

## Программное обеспечение оптимизации основных параметров турбомолекулярных вакуумных насосов

© К.Е. Демихов, А.А. Очков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Оптимизация параметров любого технического объекта требует наличия достаточного обеспечения в виде математических моделей, описывающих рабочие процессы, протекающие в них, а также программ расчетов. Это обстоятельство становится тем более существенным, когда оптимизация реализуется по нескольким критериям оптимальности.*

*В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан целый комплекс математических моделей и методов расчета турбомолекулярных вакуумных насосов (ТМН), представляющих собой достаточное математическое обеспечение расчета оптимальных параметров и характеристик ТМН. Однако программы расчета, созданные на этой базе, не могут быть формализованы на современной вычислительной технике. Поэтому разработка адекватных программ расчета оптимальных параметров и характеристик турбомолекулярных вакуумных насосов является актуальной проблемой для разработок современных высоковакуумных механических насосов.*

*В статье рассматривается созданное новое программное обеспечение, алгоритмы расчета оптимальных параметров ТМН, приведены некоторые результаты расчетов. Проанализированы варианты применения различных конструктивных схем проточной части ТМН, даны практические рекомендации.*

**Ключевые слова:** турбомолекулярный насос, проточная часть, быстрота откачки, давление газа, оптимизация, критерий оптимальности, программное обеспечение, блок-схема.

Турбомолекулярные вакуумные насосы (ТМН) традиционно относятся к группе высоковакуумных средств откачки, среди которых они по праву занимают одну из лидирующих позиций благодаря целому ряду преимуществ: относительно высокие значения быстроты откачки в широком диапазоне давлений по различным газам; практически не являются источниками загрязнения откачиваемого объема органическими соединениями; относительно малые габаритные размеры и некоторые другие достоинства [1–3].

В современных условиях весьма актуальным требованием, предъявляемым к разработке перспективных средств откачки, является оптимизация их основных параметров. Созданное программное обеспечение (ПО) позволяет провести расчет основных параметров ТМН с использованием таких управляемых параметров, как:  $\alpha$  — угол наклона межлопаточного канала,  $a/b$  — относительная ширина канала,  $\lambda$  — относительная его высота [4, 7, 8].

Разработанное авторами программное обеспечение дает возможность обеспечить оптимизацию по двум критериям: минимальное число колес и минимальный условный объем проточной части [3, 4, 7]:

$$A = \frac{\pi}{4} D_{2\text{опт}}^2 N_{\text{опт}}, \quad (1)$$

где  $D_{2\text{опт}}$  и  $N_{\text{опт}}$  — соответственно диаметр рабочего колеса и число колес в пакете, обеспечивающие минимальный условный объем проточной части.

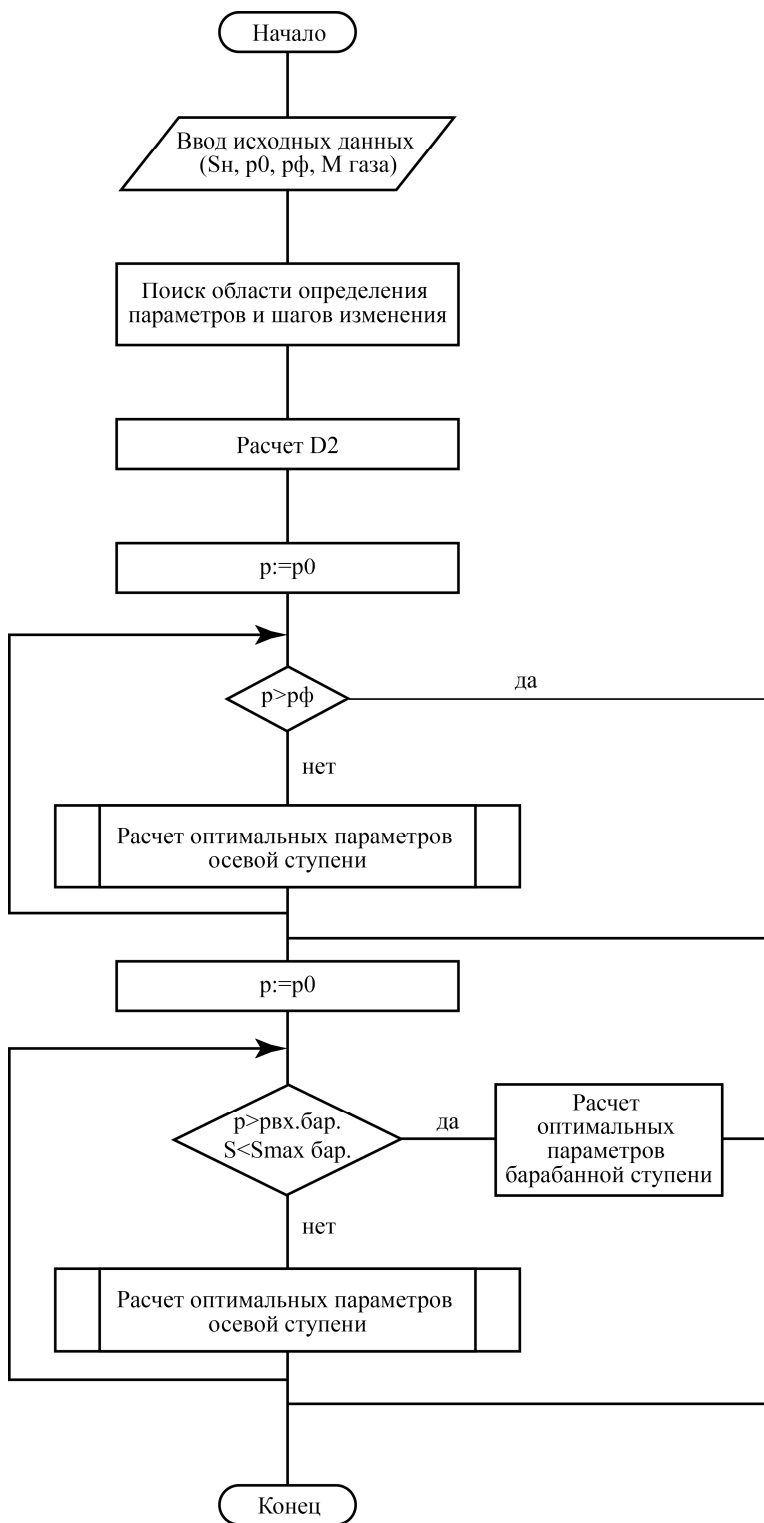
Созданное программное обеспечение также позволяет рассчитать оптимальные параметры ТМН с использованием как традиционной, так и составной проточной части (СПЧ) с применением осевых и барабанных ступеней. Использование СПЧ данного типа позволяет улучшить большую часть критериев, с помощью которых определяется эффективность насоса, а также приводит к уменьшению проточной части насоса, причем, чем больше быстрота действия проектируемого насоса, тем больше выигрыш в уменьшении основных габаритных размеров.

