

А. В. Бурмистров, А. А. Райков, С. И. Саликеев,
А. В. Гаврилов, В. П. Матвеев

СТЕНД ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ БЕЗМАСЛЯНЫХ СПИРАЛЬНЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

Ключевые слова: спиральный насос, безмасляный вакуум, откачные характеристики, стенд испытаний.

Представлено описание экспериментального стенда для исследовательских испытаний безмасляных спиральных вакуумных насосов. Стенд позволяет проводить измерение всех основных характеристик спиральных насосов, а именно, быстроты действия, предельного остаточного давления, потребляемой мощности, вибрации, уровня шума, температур корпуса и газа на входе и выходе. Все параметры могут быть измерены в диапазоне давлений от предельного остаточного, до давления, близкого к атмосферному. Представлены некоторые результаты исследования характеристик промышленных спиральных машин.

Keywords: spiral pump, oil-free vacuum, the pumping characteristics, test unit.

The description of experimental unit for research of oil-free scroll vacuum pumps is presented. The makes possible to measure main characteristics of scroll pumps, i.e. pump speed, ultimate pressure, input power, vibration, noise level, casing temperature, temperature of gas at the inlet and the outlet. All parameters can be measured in the pressure range from the ultimate pressure up to the pressure close to atmospheric pressure. Some research characteristics of commercial scroll pumps are presented.

Особые требования к чистоте вакуума предъявляются во многих отраслях промышленного производства, например, при получении конструкционных материалов с наноструктурированными поверхностными покрытиями, в установках получения нанокерамики и биосовместимых материалов с функциональными свойствами, технологиях создания чувствительных элементов миниатюрных датчиков на основе нанопленок, т.е. там, где присутствие даже малейшего количества паров масла в остаточной среде приводит к необратимым потерям качества продукции. Практически каждое второе приложение нанотехнологий нельзя даже представить без «чистого» вакуума. Это наглядно иллюстрирует одно из наиболее перспективных приложений нанотехнологий – индустрия нанесения наноструктурированных покрытий в вакууме, включающая ионно-плазменные, дуговые и электронно-лучевые методы. Все технологии, связанные с изготовлением и использованием фотоэлементной аппаратуры для солнечной энергетики, плоскопанельных дисплеев, элементов электронных схем субмикронных и нанометровых размеров для производства материалов, компонентов и изделий микросистемной техники также реализуются только в условиях безмасляного вакуума [1, 2].

Обеспечить чистый, незагрязненный парами рабочей жидкости насоса вакуум, можно только с помощью безмасляных средств откачки. Поэтому в настоящее время очень перспективна разработка насосов, в конструкции которых полностью исключено применение масла или оно отсутствует в его рабочем объеме [3].

Следует отметить, что из известных безмасляных насосов низкого и среднего вакуума мелкими сериями в России выпускаются только мембранные насосы. Однако в одноступенчатом исполнении с помощью лучших мембранных насосов не удастся получить предельное остаточное давление ниже 1000 Па. Быстрота действия мембранных насосов не превышает 20 м³/ч, что существенно ограничивает их применение. Следует также помнить об ограниченном ресурсе мембран. Поэтому мембранные насосы никак нельзя счи-

тать безмасляной альтернативой вакуумным насосам с масляным уплотнением.

В свою очередь общепризнанным лидером среди безмасляных механических насосов является спиральный вакуумный насос (НВСП), называемый за рубежом «Scroll». НВСП – самый новый тип вакуумных машин, появившийся на рынке вакуумного оборудования только на рубеже XX столетия, и обладающий по сравнению с другими типами насосов целым рядом значительных преимуществ. С каждым годом на мировом рынке доля НВСП среди безмасляных средств откачки неуклонно растет, что говорит об объективных достоинствах спирального механизма. К сожалению, потребность в спиральных насосах в России полностью покрывается за счет импорта. Освоение выпуска линейки отечественных безмасляных машин позволит провести эффективную модернизацию существующего технологического оборудования и повысить качество продукции путем замены устаревших «масляных» систем на машины «сухого» сжатия [4].

Одной из составляющих проекта «Создание высокотехнологичного производства безмасляных спиральных вакуумных насосов для индустрии наносистем и наноматериалов» является экспериментальное исследование параметров создаваемых насосов и исследовательские испытания их зарубежных аналогов.

