

ОТЗЫВ

официального оппонента

к.т.н., Сарманаевой Альбины Фаридовны

на диссертационную работу Исаева Александра Анатольевича «Рабочий процесс безмасляных вакуумных насосов внешнего сжатия с различными профилями роторов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.10. «Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника гидро- и пневмосистемы».

1. Актуальность диссертационной работы

Развитие вакуумных технологических процессов диктует все более высокие требования к чистоте рабочей среды. Удовлетворение этих требований невозможно без применения безмасляных средств откачки. Рассматриваемый в данной работе двухроторный насос типа Рутс (НВД) является одним из перспективных средств создания безмасляного вакуума. При достаточно простой и технологичной конструкции он позволяет проводить откачку с высокой быстротой действия в диапазоне низкого и среднего вакуума. Существующие отечественные насосы с быстротой действия до $600 \text{ м}^3/\text{ч}$ не могут покрыть потребности отечественной промышленности, поэтому разработка высокопроизводительных насосов является актуальной задачей. С ростом производительности возрастает влияние геометрии рабочих элементов, как на откачные, так и на энергетические характеристики. Поэтому для расширения типоразмерного ряда насосов необходима разработка математической модели рабочего процесса и совершенствование конструкции с применением этой модели. Актуальность данной работы заключается в восполнении пробела и создании достаточно универсальной модели рабочего процесса двухроторных вакуумных насосов, позволяющей рассчитывать откачные

характеристики как в вязкостном, так и в переходном режимах течения газа.

2. Структура и содержание работы

Диссертационная работа Исаева А. А. выполнена на кафедре «Вакуумной техники электрофизических установок» ФГБОУ ВО Казанского национального исследовательского технологического университета.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Содержит 163 страница текста, 79 рисунков и 10 таблиц. Список использованных источников, составляет 103 наименования.

Во введении, обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы научные проблемы, научная новизна и практическая значимость, личный вклад в работу, представлено краткое содержание диссертации.

В первой главе, выполнен обзор существующих конструктивных решений в области проектирования двухроторных вакуумных насосов, приведены их достоинства и недостатки. Рассмотрены существующие методики расчета характеристик двухроторных машин. По результатам проведенного аналитического обзора сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе представлены методики экспериментальных исследований и стенды для их реализации, а также полученные результаты экспериментальных исследований рабочих процессов. Приведены результаты измерения быстроты действия, максимального отношения давлений входа и выхода, зависимостей температуры рабочих элементов насоса и газа, а также проводимости зазоров роторного механизма для трех типов профилей роторов.

В третьей главе представлена математическая модель рабочего процесса НВД, основанная на дифференциальных уравнениях, описывающих состояние системы с переменной массой газа. Приведены основные допущения, используемые при расчете. Модель дополнена учетом подвижности стенок роторов, температурными деформациями элементов насоса, влияющих на размеры зазоров, газодинамическим сопротивлением входного и выходного тракта. Также представлена отдельная модель, основанная на методах вычислительной гидрогазодинамики и реализованная в пакете Ansys, которая использована при верификации математической модели. Приведены результаты валидации моделей путем сравнения с собственными и литературными данными. Отклонение расчетных данных от результатов эксперимента не превышает 11 %.

В четвертой главе представлены результаты расчетов быстроты действия и степени повышения давления с использованием разработанной математической модели. Приведены данные для различных типов профилей и соотношений геометрических размеров. Показано преимущество профиля, на который автором работы получен патент.

В заключении, изложены основные выводы по работе.

3. Научная новизна работы

1. Впервые проведены экспериментальные исследования откачных характеристик НВД с тремя типами профилей роторов при работе с различными форвакуумными насосами.

2. Впервые проведено экспериментальное измерение проводимости роторного механизма НВД с различными роторами.

3. Разработана новая математическая модель рабочего процесса НВД учитывающая подвижность стенок роторов, теплообмен, тепловые деформации, сопротивления входного и выходного патрубков.

4. Получены выражения для вычисления температуры корпуса и роторов при различных рабочих параметрах.

5. Определены геометрические параметры эллиптического профиля, обеспечивающие наименьшие обратные перетекания.

6. Получены результаты исследования влияния геометрии профиля роторов на откачные характеристики НВД.

4. Практическая и теоретическая значимость диссертационного исследования

Практическая ценность

Разработаны и апробированы методики экспериментального исследования откачных и температурных характеристик НВД при работе в различных режимах, определению проводимости роторного механизма насоса.

