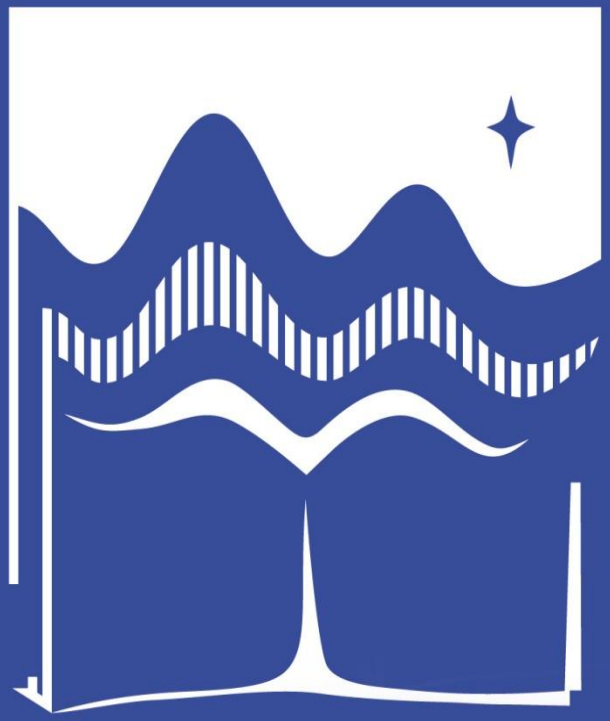

МАГУ

МУРМАНСКИЙ
АРКТИЧЕСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

МАГУ
МУРМАНСКИЙ АРКТИЧЕСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Аппараты воздухоснабжения

Практическая работа.

Расчет вакум-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	$P_{нач}$ 10^5, Па	$P_{кон}$, Па	$S_н$ 10^{-3}, $м^3/с$	$Q'_{газ}$ 10^{-4}, $м^3 \cdot Па/с$	$P_{пред.}$, Па	$U^{кл}_{в}$ 10^{-2}, $м^3/с$	$U^{кл}_{м}$ 10^{-3}, $м^3/с$	$ι_{факт}$
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

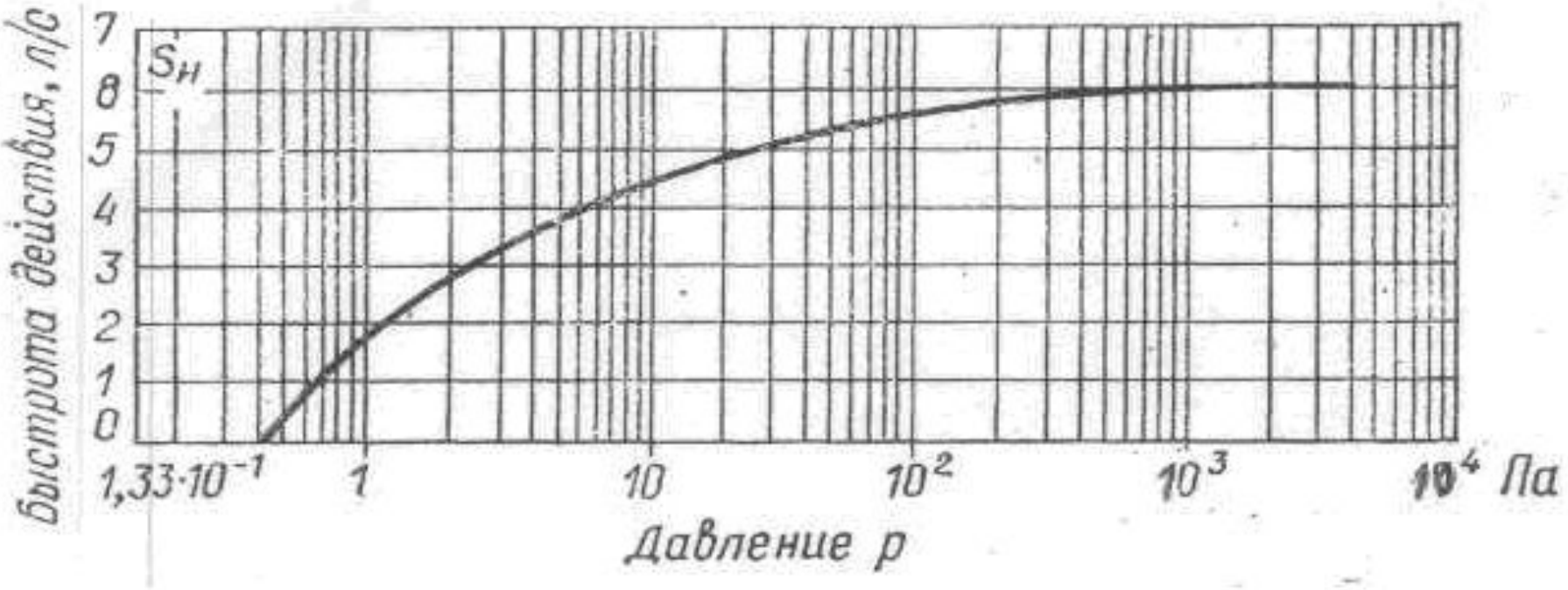

Рис.1.2. Зависимость быстроты действия $S_н$ от впускного давления Р для механического вакуумного насоса

Рис.1.2. Зависимость быстроты действия $S_н$ от впускного давления Р для механического вакуумного насоса

Пример расчета длительности откачки рабочей камеры технологической установки

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

Быстрота действия высоковакуумного насоса составляет $S_н \approx 1{,}6 \cdot 10^{-3}$ м^3/с. Суммарное газовыделение со стенок вакуумной системы составляет $Q'_{газ} = 2{,}43 \cdot 10^{-4}$ м^3·Па/с и постоянно по времени. Предельное остаточное давление механического вакуумного насоса $P_{пред} = 3{,}06$ Па (паспортные данные).

