

А. А. Райков, С. И. Саликеев, А. В. Бурмистров

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО БЕЗМАСЛЯНОГО ВАКУУМНОГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ СТУПЕНЕЙ ДВН И КЗВН

Ключевые слова: вакуумный насос, безмасляный вакуум, средний вакуум, мощность, ступень.

Проведено экспериментальное измерение потребляемой мощности и предельного остаточного давления двухступенчатого агрегата на базе ступеней ДВН и КЗВН при варьировании частоты вращения роторов и давления на входе. Анализ полученных зависимостей показал значительное влияние давления на входе в насос и частоты вращения роторов на потребляемую мощность. Сравнение с аналогичными зависимостями для агрегатов фирмы Edwards на рабочих частотах показало их качественное соответствие.

Keywords: pump, oil-free vacuum, average vacuum, power, Claw pump, Roots pump.

Experimental measurement of power consumption and ultimate pressure of two stage unit on the base of Roots stage and claw stage was carried out when rotational speed and inlet pressure were varied. The analysis of the obtained relationships showed considerable effect of the pump inlet pressure and the rotational speed on the power consumption. The comparison with similar relationships for Edwards units showed qualitative correspondence on operating rotational speeds.

Наибольшее распространение среди машин для получения среднего безмасляного вакуума получили три вида механических вакуумных насосов: спиральные (scroll), кулачково-зубчатые (claw) и винтовые (screw). Не смотря на то, что стоимость единицы быстроты действия безмасляной откачки в 3-10 раз выше, чем при откачке с помощью вакуумных насосов с масляным уплотнением, объемы производства «сухих» машин неуклонно растут [1].

При этом для достижения давления порядка 1 Па в машинах с роторами кулачково-зубчатого типа требуется 3-4 последовательно соединенные ступени. Эти машины имеют довольно высокое энергопотребление и невысокие массогабаритные показатели, по сравнению с другими «сухими» машинами. Однако эти недостатки компенсируются высокой быстротой действия. За счет этого агрегаты на базе ступеней КЗВН прочно занимают свою нишу среди других безмасляных машин.

Повышению быстроты действия способствует использование в качестве первой ступени роторов с профилем типа Рутс. Ведущие зарубежные производители выпускают многоступенчатые агрегаты, потребляемая мощность которых при быстроте действия  $80 \text{ м}^3/\text{ч}$  составляет 3-4 кВт [2, 3]. К ним относятся агрегат QDP 80, имеющий одну ступень Рутс и три кулачково-зубчатых ступени, и агрегат QDP 40 с тремя кулачково-зубчатыми ступенями (Edwards, Англия). Сравнение зависимостей потребляемой мощности от давления на входе для этих машин представлено на рис. 1.

В данной работе проводится исследование энергических характеристик экспериментального двухступенчатого агрегата со ступенью Рутс на входе и кулачково-зубчатой ступенью на выходе (рис. 2). Описание конструкции, откачные и температурные характеристики данной машины приведены в работах [4, 5].

Экспериментальный стенд для исследования насоса состоит из собственно насоса смонтированного на раме, измерительного колпака на входе в насос и приборов для регулирования и измерения частоты

вращения роторов насоса, давления на входе в насос и потребляемой мощности.

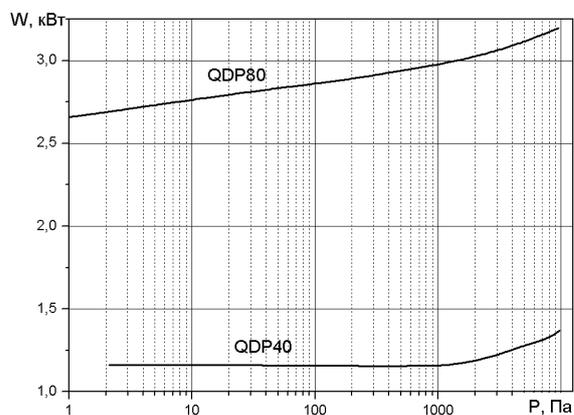


Рис. 1 – Зависимость потребляемой мощности от давления на входе в насос для агрегатов фирмы Edwards

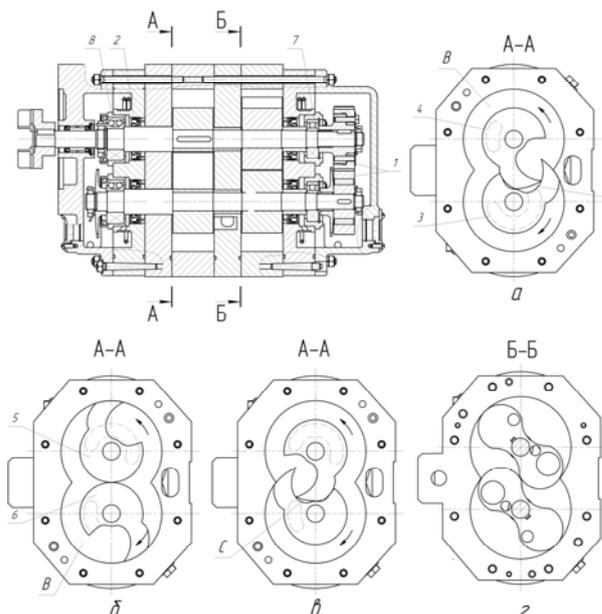
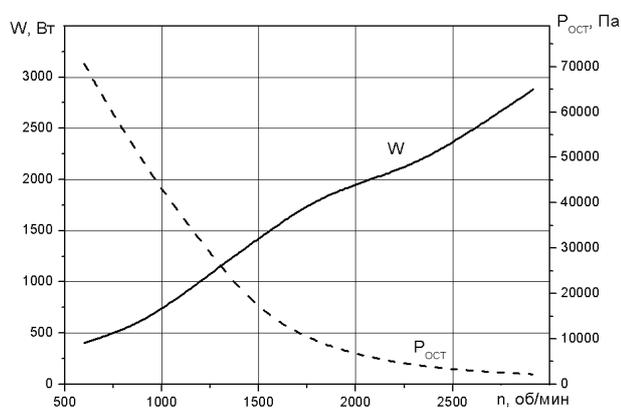


