

Пример расчета проходного сечения поворотной регулирующей заслонки. Расчет и построение рабочей характеристики поворотной регулирующей заслонки

1. Рабочая характеристика заслонки близкая к линейной.
2. Диаметр трубопровода – 100мм.
3. Регулируемая среда – природный газ.
4. Максимальный расход в нормальных условиях -
 $Q_{\text{max.н.у.}} = 400 \text{ м}^3/\text{час}$
5. Температура среды – 20 °С.
6. Избыточное давление в начале участка - $P_{\text{и.нач.}} = 20 \text{ кПа}$
7. Избыточное давление в конце участка - $P_{\text{и.кон}} = 0 \text{ кПа}$

РАСЧЕТНЫЙ ЛИСТ

1. Рассчитаем максимальный расход газа в нормальных условиях:

$$Q'_{\text{max.н.у.}} = (1,1 \div 1,2) \cdot Q_{\text{max.н.у.}}$$

$$Q'_{\text{max.н.у.}} = 1,15 \cdot 400 = 460 \text{ м}^3/\text{час}$$

2. Абсолютное давление газа в начале участка:

$$P_{\text{нач}} = 101325 + P_{\text{и.нач.}} \text{ Па}$$

$$P_{\text{нач}} = 101325 + 20000 = 121325 \text{ Па.}$$

3. Абсолютное давление газа в конце участка:

$$P_{\text{кон}} = 101325 + P_{\text{и.кон.}} \text{ Па}$$

$$P_{\text{кон}} = 101325 + 0 = 101325 \text{ Па.}$$

4. Абсолютная температура среды

$$T = (t + 273)K$$

$$T = 20 + 273 = 293K.$$

5. Перепад давления на заслонке при максимальном расходе.

По практическим данным принимаем, что на заслонке теряется 30% напора:

$$\Delta P_{p.o.} = 0,3(P_{и.нач.} - P_{и.кон.}) \text{ кПа,}$$

$$\Delta P_{p.o.} = 0,3 \cdot (20 - 0) = 6 \text{ кПа.}$$

6. Максимальный расход среды для условий после регулирующего органа:

6.1. Абсолютное давление газа после регулирующего органа:

$$P_2 = P_{нач} - \Delta P_{p.o.} \text{ кПа,}$$

$$P_2 = 121,325 - 6 = 115,325 \text{ кПа.}$$

6.2. Максимальный расход среды:

$$Q_{\max} = Q'_{\max.н.у.} \cdot \frac{P_n \cdot T_{нач}}{P_2 \cdot T_k}, \text{ м}^3/\text{час}$$

$$Q_{\max} = 460 \cdot \frac{101,325 \cdot 293}{115,325 \cdot 293} = 404,16 \text{ м}^3/\text{час.}$$

7. Плотность среды при нормальных условиях:

$$\rho_n = 0,68 \text{ кг/м}^3.$$

8. Плотность среды в рабочих условиях (после рабочего органа):

$$\rho_2 = \rho_n \cdot \frac{P_2 \cdot T_n}{P_n \cdot T_2} \text{ кг/м}^3,$$

$$\rho_2 = 0,68 \cdot \frac{115,325 \cdot 293}{101,325 \cdot 293} = 0,77 \text{ кг/м}^3.$$

9. Коэффициент расширения потока $\varepsilon=1,0$.

10. Эффективное проходное сечение, соответствующие максимальному расходу:

$$\alpha \cdot F = \frac{Q_{\max}}{5095 \cdot \varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{\rho_2}{\Delta P_{p.o.}}}, \text{ м}^2,$$

где 5095 – коэффициент, учитывающий различность единиц измерения величин ($\text{м}^3/\text{час}$, $\text{кг}/\text{м}^3$, Па).

$$\alpha \cdot F = \frac{404,16}{5095 \cdot 1} \cdot \sqrt{\frac{0,77}{6000}} = 0,000901 \text{ м}^2.$$

