

МАГУ

МУРМАНСКИЙ
АРКТИЧЕСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



МАГУ

МУРМАНСКИЙ
АРКТИЧЕСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Аппараты воздухообеспечения

Практическая работа.

Расчет вакуум-насоса.

Практическая работа № 4

Расчет параметров вакуум-насоса.

Задача 1. Расчет длительности откачки рабочей камеры технологического оборудования.

Определить границы режимов течения газа (воздуха), рассчитать проводимость вакуумного трубопровода, эффективную быстроту откачки заданного конструктивного объекта (рис. 1.1 и соответствующие времена откачки при условии использования механического вакуумного насоса с быстротой действия, указанного на рис 1.2.). Варианты исходных данных для расчета приведены в нижеследующей таблице.

Варианты заданий

| Вариант | $P_{\text{нач}}$ 10^5 , Па | $P_{\text{кон}}$, Па | S_{H} , 10^{-3} , $\text{м}^3/\text{с}$ | $Q'_{\text{газ}}$, 10^{-4} , $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$ | $P_{\text{пред}}$, Па | $U_{\text{кл}}$ 10^{-2} , $\text{м}^3/\text{с}$ | $U_{\text{кл}}$ 10^{-3} , $\text{м}^3/\text{с}$ | $l_{\text{факт}}$ |
|---------|------------------------------------|--------------------------|--|---|---------------------------|---|---|-------------------|
| 1 | 1,01 | 5,35 | 1,80 | 2,6 | 3,06 | 9,80 | 9,40 | 120 |
| 2 | 1,01 | 5,34 | 1,79 | 2,59 | 3,06 | 9,79 | 9,39 | 125 |
| 3 | 1,01 | 5,33 | 1,78 | 2,58 | 3,06 | 9,78 | 9,38 | 130 |
| 4 | 1,01 | 5,32 | 1,77 | 2,57 | 3,06 | 9,77 | 9,37 | 135 |
| 5 | 1,01 | 5,31 | 1,76 | 2,56 | 3,06 | 9,76 | 9,36 | 140 |
| 6 | 1,01 | 5,30 | 1,75 | 2,55 | 3,06 | 9,75 | 9,35 | 145 |
| 7 | 1,01 | 5,29 | 1,74 | 2,54 | 3,06 | 9,74 | 9,34 | 150 |
| 8 | 1,01 | 5,28 | 1,73 | 2,53 | 3,06 | 9,73 | 9,33 | 155 |
| 9 | 1,01 | 5,27 | 1,72 | 2,52 | 3,06 | 9,72 | 9,32 | 160 |
| 10 | 1,01 | 5,26 | 1,70 | 2,50 | 3,06 | 9,71 | 9,31 | 165 |
| 11 | 1,01 | 5,50 | 1,69 | 2,49 | 3,06 | 9,70 | 9,30 | 170 |
| 12 | 1,01 | 5,49 | 1,68 | 2,48 | 3,06 | 9,69 | 9,29 | 175 |
| 13 | 1,01 | 5,48 | 1,67 | 2,47 | 3,06 | 9,68 | 9,28 | 180 |
| 14 | 1,01 | 5,47 | 1,66 | 2,46 | 3,06 | 9,67 | 9,27 | 185 |
| 15 | 1,01 | 5,46 | 1,65 | 2,45 | 3,06 | 9,66 | 9,26 | 190 |

