

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ФОРВАКУУМНОГО НАСОСА ДЛЯ ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ТРЕБУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОТКАЧКИ

К.Е. Демихов

ked@bmstu.ru

А.А. Очков

aochkov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Приведены результаты исследования влияния параметров форвакуумного насоса на параметры откачки турбомолекулярного вакуумного насоса. На основании разработанной авторами программы расчета впервые получены данные о взаимном влиянии их откачных характеристик, позволяющие выбирать конкретные виды насосов при условии обеспечения оптимальных параметров всей откачной системы. Даны рекомендации по определению соотношения максимальных значений быстроты действия форвакуумного и турбомолекулярного вакуумных насосов

Ключевые слова

Быстрота действия, давление всасывания, откачная характеристика, проточная часть

Поступила в редакцию 06.10.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Турбомолекулярные вакуумные насосы (ТМН), широко применяемые в настоящее время, традиционно относят к категории высоковакуумных средств откачки, в проточной части которых обеспечивается в основном молекулярный режим течения газа [1–3]. При этом одним из весомых преимуществ таких насосов является возможность поддержания рабочих параметров откачки в достаточно широком диапазоне давлений газа, когда при повышенных давлениях в ступенях на стороне нагнетания имеет место существенное нарушение молекулярного режима течения. Все это неизбежно приводит к снижению параметров откачки в этих ступенях: уменьшению создаваемых быстроты откачки S и степени повышения давлений τ . Поэтому в целях компенсации этого явления при определении параметров пакета колес ТМН приходится либо увеличивать необходимое их число, либо завышать геометрические размеры проточной части. Все это приводит к ощутимому росту массогабаритных параметров насоса.

Имеется также вариант решения данной проблемы, связанный с увеличением параметров откачки форвакуумного насоса (ФН), работающего совместно с данным ТМН.

Как показали результаты проведенных исследований [1], при увеличении быстроты откачки $S_{\text{ф}}$ ФН возможно повышение быстроты действия $S_{\text{н}}$ ТМН в области относительно высоких значений давления всасывания p .

При этом имеет место как бы определенное перераспределение нагрузки в процессе откачки между высоковакуумным и форвакуумным насосами в соста-

ве вакуумной системы откачки. В некоторых условиях это могло привести к снижению удельного веса высоковакуумных насосов и к ухудшению параметров откачки.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана авторами настоящей статьи выполнены исследования влияния параметров ФН на откачные характеристики ТМН в целях оптимизации структуры вакуумной системы при условии обеспечения заданных параметров откачки.

Была разработана программа расчета оптимальных значений основных параметров проточной части ТМН и оптимальных характеристик ФН, позволяющих обеспечить заданные параметры откачки на стороне всасывания ТМН, работающих в широком диапазоне давлений всасывания. Критерием оптимальности при этом выбрано минимальное значение требуемой быстроты откачки ФН. Блок-схема программы расчета приведена на рис. 1.

На начальном этапе вводятся исходные данные: диапазон рабочих давлений ТМН (p_1, \dots, p_2), начальные значения давления $p_{\text{ф}0}$ и быстроты откачки $S_{\text{ф}0}$ ФН, принимаемого при расчете, быстрота действия $S_{\text{н}}$ ТМН. На следующем шаге выполняется расчет оптимальных параметров проточной части ТМН на заданные параметры, а также ввод шагов изменения быстроты откачки и давления ФН ($dS_{\text{ф}}, dp_{\text{ф}}$). Основным этапом разработанной программы расчета является определение оптимальных параметров ФН для заданного диапазона рабочих давлений ТМН. Начиная с исходных значений быстроты откачки и давления ФН, выполняется расчет давления всасывания p ТМН. Если $p < p_1$, расчет останавливается, в противном же случае проводится увеличение быстроты откачки ФН на заданный шаг ее изменения, если по-прежнему $p > p_1$, то давление ФН уменьшается на значение заданного шага во всем диапазоне его изменения, определенном ранее. При этом значение быстроты откачки ФН остается неизменным до тех пор, пока давление ФН не выйдет за границы диапазона его изменения, заданного в начале программы. Параметры ФН для давления p_2 на стороне всасывания ТМН рассчитываются аналогичным образом.

Результаты расчетов основных параметров ФН, необходимых для обеспечения заданных откачных характеристик ТМН с оптимальными параметрами, представлены в таблице. В качестве критерия оптимальности в данных расчетах был выбран условный объем проточной части ТМН [3]:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 N,$$

где D — наружный диаметр рабочих колес; N — число колес в пакете проточной части.

