

МЕТОД РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

К.Е. Демихов

А.А. Очков

Г.Т. Цакадзе

ked@bmstu.ru

aochkov@bmstu.ru

tsk.sv2@gmail.com

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

Аннотация

Создание новых конструкций высоковакуумных средств откачки и совершенствование уже существующих является одним из приоритетных направлений развития вакуумной техники. В связи с растущей в настоящее время потребностью в увеличении мобильности технических устройств актуальным является вопрос снижения их массогабаритных характеристик. Разработан метод расчета молекулярного вакуумного насоса нового типа, позволяющего получить оптимальные параметры проточной части с обеспечением заданной скорости действия в широком диапазоне давлений на стороне всасывания. Проведен сравнительный анализ характеристик предлагаемого насоса с расчетными характеристиками аналогичных средств откачки

Ключевые слова

Метод расчета, вакуум, разрежение, молекулярный вакуумный насос, оптимизация, быстрота действия, проточная часть

Поступила в редакцию 23.05.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Молекулярные вакуумные насосы (МВН) в настоящее время достаточно широко применяются в качестве самостоятельного вида средств откачки и как дополнительная ступень в составе гибридных турбомолекулярных насосов [1–3]. Молекулярные вакуумные насосы, обладая рядом конкурентоспособных преимуществ, не имеют аналогов, способных обеспечить эффективную безмасляную откачку газа в диапазоне давлений от 1 до 100 Па.

В связи с высокими темпами развития инженерных технологий, в частности вакуумной техники, в настоящее время актуальным является вопрос расширения диапазона работы МВН. Успешным решением данной проблемы может служить объединение существующих типов МВН, таких как цилиндрический и дисковый МВН (ЦМВН и ДМВН), в один МВН с комбинированной проточной частью (ПЧ), состоящей из цилиндрической и дисковых ступеней. Принципиальная схема подобного устройства приведена на рис. 1. В состав данной конструкции МВН входят: гладкий ротор 1 цилиндрической ступени МВН, статор 2 цилиндрической ступени с фрезерованным каналом, роторные гладкие диски 3 дисковой ступени, статорные диски 4 с нарезанными в них каналами в форме архимедовой спирали, корпус 5 и вал 6.

Для расчета оптимальных параметров ПЧ комбинированного МВН (КМВН) было разработано программное обеспечение. Критерием оптимальности, по которому проведена оптимизация конструкции, выбран объем ПЧ насоса.

Блок-схема программы расчета приведена на рис. 2.

На первом этапе расчета производится ввод исходных данных, таких как требуемая быстрота откачки, род откачиваемого газа, число оборотов вала, начальный диапазон рабочих давлений ЦМВН и ДМВН. С использованием расчетных зависимостей математической модели процесса откачки газа МВН [4, 5] выполняется расчет оптимальных