Между тем задача оптимизации ТМН усложняется при использовании их в широком диапазоне давлений на стороне всасывания [5, 6, 9, 10]. Это связано с тем, что при увеличении давления 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, вязкостному режимам откачные параметры рабочих колес ТМН и, соответственно, насоса существенно ухудшаются. При уменьшении же значения давления газа  $p$  возрастают газовыделения с поверхности корпуса насоса, рабочих колес, что оказывает существенное влияние на основные параметры откачки.

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 колес и насоса в целом [9–11]. Как следствие, при расчете ТМН на заданные откачные параметры необходимо закладывать повышенные значения быстроты откачки (чем необходимо) и степени повышения давлений.

Разработанные авторами методология и программы расчета позволяют рассчитать оптимальную конструкцию насоса с быстротой насоса больше заданной по условию, причем обеспечивается минимальная разница между ними.

На рисунке изображена блок-схема ПО оптимизации основных параметров ТМН. На начальном этапе реализуется ввод исходных данных: быстроты действия насоса, значения начального и конечного давления ТМН, наименование газа.



Блок-схема программного обеспечения оптимизации основных параметров турбомолекулярных вакуумных насосов

На следующем этапе формируется область определения основных параметров и шагов изменения регулируемых параметров: угла наклона лопатки, относительной высоты и ширины.

Затем из условий прочности производится расчет наружного диаметра рабочего колеса ТМН  $D_2$ . Зная диаметр рабочего колеса, в соответствии с геометрией можно рассчитать основные параметры барабанных ступеней, максимальный пропускаемый барабанной ступенью поток газа, общую степень повышения давления, создаваемого барабанной ступенью.

На завершающем этапе последовательно проводится расчет оптимальной проточной части ТМН, состоящей только из осевых ступеней, по двум критериям оптимальности (минимальное число колес, минимальный условный объем проточной части), а также составной проточной части, включающей осевые и барабанные ступени.

Далее в качестве примера приведены некоторые результаты расчета для азота в диапазоне давлений  $10^{-4} \dots 10^{-1}$  Па по критерию оптимальности — минимальное число колес (табл. 1, 2).

Таблица 1

**Результаты расчета оптимальной проточной части ТМН,  
состоящей только из осевых ступеней**

$S, \text{ м}^3/\text{с}$	$D_2, \text{ мм}$	$\alpha$	$a/b$	$\lambda$	Общее число колес
0,5	165	45	1,0	0,60	9
		40	0,8	0,65	
		35	0,6	0,70	
		30	0,4	0,75	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
1,5	285	45	1,0	0,60	9
		40	0,8	0,65	
		35	0,6	0,70	
		30	0,4	0,75	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	

Окончание табл. 1

$S_2, \text{м}^3/\text{с}$	$D_2, \text{мм}$	$\alpha$	$a/b$	$\lambda$	Общее число колес
		25	0,4	0,80	
5	515	45	1,0	0,60	9
		40	0,8	0,65	
		35	0,6	0,70	
		30	0,4	0,75	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
15	890	45	1,0	0,60	9
		40	0,8	0,65	
		35	0,6	0,70	
		30	0,4	0,75	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	
		25	0,4	0,80	

