

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАЗОРА МЕЖДУ СПИРАЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗМАСЛЯНОГО СПИРАЛЬНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

ANALYSIS OF INFLUENCE OF CLEARANCE BETWEEN SCROLL ELEMENTS AND ROTATION SPEED ON OIL FREE SCROLL VACUUM PUMP CHARACTERISTICS

А. В.Тюрин^{1,2} / tyrin92@mail.ru,
А. А.Райков¹ / alraykov@kstu.ru
А. В.Бурмистров¹ / burm@kstu.ru
С. И.Саликеев¹ / salikeev_s@mail.ru
Е. Н.Капустин² / KapustinEN@vacma.ru

A.V.Tyurin, A.A.Raikov, A.V.Burmistrov, S.I.Salikeev, E.N.Kapustin

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань

²АО «Вакууммаш», г. Казань

С помощью математической модели проведены расчеты индикаторной мощности спирального вакуумного насоса при различных частотах вращения и радиальных зазорах.

Показано, что при входных давлениях ниже 2 кПа индикаторная мощность практически не зависит от давления. Повышение частоты вращения приводит к росту мощности.

Увеличение зазоров также повышает индикаторную мощность из-за роста обратных перетеканий. Установлено, что для каждой конкретной геометрии спиралей существует

давление, при котором индикаторная мощность практически не зависит от радиального зазора.

Calculation of indicated power of scroll vacuum pump at different rotation speeds and radial clearances is carried out with the help of mathematical model. It is shown that at inlet pressures lower than 2 kPa indicated power practically does not depend on pressure. Increase of rotation speed results in power growth. Increase of clearance increases indicated power due to growth of backward leakage. It is established that there is such a pressure for each particular scroll geometry at which indicated power practically does not depend on radial clearance.

Ключевые слова: *спиральный насос, индикаторная мощность, радиальный зазор, перетекания газа, полная мощность, индикаторные диаграммы, энергоэффективность.*

Key words: *scroll pump, indicator power, radial clearance, gas flow, full power, indicator diagrams, energy efficiency.*

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом сфера применения безмасляного вакуума расширяется. Насосы вакуумные спиральные (НВСП) (рис. 1) являются одними из наиболее востребованных в классе низко- и средневакуумных машин малой и средней производительности. Неуклонно растет количество компаний, занимающихся выпуском НВСП, появляются новые модификации, расширяется диапазон рабочих давлений [1]. Освоено производство машин с регулируемой частотой вращения приводного вала [2], успехом пользуются НВСП для специальных условий эксплуатации, включая откачку агрессивных и химически активных сред [3].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Любые изменения, которые вносятся в конструкцию НВСП, должны сопровождаться предварительным тщательным анализом влияния конструктивных факторов на рабочие характеристики. Для такой высокотехнологичной машины, как НВСП подобный анализ целесообразно проводить на математической модели.

Математическая модель рабочего процесса НВСП основана на решении системы дифференциальных уравнений системы переменной массы [4, 5]. Результатом расчета являются индикаторные диаграммы процесса откачки.