Целью проведения исследовательских испытаний является создание базы экспериментальных данных по откачным характеристикам и другим эксплуатационным параметрам разрабатываемых насосов и зарубежных аналогов НВСП, необходимой для решения следующих задач:

- проверки соответствия заявленных в паспорте откачных характеристик и других параметров экспериментальным данным;
- сопоставления с откачными и энергетическими удельными характеристиками разрабатываемых НВСП;

- сопоставления с расчетными зависимостями быстроты действия от давления

Для получения экспериментальных данных по спиральным безмасляным насосам создан стенд, позволяющий проводить измерение всех основных параметров НВСП во всем рабочем диапазоне рабочих давлений, в том числе в соответствии с ГОСТ Р 54807-2011 (ISO 21360:2007) [5].

Разработанный экспериментальный стенд позволяет измерить следующие характеристики НВСП:

- быстрота действия насоса в зависимости от давления на входе, в том числе, при различных частотах вращения электродвигателя;
- предельное остаточное давление, в том числе, в зависимости от частоты вращения приводного вала;
- мощность, потребляемая насосом, в зависимости от давления на входе в диапазоне от предельного остаточного давления до давления, близкого к атмосферному;
- температура корпуса и температура газа на входе и выходе в зависимости от давления;
- уровень звука и звукового давления;
- виброскорость и виброускорение в местах крепления насоса.

Частота орбитального вращения НВСП изменяется с помощью частотного преобразователя EI-8001-005H и измеряется фототахометром АКТАКОМ АТТ-6002 с погрешностью $\pm 0,1\%$.

Быстрота действия исследуемых НВСП может изменяться от 1 до 16 л/с, а давление на входе - от 1 до 10^5 Па.

Средства измерения основной характеристики любого вакуумного насоса – зависимости быстроты действия от давления на входе обеспечивают измерение давления и потока во всем интересующем диапазоне. Для измерения давления используются два образцовых деформационно-термопарный вакуумметра ВДТО-3, имеющих в диапазоне от $1,33 \cdot 10^{-3}$ до $6,65 \cdot 10^3$ Па относительную погрешность $\pm 10\%$, а в диапазоне от $6,65 \cdot 10^3$ до $1,06 \cdot 10^5$ Па абсолютную погрешность ± 665 Па.

Вакуумная схема стенда представлена на рис. 1.

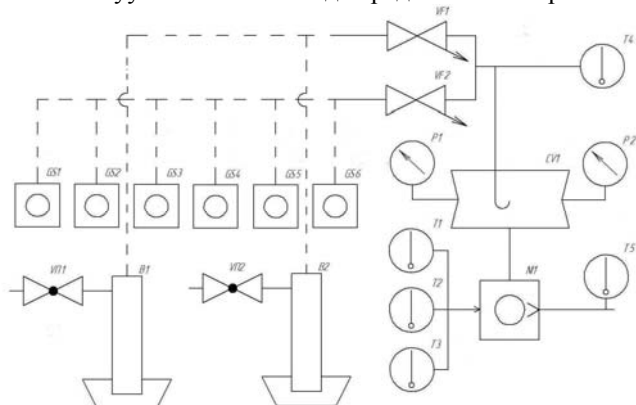


Рис. 1 – Вакуумная схема экспериментального стенда: CV1 – измерительная камера; P1, P2 – вакуумметры; VF1, VF2 – натекатели; B1, B2 – бюретки; VП1, VП2 – кран проходной; GS1..GS4 – счетчики газовые; GS5..GS6 – регуляторы расхода газа; T1..T5 – термопары; NП – зарубежный аналог НВСП

Перечень всех средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для проведения исследовательских испытаний НВСП представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав и характеристики приборного обеспечения стенда исследовательских испытаний НВСП