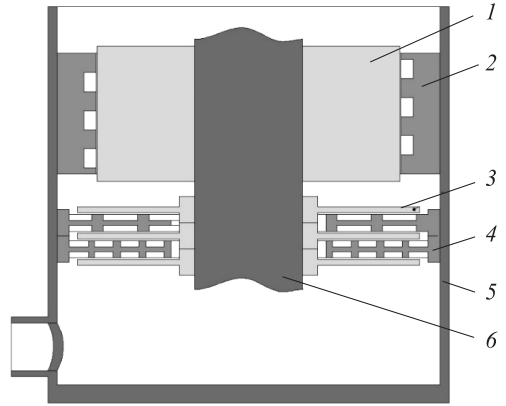


Рис. 1. Принципиальная схема КМВН

расчет оптимальных параметров ПЧ ДМВН в диапазоне давлений $p_1 - p_{пр}$

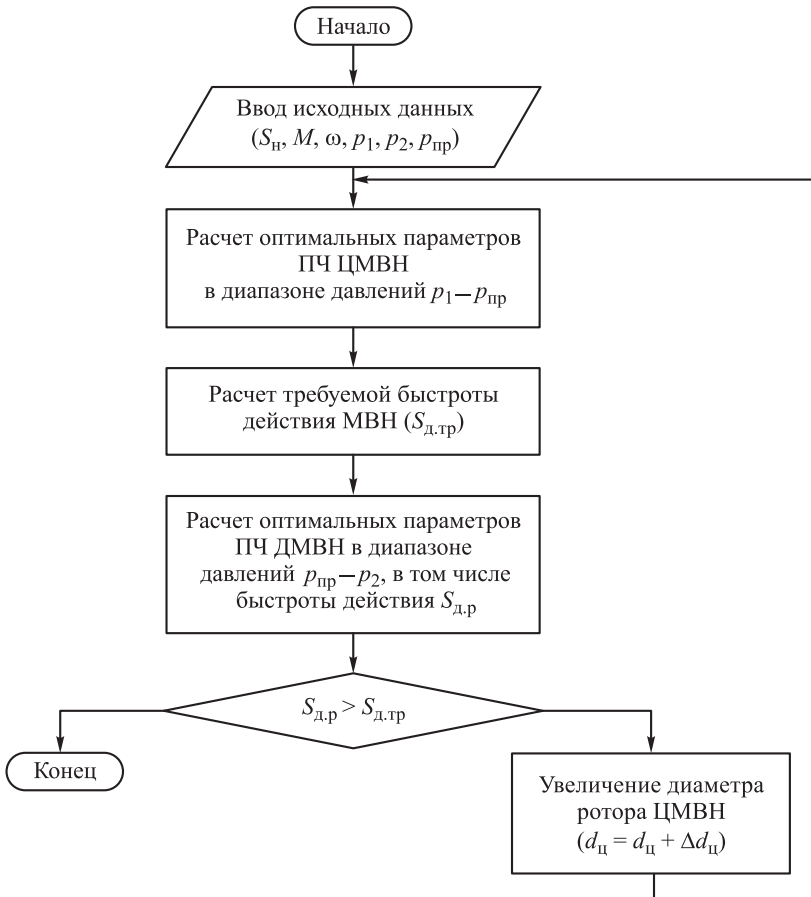


Рис. 2. Блок-схема программного обеспечения расчета основных параметров ПЧ КМВН

параметров ПЧ ЦМВН. При переходе к расчету оптимальных параметров ПЧ ДМВН должно быть выполнено условие равенства диаметров ступеней КМВН. В том случае, если первый диск дисковой ступени КМВН даже при минимальном угле закрутки спирали не обеспечивает требуемую на выходе цилиндрической ступени быстроту откачки, выполняется увеличение диаметра ротора ЦМВН. Следующим этапом является расчет оптимальных параметров дисковых колес КМВН. Диапазоны рабочих давлений $p_1 - p_{пр}$ и $p_{пр} - p_2$ ЦМВН и ДМВН выбираются из условия обеспечения минимального объема ПЧ КМВН методом перебора.

Разработанное программное обеспечение позволяет рассчитать оптимальные характеристики ПЧ КМВН при требуемых параметрах откачки.

С использованием разработанного ПО проведен расчет оптимальных параметров ПЧ КМВН при разной скорости действия. Исследована зависимость объема ПЧ КМВН от диапазонов рабочих давлений $p_1 - p_{пр}$ и $p_{пр} - p_2$ ЦМВН и ДМВН, зависимость влияния выбора $p_{пр}$ на объем ПЧ насоса приведена на рис. 3.