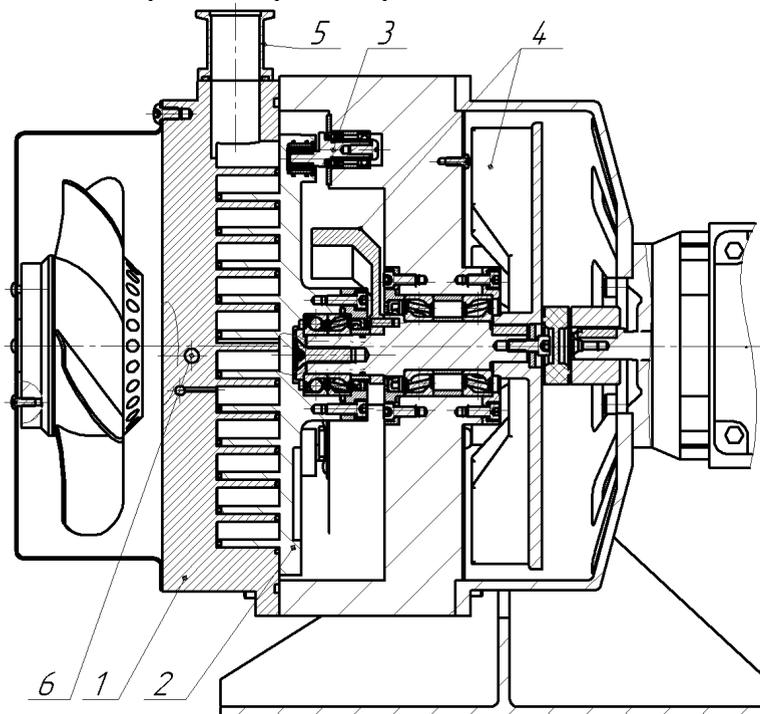


Рис. 1. Схема спирального вакуумного насоса НВСП-12: 1 – корпус с неподвижной спиралью, 2 – подвижная спираль, 3 – кулачек (противоповоротное устройство), 4 – противовесы, 5 – входной патрубок, 6 – отверстие выхлопа.

Как известно, НВСП относятся к бесконтактным машинам, поэтому одной из главных задач, решаемых на стадии проектирования, является выбор обоснованного радиального зазора между спиралью. Завышение зазора приводит к росту обратных перетеканий, ухудшению предельного остаточного давления и снижению быстроты действия. Чрезмерное уменьшение может привести к задеванию между боковыми поверхностями спиралей, а в худшем случае – к заклиниванию. Отметим, что величина минимального радиального зазора назначается с учетом его изменения в результате силовых и тепловых деформаций спиральных элементов, а также зазоров в подшипниках качения.

Рассмотрим, как влияет величина радиального зазора на основные параметры НВСП и в первую очередь на индикаторную мощность. Напомним, что индикаторную мощность НВСП можно найти с использованием выражения

$$W = (L_1 + L_2) n, \quad (1)$$

где L_1 и L_2 – индикаторная работа для каждой отсеченной полости НВСП, n – частота вращения приводного вала.

В свою очередь индикаторная работа соответствует площади индикаторных диаграмм и определяется по формуле

$$L = \int_0^{\phi_{рп}} P dV, (2)$$

где $\phi_{рп}$ – продолжительность рабочего процесса, P – давление в рабочей полости, V – объем рабочей полости.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчеты показывают, что в зависимости от входного давления увеличение радиального зазора оказывает противоположное влияние на индикаторную мощность. При низких входных давлениях и недожати давления в отсеченном объеме в момент соединения с окном нагнетания не успевает достигнуть атмосферного, поэтому происходит резкий скачок давления. Здесь увеличение зазора увеличивает давление в отсеченных объемах и соответственно индикаторную мощность.

При повышении входного давления возрастает и индикаторная мощность. При определенном давлении на входе давление в них превышает давление на выходе и в отсеченных объемах возникает пережатие. В этих условиях увеличение величины зазора приводит к стравливанию части газа из отсеченного объема, что снижает индикаторную мощность.

Таким образом, увеличение зазора в условиях недожатия газа в рабочем объеме повышает мощность, а в условиях пережатия – уменьшает. Это иллюстрирует рис. 2, на котором показано влияние зазора на индикаторную мощность. Интересно, что существует входное давление, при котором индикаторная мощность практически не зависит от радиального зазора. Для рассматриваемого НВСП – это 40 кПа (горизонтальная прямая на рис. 2). Здесь изменение потребляемой мощности отсутствует, поскольку рост давления в рабочей полости за счет притечек в полость компенсируется ростом утечек из полости.

