

3. Прихожий, А. А. Новые разложения булевых функций по операции исключающее или в системах логического проектирования. Системный анализ и прикладная информатика. – 2014, № 1-3. – С. 9–16.

4. Prihozhy, A. A. Synthesis of parallel adders from if-decision diagrams. System Analysis and Applied Information Science, 2020, No 2, pp. 61–70.

5. Prihozhy, A. A. Synthesis of quantum circuits based on incompletely specified functions and if-decision diagrams, Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics, 2021, Volume 3, pp. 84–97.

УДК 621.521

### **Выбор откачных средств для вакуумных камер большого объема**

**Савчук Д. О., магистрант**

*Белорусский национальный технический университет*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент Босяков М. Н.*

Аннотация:

В данной статье приводится методика расчета и подбора откачных средств для крупногабаритных рабочих камер установок ионного азотирования.

Вакуумные камеры имеют широкое применение в различных отраслях промышленности, поэтому для обеспечения их стабильной работы важен правильный выбор откачных средств, которые напрямую влияют на производительность.

Особенности вакуумных камер большого объема заключаются в необходимости быстрого и эффективного удаления значительных объемов воздуха и технологических газов. Это требует применения таких систем откачки, которые будут способны обеспечить требуемый уровень вакуума в минимальные сроки при максимальной энергоэффективности.

В качестве примера рассмотрим вакуумную камеру установки ионного азотирования со следующими габаритами: диаметр – 3500 мм, длина – 10000 мм (рисунок 1). В данной камере будет происходить процесс ионно-плазменного азотирования крупногабаритных штампов общей массой до 20 тонн (рисунок 2). Продолжительность данного процесса обычно занимает до 50 часов (рисунок 2). Проанализировав только эти данные, можем сделать вывод, что на процесс откачки можно затратить около 1 часа, что составит лишь 2 % от общего времени цикла, включающего разогрев, выдержку и остывание. Предельное давление, до которого требуется откачать вакуумную камеру, составляет  $p_2 = 30$  Па.

Для выбора откачных средств зададимся таким параметром, как эффективная скорость откачки и определим ее по формуле 1:

$$S_{\text{эф}} = \frac{V}{\tau} \ln \frac{p_1}{p_2}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем вакуумной камеры;  
 $p_1, p_2$  – рабочие давления;  
 $\tau$  – время откачки вакуумной камеры.

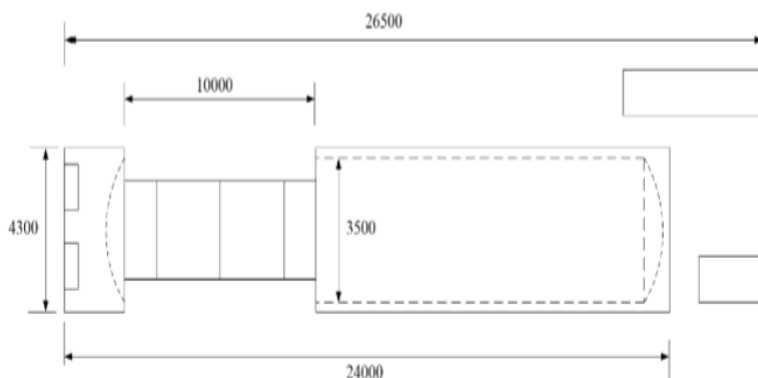


Рис. 1. Габаритные размеры вакуумной камеры

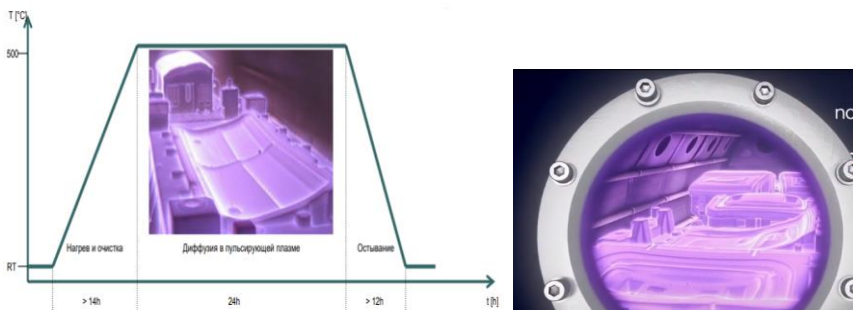


Рис. 2. Процесс ионно-плазменного азотирования крупногабаритных штампов

Объем вакуумной камеры рассчитаем по формуле 2:

$$V = 0,785 \cdot D^2 \cdot H, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр вакуумной камеры, м;  
 $H$  – высота вакуумной камеры, м.