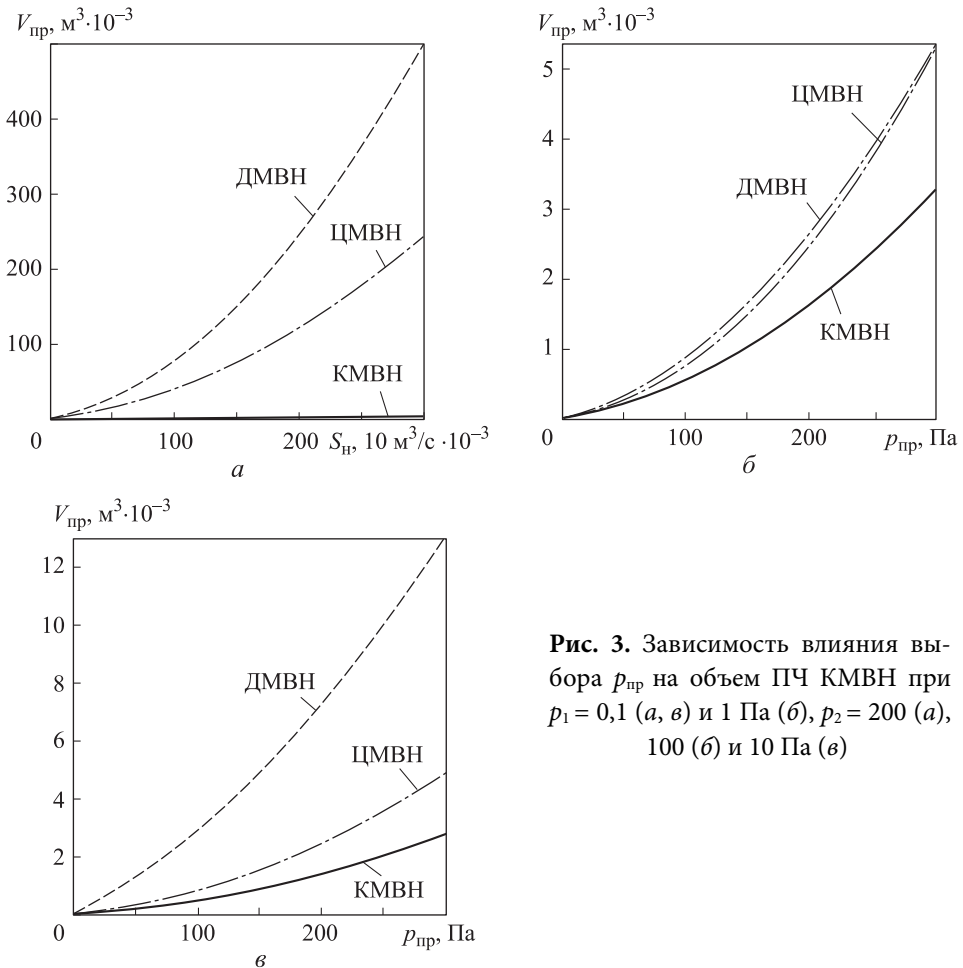


Рис. 3. Зависимость влияния выбора $p_{пр}$ на объем ПЧ КМВН при $p_1 = 0,1$ (а, б) и 1 Па (б), $p_2 = 200$ (а), 100 (б) и 10 Па (в)

Был выполнен сравнительный анализ объемов ПЧ ЦМВН, ДМВН и КМВН, работающих в оптимальных диапазонах рабочих давлений, для ряда значений быстроты действия. Результаты анализа приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

**Сравнение объемов ПЧ МВН различных типов при равных S_n
в диапазоне 0,1...200 Па**

S_n , л/с	$V_{\text{комб}}$, л	$V_{\text{цил}}$, л	$V_{\text{диск}}$, л
10	0,02	1,34	1,13
30	0,14	5,32	30,75
50	0,23	11,53	41,27
70	0,37	24,91	52,36
100	0,62	42,51	81,72
150	1,21	78,12	135,31
200	1,77	120,27	250,12

Таблица 2

**Сравнение объемов ПЧ МВН различных типов при равных S_n
в диапазоне 1...100 Па**

S_n , л/с	$V_{\text{комб}}$, л	$V_{\text{цил}}$, л	$V_{\text{диск}}$, л
10	0,018	0,037	0,024
30	0,093	0,143	0,141
50	0,198	0,31	0,27
70	0,31	0,51	0,45
100	0,56	0,89	0,73
150	1,05	1,65	1,46
200	1,63	2,63	2,52

Таблица 3

**Сравнение объемов ПЧ МВН различных типов при равных S_n
в диапазоне 0,1...10 Па**

S_n , л/с	$V_{\text{комб}}$, л	$V_{\text{цил}}$, л	$V_{\text{диск}}$, л
10	0,016	0,025	0,09
30	0,082	0,131	0,45
50	0,177	0,28	0,69
70	0,29	0,48	2,13
100	0,49	0,83	2,94
150	0,91	1,52	5,46
200	1,42	2,47	6,93

Получены также графические зависимости объема ПЧ КМВН от требуемой быстроты действия в различных диапазонах давлений, обеспечиваемых данными средствами откачки. Результаты исследования приведены на рис. 4.