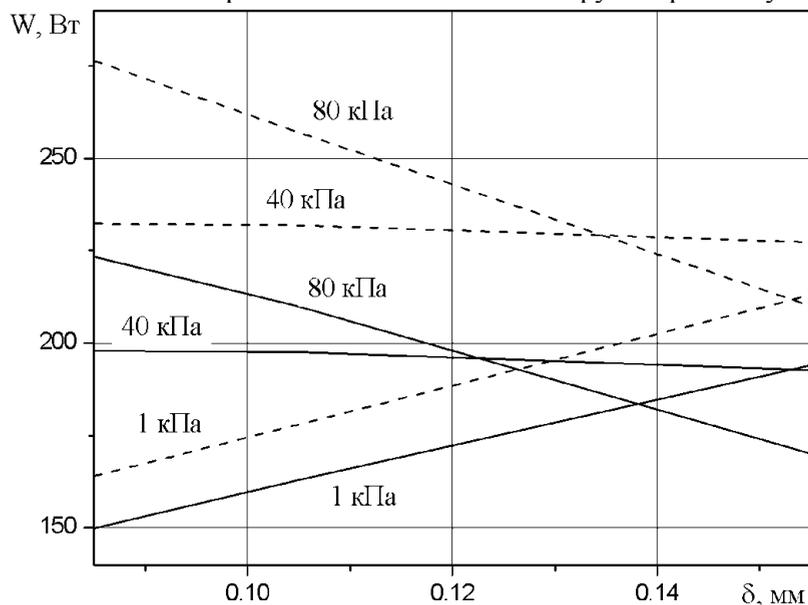


Рис. 2. Зависимость индикаторной мощности НВСП от зазора для различных входных давлений и частот вращения: сплошная линия – 1500 об/мин, пунктир – 1750 об/мин.

Как уже говорилось, одна из тенденций развития НВСП – создание насосов с частотой вращения, изменяющейся в зависимости от нагрузки, которая в первую очередь зависит от давления. Поэтому интересно рассмотреть, как изменяется индикаторная мощность в зависимости от частоты вращения. Расчеты показывают, что при увеличении частоты вращения мощность растет, причем скорость роста усиливается при повышении входного давления (рис. 3).

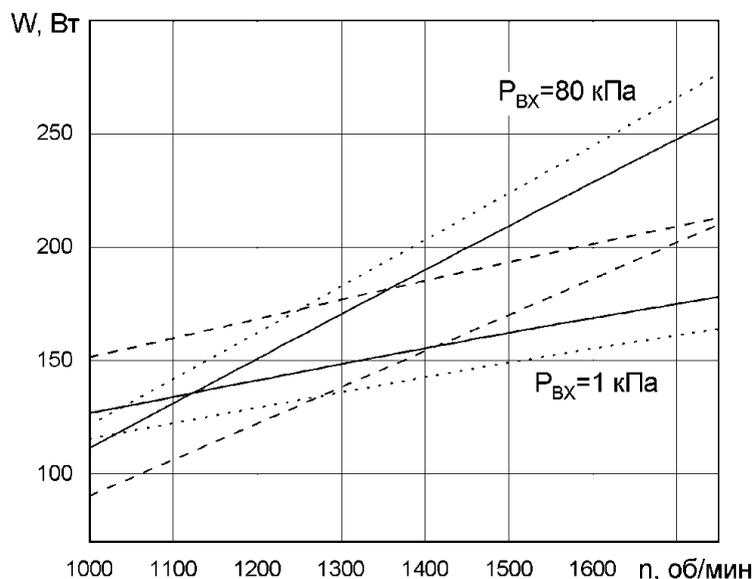


Рис. 3. Зависимость индикаторной мощности НВСП от частоты вращения для разных входных давлений: сплошная линия – 0,105 мм, точечная – 0,085 мм, пунктир – 0,155 мм.

Зависимость индикаторной мощности от входного давления представлена на рис. 4. При входных давлениях ниже 2 кПа индикаторная мощность практически не зависит от давления и определяется лишь механическими потерями в роторном механизме. Повышение частоты вращения, как следует из выражения (1), приводит к росту мощности. При входном давлении ~ 40 кПа кривые, построенные для разных зазоров, пересекаются, т.е., как было показано выше, мощность при этом давлении не зависит от величины зазора.

