

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ЖИДКОСТНО-ПЛАСТИНЧАТЫХ ВАКУУМ-НАСОСОВ

С.Б. Захаржевский, Ю.В. Родионов, П.А. Галкин,  
В.А. Максимов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

**Ключевые слова и фразы:** быстрота действия; давление выключения второй ступени; жидкостно-пластинчатый вакуум-насос (ЖПВН); минимальный и максимальный объем рабочей ячейки.

**Аннотация:** Рассмотрена схема организации последовательного вакуумирования с помощью ЖПВН и предложена методика определения основных геометрических соотношений насосов данного типа при заданном параметре предельного вакуума.

В ряде производств химической и других отраслей промышленности требуются вакуум-насосы, откачивающие газ без значительного нагрева в процессе сжатия. Для этого применяются жидкостнокольцевые вакуум-насосы (ЖВН), которые являются малоэффективными машинами с невысоким предельным вакуумом. Даже двухступенчатые ЖВН позволяют достичь остаточного давления 10 – 2 кПа. На кафедре «Теория машин, механизмов и деталей машин» ТГТУ разработан ЖПВН [1], который имеет достоинства ЖВН (изотермичность сжатия, незагрязненность газа смазкой), а также обладает новыми качествами (глубокий вакуум, меньшие массогабариты, повышенное значение коэффициента полезного действия (КПД), меньшие затраты рабочей жидкости).

Насос работает следующим образом: при вращении приводного вала корпуса (2) второй ступени за счет клиноременной (15) и фрикционной (16) передач приводится во вращение корпус (1), при этом поданная жидкость за счет центробежных сил образует кольцо, уплотняющее межлопа-

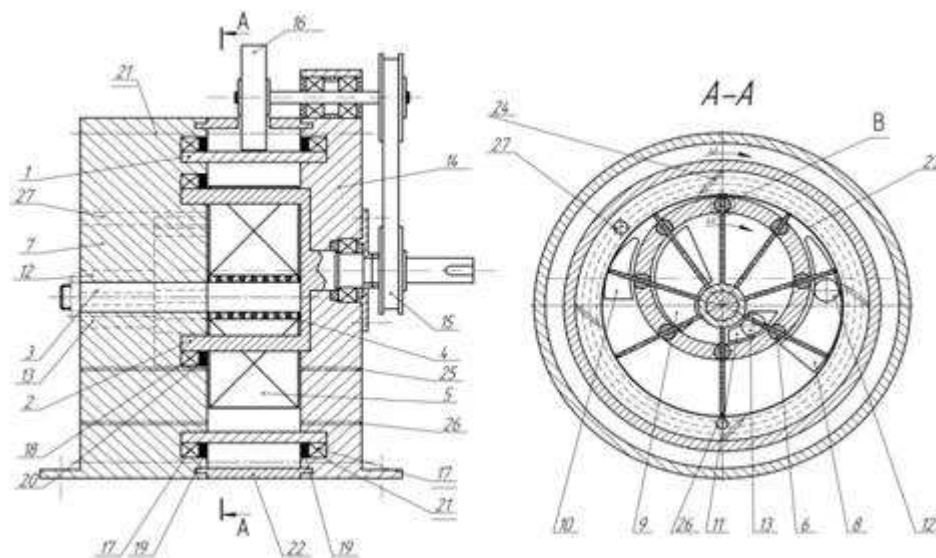


Рис. 1. Принципиальная схема жидкостнокольцевого пластинчатого насоса

точное пространство первой ступени, организуя перекачку газовой фазы от подающего (12) трубопровода и всасывающего (8) к нагнетательному (10) окнам; лопатки (5), проходящие через шарнирные уплотнители 6 корпуса (2) передают вращение рабочему колесу, смонтированному на неподвижном валу (3), что приводит к перекачке газовой фазы во второй ступени от всасывающего (9) к нагнетательному (11) окнам и выхлопному трубопроводу (13), тем самым, организуя двухступенчатый процесс вакуумирования. Для герметизации межлопаточного пространства первой ступени используют жидкостное кольцо и уплотнители (19), а вращение корпуса (1) реализуют, используя подшипники (17), вторая ступень для этих целей имеет шарнирные уплотнители (6), уплотнитель (20) и подшипник (18), что позволяет организовать перекачку газовой фазы во второй ступени без жидкостного кольца. Повышение предельного вакуума возможно уменьшением площади испарения рабочей жидкости постановкой гибкой стенки (23), а также организацией подачи дополнительной жидкости вне зоны всасывания (25), (26), (27).

Предложенная конструкция представляет объединение двух насосов на одной длине, т.е. используется объем ступицы рабочего колеса. Первая ступень жидкостнокольцевая, в которой жидкость необходима для уплотнения торцевых зазоров и отвода тепла сжатия газовой фазы, что существенно снижает затраты мощности на вращение жидкостного кольца. Подача рабочей жидкости организована в месте непосредственного уплотнения торцевых зазоров, т.е. в зоне (26) расположенной за всасывающим окном. Вторая ступень представляет пластинчатый вакуум-насос. Работа насоса организована по последовательной схеме включения с возможностью использования только первой ступени на начальных этапах вакуумирования (рис. 2), что снижает удельную мощность в этом диапазоне и включением второй ступени для достижения более глубокого вакуума.