В процессе расчета обеспечивалась минимизация значения A для заданных параметров откачки.

Как показали результаты исследований [3], наиболее приемлемым диапазоном давлений всасывания для современных ТМН является $p = 10^{-6} \dots 10^{-1}$ Па.

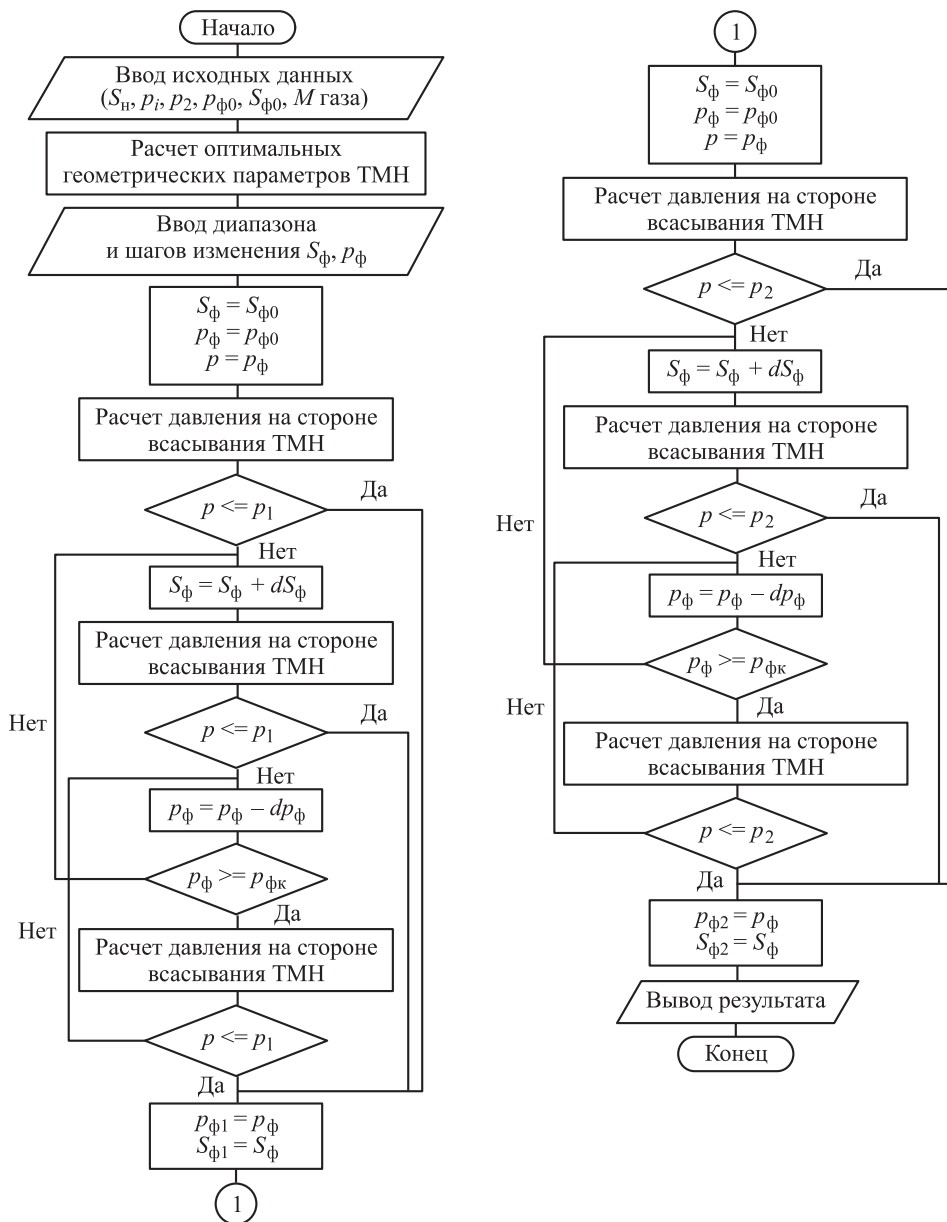


Рис. 1. Блок-схема программы расчетов оптимальных параметров ФН для ТМН

Параметры ФН, необходимые для обеспечения быстроты действия S_n различных ТМН при $p = 10^{-6} \dots 10^{-1}$ Па

