

К. Е. Демихов, Н. К. Никулин, А. В. Дронов
**РАСЧЕТ ОТКАЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ
МОЛЕКУЛЯРНО-ВЯЗКОСТНОГО ВАКУУМНОГО
НАСОСА**

Рассмотрено влияние основных параметров проточной части молекулярно-вязкостного вакуумного насоса на его откачные характеристики при работе в области молекулярного режима течения газа. На основании расчета по статистической математической модели представлены рекомендации для обеспечения необходимых геометрических параметров проточной части.

E-mail: nkn@bmstu.ru, dronov_a@mail.ru

Ключевые слова: молекулярно-вязкостный вакуумный насос, метод статистических испытаний, геометрические параметры, вероятность, максимальное быстродействие, отношение давлений, рекомендации, канал.

Основными параметрами, характеризующими работу молекулярных вакуумных насосов (МВН), являются максимальная быстрота действия S_{\max} и максимальное отношение давлений τ_{\max} :

$$S_{\max} = 36,4Fk_{\max}\sqrt{T/M};$$

$$\tau_{\max} = k_{12}/k_{21},$$

где F – площадь входа в канал, м²; k_{\max} – максимальная вероятность перехода молекулы газа через канал со стороны всасывания на сторону нагнетания, $k_{\max} = k_{12} - k_{21}$; k_{12} , k_{21} – вероятности перехода молекулы газа через канал соответственно со стороны всасывания на сторону нагнетания и со стороны нагнетания на сторону всасывания; T – температура газа, К; M – молекулярная масса газа.

Конструктивные схемы МВН представлены на рис. 1.

Приведенные соотношения описывают и работу молекулярно-вязкостного вакуумного насоса (МВВН). Основное отличие МВВН заключается в конструкции его проточной части, выполненной в виде двух спиральных каналов: одна спираль размещена на роторе, другая – на статоре. Конструктивные схемы проточных частей МВВН представлены на рис. 2.

Вероятности k_{12} и k_{21} для молекулярного режима течения газа вычисляются на основании математических моделей, приведенных в работах [1, 2].

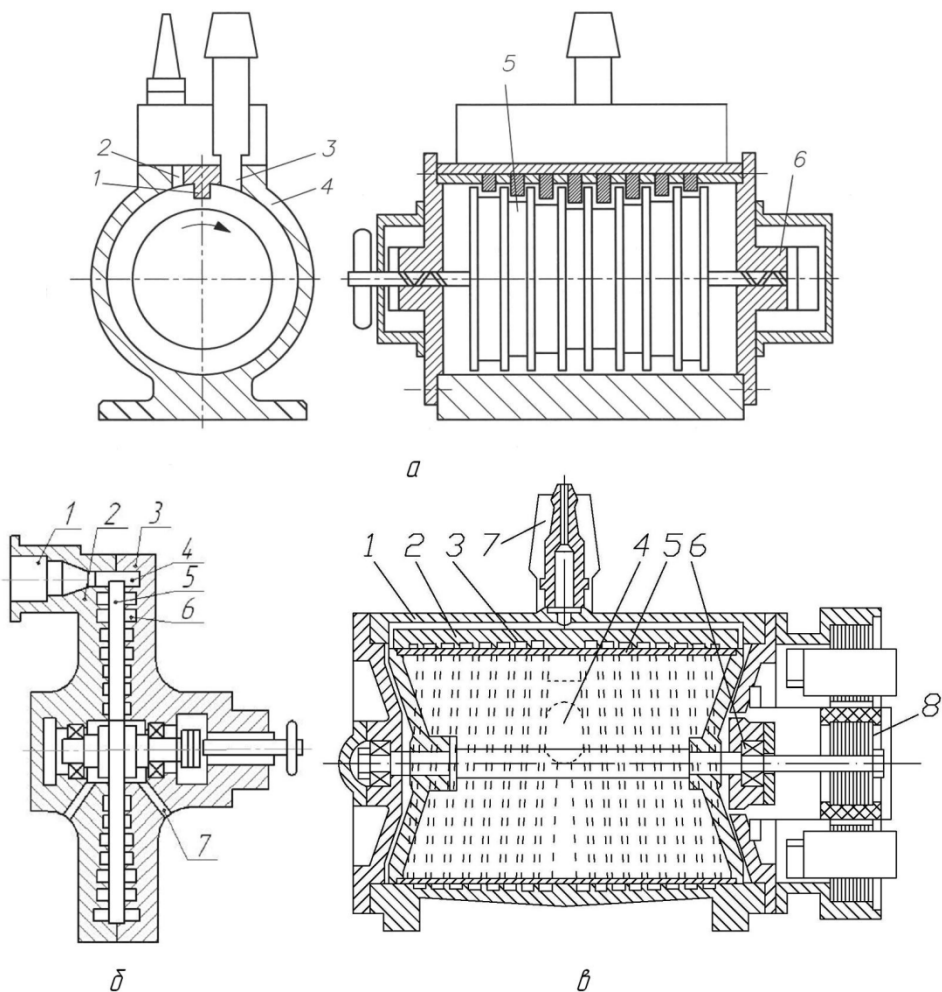
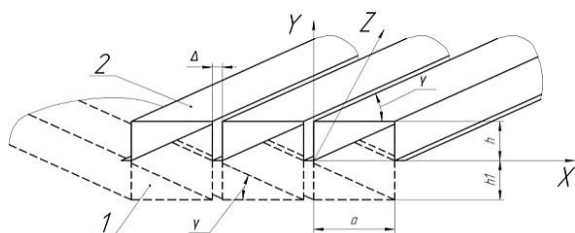


