора расхода, в котором дросселирование осуществляется в основном за счет потерь трения, показана на рис. 1. Требуется спроектировать регулирующий орган, чтобы удовлетворить заданным расходным характеристикам $Q=Q(x)$, $P=P(x)$, где Q — расход жидкости; P — перепад давления на дроссельном устройстве.

Рассмотрим установившееся течение несжимаемой жидкости в щели переменной толщины с такими углами и степенью расширения или сужения, что потерями на вихреобразование можно пренебречь [4]. Если считать это течение одномерным, коэффициент усреднения потока по количеству движения в любом сечении постоянным и близким к единице (что соответствует наиболее распространенному турбулентному режиму течения), пренебречь нивелирным напором, принять одинаковыми касательные напряжения на внешней и внутренней стенках [5], то уравнение движения жидкости в щели можно записать в виде [6]

$$\frac{P}{\rho Q^2} = \frac{\xi_{\text{подв}}}{2f_{\text{подв}}^2} + \frac{\xi_{\text{вх}}}{2f^2(0)} + \frac{\xi_{\text{вых}}}{2f^2(L-x)} + \int_0^{L-x} \frac{\lambda \chi(z) dz}{8f^3(z)}, \quad (1)$$

где ρ — плотность; $\xi_{\text{подв}}$, $\xi_{\text{вх}}$, $\xi_{\text{вых}}$ — коэффициенты гидравлического сопротивления подводящей линии, входа в щель и выхода из нее соответственно; $f_{\text{подв}}$ и f — площади поперечных сечений подвода и щели соответственно; λ — коэффициент потерь энергии на сопротивление трения; χ — смоченный периметр. Как правило [4], $\xi_{\text{вх}}=0,5$; $\xi_{\text{вых}}=1$.

Последний член уравнения (1) записывается в интегральной форме, так как по длине щели изменяются λ , χ , f , причем так, что в расчете нельзя принять их средние значения.

Для интегрирования уравнения (1) необходимо знать зависимость λ от числа Re

$$Re = \frac{4Q}{\chi v} \quad (2)$$

и шероховатости стенок. Эта зависимость при течении жидкости в круглых трубах изучена очень хорошо [4].

Форма поперечного сечения также оказывает сильное влияние на величину коэффициента λ . Так, А. С. Гиневский и Е. Е. Солодкин [7] теоретически нашли, что сопротивление узкой кольцевой концентрической щели выше сопротивления круглой трубы на 5—7%, т. е.

$$\lambda_{\text{щ}} = (1,05 \div 1,07) \lambda_{\text{тр}}, \quad (3)$$

что подтверждается экспериментально [5].

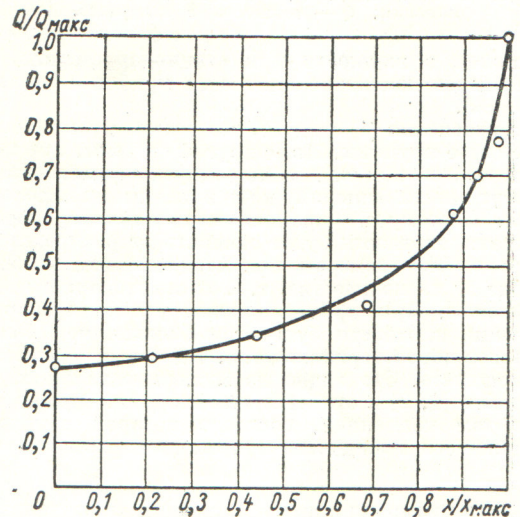


Рис. 2. Расходная характеристика регулятора расхода с прямой щелью: — расчет; ○ — эксперимент.

Еще большие различия наблюдаются для эксцентрических щелей. Так, по Шнеккенбергу [8], λ для кольцевой щели с эксцентриситетом, равным единице, составляет примерно 65% от λ для концентрической

Щели, т. е.

$$\lambda_0 = 0,65\lambda_K \quad (4)$$

Это было установлено для чисел Re от 1100 до 10 000. В работе [9] найдено, что в диапазоне чисел Re от 12 000 до 500 000

$$\lambda_0 = (0,63 \div 0,83)\lambda_K \quad (5)$$

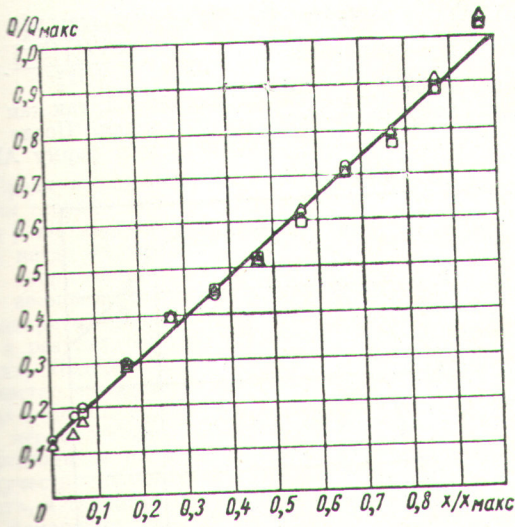


Рис. 3. Расходная характеристика регулятора расхода с профилированной щелью: — расчет; O, □, Δ, — эксперимент.