Давление на стороне всасывания ТМН, Па	Давление ФН, Па	Скорость откачки ФН, л/с
$S_n = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$		
10^{-6}	0,01	0,011
10^{-5}	0,04	0,025
10^{-4}	0,1	0,103

Окончание таблицы

Давление на стороне всасывания ТМН, Па	Давление ФН, Па	Скорость откачки ФН, л/с
$S_n = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$		
10^{-2}	0,1	10,4
10^{-1}	0,6	17,2
$S_n = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$		
10^{-6}	0,05	0,011
10^{-5}	0,1	0,05
10^{-4}	0,1	0,514
10^{-3}	0,1	5,129
10^{-2}	0,1	51,6
10^{-1}	0,6	86
$S_n = 1 \text{ м}^3/\text{с}$		
10^{-6}	0,08	0,013
10^{-5}	0,1	0,103
10^{-4}	0,1	1,028
10^{-3}	0,1	10,268
10^{-2}	0,1	103,2
10^{-1}	0,6	172
$S_n = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$		
10^{-6}	0,1	0,016
10^{-5}	0,1	0,154
10^{-4}	0,1	1,532
10^{-3}	0,1	15,409
10^{-2}	0,1	154
10^{-1}	0,6	257,9
$S_n = 3 \text{ м}^3/\text{с}$		
10^{-6}	0,1	0,032
10^{-5}	0,1	0,309
10^{-4}	0,1	3,069
10^{-3}	0,1	30,834
10^{-2}	0,1	308,127
10^{-1}	0,6	515,8
$S_n = 5 \text{ м}^3/\text{с}$		
10^{-6}	0,1	0,052
10^{-5}	0,1	0,513
10^{-4}	0,1	5,117
10^{-3}	0,1	51,402
10^{-2}	0,1	513,665
10^{-1}	0,6	859,7

В расчетах учитывалось влияние внутренних газовыделений в полости насоса, значения удельных газовыделений принимались следующими: для деталей (корпус, вал), выполненных из стали, $q_{ст} = 1,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$, из алюминиевых

сплавов (рабочие колеса) $q_n = 5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$ [4]. Температура рабочих поверхностей насоса принималась $T = 293 \text{ К}$.

Как следует из полученных расчетных данных, при увеличении значения давления всасывания ТМН возрастают требуемые параметры откачки ФН. Поэтому в целях обеспечения заданной характеристики ТМН во всем диапазоне давлений от 10^{-6} до 10^{-1} Па необходимо выбирать ФН с соответствующим значением быстроты действия для всего заданного диапазона p . Отметим, что для рассмотренных примеров S_ϕ составляет 17 % соответствующего значения быстроты действия ТМН S_n .

На рис. 2 графически приведены откачные характеристики ТМН с быстротой действия $S_n = 1 \text{ м}^3/\text{с}$ и требуемого для него ФН. Конкретный ФН необходимо выбирать из условия, что его откачная характеристика соответствует расчетной $S_\phi = f(p_\phi)$ [5–9].

Таким образом, данная методология позволяет определить необходимые минимальные параметры ФН, обеспечивающие заданные условия откачки на стороне всасывания ТМН, имеющего оптимальные геометрические характеристики.

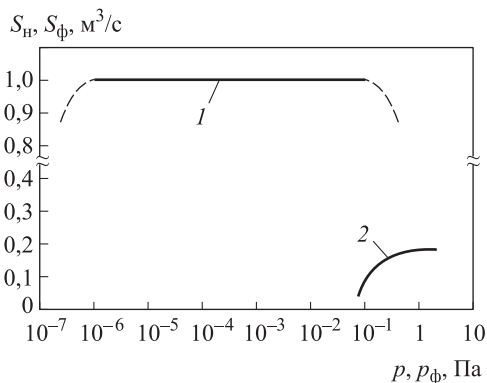


Рис. 2. Откачные характеристики ТМН-1000 (кривая 1) и соответствующего ФН (кривая 2)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Справочник по вакуумной технике и технологиям* / под ред. Д. Хоффмана, Б. Сингха, Дж. Томаса III. М.: Техносфера, 2011. 736 с.
2. *Вакуумная техника: Справочник* / К.Е. Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К. Никулин и др. / под общ. ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова. М.: Машиностроение, 2009. 590 с.
3. Демихов К.Е., Никулин Н.К. Оптимизация высоковакуумных механических насосов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 255 с.
4. Пипко А.И., Плисковский В.Я., Королев Б.И., Кузнецов В.И. Основы вакуумной техники. М.: Энергоиздат, 1981. 432 с.
5. *Vacuum product catalog*. Varian Ass. Lexington. 1995–1998.
6. *Product leitfaden*. Alcatel hochvakuumtechnik. GmbH, Annecy, 1995.
7. *Komponenten für die vakuumentchnik*. Balzers-Pfeiffer GmbH. Balzers, 1996.
8. *Vacuum catalog*. Edwards. Hochvakuum. GmbH. Marburg, 1993.
9. *Katalog HV300, Teil B*, Leybold AG. Cologne, 1994.