11. Принимаем, что максимальному расходу соответствует угол открытия заслонки регулирующего органа:

$$\varphi_{p.o.} = 65^0.$$

12. Углу открытия заслонки 65^0 соответствует согласно рисунку 57б) [1]:

$$\frac{\alpha \cdot F}{F_y} = 0,6.$$

13. Площадь проходного сечения:

$$F'_y = \frac{\alpha \cdot F}{0,6} = \frac{0,000901}{0,6} = 0,0015.$$

14. Условный диаметр:

$$D'_y = \sqrt{1,27 \cdot F'_y} = \sqrt{1,27 \cdot 0,0015} = 0,044 \text{ м} = 44 \text{ мм}.$$

Для круглых поворотных заслонок, полученных расчетным путем диаметр округляют до ближайшего стандартного значения: 25, 32, 40, 50, 70, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 280, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1400.

Принимаем $D_y = 50 \text{ мм}$.

15. Максимальная площадь проходного сечения заслонки:

$$F_y = \frac{\pi \cdot D_y^2}{4},$$

$$F_y = \frac{3,14 \cdot 50^2}{4} = 1962,5 \text{ мм}^2.$$

Строим рабочую характеристику заслонки

1. Задаемся несколькими значениями расхода Q_i в пределах $Q_{\text{min.н.у.}} - Q_{\text{max.н.у.}}$

Задаемся расходом газа в нормальных условиях:

$$Q_{\text{max.н.у.}} = \frac{460}{3600} = 0,128 \text{ м}^3/\text{с} - 100\%.$$

Результаты расчета рабочей характеристики заносим в таблицу 1.

№п/ п	$Q_{\text{ни}},$ $\text{м}^3/\text{с}$	$\Delta P_i,$ кПа	$Q_i,$ $\text{м}^3/\text{с}$	$\alpha \cdot F_i \cdot 10^{-4},$ м 2	$\frac{\alpha \cdot F_i}{F_y}$	φ
1.	0,018	19,713	0,0182	0,76	0,039	23
2.	0,037	18,853	0,0362	1,54	0,079	30
3.	0,055	17,420	0,0535	2,39	0,122	35
4.	0,073	15,413	0,07	3,36	0,171	40
5.	0,091	12,832	0,0854	4,54	0,232	44
6.	0,110	9,678	0,0996	6,19	0,315	50
7.	0,128	6,00	0,1124	9,06	0,462	59

2. Определяем перепад давлений на заслонке при различных расходах Q_{ni} :

$$\Delta P_i = P_{u.nach.} - (P_{u.nach.} - \Delta P_{p.o.}) \cdot \left(\frac{Q_{ni}}{Q_{n.max}}\right)^2, \text{ кПа}$$

$$\Delta P_{i1} = 20 - (20 - 6) \cdot \left(\frac{0,018}{0,128}\right)^2 = 19,713 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_{i2} = 20 - (20 - 6) \cdot \left(\frac{0,037}{0,128}\right)^2 = 18,853 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_{i3} = 20 - (20 - 6) \cdot \left(\frac{0,055}{0,128}\right)^2 = 17,420 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_{i4} = 20 - (20 - 6) \cdot \left(\frac{0,073}{0,128}\right)^2 = 15,413 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_{i5} = 20 - (20 - 6) \cdot \left(\frac{0,091}{0,128}\right)^2 = 12,832 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_{i6} = 20 - (20 - 6) \cdot \left(\frac{0,110}{0,128}\right)^2 = 9,678 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_{i7} = 20 - (20 - 6) \cdot \left(\frac{0,128}{0,128}\right)^2 = 6,00 \text{ кПа}.$$

2. Определяем расход газов рабочих условиях Q_i для каждого значения Q_{ni} :

