

К.Е. Демихов, А.А. Очков

**МЕТОД РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ ОТКАЧНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНОГО
ВАКУУМНОГО НАСОСА**

Приведены результаты расчета оптимальной характеристики вакуумного турбомолекулярного насоса (ТМН), обеспечивающего заданную быстроту откачки в широком диапазоне давлений на стороне всасывания. Представлены рекомендации по проектированию ТМН, работающего в том числе в области сверхвысокого вакуума.

E-mail: kdemikhov@yandex.ru

Ключевые слова: *высоковакуумный механический насос, откачная характеристика, быстрота откачки, давление всасывания, газоразделение.*

Турбомолекулярные насосы (ТМН) относятся к группе высоковакуумных средств откачки. Среди их основных преимуществ можно выделить относительно высокие значения скорости откачки в достаточно широком диапазоне давлений по различным газам, практически отсутствие загрязнений откачиваемого объема органическими соединениями и относительно малые габаритные размеры.

ТМН достаточно широко применяются в вакуумной технике. На основании теоретических и экспериментальных исследований создана теория процессов в рабочих полостях ТМН, проверенные методы расчетов их оптимальных параметров, разработана и внедрена отечественная система автоматизированного проектирования высоковакуумных механических насосов (к ним относятся и ТМН). Значительный вклад в развитие и разработки внесли исследования, выполненные в МГТУ им. Н.Э. Баумана [1].

В современных условиях весьма актуальным требованием, предъявляемым к разработке перспективных средств откачки, является оптимизация их основных параметров. Разработанные методы расчета ТМН [1, 2] позволяют определять оптимальные характеристики для заданных параметров откачки – скорости откачки S_n и давления p газа на стороне всасывания. Как показали результаты расчетов, при изменении текущего значения p оптимальные параметры ТМН также изменяются. Это связано с тем, что, например, при увеличении p в проточной части насоса могут изменяться режимы течения газа. Известно, что при переходе от номинального молекулярного режима течения газа к молекулярно-вязкостному, и тем более вяз-

костному, режиму откачки параметры рабочих колес ТМН и соответственно насоса в целом ухудшаются.

Поэтому при обеспечении заданного значения быстроты откачки неизбежно возрастают размеры межлопаточных каналов колес ТМН, параметры колес и их число в проточной части.

При уменьшении же значения p возрастают газовыделения с поверхности корпуса насоса, рабочих колес, что существенно влияет на основные параметры откачки.

Так, необходимое расчетное значение быстроты откачки насоса

$$S_{н.р} = S_{н} + \frac{Q_{газ.вс}}{p_1}, \quad (1)$$

где $S_{н}$ – необходимое значение быстроты откачки в соответствии с техническим заданием; $Q_{газ.вс}$ – поток газа, выделяемого с поверхностей насоса на стороне всасывания при давлении всасывания p_1 .

Создаваемая при этом степень повышения давления в рабочем колесе

$$\tau = \tau_{max} - \frac{S_{н.р}}{S_{max}}(\tau_{max} - 1), \quad (2)$$

где τ_{max} – максимальная степень повышения давления газа на рабочем колесе; S_{max} – максимальная быстрота откачки колеса.

Таким образом, наличие дополнительной нагрузки на насос в виде потока газовыделений на стороне всасывания рабочих колес в проточной части ТМН приводит к уменьшению полезной (реально создаваемой) быстроты откачки и в определенной мере к снижению степени повышения давлений на колесе и в насосе в целом. Как следствие, при расчете ТМН на заданные откачные параметры необходимо закладывать бóльшие значения быстроты откачки (чем это необходимо) и степени повышения давлений.

В табл. 1 приведены расчетные значения быстроты откачки $S_{н}$ при определенных давлениях p на стороне всасывания.

Таблица 1

Оптимальные параметры откачки ТМН

Заданное значение $S_{н}$, м ³ /с	Расчетные значения быстроты откачки $S_{н.р}$, м ³ /с, при p_1 , Па		
	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$
0,5	0,5	0,53	1,0
1,0	1,0	1,05	2,0
2,0	2,0	2,1	4,0
2,5	2,51	2,63	5,0
5,0	5,02	5,26	10,0

При расчете для заданного значения быстроты откачки S_n и выбранного значения давления p газа на стороне всасывания определялись оптимальные параметры проточной части насоса (с помощью разработанных в МГТУ им. Н.Э. Баумана методов расчета оптимальных характеристик ТМН [1]), которые гарантировали бы обеспечение заданных параметров. Критерием оптимальности при этом служило значение условного объема проточной части ТМН

$$A = \frac{\pi}{4} D_2^2 N, \quad (3)$$

где D_2 – наружный диаметр колеса; N – число колес в проточной части.

Цель расчета – определение минимального значения условного объема A_{\min} . Материал колес – алюминиевый сплав, давление газа на стороне нагнетания составляло 0,1 Па.

Как следует из табл. 1, расчетное значение $S_{n,p}$ ТМН, обеспечивающего заданные параметры S_n и p , возрастает, причем чем ниже давление p газа на стороне всасывания, тем степень роста $S_{n,p}$ выше, особенно для ТМН с более высокими значениями S_n . Это обусловлено существенным влиянием газовыделений на основные характеристики насоса.

Для более детального исследования проведены расчеты оптимальных параметров ТМН при изменении потоков газовыделений с внутренней поверхности насосов. Удельный поток газовыделений для алюминиевых сплавов $q = (4...9) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов

Удельный поток газовыделений q , $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Расчетные значения быстроты откачки $S_{n,p}$, $\text{м}^3/\text{с}$, при p_1 , Па		
	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$
$1 \cdot 10^{-6}$	0,5/5,00	0,508/5,05	0,57/5,53
$3 \cdot 10^{-6}$	0,5/5,00	0,515/5,12	0,675/6,5
$6,67 \cdot 10^{-6}$	0,5/5,02	0,53/5,26	1,00/10,0

Примечание. В числителе приведены значения $S_{n,p}$ для ТМН с $S_n = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, в знаменателе – для ТМС с $S_n = 5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Как следует из данных табл. 2, даже при относительно малом изменении q расчетные значения $S_{n,p}$ возрастают, причем более существенно при уменьшении давления p .

На основании анализа расчетных данных, представленных в табл. 2, предложена эмпирическая зависимость для оценки влияния удельного потока газовыделений на расчетную быстроту откачки $S_{n,p}$ ТМН:

$$S_{н,р} = (aq^2 + bq + c)S_n, \quad (4)$$

где a , b , c – эмпирические коэффициенты, $a = 12,7 \text{ с}^2/(\text{м}^2 \cdot \text{Па}^2)$, $b = 5,4 \cdot 10^4 \text{ с}/(\text{м} \cdot \text{Па})$, $c = 1,02$. Максимальная погрешность расчетов с помощью данной зависимости составляет менее 5 %.

В заключение отметим, что при проектировании ТМН с оптимизацией основных параметров необходимо уделить должное внимание проблеме снижения газовыделений с внутренних поверхностей насоса (за счет выбора соответствующих материалов, возможности реализации технологий вакуумной гигиены). Рекомендуемое значение удельного потока газовыделений $q < 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{Па}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. В соответствии с результатами расчетов для оптимизации параметров ТМН наиболее приемлемым является диапазон давлений на стороне всасывания $p = 1 \cdot 10^{-1} \dots 1 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакуумная техника: справочник / К.Е. Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К. Никулин и др./ под общей ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2009. – 590 с.
2. Демихов К. Е., Никулин Н. К. Оптимизация высоковакуумных механических насосов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 255 с.

Статья поступила в редакцию 14.09.2012