Таким образом, для щелей λ можно рассчитывать по формулам для круглых труб с учетом поправки (3)–(5).

Применяемые в ядерной энергетике материалы труб и качество обработки регулирующих органов позволяют считать стенки каналов гидравлически гладкими. Для гладких труб наиболее распространена формула Блазиуса

$$\lambda_{тр} = 0,316 Re^{-0,25} \quad (6)$$

в диапазоне чисел Re от 4000 до 100 000 [6].

Учитывая, что в щелевых регуляторах числа Re вряд ли могут достигать значений 100 000 и что мероприятия против эксцентриситета, как правило, не предусматриваются, можно считать, что он всегда будет равен единице, и при расчете можно пользоваться формулой Блазиуса, но с измененным числовым коэффициентом, а именно с коэффициентом $0,3164 \times 1,07 \times 0,65 = 0,22$, т. е.

$$\lambda_{щ} = 0,22 Re^{-0,25} \quad (7)$$

С помощью формул (1), (2), (7) рассчитывались различные конструктивные решения регуляторов расхода. Прежде всего был рассчитан регулятор с прямой (непрофилированной) щелью со следующими характе-

ристиками: $\frac{d}{D} = 0,98$, $\frac{L}{D-d} = 10 \div 1000$. Сопротивление подвода было таким, что перепад давлений в нем составлял 0–0,2 от общего перепада давлений. На рис. 2 показана расходная характеристика данного регулятора. Из рисунка видно, что эксперимент хорошо подтверждает расчет и что характеристика резко нелинейная, особенно при $Q_{\max}/Q_{\min} = 4$.

На рис. 3 изображена линейная расходная характеристика регулятора с $Q_{\max}/Q_{\min} = 8$. При расчете профиля оказалось, что $\frac{d}{D} = 0,86 \div 0,97$; $\frac{(D-d)_{\max}}{(D-d)_{\min}} = 4,3$ и

$\frac{L}{(D-d)_{\max}} = 10 \div 800$. Опытные точки, нанесенные на рис. 3, получены при проливке устройств, отличающихся от расчетного устройства некоторыми размерами регулирующих органов и труб за счет допусков изготовления. Тем не менее эксперимент хорошо подтверждает расчеты. Таким образом, указанная методика достаточно верна для получения заданной расходной характеристики.

На основании изложенного можно сделать вывод, что данная методика, во-первых, позволяет рассчитать профиль дроселирующего органа регулятора расхода с проточной частью в виде длинной щели для заданной расходной характеристики; во-вторых, позволяет анализировать конструктивные решения регуляторов с рассмотренными дросельными устройствами без изготовления и проливки каждого варианта проточной части; в-третьих, может быть применена для расчета специальных дросельных устройств в ядерной энергетике.

Автор выражает признательность Ю. С. Молочникову за постоянный интерес к работе и ряд ценных замечаний, а также В. Н. Массальскому за проведение экспериментов.

Поступило в Редакцию 25/VIII 1962 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Ф. Гуревич. Основы расчета трубопроводной арматуры. М.—Л., Машгиз, 1962.
2. П. И. Кузьмин. Выбор и расчет дросельных регулирующих органов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1960.
3. Б. В. Флоринский. «Атомная энергия», 5, 526 (1958).
4. И. Е. Идельчик. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.—Л., Госэнергоиздат, 1960.
5. R. Koch, K. Feind. Chem. Ingr. Techn. 30, 577 (1958).
6. И. П. Гинзбург. Прикладная гидродинамика. Изд-во Ленинградского университета, 1958.
7. А. С. Гиневский, Е. Е. Солодкин. Сб. «Промышленная аэродинамика» № 20. М., Оборонгиз, 1961, стр. 202.
8. E. Schneckenberg. Z. angew. Math. und Mech., 11 (1931).
9. С. М. Кулиев и др. «Нефтяное хозяйство», № 11, 22 (1960).