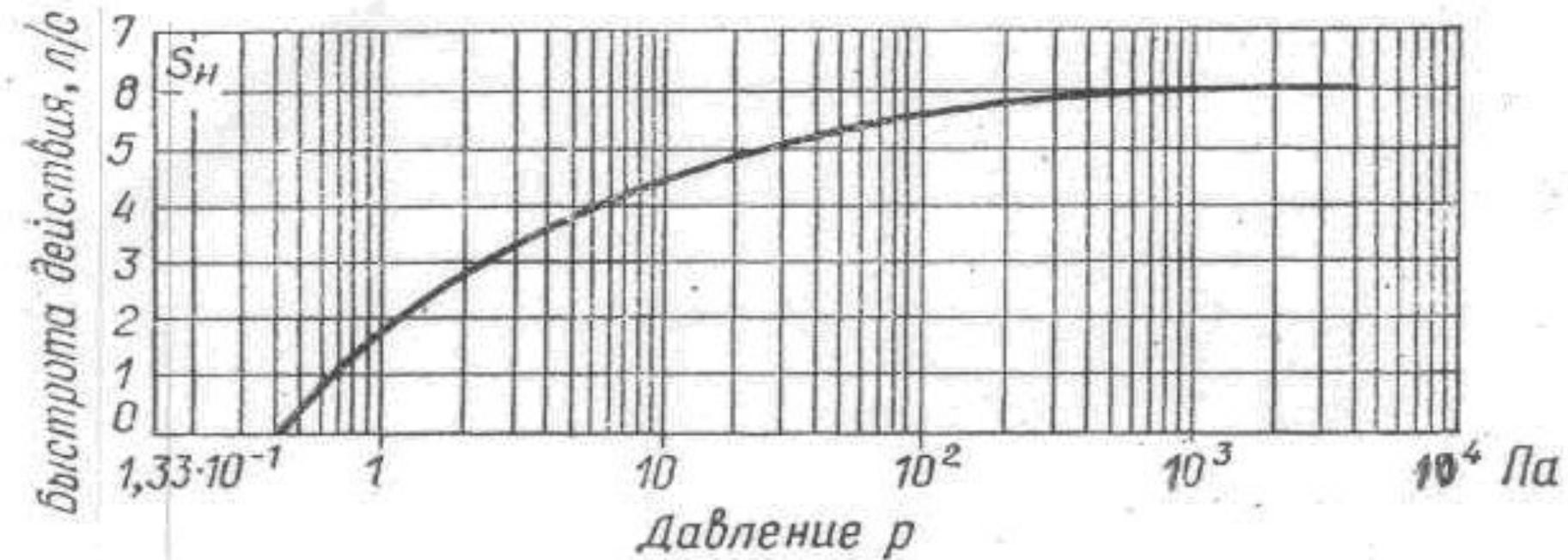


Рис.1.2. Зависимость быстроты действия S_n от впускного давления P для механического вакуумного насоса

Рис.1.2. Зависимость быстроты действия S_n от впускного давления P для механического вакуумного насоса

Исходные данные и условия.

1 Размеры откачиваемой камеры и вакуумной магистрали предварительного разрежения указаны на рис.1.1, а на рис.1.2 приведена зависимость быстроты действия от впускного давления для установленного механического вакуумного насоса.

Начальное давление $P_{\text{нач}} = 1,01 \cdot 10^5$ Па, конечное давление после вакуумирования $P_{\text{кон}} = 5,32$ Па. Предварительная откачка рабочей камеры осуществляется механическим вакуумным насосом.

Быстрота действия высоковакуумного насоса составляет $S_{\text{н}} \approx 1,6 \cdot 10^{-3}$ м³/с.

Суммарное газовыделение со стенок вакуумной системы составляет

$Q'_{\text{газ}} = 2,43 \cdot 10^{-4}$ м³·Па/с и постоянно по времени. Предельное остаточное давление механического вакуумного насоса $P_{\text{пред}} = 3,06$ Па (паспортные данные).

Проводимость электромагнитного клапана ДУ32 длиной $\ell = 120\text{мм}$:

- при вязкостном режиме течения – $U_{\text{В}}^{\text{кл}} = 9,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$;
- при молекулярном режиме течения – $U_{\text{М}}^{\text{кл}} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

1. Определяются границы режимов течения газа в трубопроводе предварительного разрежения.

а) Граница между вязкостным и молекулярно-вязкостным режимами

$$P_{\text{в-мв}} = \frac{1,33}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 41,6 \text{ Па.}$$

б) Граница между молекулярно-вязкостным и молекулярными режимами

$$P_{\text{мв-м}} = \frac{0,02}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 0,624 \text{ Па.}$$

2. Рассчитывается длительность откачки в диапазоне давлений от атмосферного до 41,6 Па, в котором быстрота действия механического вакуумного насоса постоянна и равна $S_H \approx 5,8$ л/с (см. рис. 1.2):

$$t = \frac{V_{\Sigma}}{S_0} \ell_n \frac{P_{\text{нач}}^{\frac{1}{n}} - Q'_{\Sigma} / S_0 P_{\text{нач}}^{\frac{n-1}{n}}}{P_{\text{в-мв}}^{\frac{1}{n}} - Q'_{\Sigma} / S_0 P_{\text{нач}}^{\frac{n-1}{n}}}, \quad (2.1)$$

где S_0 – эффективная быстрота откачки, м³/с;

V_{Σ} – суммарный объем рабочей камеры 1, соединительного патрубка 3 и затвора высоковакуумного насоса, м³.