$$V = 0,785 \cdot 3,5^2 \cdot 10 = 96,2(\text{м}^3).$$

$$S_{\text{эф}} = \frac{96,2}{3600} \ln \frac{10^5}{30} = 0,094 \left( \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right).$$

Выразим скорость откачки насоса через коэффициент использования (формула 3):

$$K_{\text{и}} = \frac{S_{\text{эф}}}{S_{\text{н}}}, \quad (3)$$

где,  $S_{\text{н}}$  – скорость откачки насоса;  
 $K_{\text{и}}$  – коэффициент использования насоса (примем  $K_{\text{и}} = 0,8$ ).  
 Тогда:

$$S_{\text{н}} = \frac{S_{\text{эф}}}{K_{\text{и}}} = \frac{0,094}{0,8} = 0,1175 \left( \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right).$$

Так как камера используется для процесса азотирования, то лучше всего выбирать сухие насосы из-за их устойчивости к агрессивным средам. Так, например, винтовой насос серии GXS 750 предварительно подходит по рассчитанным параметрам. График скорости его откачки представлен на рисунке 3.

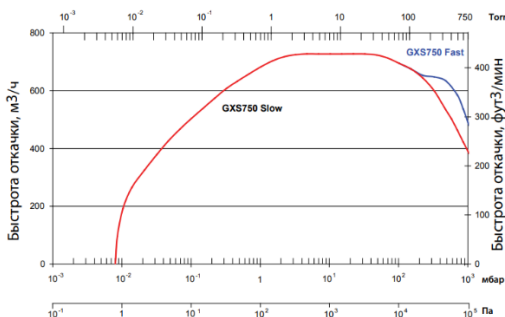


Рис. 3. График скорости откачки насоса GXS 750

Проведем расчет системы в нестационарном режиме течения газа.

Примем, что режим течения газа по трубопроводу вязкостный. Тогда внутренний диаметр трубопровода, обеспечивающий вязкостный режим течения газа, найдем из соотношения:

$$p_2 \cdot d \geq 1,33 \text{ Па.}$$

Следовательно,

$$d \geq \frac{1,33}{p_2} \geq \frac{1,33}{30} \geq 0,044 \text{ м.}$$

Входной патрубок выбранного насоса равен 100 мм, что подходит под наше условие. Тогда диаметр трубопровода выбираем таким же, как и входной патрубок насоса, а длину трубопровода примем  $l = 3$  м.

Рассчитаем проводимость магистрали и эффективную скорость откачки, разбив весь интервал давлений на отдельные диапазоны:

1. Диапазон давлений  $p_1 = 10^5 - p_2 = 10^4$ :

$$U_{\text{ТВ}} = 1360 \cdot \frac{d^4 p_1 + p_2}{l \cdot 2} = 1360 \cdot \frac{0,1^4}{3} \cdot \left( \frac{10^5 + 10^4}{2} \right) =$$

$$= 2493,3 \frac{\text{М}^3}{\text{с}}.$$

Эффективная скорость откачки на этом диапазоне давлений составит:

$$S_0 = \frac{0,17 \cdot 2493,3}{0,17 + 2493,3} = 0,17 \text{ М}^3/\text{с}.$$

Тогда время откачки составит:

$$\tau = \frac{96,2}{0,17} \ln \frac{10^5}{10^4} = 565,9 \text{ с} = 9,43 \text{ мин}.$$

Сведем результаты расчетов в табл.1.