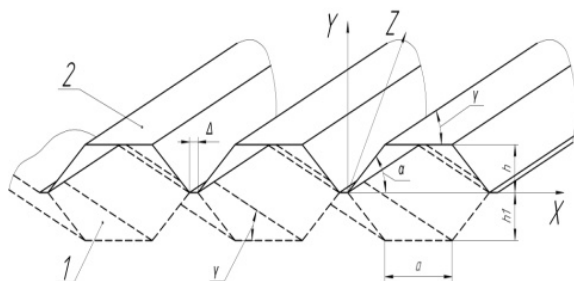
Рис. 1. Конструктивные схемы МВН:

а – насос Геде (1 – отсекающий; 2 – всасывающий патрубок; 3 – нагнетательный патрубок; 4 – корпус; 5 – ротор; 6 – опоры качения); *б* – насос Зигбана (1 – всасывающий патрубок; 2, 3 – левый и правый корпуса насоса; 4 – вход в проточную часть; 5 – ротор; 6 – спиральный канал; 7 – нагнетательный канал); *в* – насос Хольвека (1 – корпус насоса; 2 – корпус спирали; 3 – спиральный канал; 4 – вход в проточную часть; 5 – ротор; 6 – опоры качения; 7 – нагнетательный патрубок; 8 – электродвигатель)

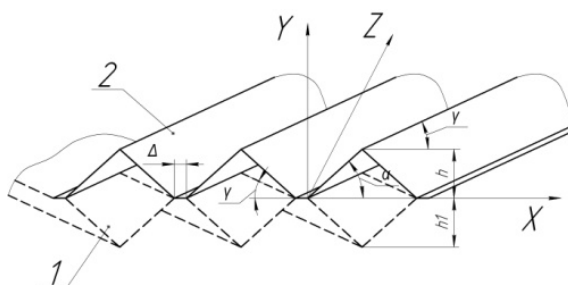
Расчеты МВВН, выполненного по схеме МВН Хольвека, проведенные на основании статистической математической модели [1] (для прямоугольного сечения, $l = 40$ мм, $\gamma = 25^\circ$, $a = 4$ мм, $h = 2$ мм), показали, что и максимальная вероятность перехода молекулы газа через канал со стороны нагнетания на сторону всасывания, и максимальное отношение давлений, создаваемое каналом, возрастают с увеличением скорости движения канала U .



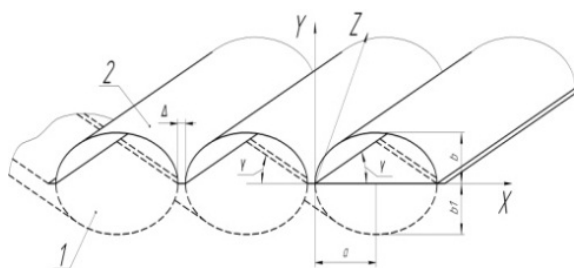
a



б



в



г

Рис. 2. Конструктивные схемы каналов МВВН:

a-г – прямоугольное, трапецидальное, треугольное и полукруглое сечения каналов соответственно; *1* – ротор; *2* – статор; *l* – длина канала; γ – угол наклона канала к торцу входного сечения; *a* – ширина канала; *h* – высота канала

На рис. 3 и 4 представлены результаты расчета k_{\max} и τ_{\max} для каналов МВВН различной формы в зависимости от отношения ско-

рости U к наиболее вероятной скорости V_H теплового движения молекул газа.