Наименование и тип средства измерения	Назначение	Класс точности или погрешность
1	2	3
Вакуумметр деформационно-термопарный образцовый ВДТО-3	Измерение барометрического давления, измерение давления в измерительной камере	В диапазоне от $1,33 \cdot 10^{-3}$ до $6,65 \cdot 10^3$ Па относительная погрешность $\pm 10\%$, в диапазоне от $6,65 \cdot 10^3$ до $1,06 \cdot 10^5$ Па абсолютная погрешность ± 665 Па
Барабанный газовый счетчик Ritter TG 05	Измерение потока газа	Приведенная погрешность $\pm 0,5\%$
Барабанный газовый счетчик Ritter TG 25	Измерение потока газа	Приведенная погрешность $\pm 0,5\%$
Счетчик газовый барабанный ГСБ-400	Измерение потока газа	Класс точности 1
Счетчик газовый РГ-40	Измерение потока газа	Класс точности 1
Регулятор расхода газа MKS 1179D 11 C (максимальный расход газа 0,6 л/ч)	Измерение потока газа	Класс точности 1
Регулятор расхода газа MKS 1179 12 C (максимальный расход газа 6 л/ч)	Измерение потока газа	Класс точности 1
Бюретка V=5 мл	Измерение потока газа	Относительная погрешность $\pm 5\%$
Бюретка V=100 мл	Измерение потока газа	Относительная погрешность $\pm 5\%$
Частотный преобразователь EI-8001-005H	Изменение частоты вращения приводного вала насоса	Точность поддержания частоты $\pm 0,5\%$
Фототахометр АКТАКОМ АТТ-6002	Измерение частоты вращения приводного вала насоса	Погрешность $\pm 0,1\%$
Устройство контроля температуры см 75КТ38-Щ4.Т.П с термопарами	Измерение температуры корпуса насоса, температуры газа на входе и выходе из насоса	Погрешность $\pm 0,5\%$ (без учета погрешности датчика)

Окончание табл. 1

1	2	3
Шумомер-вибромметр, анализатор спектра портативный «Октава-110А (ЭКО)»	Измерение уровня звука и звукового давления в среднегеометрических частотах октавных полос	Класс точности 1
Вибромметр «Янтарь-М»	Измерение виброскорости и виброускорения в местах крепления насоса	Допускаемая основная относительная погрешность измерения виброускорения (на базовой частоте 159,2 Гц) - $\pm 6\%$
Контроллер – монитор сети КМС – Ф1.Щ2.Р	Измерение мощности, потребляемой насосом от давления на входе	Основная погрешность измерений активной мощности от 20 до 2000Вт - $\pm 1\%$.
Гигрометр психрометрический ВИТ-1	Измерение влажности	Предельная относительная погрешность $\pm 7\%$.

В качестве примера на рис.2 показана зависимость предельного остаточного давления от частоты вращения для насоса Anest Iwata ISP-250C [4]. При снятии этой кривой частота орбитального вращения плавно изменялась за счет частотного преобразователя. Можно видеть, что снижение предельного остаточного давления происходит при повышении частоты вращения до 1000 об/мин. Дальнейшее увеличение частоты вращения не приводит к улучшению предельного вакуума.

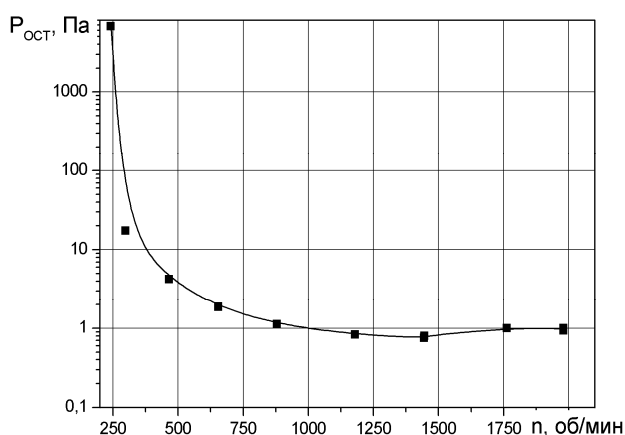


Рис. 2 – Предельное остаточное давление спирального безмасляного насоса Anest Iwata ISP- 250C

Для измерения быстроты действия используется метод постоянного потока, который основан на установлении некоторого постоянного давления на входе в насос за счёт создания определенного потока через нагнетатель в измерительную камеру и измерении этого

потока и давления на входе в насос.

Для измерения потока к измерительной камере присоединяются поочередно шесть расходомеров (потокомеров). Диапазоны расхода различных расходомеров выбраны в зависимости от оценки потока в ходе экспериментов. За счет каскадного использования с перекрывающимися диапазонами, ошибка в измерении потока во время эксперимента значительно уменьшается.

На рис. 3 нанесена паспортная характеристика насоса Anest Iwata ISP-90 [6] в сопоставлении с полученными экспериментальными данными. Наблюдается хорошее согласие паспортных и измеренных на стенде экспериментальных значений.