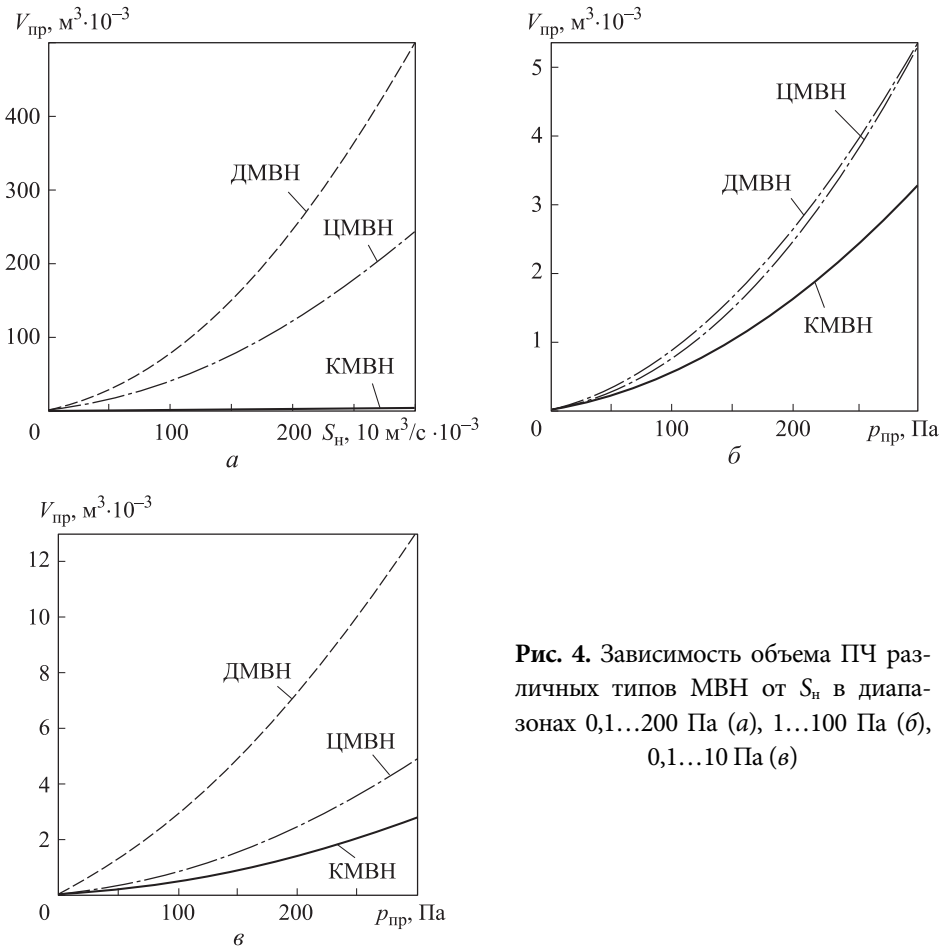


Рис. 4. Зависимость объема ПЧ различных типов МВН от S_n в диапазонах 0,1...200 Па (а), 1...100 Па (б), 0,1...10 Па (в)

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы о преимуществах исследуемого типа МВН и его эффективности применения в области вакуумной техники.