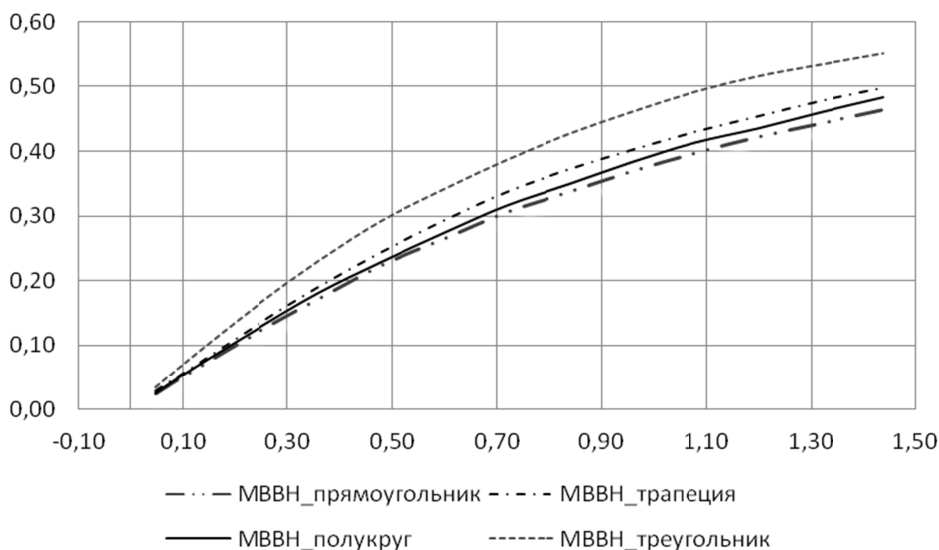


Рис. 3. Зависимость k_{\max} от отношения U/V_H ($l = 40$ мм; $\gamma = 25^\circ$; $a = 4$ мм; $h = 2$ мм)

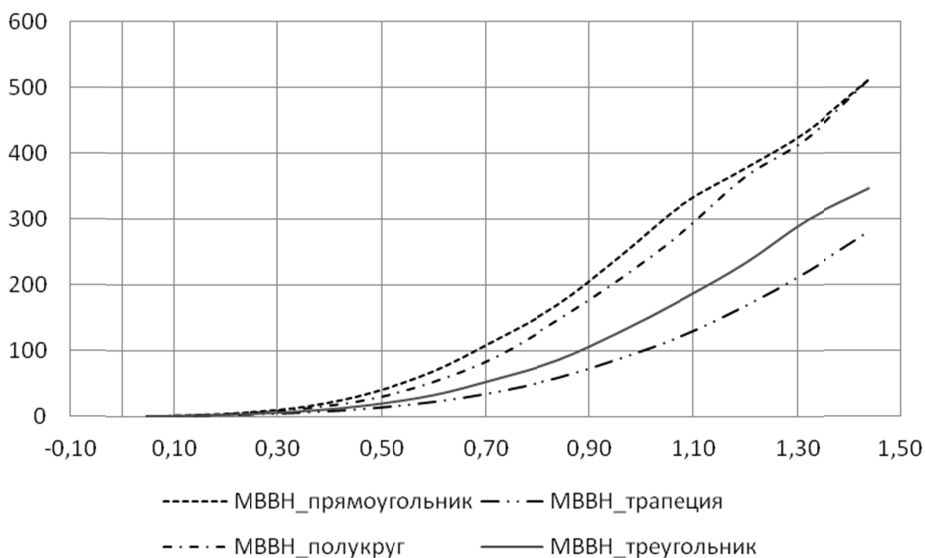


Рис. 4. Зависимость τ_{\max} от отношения U/V_H ($l = 40$ мм; $\gamma = 25^\circ$; $a = 4$ мм; $h = 2$ мм)

Значение U для реальных конструкций МВН и МВВН достигает 300 м/с и ограничивается прочностью материала ротора и применяемыми подшипниками.