Таблица 1 – Результаты расчетов в нестационарном режиме течения газа

Диапазон давлений, Па	Проводимость магистрали, М <sup>3</sup> /с	Эффективная скорость откачки, М <sup>3</sup> /с	Время откачки, мин
10 <sup>5</sup> – 10 <sup>4</sup>	2493,3	0,17	9,43
10 <sup>4</sup> – 10 <sup>3</sup>	249,3	0,21	7,6
10 <sup>3</sup> – 10 <sup>2</sup>	24,9	0,19	23,1
10 <sup>2</sup> – 30	2,9	0,15	5,6

Общее время откачки составит:

$$\tau = 9,43 + 7,6 + 23,1 + 5,6 = 46 \text{ мин}.$$

Так же следует отметить, что данный расчет проведен для «идеальных» условий, т.е. когда система не усложнена переходниками, клапанами или затворами и т.п.

Теперь проведем расчет системы в стационарном режиме течения газа. Допустим, что при протекании процесса упрочняющей

обработки рабочее давление в камере  $p_1 = 150$  Па, а расход газовой смеси составляет  $Q = 200 \frac{\text{л}}{\text{ч}}$ .

Эффективную быстроту действия найдем из соотношения 4:

$$G_{\Gamma} = P_p \cdot S_{\text{эф}}, \quad (4)$$

где  $G_{\Gamma}$  – расход газа при атмосферном давлении;

$P_p$  – рабочее давление;

$S_{\text{эф}}$  – эффективная быстрота действия.

$$G_{\Gamma} = P_{\text{атм}} \cdot Q = 10^5 \cdot 0,0000556 = 5,56 \frac{\text{м}^3 \text{Па}}{\text{с}}$$

Найдем эффективную быстроту действия:

$$S_{\text{эф}} = \frac{Q}{P_p} = \frac{5,56}{150} = 0,0371 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 37,1 \text{ л/с}.$$

Из графика зависимости быстроты действия насоса от давления (рисунок 4) видно, что выбранный насос обеспечит заданные параметр, а следовательно, и подобран, верно. Однако, учитывая достаточно большую мощность электродвигателя данного насоса и тот факт, что в стационарном режиме высокая производительность не требуется, можно использовать, например, откачной агрегат АВД 150/25, у которого суммарная мощность электродвигателей составляет лишь 3,3 кВт, а не 10, как у GXS 750. График зависимости быстроты откачки данного агрегата представлен на рисунке 5.

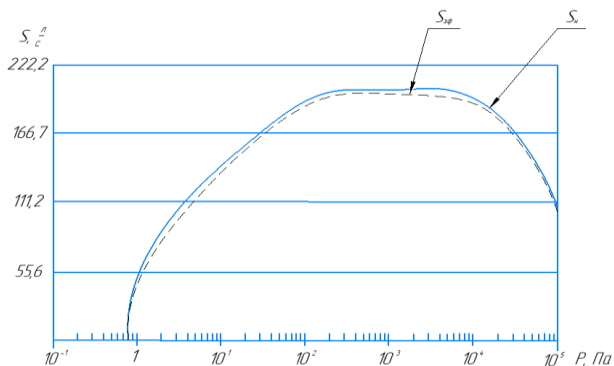


Рис. 4. Графика зависимости быстроты действия насоса GXS 750 от давления

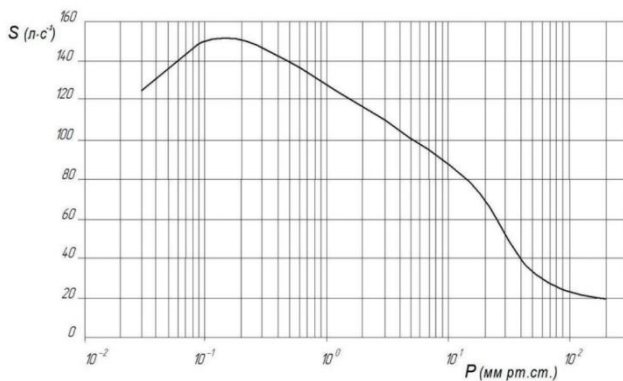


Рис. 5. Графика зависимости быстроты откачки вакуумного агрегата АДВ 150/25 от давления

Заключение. В данной работе был проведен расчет и подбор откачных средств для крупногабаритных вакуумных камер (объемом около  $100 \text{ м}^3$ ). Результаты расчетов подтвердили, что винтовой насос GXS 750 обеспечивает высокую производительность для быстрого достижения требуемого вакуума. В стационарном режиме, учитывая более низкие требования к производительности, рекомендуется применить вакуумный агрегат АДВ 150/25 для оптимизации энергосбережения.