

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВАКУУМНОГО ПАРОМАСЛЯНОГО ЭЖЕКТОРА

С. В. Шмагин, К.Б. Панфилович, А.В. Тимофеев
КГТУ, г. Казань

Представлено результати експериментальних досліджень робочих параметрів вакуумного паромасляного ежектора, виготовленого на базі вихідної ступені насосу Н-250. Розроблена методика визначення параметрів робочої пари, засобів форвакуумної відкачки і тисків виходу із ежектора за заданими значеннями тиску та потоку технологічного процесу. Розрахункові залежності можуть бути використані для оптимізації роботи вихідної ступені, а також всього високовакуумного насосу в цілому.

Представлены результаты экспериментальных исследований рабочих параметров вакуумного паромасляного эжектора, выполненного на базе выходной ступени насоса Н-250. Разработана методика определения параметров рабочего пара, средств форвакуумной откачки и давлений выхода из эжектора по заданным значениям давления и потока технологического процесса. Расчетные зависимости могут быть использованы для оптимизации работы выходной ступени, а также всего высоковакуумного насоса в целом.

This work presents the results of the experimental research of working parameters of vacuum ejector, made on the base of an output stage of the pump Н-250. The technique of determination of parameters of working vapour, means of evacuation, pressure of an output from ejector have been developed on base of values of pressure and flow of the technological process. The computational relation can be used for optimization of work of an output stage and also all high-vacuum pump as a whole.

Диффузійні паромасляні насоси, розпространені засоби отримання високого вакууму широко використовуються в різних галузях промисловості. В роботах [1-6] розглядаються варіанти розрахунків диффузійного насоса. Недостатньо освітлений розрахунок вихідної ежекторної ступені. Кожна нова розроблена конструкція звичайно потребує доводки при випробуваннях. На серійних насосах різної продуктивності встановлюються сверхзвукові і дозвукові робочі сопла, конічні, а також циліндричні камери змішення. В даній роботі проведено дослідження роботи ежекторної ступені при різних тисках робочого пара і швидкостях откачки форвакуумної ступені.

Експериментальна установка створена на базі випускаемого промисловістю серійного диффузійного вакуумного насоса Н-250/2500 (рис.1). Форвакуумна откачка проводилась механічними насосами марки 2НВР-5ДМ з швидкістю дії 5 л/с.

В якості робочого тіла використовувалося вакуумне масло ВМ-5. Температура пара робочої рідкості, змінюючись з зміною потужності електронагрівача, вимірювалася двома термопарами ТХА. Давлення робочого пара в кипятильнику визначалося шляхом перерахунку відомих температур пара по залежностям [2].

В результаті експерименту отримані оптимальні залежності $P_{вх}$ (давлень на вході в ежектор) і Q (потоків откачуваного газу) від $P_{роб}$ (давлень робочого пара на вході в сопло), а також $P_{вх}$ і Q від $S_{ф}$ (швидкості дії форвакуумного насоса). Випробування проводилися при потужностях і відповідних їм тисках (таблиця), для трьох швидкост

форвакуумної откачки (рис. 5, криві 4, 5 і 6). Всі випробування проводилися з одним і тим же соплом Лавала ($D_{кр}=30$ мм), камерою змішення служив вихідний патрубок корпусу диффузійного насоса.

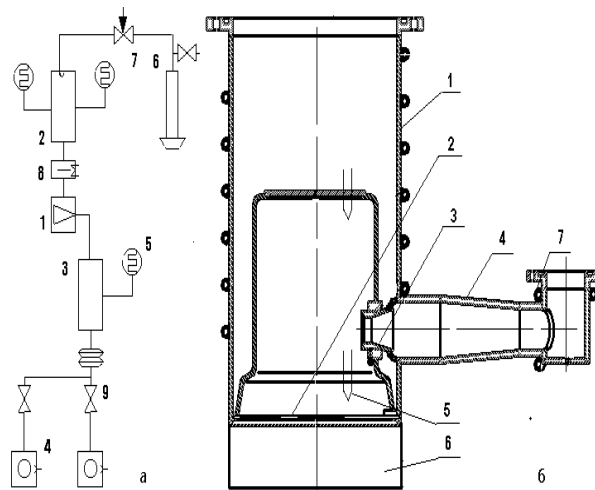


Рис.1. Схема установки: 1 - насос эжекторный; 2- камера на входе в насос; 3 - камера на выходе из насоса; 4 - механический насос; 5 - вакуумметр; 6 - бюретка; 7 - натекатель; 8 - ловушка; 9 - вентиль (а). Насос эжекторный: 1 - корпус; 2 - кипятильник; 3 - сопло; 4 - камера смешения; 5 - термопара; 6 - электроплитка; 7 - трубки водоохлаждения (б)