Длина канала практически не влияет на k_{\max} и соответственно на S_{\max} , но τ_{\max} возрастает с увеличением l .

Результаты расчета k_{\max} и τ_{\max} при $U = 300$ м/с для различных отношений длины канала к его высоте l/h представлены на рис. 5 и 6. Для обеспечения необходимого отношения давлений в реальных насосах значение l/h рекомендуется принимать не менее 50.

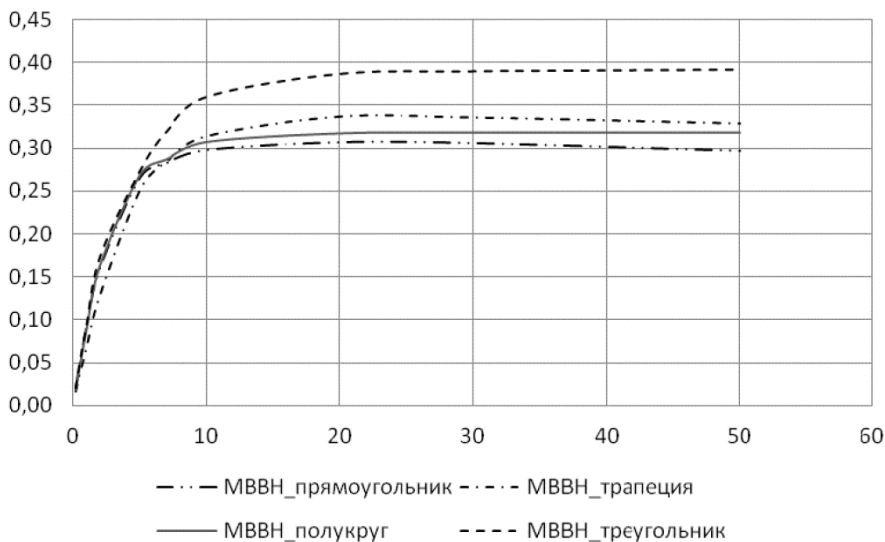


Рис. 5. Зависимость k_{\max} от отношения l/h

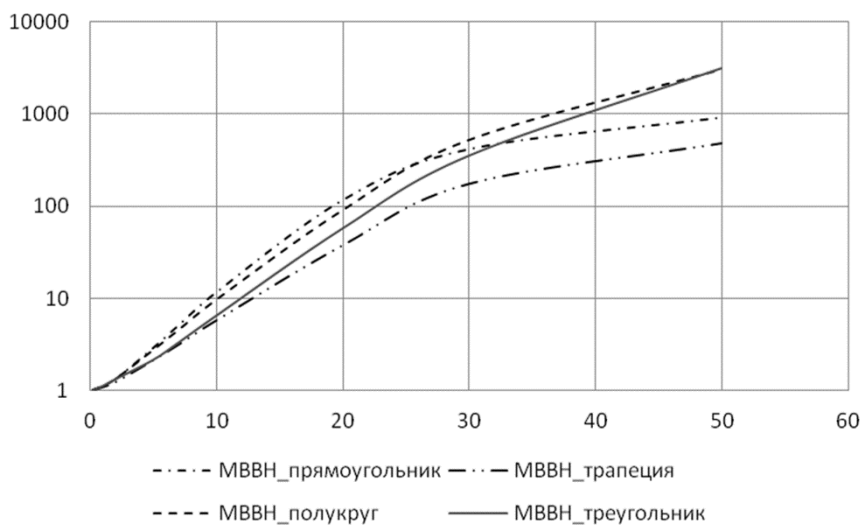


Рис. 6. Зависимость τ_{\max} от отношения l/h

Соотношение высоты h и ширины a канала для трапецидального и прямоугольного сечений каналов рекомендуется в диапазоне $0,3 \dots 0,6$ (рис. 7).