Разработаны рекомендации по проектированию роторного механизма НВД, обеспечивающего большую степень повышения давления и большую быстроту действия по сравнению с применяемыми аналогами.

Запатентована конструкция двухроторной машины с эллиптическим профилем роторов и обоснован выбор наилучших соотношений размеров профиля.

Математическая модель насосов НВД внедрена в процесс разработки новых НВД на АО «Вакууммаш» (г. Казань) и в процесс разработки и оптимизации компрессоров объемного действия и климатического оборудования на ООО «ТРАКС» (г. Москва). Разработанный стенд для комплексных экспериментальных исследований откачных характеристик и проводимости каналов НВД используется для проведения лабораторных занятий, выполнения курсовых и выпускных квалификационных работ бакалавров и магистров по направлению подготовки «Технологические машины и оборудование» на кафедре «Вакуумной техники электрофизических установок» КНИТУ, стенд для измерения

температурных полей используется для получения температурных зависимостей роторов, корпуса и газа новых НВД на АО «Вакууммаш».

Теоретическая значимость.

Разработана и экспериментально подтверждена математическая модель рабочего двухроторного вакуумного насоса типа Рутс, включающая учет подвижности стенок роторов, теплообмен, тепловые деформации, сопротивления входного и выходного патрубков.

Установлено влияние типа ротора и соотношений его геометрических размеров на откачные характеристики и максимальную степень повышения давления.

5. Личный вклад автора

Автором сформулирована научная проблема, цель и задачи диссертационного исследования, выполнен анализ полученных результатов и разработаны рекомендации по повышению характеристик двухроторных вакуумных насосов. Запатентована конструкция двухроторной машины с эллиптическим профилем роторов. Проведена разработка, верификация и валидация математической модели. Модернизированы серийно выпускаемые насосы НВД-200 для установки трех типов роторов. Разработаны и собраны экспериментальные установки, с помощью которых проведены исследования откачных характеристик, максимальной степени повышения давления и проводимостей роторного механизма.

6. Апробация работы

Основные положения работы докладывались и обсуждались на Российской студенческой научно-технической конференции Вакуумная техника и технология г. Казань (2019, 2023), международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология»,

г. Москва (2019), международной научно-технической конференции «Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства», г. Омск (2020, 2022, 2024), Всероссийской научно-технической конференции «Вакуумная техника и технология» г. Санкт Петербург (2020), научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника», г. Москва (2020), международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы», г. Казань (2022).

Публикации

По теме диссертации опубликовано более 26 научных печатных работ, в том числе 8 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 7 в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science; 1 учебное пособие, 1 патент.

Диссертация соответствует специальности 2.5.10. Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы в части п.п.1-4.

Диссертационная работа Исаева Александра Анатольевича соответствует требованиям, установленным в п.9 «Положения о присуждении ученых степеней». В диссертационной работе отсутствуют заимствования материалов без ссылки на автора и (или) источник заимствования, а также результатов работы в соавторстве без ссылок на авторов.

Замечания

1. В разделе 2.1.1 описаны уравнения для построения эллиптического профиля, но нет уравнений для эвольвентного профиля.
2. Стр. 11 имеется аббревиатура «ФВН» в перечне сокращений нет данной аббревиатуры.
3. Не определено понятие энергоэффективность.
4. В разделе 3.3 не указаны каналы роторного механизма, для которых учитывается движение стенок.

7. Заключение

Диссертация Исаева Александра Анатольевича является самостоятельной, завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие машиностроительной отрасли РФ, а именно, - разработки и создания безмасляных вакуумных насосов.

Тема и содержание диссертации “Рабочий процесс безмасляных вакуумных насосов внешнего сжатия с различными профилями роторов” полностью соответствует специальности 2.5.10 Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы.

Диссертация “Рабочий процесс безмасляных вакуумных насосов внешнего сжатия с различными профилями роторов” Исаева Александра Анатольевича, соответствует требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.10. Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы.

Официальный оппонент Сарманаева Альбина Фаридовна, кандидат технических наук, Заместитель главного конструктора ЦКУ-начальник отдела технологических инноваций и импортозамещения АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа». Адрес: 420029, г. Казань, Сибирский тракт, 40, Тел: +7 (843) 221-53-53 E-mail: niitk@niitk.ru

Официальный оппонент

к.т.н.,

Подпись заверяю



А.Ф. Сарманаева

Вход. № 05-8265
«03» 12 2024 г.
подпись