$$Q_i = Q_{ni} \cdot \frac{P_n \cdot T_2}{P_{2i} \cdot T_n},$$

где $P_{2i} = P_{нач} - \Delta P_{p.o.i.}$

Так как $T_2 = T_n = 293\text{K}$, то

$$Q_i = Q_{ni} \cdot \frac{P_n}{P_{нач} - \Delta P_{p.o.i.}}, \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{i1} = 0,018 \cdot \frac{101,325}{121,325 - 19,713} = 0,0182 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{i2} = 0,037 \cdot \frac{101,325}{121,325 - 18,889} = 0,0362 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{i3} = 0,055 \cdot \frac{101,325}{121,325 - 17,420} = 0,0535 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{i4} = 0,073 \cdot \frac{101,325}{121,325 - 15,413} = 0,07 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{i5} = 0,091 \cdot \frac{101,325}{121,325 - 12,832} = 0,0854 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{i6} = 0,110 \cdot \frac{101,325}{121,325 - 9,678} = 0,0996 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{i7} = 0,128 \cdot \frac{101,325}{121,325 - 6,0} = 0,1124 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Определяем плотность газа в рабочих условиях

$$\rho_i = \rho_n \cdot \frac{P_{нач} - \Delta P_{p.o.i.}}{P_n},$$

$$\rho_{i1} = 0,68 \cdot \frac{121,325 - 19,713}{101,325} = 0,6819, \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{i2} = 0,68 \cdot \frac{121,325 - 18,889}{101,325} = 0,6876, \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{i3} = 0,68 \cdot \frac{121,325 - 17,420}{101,325} = 0,6973, \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{i4} = 0,68 \cdot \frac{121,325 - 15,413}{101,325} = 0,7107, \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{i5} = 0,68 \cdot \frac{121,325 - 12,832}{101,325} = 0,7281, \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{i6} = 0,68 \cdot \frac{121,325 - 9,678}{101,325} = 0,7493, \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{i7} = 0,68 \cdot \frac{121,325 - 5,951}{101,325} = 0,7743, \text{ кг/м}^3.$$

4. Определяем значение $\alpha \cdot F_i$ для каждого значения Q_i

$$\alpha \cdot F_i = \frac{Q_i \cdot 3600}{5095 \cdot \varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{\rho_i}{\Delta P_i}}$$

$$\alpha \cdot F_{i1} = \frac{0,0182 \cdot 3600}{5095 \cdot 1} \cdot \sqrt{\frac{0,6819}{19,713 \cdot 1000}} = 0,076 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\alpha \cdot F_{i2} = \frac{0,0362 \cdot 3600}{5095 \cdot 1} \cdot \sqrt{\frac{0,6877}{18,853 \cdot 1000}} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\alpha \cdot F_{i3} = \frac{0,0535 \cdot 3600}{5095 \cdot 1} \cdot \sqrt{\frac{0,6973}{17,420 \cdot 1000}} = 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\alpha \cdot F_{i4} = \frac{0,07 \cdot 3600}{5095 \cdot 1} \cdot \sqrt{\frac{0,7108}{15,413 \cdot 1000}} = 3,36 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\alpha \cdot F_{i5} = \frac{0,0854 \cdot 3600}{5095 \cdot 1} \cdot \sqrt{\frac{0,7281}{12,832 \cdot 1000}} = 4,54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\alpha \cdot F_{i6} = \frac{0,0996 \cdot 3600}{5095 \cdot 1} \cdot \sqrt{\frac{0,7493}{9,678 \cdot 1000}} = 6,19 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\alpha \cdot F_{i7} = \frac{0,1124 \cdot 3600}{5095 \cdot 1} \cdot \sqrt{\frac{0,7743}{6,0 \cdot 1000}} = 9,06 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

5. Находим отношение $\frac{\alpha \cdot F_i}{F_y}$:

$$F_y = 1962,5 \text{ мм}^2 = 19,625 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\frac{\alpha \cdot F_{i1}}{F_y} = \frac{0,76 \cdot 10^{-4}}{19,625 \cdot 10^{-4}} = 0,039;$$

$$\frac{\alpha \cdot F_{i2}}{F_y} = \frac{1,54 \cdot 10^{-4}}{19,625 \cdot 10^{-4}} = 0,079;$$

$$\frac{\alpha \cdot F_{i3}}{F_y} = \frac{2,39 \cdot 10^{-4}}{19,625 \cdot 10^{-4}} = 0,122;$$

$$\frac{\alpha \cdot F_{i4}}{F_y} = \frac{3,36 \cdot 10^{-4}}{19,625 \cdot 10^{-4}} = 0,171;$$

$$\frac{\alpha \cdot F_{i5}}{F_y} = \frac{4,54 \cdot 10^{-4}}{19,625 \cdot 10^{-4}} = 0,232;$$

$$\frac{\alpha \cdot F_{i6}}{F_y} = \frac{6,19 \cdot 10^{-4}}{19,625 \cdot 10^{-4}} = 0,315;$$

$$\frac{\alpha \cdot F_{i7}}{F_y} = \frac{9,06 \cdot 10^{-4}}{19,625 \cdot 10^{-4}} = 0,462.$$