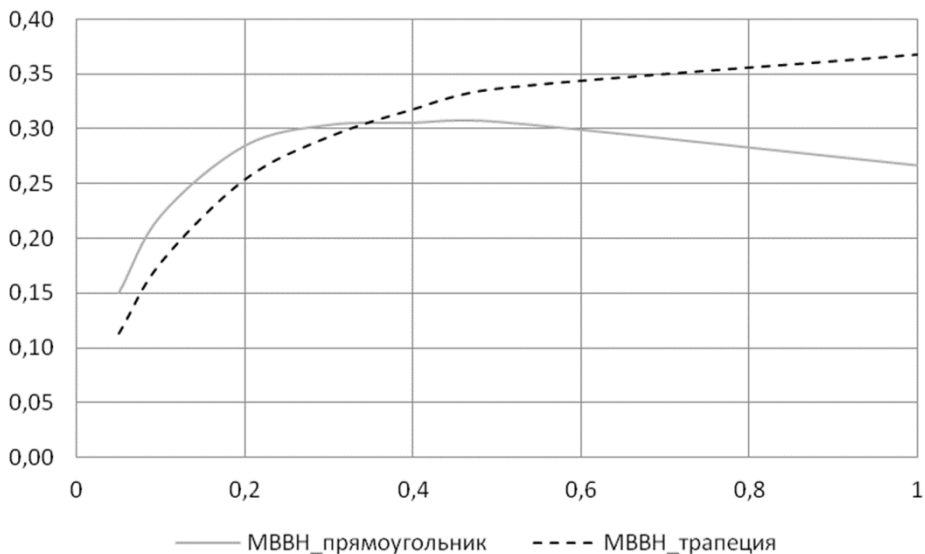


Рис. 7. Зависимость k_{\max} от отношения высоты канала к ширине канала h/a

Угол наклона канала к торцу ротора принимается в диапазоне $30^\circ \dots 45^\circ$ (рис. 8).

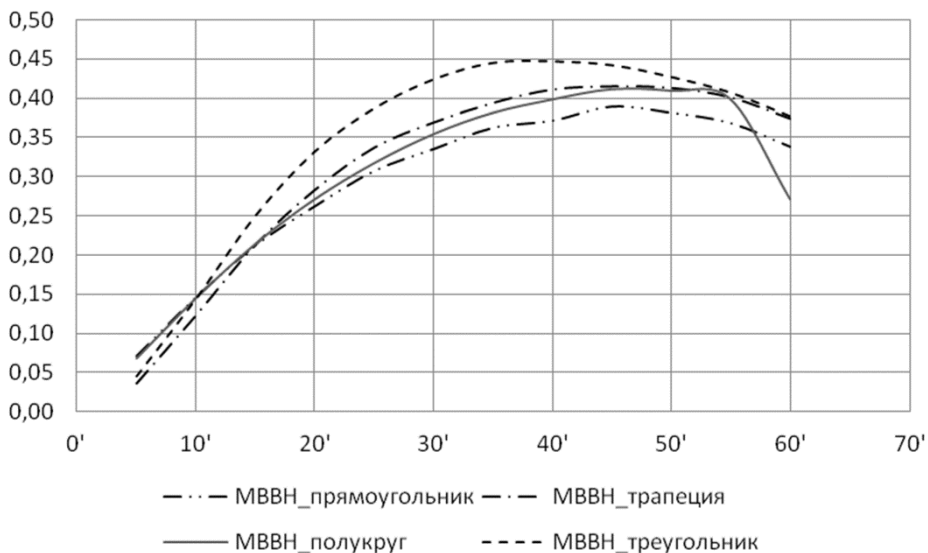


Рис. 8. Зависимость k_{\max} от угла γ

Следует учитывать, что при вращении ротора его диаметр увеличивается, и значение радиального зазора необходимо увеличивать на это удлинение. Кроме того, при расчете длинных каналов вероятность k_{21} менее 10^{-4} , т. е. при статистических испытаниях для обеспечения 10%-ной точности необходимо проследивать траекто-

рии более 10^7 молекул, что представляет собой достаточно серьезную проблему даже при использовании современных компьютеров.

Таким образом, приведенные рекомендации позволяют обеспечить требуемые S_{\max} и τ_{\max} проточной части МВВН при его минимальных габаритах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демихов К. Е., Куликова Т. В., Никулин Н. К. Исследование параметров откачных характеристик молекулярного вакуумного насоса. // Конверсия в машиностроении. – 2007. – № 4, 5. – С. 81–84.
2. Демихов К. Е., Никулин Н. К. Оптимизация высоковакуумных механических насосов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – С. 102–123.

Статья поступила в редакцию 14.09.2012