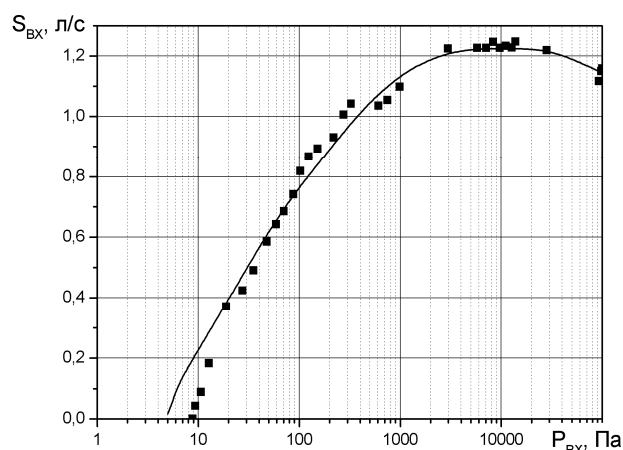


Рис. 3 – Быстрота действия спирального безмасляного насоса Anest Iwata ISP-90 при частоте орбитального вращения 1450 об/мин: линия – паспортные данные, маркеры – наш эксперимент

Температура фиксируется при помощи хромель-копелевых термопар и устройства контроля температуры УКТ38-Щ4.Т.П (погрешность $\pm 0,5\%$). Термопары крепятся с помощью специальных зажимов на корпусе НВСП. По одной термопаре устанавливается в поток газа на входе и на выходе.

Для контроля за составом остаточной среды НВСП используется масс-спектрометрическая установка фирмы MKS Vision 2000-C на базе квадрупольного масс-спектрометра MicroVision 2. Масс-спектрометрическая установка оснащена дифференциальной двухступенчатой системой откачки на базе турбомолекулярного и мембранного насосов, специальных клапанов и дросселирующих диафрагм, системой прогрева и автоматической продувки сухим азотом. Встроенная система откачки позволяет масс-спектрометрической установке проводить измерения в диапазоне давлений на входе от 10^{-5} мм рт.ст. до 100 мм рт.ст., диапазон определяемых атомных масс от 1 до 300 а.е.м., минимальное определяемое парциальное давление $2 \cdot 10^{-11}$ мм рт.ст. при работе без прогрева с давлением в камере $< 10^{-4}$ мм рт.ст.. При помощи специального программного обеспечения EasyView происходит обработка полученных данных и вывод спектра остаточных газов в режиме реального времени на экран персонального компьютера и его архивирование.

Статья подготовлена на кафедре «Вакуумная техника электрофизических установок» КНИТУ при финансовой поддержке проекта «Создание высокотехнологичного производства безмаслянных спиральных вакуумных насосов для индустрии наносистем и наноматериалов» открытого публичного конкурса по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства согласно постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года N 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Литература

1. Маркетинговые исследования, анализ рынков, проведение маркетинговых исследований на заказ // Research.Techart. URL: <http://research-techart.ru/>.

2. Васильева, Т. С. Анализ современного рынка оборудования систем создания и поддержания вакуума / Т. С. Васильева, Ю. К. Васильев, С. Б. Нестеров // Материалы XI научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника». - М.: МИЭМ, 2005. - С. 79-86.
3. Бурмистров, А.В. Некоторые аспекты выбора безмасляных насосов среднего вакуума / А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев, А.А. Райков // Вестник Казанского технологического университета. - 2013, Т.16. - № 10. - С.220-223.
4. Бурмистров, А.В. Создание типоразмерного ряда безмасляных спиральных вакуумных насосов / А.В. Бурмистров, Е.Н. Капустин, Р.Р. Зиганшин // Вестник Казанского технологического университета. - 2013, Т.16. - № 8. - С.276-279.
5. ГОСТ Р 54807-2011 (ISO 21360:2007) Вакуумная технология. Стандартные методы измерения характеристик вакуумных насосов. Общие положения
6. <http://anestiwata.com/product-category/vacuum-pumps/>

© **А. В. Бурмистров** - д.т.н., проф. каф. вакуумной техники электрофизических установок КНИТУ, burm@kstu.ru; **А. А. Райков** – асп. той же кафедры, ors@hitv.ru; **С. И. Саликеев** – к.т.н., доц. той же кафедры, salikeev_s@mail.ru; **А. В. Гаврилов** – к.т.н., доц. той же кафедры, : vacuum-ag@yandex.ru; **В. П. Матвеев** асп. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, badhakker@yandex.ru.