По графику рисунка 1-1 для каждого значения $\frac{\alpha \cdot F_i}{F_y}$ находим угол поворота заслонки и строим график рабочей характеристики.

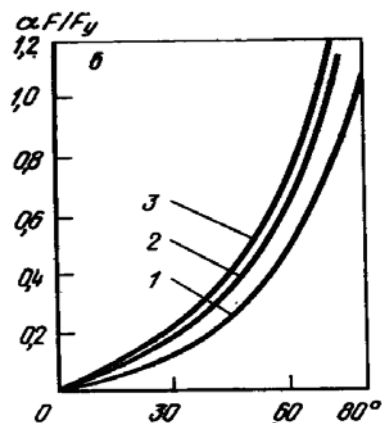


Рис.1 – График для определения эффективного проходного сечения поворотных заслонок:

1 – однолопастных круглых и прямоугольных;
 многолопастных с разделительными перегородками;

2 – двухлопастных жалюзи;

3 – трехлопастных жалюзи.

Статической рабочей характеристикой регулирующего органа, является зависимость между выходной и входной величинами регулирующего органа. Выходная величина – расход регулирующей среды, входная величина – угол поворота или линейное перемещение регулирующего органа. Строим график рабочей характеристики.

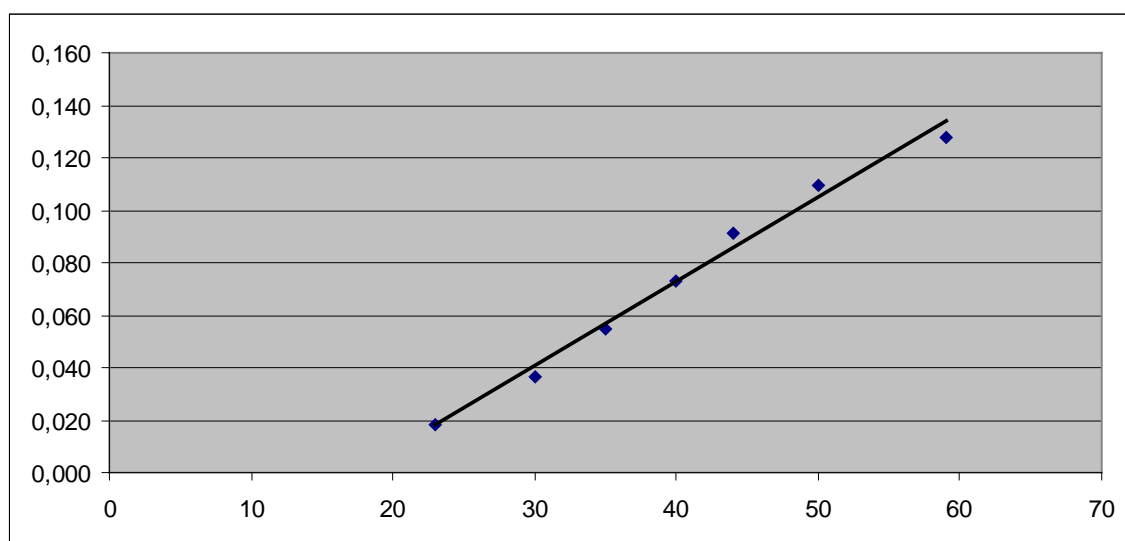


Рис.2. – График рабочей характеристики

Как видно из рисунка рабочая характеристика регулирующего органа – линейная.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов: Учебное пособие для вузов / Г.М. Глинков, В.А. Маковский, М.Р. Шапировский и др. – М.: Металлургия, 1986. – 352 с.