

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, плоскочелюстных 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 м<sup>3</sup>/ч, что существенно ограничивает их применение. Следует также помнить об ограниченном ресурсе мембран. Поэтому мембранные насосы никак нельзя считать 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 безмаслянных 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 105 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  $1,33 \times 10^{-3}$  до  $6,65 \times 10^3$  Па относительную погрешность  $\pm 10\%$ , а в диапазоне от  $6,65 \times 10^3$  до  $1,06 \times 10^5$  Па абсолютную погрешность  $\pm 665$  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; VP1, VP2 – кран проходной; GS1..GS4 – счетчики газовые; GS5..GS6 – регуляторы расхода газа; T1..T5 – термопары; NI1 – 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  $1,33 \times 10^{-3}$  до  $6,65 \times 10^3$  Па относительная погрешность  $\pm 10$  %, в диапазоне от  $6,65 \times 10^3$  до  $1,06 \times 10^5$  Па абсолютная погрешность  $\pm 665$  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 С (максимальный расход газа 0,6 л/ч) Измерение потока газа Класс точности 1 Регулятор расхода газа MKS 1179 12 С (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-виброметр, анализатор спектра портативный «Октава-110А (ЭКО)» Измерение уровня звука и звукового давления в среднегеометрических частотах октавных полос Класс точности 1 Виброметр «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 ISP250C 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 натекаТЕЛЬ 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 безмасляных 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».