Поскольку $V_{\Sigma} = V_{\text{р.кам.}} + V_{\text{патр.}} + V_{\text{затв.}} = \frac{\pi}{4} (370^2 \cdot 555 + 260^2 \cdot 200 + 320^2 \cdot 320) \cdot 10^{-9} = 96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

В (2.1) $S_0 = S_H$, а $Q'_{\Sigma} = 0$ (так как газовыделение в этой области давлений можно не учитывать).

Если принять показатель $n = 1,2$ тогда из (2.1) следует, что время откачки до давления $P_{в-мв} = 41,6$ Па будет

$$t_{1,01 \cdot 10^5 \rightarrow 41,6} = \frac{96}{5,8} \ln \frac{(1,01 \cdot 10^5)^{\frac{1}{1,2}}}{41,6^{\frac{1}{1,2}}} = 107,5 \text{ с.}$$

3. Рассчитывается длительность откачки в диапазоне давлений от 41,6 до 5,32 Па. При этом рассматриваемый диапазон разбивается на следующие участки:

1-ый – от 41,6 до 20 Па;

2-ой – от 20 до 10 Па,

3-ий – от 10 до 5,32 Па.

3.1. В диапазоне давлений от 41,6 до 20 Па, то есть при среднем по времени давлении

$$\bar{P} = \frac{41,6 + 20}{2} = 30,8 \text{ Па},$$

проводимость трубопровода для $l_{\text{расч}} = 104 + 1,33 \cdot 3,2 \cdot 2 = 1,125$ м и молекулярно-вязкостном режиме течения будет

$$U_{\text{м-в}} = 1,36 \cdot 10^3 \cdot \frac{(3,2 \cdot 10^{-2})^4}{1,125} \cdot 30,8 + \left(\frac{1 + 1,9 \cdot 10^4 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 30,8}{1 + 2,35 \cdot 10^4 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 30,8} \right) \cdot 1,21 \cdot 10^2 \cdot \frac{(3,2 \cdot 10^{-2})^3}{1,125} =$$

$$= 4,19 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 / \text{с},$$

а проводимость электромагнитного клапана в этом режиме течения составит

$$U_{\text{м-в}}^{\text{кл}} = 9,2 \cdot 10^{-3} + \frac{9,7 \cdot 10^{-2} - 9,2 \cdot 10^{-3}}{41,6 - 0,624} \cdot (30,8 - 0,624) = 73,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

При этом проводимость всей магистрали при среднем по времени давлении 30,8 Па будет

$$\frac{1}{U_{\text{общ}}} = \frac{1}{4,19 \cdot 10^{-2}} + \frac{1}{73,8 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{2,67 \cdot 10^{-2}} \text{ с/м}^3,$$

или $U_{\text{общ}} = 2,67 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 / \text{с}.$

Быстрота действия насоса при этом среднем давлении определяется из рис.2.2 и составляет $S_n \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Тогда эффективная быстрота откачки равна

$$S_0 = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 2,67 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-3} + 2,67 \cdot 10^{-2}} \approx 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Рассчитывается длительность откачки в диапазоне давлений от 41,6 Па до 20 Па по формуле

$$t = \frac{V}{S_0} \ln \frac{P_{\text{нач}} - Q'_\Sigma / S_0}{P - Q'_\Sigma / S_0}, \quad (2.2)$$

где принимается $Q'_\Sigma = 0$.

Из (2.2) следует

$$t_{41,6 \rightarrow 20} = \frac{96 \cdot 10^{-3}}{4,2 \cdot 10^{-3}} \ln \frac{41,6}{20} = 16,7 \text{ с}.$$

3.2. В диапазоне давлений от 20 до 10 Па, то есть при среднем по времени давлении

$$\bar{P} = \frac{20 + 10}{2} = 15 \text{ Па},$$

проводимость трубопровода при $\ell_{\text{расч}} = 1,125 \text{ м}$ в молекулярно-вязкостном режиме течения будет

$$U_{\text{м-в}} = 1,36 \cdot 10^3 \frac{(3,2 \cdot 10^{-2})^4}{1,125} \cdot 15 + \left(\frac{1 + 1,9 \cdot 10^4 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 15}{1 + 2,35 \cdot 10^4 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 15} \right) \cdot 1,21 \cdot 10^2 \frac{(3,2 \cdot 10^{-2})^3}{1,125} =$$

$$= 2,13 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 \text{ \textbackslash с},$$