Таблица 2

**Результаты расчета оптимальной проточной части ТМН,  
состоящей из осевых и барабанных ступеней**

$S, \text{м}^3/\text{с}$	$D_2, \text{мм}$	$\alpha$	$a/b$	$\lambda$	Общее число колес
0,5	165	Осевые			8
		45	1,0	0,60	
		40	0,8	0,65	

$S, \text{ м}^3/\text{с}$	$D_2, \text{ мм}$	$\alpha$	$a/b$	$\lambda$	Общее число колес	
0,5	165	Осевые				8
		35	0,6	0,70		
		30	0,4	0,75		
		25	0,4	0,80		
		25	0,4	0,80		
		25	0,4	0,80		
		Барабанные				7
		45	1,2			
1,5	285	Осевые				7
		45	1,0	0,60		
		40	0,8	0,65		
		35	0,6	0,70		
		30	0,4	0,75		
		25	0,4	0,80		
		25	0,4	0,80		
		25	0,4	0,80		
Барабанные				12		
45	1,2					
5	515	Осевые				7
		45	1,0	0,60		
		40	0,8	0,65		
		35	0,6	0,70		
		30	0,4	0,75		
		25	0,4	0,80		
		25	0,4	0,80		
		25	0,4	0,80		
Барабанные				11		
45	1,2					
15	890	Осевые				6
		45	1,0	0,60		

Окончание табл. 2

$S$ , м <sup>3</sup> /с	$D_2$ , мм	$\alpha$	$a/b$	$\lambda$	Общее число колес	
15	890	Осевые				6
		40	0,8	0,65		
		35	0,6	0,70		
		30	0,4	0,75		
		25	0,4	0,80		
		25	0,4	0,80		
		Барабанные				
		45	1,2			19

Сравнив результаты расчетов, выполненных с использованием разработанной программы, можно сделать следующий вывод: по выбранному критерию оптимальности (минимальное число колес) предпочтительнее является схема с использованием в проточной части осевых рабочих колес. Однако данный критерий оптимальности не всегда может удовлетворить запросы разработчиков. Если в данном случае учитывать другой критерий оптимальности (минимальная величина условного объема проточной части), то результаты сравнения могут быть иные. Поэтому при проектировании насосов необходимо учитывать конкретные требования, предъявляемые к разрабатываемому насосу с точки зрения соответствующего критерия оптимальности.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Демихов К.Е., Никулин Н.К. *Оптимизация высоковакуумных механических насосов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 255 с.
- [2] *Вакуумная техника. Справочник*. Демихов К.Е., Панфилов Ю.В., ред. Москва, Машиностроение, 2009, 590 с.
- [3] Демихов К.Е. Особенности оптимизации проточной части высоковакуумных механических насосов в широком диапазоне давлений. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение*, 2012, № 3, с. 80–86.
- [4] Демихов К.Е., Очков А.А. Метод расчета оптимальной откачной характеристики турбомолекулярного вакуумного насоса. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение*, 2012, вып. 7, с. 21–24.
- [5] Демихов К.Е., Никулин Н.К. Высоковакуумная откачка направленных потоков газа. *Известия вузов. Серия Машиностроение*, 2011, № 11, с. 28–32.
- [6] Демихов К.Е., Никулин Н.К., Свичкарь Е.В. Расчет параметров течения газа в тонких каналах с подвижной стенкой. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение*, 2009, № 4, с. 19–27.
- [7] Демихов К.Е., Куликова Т.В. Исследование параметров откачных характеристик молекулярного вакуумного насоса. *Конверсия в машиностроении*, 2007, № 4–5, с. 81–84.

- [8] Bernhard K. Calculation of pumping speed of turbo-molecular vacuum pump by means of simple mechanical data. *Vacuum Science and Technology*, 1983, vol. 1 (2), p. 136–139.
- [9] Chu Y., Hua Z. The statistical theory of turbo-molecular pumps. *Adv.VVST*, 1982, vol. 20 (4), p. 1101–1104.
- [10] Fustoss L. Monte-Carlo calculation for free molecular and near-free molecular flow through axially symmetric tubes. *Vacuum*, 1981, vol. 31, N 6, pp. 243–246.
- [11] Henning H., Knorr G. New series of air-cooled turbo-molecular pumps for industry and research to be mounted in any position. *Vacuum Technik*, 1981, Bd. 30. Y. N.Y., S. 98–101.

Статья поступила в редакцию 31.05.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Демихов К.Е., Очков А.А. Программное обеспечение оптимизации основных параметров турбомолекулярных вакуумных насосов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 5. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/vacuum/750.html>

**Демихов Константин Евгеньевич** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, заслуженный деятель науки Российской Федерации. Автор более 170 научных работ.

**Очков Андрей Андреевич** — студент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 4-х публикаций. e-mail: [aockhov@rambler.ru](mailto:aockhov@rambler.ru)