Методика проведення експерименту була такою: на вході в ежектор при заданій потужності електронагрівача і швидкості форвакуумного насоса встановлювалося остаточно тиск, далі з допомогою натекателя напускався газ в откачуваний

объем. При наступлении стационарного режима (давление в камере длительное время остается неизменным) производились замеры потоков откачиваемого газа и давления газа на выходе из эжектора при упомянутых фиксированных значениях давления газа на входе в насос. Всего проведено 300 измерений. Далее в результате экспериментов определены зависимости Q от $P_{вх}$ и Q от $P_{раб}$. На основе полученных данных построены обобщенные зависимости приведенных значений потоков откачиваемого газа от приведенных значений давления рабочего газа (рис.2) (Q/Q_{max} от $P_{раб}/P_{max}$, где Q_{max} - максимальная величина потока на зависимости Q от $P_{раб}$ при заданной $S_{ф}$; P_{max} - величина рабочего давления при Q_{max}). Зависимости Q_{max} от $P_{вх}$ при трех различных скоростях действия форвакуумного насоса показаны на рис.3, а зависимости $P_{раб}$ от $P_{вх}$ - на рис.4. Наиболее эффективная область работы эжектора совпадает с точками максимумов на зависимостях Q от $P_{раб}$. По установленным зависимостям возможно прогнозирование величин $P_{раб}$, $P_{вых}$ и $S_{ф}$ при заданных значениях давления и потока технологического процесса.

| Мощность нагревателя, кВт | Температура пара, К | Рабочее давление пара, Па |
|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| 1. 0,9 | 481 | 82 |
| 2. 1,1 | 484 | 98 |
| 3. 1,3 | 486 | 113 |
| 4. 1,5 | 488 | 127 |
| 5. 1,7 | 490 | 140 |

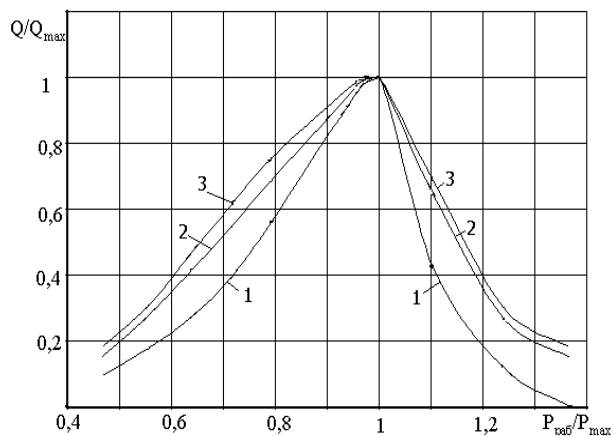


Рис. 2. Зависимости приведенных потоков от приведенных давлений рабочего пара при максимальных скоростях действия форвакуумной откачки: 1 - 3,5 л/с; 2 - 5 л/с; 3 - 9 л/с

На ниспадающих участках кривых (см. рис.2), работа эжекторной ступени является крайне нежелательной, так как в данном диапазоне работы кривые скорости действия эжектора S имеют также ниспадающий вид (правая ветвь кривой s на рис.5), и, как следствие, слабый рост Q при росте $P_{вх}$ (кривые потоков в зависимости от входных давлений лежат

правее точек перегибов (см. рис. 5 кривые 1, 2 и 3)). На возрастающих участках кривых (см. рис.2) работа эжектора также нежелательна, по мере удаления точки работы от точки максимума эффективность сильно падает. Работа эжектора в данной области характеризуется избыточными величинами $P_{раб}$ или $S_{ф}$. При значениях $P_{раб}/P_{max}$ ниже 0,7 "запас прочности" по указанным параметрам становится совершенно не оправданным.