Комбинированный МВН обладает очевидным преимуществом по отношению к существующим типам МВН, обеспечивая рабочие характеристики откачки при давлении всасывания от 0,1 до 200 Па и давлении нагнетания 200 Па; ЦМВН и ДМВН при данных давлениях всасывания и нагнетания существенно уступают КМВН по массогабаритным параметрам. Все это характеризует комбинированный тип МВН как современное и перспективное высоковакуумное средство откачки, делая целесообразным его дальнейшее изучение и применение в различных областях науки и промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демихов К.Е., Никулин Н.К. Оптимизация высоковакуумных механических насосов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 255 с.
2. Вакуумная техника / 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. *Agilent Turbo-V pumps*. Agilent Technologies GmbH, May 2016. 59 p.
4. Демихов К.Е., Очков А.А. Математическая модель процесса откачки газа цилиндрическим молекулярным вакуумным насосом в широком диапазоне давлений // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 12. С. 128–136. DOI: 10.7463/1214.0748304 URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/748304.html>
5. Демихов К.Е., Очков А.А., Полежаев А. Влияние различных параметров проточной части цилиндрического молекулярного вакуумного насоса на его характеристики // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2015. № 3. С. 1–8. URL: <http://maplantsjournal.ru/doc/785997.html>

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, стр. 1).

Очков Андрей Андреевич — ассистент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Цакадзе Георгий Тамазиевич — студент магистратуры кафедры «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Демихов К.Е., Очков А.А., Цакадзе Г.Т. Метод расчета оптимальных параметров комбинированного молекулярного вакуумного насоса // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2017. № 5. С. 98–104. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-5-98-104

A TECHNIQUE FOR COMPUTING OPTIMUM PARAMETERS OF A COMBINED MOLECULAR DRAG VACUUM PUMP

K.E. Demikhov

ked@bmstu.ru

A.A. Ochkov

aochkov@bmstu.ru

G.T. Tsakadze

tsk.sv2@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Creating new designs of high-vacuum pumping equipment and refining existing ones form one of the top priority directions in vacuum technology development. Since the need to increase equipment mobility is growing, the issue of decreasing equipment mass and dimensions is pressing. We developed a method for computing parameters of a new molecular drag vacuum pump design that makes it possible to determine optimum blading section parameters ensuring a given volume flow rate for a wide range of low-side pressures. We provide a comparative analysis of the pump characteristics we computed and characteristics computed for similar pumping equipment

Keywords

Computational method, vacuum, rarefaction, vacuum pump, molecular drag vacuum pump, optimisation, volume flow rate, blading section

REFERENCES

- [1] Demikhov K.E., Nikulin N.K. Optimizatsiya vysokovakuumnykh mekhanicheskikh nاسوب [High-vacuum mechanical pump optimization]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2010. 255 p.
- [2] Demikhov K.E., Panfilov Yu.V., Nikulin N.K., et al. Vakuumnaya tekhnika [Vacuum technique]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009. 590 p.
- [3] Agilent Turbo-V pumps. Agilent Technologies GmbH, May 2016. 59 p.
- [4] Demikhov K.E., Ochkov A.A. Mathematical model of pumping gas process by the cylindrical molecular vacuum pump in the wide range of pressures. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication of BMSTU], 2014, no. 12, pp. 128–136 (in Russ.). DOI: 10.7463/1214.0748304
Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/748304.html>
- [5] Demikhov K.E., Ochkov A.A., Polezhaev A. Various parameters of the flowing part of a cylindrical molecular vacuum pump effecting on its characteristics. *Mashiny i ustanovki: proektirovanie, razrabotka i ekspluatatsiya* [Machines and Plants: Design and Exploiting], 2015, no. 3, pp. 1–8 (in Russ.). Available at: <http://maplantsjournal.ru/doc/785997.html>

Demikhov K.E. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of Vacuum and Compressor Technology Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Ochkov A.A. — Assistant of Vacuum and Compressor Technology Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Tsakadze G.T. — Master's Degree student of Vacuum and Compressor Technology Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Demikhov K.E., Ochkov A.A., Tsakadze G.T. A Technique for Computing Optimum Parameters of a Combined Molecular Drag Vacuum Pump. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2017, no. 5, pp. 98–104. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-5-98-104