а электромагнитного клапана

$$U_{\text{м-в}}^{\text{кл}} = 9,2 \cdot 10^{-3} + \frac{9,7 \cdot 10^{-2} - 9,2 \cdot 10^{-3}}{41,6 - 0,624} \cdot (15 - 0,624) = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

При этом проводимость всей магистрали при среднем по времени давлении 15 Па будет

$$\frac{1}{U_{\text{ОБЩ}}} = \frac{1}{2,13 \cdot 10^{-2}} + \frac{1}{4 \cdot 10^{-2}} = \frac{1}{1,39 \cdot 10^{-2}} \text{ с/м}^3,$$

или $U_{\text{ОБЩ}} = 1,39 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$.

Быстрота действия насоса при этом среднем давлении определяется из рис.2.2 и составляет $S_{\text{Н}} \approx 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Тогда эффективная быстрота откачки равна

$$S_0 = \frac{4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,39 \cdot 10^{-2}}{4,5 \cdot 10^{-3} + 1,39 \cdot 10^{-2}} \approx 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Время откачки на этом участке рассчитывается по формуле (2.2) при $Q'_{\Sigma} = 0$ и составляет

$$t_{20 \rightarrow 10} = \frac{96 \cdot 10^{-3}}{3,4 \cdot 10^{-3}} \ln \frac{20}{10} = 19,6 \text{ с}.$$

3.3. В диапазоне давлений от 10 до 5,32 Па, то есть при среднем по времени давлении

$$\bar{P} = \frac{10 + 5,32}{2} = 7,66 \text{ Па},$$

проводимость трубопровода в молекулярном режиме течения будет

$$U_M = 1,36 \cdot 10^3 \frac{(3,2 \cdot 10^{-2})^4}{1,125} \cdot 7,66 + \left(\frac{1 + 1,9 \cdot 10^4 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 7,66}{1 + 2,35 \cdot 10^4 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 7,66} \right) \cdot 1,21 \cdot 10^2 \frac{(3,2 \cdot 10^{-2})^3}{1,125} =$$
$$= 12,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с},$$

а проводимость электромагнитного клапана в этом режиме течения

$$U_M^{кл} = 9,2 \cdot 10^{-3} + \frac{9,7 \cdot 10^{-2} - 9,2 \cdot 10^{-3}}{41,6 - 0,624} \cdot (7,66 - 0,624) = 2,43 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Проводимость всей магистрали при среднем по времени давлении 7,66 Па будет

$$\frac{1}{U_{\text{общ}}} = \frac{1}{12,56 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2,43 \cdot 10^{-2}} = \frac{1}{8,28 \cdot 10^{-3}} \text{ с} / \text{м}^3,$$

или $U_{\text{общ}} = 8,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}.$

Быстрота действия высоковакуумного насоса составляет $S_H \approx 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Тогда в этом случае эффективная быстрота откачки равна

$$S_0 = \frac{1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 8,28 \cdot 10^{-3}}{4,5 \cdot 10^{-3} + 8,28 \cdot 10^{-3}} \approx 1,34 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с} .$$

При расчете времени откачки на этом участке следует учитывать предельное остаточное давление, достигаемое в вакуумной системе

$$\frac{Q'_\Sigma}{S_0} = P_{\text{ост}} = \frac{Q'_{\text{газ}}}{S_0} + P_{\text{пред}} = \frac{2,43 \cdot 10^{-4}}{1,34 \cdot 10^{-3}} + 3,06 = 3,24 \text{ Па}.$$

Время откачки на этом участке рассчитывается по формуле (2.2) и составляет

$$t_{10 \rightarrow 5,32} = \frac{96 \cdot 10^{-3}}{1,34 \cdot 10^{-3}} \ln \frac{10 - 3,24}{5,32 - 3,24} = 82,6 \text{ с}.$$

3.4. Суммарная длительность откачки рабочей камеры технологической установки от атмосферного давления до $P = 5,32 \text{ Па}$ равна

$$t_\Sigma = 107,5 + 16,3 + 19,6 + 82,6 = 226 \text{ с}.$$