Проводимость электромагнитного клапана ДУ32 длиной ℓ = 120мм:

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

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

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

а) Граница между вязкостным и молекулярно-вязкостным режимами

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

б) Граница между молекулярно-вязкостным и молекулярными режимами

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

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

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

где S_0 – эффективная быстрота откачки, $м^3/с$;

V_Σ – суммарный объем рабочей камеры 1, соединительного патрубка 3 и затвора высоковакуумного насоса, $м^3$.

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

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

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

$$t_{1,01\cdot10^5\to41,6}=\frac{96}{5,8}\ln\frac{\left(1,01\cdot10^5\right)^{\frac{1}{1,2}}}{41,6^{\frac{1}{1,2}}}=107,5\text{с.}$$

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

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

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

$$U_{м-в}=1,36\cdot10^3\cdot\frac{\left(3,2\cdot10^{-2}\right)^4}{1,125}\cdot30,8+\left(\frac{1+1,9\cdot10^4\cdot3,2\cdot10^{-2}\cdot30,8}{1+2,35\cdot10^4\cdot3,2\cdot10^{-2}\cdot30,8}\right)\cdot1,21\cdot10^2\cdot\frac{\left(3,2\cdot10^{-2}\right)^3}{1,125}=$$

$$=4,19\cdot10^{-2}\text{м}^3/\text{с},$$

а проводимость электромагнитного клапана в этом режиме течения составит

$$U_{м-в}^{кл}=9,2\cdot10^{-3}+\frac{9,7\cdot10^{-2}-9,2\cdot10^{-3}}{41,6-0,624}\cdot\left(30,8-0,624\right)=73,8\cdot10^{-3}\text{м}^3/\text{с}.$$

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

$$\frac{1}{U_{ОБЩ}}=\frac{1}{4,19\cdot10^{-2}}+\frac{1}{73,8\cdot10^{-3}}=\frac{1}{2,67\cdot10^{-2}}\text{с}/\text{м}^3,$$

или Uобщ = 2,67·10^{-2} м^3/с.

Быстрота действия насоса при этом среднем давлении определяется из рис.2.2 и составляет $S_н \approx 5\cdot10^{-3}$ м^3/с. Тогда эффективная быстрота откачки равна

$$S_0 = \frac{5\cdot10^{-3}\cdot2{,}67\cdot10^{-2}}{5\cdot10^{-3}+2{,}67\cdot10^{-2}} \approx 4{,}2\cdot10^{-3}\text{м}^3/\text{с}.$$

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

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

где принимается $Q'_\Sigma = 0$.

Из (2.2) следует

$$t_{41,6\to20} = \frac{96\cdot10^{-3}}{4{,}2\cdot10^{-3}}\ln\frac{41{,}6}{20} = 16{,}7\text{с}.$$

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

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

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

$$U_{м-в} = 1{,}36\cdot10^3\frac{\left(3{,}2\cdot10^{-2}\right)^4}{1{,}125}\cdot15 + \left(\frac{1+1{,}9\cdot10^4\cdot3{,}2\cdot10^{-2}\cdot15}{1+2{,}35\cdot10^4\cdot3{,}2\cdot10^{-2}\cdot15}\right)\cdot1{,}21\cdot10^2\frac{\left(3{,}2\cdot10^{-2}\right)^3}{1{,}125} =$$

$$= 2{,}13\cdot10^{-2}\text{м}^3 \setminus \text{с},$$

а электромагнитного клапана

$$U^{кл}_{м-в} = 9{,}2\cdot10^{-3} + \frac{9{,}7\cdot10^{-2} - 9{,}2\cdot10^{-3}}{41{,}6-0{,}624}\cdot\left(15-0{,}624\right) = 4\cdot10^{-2}\text{м}^3/\text{с}.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

проводимость трубопровода в молекулярном режиме течения будет

$$U_м = 1{,}36 \cdot 10^3 \frac{\left(3{,}2 \cdot 10^{-2}\right)^4}{1{,}125} \cdot 7{,}66 + \left(\frac{1 + 1{,}9 \cdot 10^4 \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-2} \cdot 7{,}66}{1 + 2{,}35 \cdot 10^4 \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-2} \cdot 7{,}66} \right) \cdot 1{,}21 \cdot 10^2 \frac{\left(3{,}2 \cdot 10^{-2}\right)^3}{1{,}125} =$$

$$= 12{,}56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \setminus \text{с},$$

а проводимость электромагнитного клапана в этом режиме течения

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

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

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

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

Быстрота действия высоковакуумного насоса составляет $S_н \approx 1{,}6 \cdot 10^{-3}$ м^3/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

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

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

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

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

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