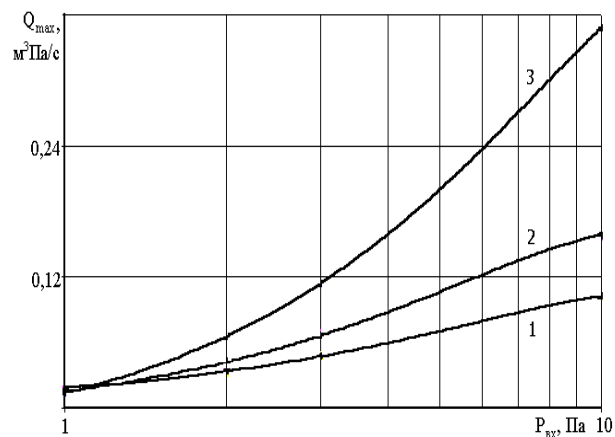


Рис. 3. Зависимости Q_{max} от $P_{вх}$ при максимальных скоростях действия форвакуумной откачки: 1 - 3,5 л/с; 2 - 5 л/с; 3 - 9 л/с

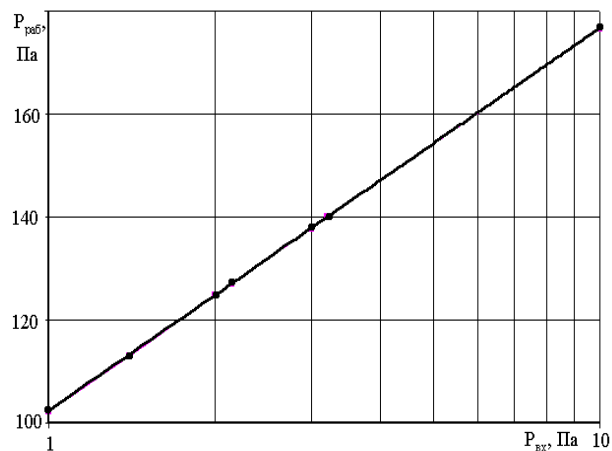


Рис.4. Зависимости $P_{раб}$. (соответствующих Q_{max}) от $P_{вх}$

Результаты работы показывают, что улучшение характеристик эжекторной ступени по величине максимального откачиваемого потока и максимальному выпускному давлению, а как следствие, и всего насоса, возможно в случае изменения величины давления рабочего пара на входе в сопло и скорости откачки форвакуумного насоса. Эффективность влияния увеличения указанных параметров на рост величины откачиваемого потока можно увидеть на рис. 5. Точки пересечения кривых Q от $P_{вых}$ (кривые 4, 5 и 6) с линиями выходных давлений эжектора (а, б, в, г и д; точки i_1, j_1 и k_1) определяют точки перегибов на зависимостях Q от $P_{вх}$: кривые 1, 2 и 3 (пример для линии д: точки i, j и k). Точки перегиба кривых 1, 2 и 3 являются точками конца ин-

тервала наиболее благоприятной работы ступени, когда при малом увеличении входных давлений происходит заметный рост потоков откачиваемого газа. На зависимостях быстроты действия эжектора и степени повышения давления от входных давлений эти точки соответствуют точкам максимальных величин быстроты действия и степеней повышения давления. Из рис. 5 видно, что наиболее эффективным является одновременное повышение величин $P_{\text{раб.}}$ и $S_{\text{ф}}$, на увеличение наибольшего выпускного давления сильнее влияет рост $P_{\text{раб}}$ (при постоянной $S_{\text{ф}}$, рост Q незначителен), в то время как на увеличение Q более сильно влияние оказывает рост $S_{\text{ф}}$, при этом соответственно невелико увеличение выходного давления.