Рис. 2 – Схема двухступенчатого агрегата

Частота вращения ротора агрегата регулировалась при помощи частотного преобразователя EI-8001-005H в пределах от 500 до 3000 об/мин и измерялась фототахометром АКТОКОМ АТТ-6002. Давление на входе в насос измерялось образцовым деформационно-термопарным вакуумметром ВДТО-2. Измерение мощности проводилось трехфазным мультиметром Т505. Измерения мощности осуществляется при варьировании частоты вращения роторов и давления на входе.

На рис. 3 показаны экспериментальные зависимости потребляемой мощности и предельного остаточного давления от частоты вращения ротора. Оба параметра очень сильно зависят от скорости вращения роторов. Предельный вакуум улучшается в 25 раз при повышении частоты вращения с 1000 до 3000 об/мин и достигает 1930 Па.

Рост мощности при повышении частоты вращения имеет практически линейный характер. Данная зависимость мощности получена при работе агрегата на остаточном давлении.

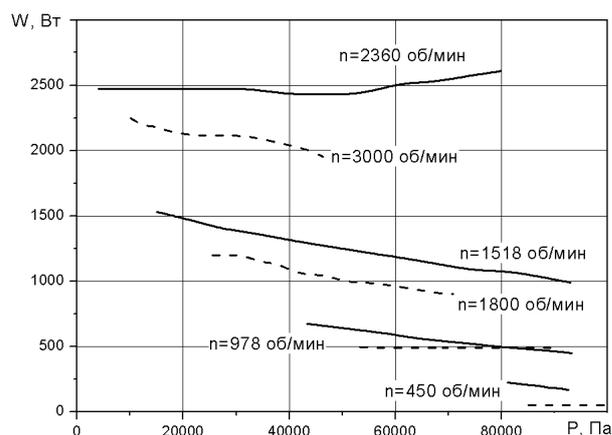


**Рис. 3 – Зависимость потребляемой мощности и остаточного давления от частоты вращения роторов**

На рис. 4 приведены зависимости потребляемой мощности от давления на входе в насос для различных частот вращения ротора. Изменение давления достигалось за счет напуска воздуха через натекатель, установленный на входе в агрегат.

Пунктиром показаны величины мощности для одноступенчатого КЗВН, полученные в работе [6]. За исключением частоты 2360 об/мин кривые для одноступенчатого КЗВН и исследуемого насоса практически параллельны. Повышение мощности при высоких частотах вращения ротора и высоких давлениях на входе, соответствует характеру зависимости для агрегата QDP 40 (рис. 1), т.е. имеет незначительное увеличение с повышением давления на входе. При меньших частотах вращения зависимость обратная,

т.е. мощность с повышением давления на входе в насос уменьшается.



**Рис. 4 – Зависимость потребляемой мощности от давления на входе: сплошная линия – исследуемый агрегат; пунктир – одноступенчатый КЗВН**

Таким образом, при быстроте действия агрегата  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$  при 3000 об/мин величина максимальной потребляемой мощности составляет примерно 2,5 кВт. Полученные данные позволяют подобрать наиболее подходящий электродвигатель для двухступенчатого агрегата и прогнозировать необходимую номинальную мощность привода многоступенчатых агрегатов на базе КЗВН и ДВН.

#### Литература

1. Бурмистров, А.В. Некоторые аспекты выбора средств получения безмасляного среднего вакуума/ А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев, А.А. Райков// Материалы VI Российской студенческой научно-технической конференции «Вакуумная техника и технология», Казань, 2013. – С.37-45.
2. Instruction manual: QDP DryStar Vacuum pumps // Edwards High Vacuum International. – 1997 – 51 p.
3. Edwards products // Edwards Limited. URL: <http://www.edwardsvacuum.com/Products/List.asp>.
4. Райков, А. А. Экспериментальное исследование безмасляного двухступенчатого комбинированного вакуумного насоса / А. А. Райков, С. И. Саликеев, А. В. Бурмистров // Вестник Казанского технологического университета – 2010 - № 7. - С.190-192.
5. Райков, А. А. Исследование характеристик двухступенчатого «сухого» вакуумного агрегата на базе ступеней ДВН и КЗВН / А. А. Райков, С. И. Саликеев, А. В. Бурмистров // Вестник Казанского технологического университета – 2013 - № 10. - С.235-236.
6. Бурмистров, А.В. Энергетические характеристики безмасляного кулачково-зубчатого вакуумного насоса / А.В. Бурмистров, А.А. Райков, С.И. Саликеев // Вестник Казанского технологического университета. - 2012, Т.15. - № 8. - С.257-258.

© А. А. Райков – асп. каф. вакуумной техники электрофизических установок КНИТУ; С. И. Саликеев - к.т.н., доц. той же кафедры, [salikeev\\_s@mail.ru](mailto:salikeev_s@mail.ru); А. В. Бурмистров - д.т.н., проф. каф. вакуумной техники электрофизических установок КНИТУ, [burm@kstu.ru](mailto:burm@kstu.ru).