Демихов Константин Евгеньевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Очков Андрей Андреевич — ассистент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Демихов К.Е., Очков А.А. Особенности выбора форвакуумного насоса для турбомолекулярного вакуумного насоса, обеспечивающего требуемые параметры откачки // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2016. № 6. С. 89–95.

DOI: 10.18698/0236-3941-2016-6-89-95

SPECIFICS OF SELECTING A BACKING PUMP FOR A TURBOMOLECULAR VACUUM PUMP PROVIDING NECESSARY PUMPING PARAMETERS

К.Е. Demikhov

А.А. Ochkov

ked@bmstu.ru

aochkov@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper describes the results of investigating the influence of the backing pump parameters on the pumping parameters of the turbo vacuum pump. On the basis of the calculation program developed, we for the first time obtained the data on the mutual influence of their pumping performance. These data allowed us to select specific types of pumps while ensuring optimal parameters throughout the pumping system. We also give some recommendations on determining the ratio between the maximum values of the fast action of the backing and turbomolecular vacuum pumps

Keywords

Fast action, suction pressure, pumping performance, flowing part

REFERENCES

- [1] Dorothy M. Hoffman, Bawa Singh, John H. Thomas III and John H. Thomas III, eds. Handbook of vacuum science and technology. Academic Press, 1997. 835 p. (Russ. ed.: Spravochnik po vakuumnoy tekhnike i tekhnologiyam Moscow, Tekhnosfera Publ., 2011. 736 p.).
- [2] Demikhov K.E., Panfilov Yu.V., Nikulin N.K., et al. Vakuumnaya tekhnika [Vacuum technique]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009. 590 p.
- [3] Demikhov K.E., Nikulin N.K. Optimizatsiya vysokovakuumnykh mekhanicheskikh nasosov [High-vacuum mechanical pump optimization]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2010. 255 p.
- [4] Pipko A.I., Pliskovskiy V.Ya., Korolev B.I., Kuznetsov V.I. Osnovy vakuumnoy tekhniki [Vacuum technique fundamentals]. Moscow, Energoizdat Publ., 1981. 432 p.
- [5] Vacuum product catalog. Varian Ass. Lexington. 1995–1998.
- [6] Product leitfaden. Alcatel hochvakuumtechnik. GmbH, Annecy, 1995.
- [7] Komponenten für die vakuumentchnik. Balzers-Pfeiffer GmbH. Balzers, 1996.
- [8] Vakuuum catalog. Edwards. Hochvakuum. GmbH. Marburg, 1993.
- [9] Katalog HV300, Teil B., Leybold AG. Cologne, 1994.

Demikhov K.E. — Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Vacuum and Compressor Equipment Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Ochkov A.A. — Assistant Lecturer of Vacuum and Compressor Equipment Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Demikhov K.E., Ochkov A.A. Specifics of Selecting a Backing Pump for a Turbomolecular Vacuum Pump Providing Necessary Pumping Parameters. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2016, no. 6, pp. 89–95. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-6-89-95

<p>Е.А. Власова, В.С. Зарубин, Г.Н. Кувыркин</p> <p>Математические модели процессов теплопроводности</p>  <p>ИЗДАТЕЛЬСТВО МГТУ им. Н.Э. Баумана</p>	<p>В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышло в свет учебное пособие авторов Е.А. Власовой, В.С. Зарубина, Г.Н. Кувыркина «Математические модели процессов теплопроводности»</p> <p>Изложены сведения, составляющие содержание раздела «Математические модели тепловых систем» курса «Ма- тематические модели технических систем». Приведены примеры решения задач, а также контрольные вопросы и задачи для самостоятельной работы студентов. Часть задач может служить основой для проведения студента- ми самостоятельной научно-исследовательской работы.</p> <p>По вопросам приобретения обращайтесь: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1 +7 (499) 263-60-45 press@bmstu.ru www.baumanpress.ru</p>
---	---