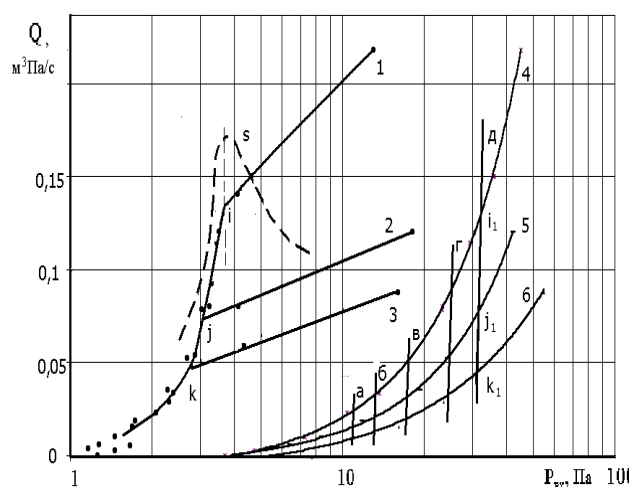


Рис. 5. Характеристики эжекторной и форвакуумной ступеней при совместной работе: 1, 2 и 3 - характеристики потоков эжектора при быстротах форвакуумной откачки, соответствующих кривым 4, 5 и 6 (максимальные быстроты действия 3, 5; 5 и 9 л/с); а, б, в, г и д - линии выходных давлений эжектора при $P_{\text{раб.}}$ соответственно 82, 98, 113, 127 и 140 Па; s - зависимость S от $P_{\text{вх}}$ (масштаб произвольный), соответствующая кривой 1

Увеличение давлений $P_{\text{раб.}}$ в паропроводе диффузионного насоса приводит к улучшению характеристик работы всех ступеней насоса. Если для эжекторной ступени рост $P_{\text{раб.}}$ заметно влияет на характеристики только при высоких давлениях откачиваемого газа (особенно близких к давлениям срыва), то для зонтичных ступеней рост $P_{\text{раб.}}$ заметно сказывается на улучшении характеристик во всем диапазоне работы. Так в работе при повышении $P_{\text{раб.}}$ с 42 до 162 Па, выходное давление первой ступени возрастает при низких входных давлениях более чем на порядок, а при высоких входных давлениях в 4-5

раз (замеры для разных величин рабочего пара проводились соответственно при равных величинах входных давлений и потоков откачиваемого газа). Анализ имеющихся в литературе и наших результатов позволяет заключить, что наиболее чувствительной ступенью к изменению диапазона работы в диффузионном насосе является эжектор. Срыв работы диффузионного насоса (второй зонтичной ступени) с ростом напуска газа происходит благодаря тому, что эжектор не справляется с потоком откачиваемого газа. Аналогичный вывод сделан в работе [7] при исследовании потоков тепла при конденсации паров рабочей жидкости на стенке корпуса диффузионного насоса.

Ограничением работы серийных диффузионных насосов по выходным давлениям и максимальным потокам откачиваемого газа также является процесс окисления рабочей жидкости (масла ВМ-1 и ВМ-5), происходящий при давлениях, близких к давлениям срыва. Применение силиконовых и синтетических вакуумных масел (ПФМС-2, Алкарен-24 и др.), а также увеличение давлений рабочих паров и быстрот форвакуумной откачки позволяют смещать рабочие характеристики диффузионного насоса в сторону характеристик бустерного насоса и вплотную приблизиться к ним.

Литература

1. А.Б. Цейтлин. *Пароструйные вакуумные насосы*. М. -Л.: «Энергия», 1965, 400 с.
2. Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев и др. *Вакуумная техника: Справочник* / Под. ред. Е.С. Фролова. М.: «Машиностроение», 1985, 360 с.
3. Ф. Д. Путиловский, Н. М. Гумеров и др. К расчету диффузионных насосов // *Физика и техника вакуума*. Казань, 1974, с. 314-319.
4. И.М. Лифшиц, Л.Н. Розенцвейг. К теории пароструйных вакуумных насосов // *ЖТФ*. 1952, т. 22, вып. 8, с. 1372-1375.
5. В.И. Скобелкин, Н.И. Юшенкова. Теория пароструйного вакуумного насоса // *ЖТФ*, 1954, т. 24, вып. 10, с. 1879-1891.
6. А.К. Ребров. Состояние теории и возможные пути развития струйной вакуумной техники // *Газодинамика процессов струйной вакуумной откачки*. Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1985, с. 7.
7. В.А. Жаворонков, Ф.Д. Путиловский и др. Экспериментальное исследование теплообмена при кипении и конденсации в диффузионном вакуумном насосе // *Кипение и конденсация*. Рига: Риж. политехн. ин-т, 1983, с. 133-139.