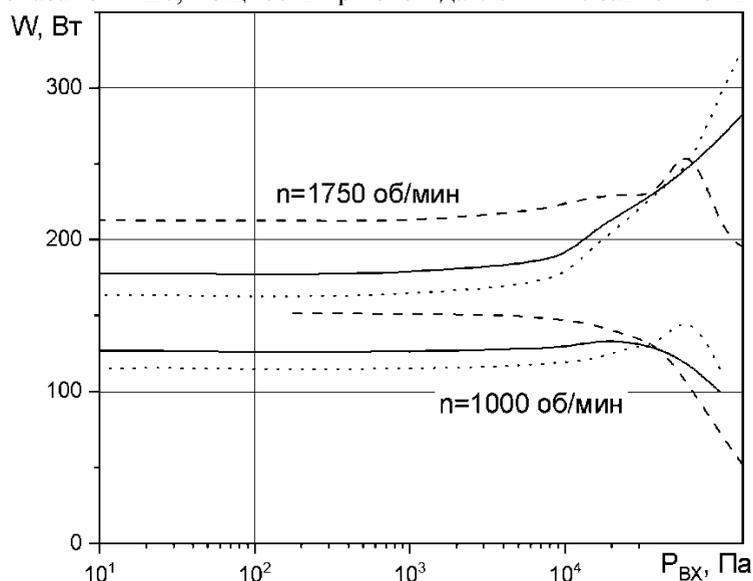


Рис. 4. Зависимость индикаторной мощности от входного давления: сплошная линия – 0,105 мм, пунктир – 0,155 мм, точечная – 0,085 мм.

ВЫВОДЫ

Проведенные расчеты позволяют оценить влияние различных параметров на энергетические характеристики насоса. Применение частотного преобразователя для снижения частоты вращения при высоких входных давлениях позволит повысить энергоэффективность спирального насоса без значительного ухудшения характеристик

насоса. Другим вариантом снижения потребляемой мощности может быть установка разгрузочного клапана, снижающего давление в области пережатия до перемещения газа в область выхлопа в атмосферу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современное состояние рынка безмасляных форвакуумных средств откачки / И. В. Ануфриева, Ю. К. Васильев, В. Н. Кеменов, С. Б. Нестеров, Т. С. Строгова // Вакуумная техника и технология. – 2003. - Т.13, № 2. - С. 93-99.

2. Edwardsn XDS - the great new shape of dry vacuum pumping [Электронный ресурс] /Edwards Ltd.- United Kingdom.: Edwards Ltd,2013. – Режим доступа: http://www.edwardsvacuum.com/nxds/en/index.html?cmpid=HomepageLink_nXDS0412, свободный.

3. Ilmvac scroll pumps operation manual [Электронный ресурс] /ILMVAC GmbH.- Germany.: ILMVAC GmbH, 2020. – Режим доступа: https://www.idealvac.com/files/manualsII/Welch_Ilmvac_S15_And_S10_ScrollVac_Manual.pdf, свободный.

4. Бурмистров А.В. Математическая модель рабочего процесса безмасляного спирального вакуумного насоса / А. В. Бурмистров, С. И. Саликеев, А. А. Райков, А.В. Тюрин, Р. Р. Якупов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2018, – № 6 (123). - С.103-113.

5. Burmistrov, A. Mathematical model of working process of oil free scroll vacuum pump : Influence of leakage and heat transfer on pumping characteristics / Burmistrov A., S. Salikeev, Raykov A., M. Fomina // Vakuum in Forschung und Praxis. - 2017. - Vol. 29. - Is. 6. – P. 28-31.

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ВАКУУМЕ

VACUUM METALLIZATION OF DUST MATERIALS

Ю.В.Панфилов

Yu.V.Panfilov

МГТУ им Н.Э. Баумана, г. Москва

Описаны и проанализированы методы нанесения тонкопленочных металлических покрытий на порошковые материалы. Приведены схемы металлизации порошков методом магнетронного распыления, с помощью пылевой плазмы и методом осаждения из газовой фазы.

Methods for applying thin-film metal coatings on powder materials are described and analyzed. Schemes for metallization of powders by magnetron sputtering, dusty plasma, and vapor deposition are presented.

Ключевые слова: *тонкопленочные металлические покрытия, металлизация порошков, пылевая плазма*

Key words: *thin-film metal coatings, metallization of powders, dusty plasma.*

До недавнего времени потребность в металлизированном порошке была связана в основном с алмазным инструментом для обработки труднообрабатываемых материалов. С