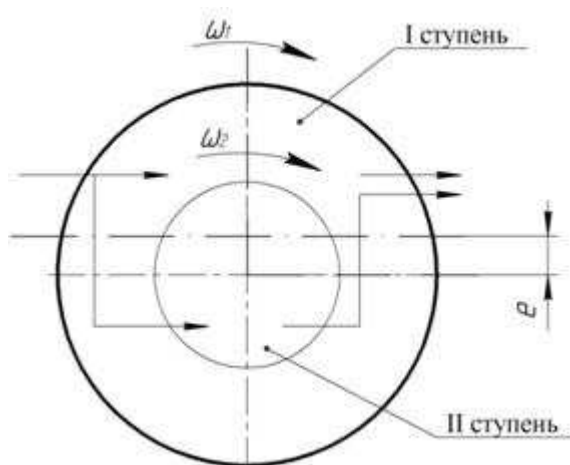


Рис. 2. Схема организации последовательного процесса вакуумирования

Удельная мощность определяется в зависимости от режима, как

$$N_{y\partial} = \frac{N_{a1p}}{S_1}, \text{ при } P_n \leq P_1 \leq P_{max}$$

$$N_{y\partial} = \frac{N_{a1p} + N_{a2p}}{S_1 \lambda_{II}}, \text{ при } P_n \leq P_1 \leq P_{max}$$

где  $N_{a1p}$ ,  $N_{a2p}$  – эффективная мощность соответственно первой и второй ступеней насоса, Вт;  
 $\lambda_{II}$  – коэффициент подачи второй ступени;  $P_1$  – текущее давление всасывания на входе в насос, Па;  
 $P_{n1}$  – начальное давление всасывания на входе в насос, Па;  $P_{max}$  – давление всасывания на входе в насос, соответствующее включению в работу второй ступени, Па.

Следовательно, для организации последовательной работы ступеней ЖПВН, необходимо определить давление всасывания во входном патрубке первой ступени, при котором необходимо запускать в работу вторую ступень и правильно спроектировать нагнетательное окно первой ступени.

С увеличением угла  $\varphi$  уменьшается объем ячейки и, соответственно, возрастает давление газа, заключенного в ней. При политропическом сжатии без внутренних перетечек

$$P_{\varphi} V_{\min}^n = P_1 V_{\max}^n,$$

где  $n$  – показатель политропы;  $V_{\min}$  и  $V_{\max}$  – соответственно минимальный и максимальный объемы рабочей ячейки первой ступени насоса.

$$P_{\varphi} = P_{\max} = \frac{P_1 V_{\max}^n}{V_{\min}^n}. \quad (1)$$

Объем ячейки нагнетания первой ступени равен объему ячейки всасывания второй ступени с учетом коэффициента потерь.

На первом этапе необходимо определиться с основными геометрическими параметрами первой ступени, влияющими на производительность насоса. Для расчета удобнее пользоваться действительной быстротой действия – объемом газа, перекачиваемым насосом в единицу времени с учетом потерь. Для ЖПВН и двухступенчатых ЖВН действительную быстроту действия определим по формуле:

$$S = S_{2I} \cdot \lambda_I \lambda_{II} \quad \text{при} \quad P_{01} \leq P_1 \leq P_{\max}$$

$$S = S_{2I} \cdot \lambda_I \quad \text{при} \quad P_{\max} \leq P_1 \leq P_{\text{атм}}$$

где  $S_{2I}$  – геометрический объем газовой фазы, подаваемой первой ступенью насоса со стороны всасывания на сторону нагнетания в единицу времени при отсутствии потерь, м<sup>3</sup>/с;  $\lambda_I, \lambda_{II}$  – коэффициенты подачи соответственно первой и второй ступеней, характеризующие потери быстроты действия в зависимости от режима работы.

Для практических целей совершенно безразлично, какие коэффициенты используются в расчетах. Необходимо, чтобы имелись достоверные данные для выбора их значения с достаточной степенью точности. Для первой ступени ЖПВН, работающей как ЖВН, коэффициент подачи  $\lambda_I$  характеризует потери быстроты действия на каждом режиме работы, которые связаны с перетеканием и натеканием газовой фазы в торцевых зазорах  $\lambda_1$ , шарнира с  $\lambda_2$  и испарением (конденсацией) рабочей жидкости в ячейки рабочего колеса и определяется по формуле:

$$\lambda_I = 1 - \lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_3.$$

Для второй ступени ЖПВН, представляющей собой пластинчатый вакуум-насос, коэффициент подачи  $\lambda_{II}$  характеризует потери быстроты действия перетеканием газовой фазы в торцевых зазорах  $\lambda_1$ , шарнирах  $\lambda_2$  с учетом возможного попадания капельной жидкости и коэффициентом дросселирования  $k$ . Тогда:

$$\lambda_{II} = 1 - (\lambda_1 - \lambda_2)k.$$

Геометрический объем первой ступени определим по формуле:

$$S_I = F_{\max I} \cdot z b n,$$

где  $F_{\max I}$  – максимальная площадь рабочей ячейки, м<sup>2</sup>;  $z$  – количество лопаток;  $b$  – длина рабочей полости насоса, м;  $n$  – частота вращения ротора, об/мин.

Аналогично определяется геометрический объем второй ступени.

Максимальная площадь рабочей ячейки  $F_{\max}$  определяется по методике [2] и равняется (рис. 3).

$$F(\varphi) = \frac{\pi(r_2 + r_1)^2}{z} \left[ \begin{aligned} & \frac{r_1^2}{2} \cos 2\varphi \cdot \sin \frac{360^\circ}{z} + \frac{r_2^2}{z} \cdot 180^\circ + \\ & + \frac{r_1^2}{2} \cdot \left( \sin \left( \varphi + \frac{180^\circ}{z} \right) - \sqrt{\left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2 - \sin^2 \left( \varphi + \frac{180^\circ}{z} \right)} - \sin \left( \varphi - \frac{180^\circ}{z} \right) \cdot \sqrt{\left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2 - \sin^2 \left( \varphi - \frac{180^\circ}{z} \right)} \right) + \\ & + \frac{r_2^2}{2} \cdot \left( \cos \left( \frac{r_2}{r_1} \cdot \sin \left( \varphi + \frac{180^\circ}{z} \right) \right) - \cos \left( \frac{r_2}{r_1} \cdot \sin \left( \varphi - \frac{180^\circ}{z} \right) \right) \right) \end{aligned} \right]$$

$$F_{\max} = F_1 \left( \frac{F_{\max I}}{F_{\min I}} \right)^2,$$

Формулу (1) можно записать как

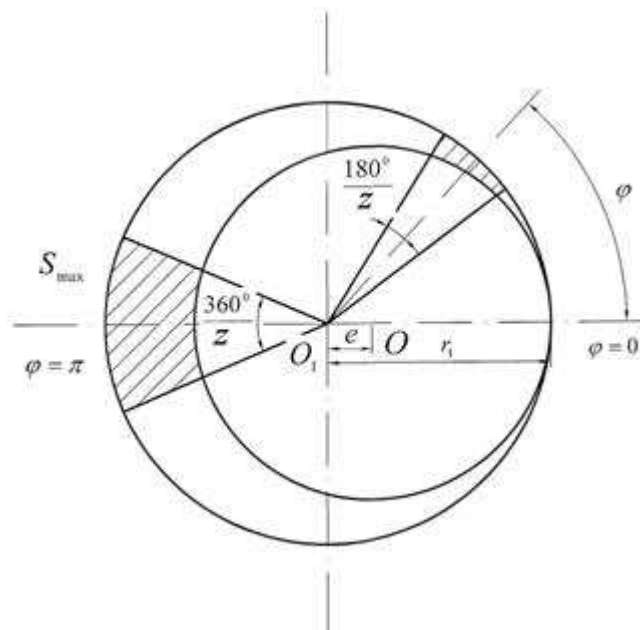


Рис. 3. Схема для расчета максимальной площади рабочей ячейки

где  $F_{\min I}$  – минимальная площадь рабочей ячейки, находящейся в зоне нагнетания первой ступени.

Учитывая конструктивные особенности насоса, можно сделать вывод, что максимальная площадь рабочей ячейки первой ступени пропорциональна максимальной площади рабочей ячейки второй ступени

$$F_{\max I} = k F_{\max II},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий толщину корпуса второй ступени, а также количество и толщину лопаток.

Отсюда максимальная площадь второй ступени:

$$F_{\text{max II}} = \frac{F_{\text{max I}}}{k}$$

### Вывод

Предлагаемая конструкция насоса обладает более низким остаточным давлением до 0,1 Па, меньшей металлоемкостью, что позволит расширить область применения жидкостнокольцевых насосов. На основании теоретических исследований созданы методики инженерного расчета быстроты действия ЖПВН, необходимые для проектирования типоразмерного ряда.

### *Список литературы*

1. Родионов, Ю.В. Двухступенчатый жидкостнокольцевой вакуум-насос с последовательным включением ступеней / В.А. Максимов, С.Б. Захаржевский, П.И. Селиванова ; Международная научно-практическая конференция «Достижения ученых XXI века». Сборник научных статей. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – С. 145–148.
2. Родионов, Ю.В. К вопросу об определении некоторых конструктивных параметров жидкостнокольцевых пластинчатых вакуум-насосов / Ю.В. Воробьев, С.Б. Захаржевский ; XII научная конференция ТГТУ «Фундаментальные и прикладные исследования, инновационные технологии, профессиональное образование». Сборник научных статей. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – С. 107–113.

© С.Б. Захаржевский, Ю.В. Родионов, П.А. Галкин, В.А. Максимов, 2009