

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и
трансферу технологий

Томский политехнический университет,
доктор физико-математических наук



 Сухих Л.Г.

«26» апреля 2022г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет – на диссертацию Фадюшина Дениса Вячеславовича «Повышение характеристик пневматических роторных машин за счет модификации геометрических параметров планетарного механизма», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин

На отзыв представлены:

- диссертационная работа объемом 139 страниц текста, состоящая из введения, 5-и глав, заключения, списка литературы из 125-ти наименований;

- автореферат диссертации на 24-х страницах, включая список из 15-и основных публикаций по теме диссертационной работы, из которых 7 статей в изданиях, входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ, 2 входят в реферативную базу Scopus; 3 — в прочих изданиях и сборниках трудов научно-технических конференций.

Актуальность исследования. Работа посвящена актуальной проблеме повышение характеристик пневматических роторных машин за счет модификации геометрических параметров планетарного механизма. Долгое время практически все объемные пневматические машины, в частности компрессоры, были поршневые. Это конструктивно и технологически отработанные и проверенные конструкции, тем не менее, они состоят из большого количества деталей и сравнительно быстро изнашиваются. В настоящее время в промышленности возникла большая потребность в объемных пневмомашин. К ним предъявляются высокие эксплуатационные требования в связи с круглосуточной, непрерывной

работой. В последние десятилетия на смену поршневым приходят винтовые компрессоры и вакуумные насосы. Их преимуществом является более длительный срок службы, но они сложны в изготовлении. Большинство винтовых пневмомашин производятся за рубежом.

Важным направлением развития компрессоростроения является повышение срока службы пневмомашин при достаточной простоте их конструкции и технологии изготовления. Для реализации такого развития, помимо улучшения широко применяющихся в настоящее время поршневых и винтовых пневмомашин, целесообразно рассматривать и другие конструкции, в том числе, опирающиеся на новые технологические возможности машиностроения.

Исследованием условий, позволяющих эффективно использовать в качестве компрессоров и вакуумных насосов планетарно-роторные машины (ПРМ) с плавающими сателлитами, ранее никто в мире не занимался. Данной актуальной задаче посвящена диссертационная работа Д.В. Фадюшина. Об актуальности темы исследования косвенно свидетельствует то, что работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ и Курганской области (грант №19-48-450001).

Общая оценка содержания диссертационного исследования.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы.

Во **введении** обоснована актуальность проведённого исследования, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, её научная новизна, практическая ценность, объект и предмет исследования, основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** выполнен краткий обзор широко применяющихся механизмов объемных гидро- и пневмомашин, а также рассмотрены известные конструкции планетарно-роторных машин (ПРМ) с плавающими сателлитами.

Во **второй главе** выполнен анализ существующие методы расчета и проектирования ПРМ, указаны недостатки этих методов и внесены поправки, касающиеся учета действия сил инерции.

В **третьей главе** решаются задачи повышения степени сжатия рабочей среды и увеличения площади сечения подводящих каналов, предложен алгоритм модификации геометрических параметров ПРМ.

В **четвертой главе** решаются задачи разработки методики геометрического расчета круглозвенного планетарного механизма с одинаковым числом зубьев центральных колес и оценка работоспособности ПРМ в динамике с учетом сил инерции и давления рабочей среды.

В **пятой главе** приведены результаты экспериментальных исследований нескольких модификаций ПРМ в режиме вакуумного насоса и

компрессора, которые подтверждают теоретические выкладки и целесообразность использования модифицированных ПРМ пневмомашинах.

Основные научные результаты и их значимость для науки и производства

Основные результаты, полученные автором:

Уточнен метод геометрического проектирования некруглых зубчатых колес ПРМ. Присутствующая в известном методе погрешность, вызываемая независимым построением контуров зубчатых венцов двух центральных колес, полностью устранена путем перехода в единую систему отсчета, связанную с мнимым водилом. Скорректирована методика геометрического расчета.

Разработан алгоритм геометрического расчета круглозвенных планетарных механизмов с одинаковым числом зубьев центральных колес внешнего и внутреннего зацепления (со смещением $X_2=10..15$), с новым порядком расчета.

Предложено новое техническое решение – «выстой» сателлитов, – позволяющее увеличить геометрическую степень сжатия в ПРМ в 2 раза. Разработана методика геометрического расчета ПРМ с «кусочным» заданием функции, описывающей центровую траекторию сателлитов.

Разработаны конструкции ПРМ $N-M=1$ с подводными каналами в цилиндрической зубчатой поверхности солнечной шестерни, разработана соответствующая расчетная методика, позволяющая увеличить сечение каналов до 10 раз. Предложен единый безразмерный критерий оценки относительных размеров каналов ПРМ.

Проведен анализ действующих на сателлиты ПРМ инерционных сил (центробежная F_c , относительная радиальная F_r , кориолисова F_k , инерционный момент M_j), которые улучшают структурную устойчивость и, соответственно, надежность механизма.

Разработаны конструкции и испытаны модельные образцы пневматических ПРМ (вакуумный насос, компрессор) на базе $M-N=1$ и $M=N$ с «выстоями». Испытания подтвердили корректность разработанных методик геометрического проектирования ПРМ.

На основании выполненных расчетов и экспериментов даны рекомендации о предпочтительности и целесообразности использования схем ПРМ $N=M$ (2-2, 3-3, 4-4) в компрессорах, а схем ПРМ $N-M=1$ (4-3 и 5-4) в пневмодвигателях и насосах для получения низкого вакуума.

Научную новизну работы составляют:

1. Решение задачи уменьшения вредных объемов рабочих камер за счет модификации формы центроид некруглых колес ПРМ.

2. Разработанный автором метод определения положения и размеров подводящих каналов в цилиндрической зубчатой поверхности солнечной шестерни ПРМ.

Практическое значение результатов заключается в следующем:

1. Уточненная инженерная методика геометрического расчёта некруглых зубчатых звеньев ПРМ, не требующая промежуточных геометрических построений и корректировок.

2. Разработана методика геометрического расчета круглозвенных планетарных механизмов с одинаковым числом зубьев центральных колес внешнего и внутреннего зацепления.

3. Разработана методика геометрического расчета ПРМ с «выстоями» сателлитов.

4. Разработаны конструкции пневмомашин с «выстоями» сателлитов, и машин с каналами в цилиндрической зубчатой поверхности солнечной шестерни.

5. Предложенные в результате исследования конструкции компрессора приняты к доработке и внедрению на предприятиях АО «Курганавторемонт» и ООО «Вездеходы «Бурлак».

Достоверность научных положений, результатов и выводов, представленных в диссертационной работе, определяется применением основных положений механики, теории механизмов и машин, теории зубчатых зацеплений; моделированием в «MathCAD». Экспериментальные исследования лабораторных моделей ПРМ в режимах вакуумного насоса и компрессора проведены с использованием современного технического оборудования и измерительной аппаратуры. Результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых изданиях и обсуждались на международных и всероссийских конференциях и семинарах.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Считаем целесообразным продолжить работу по совершенствованию технологии изготовления деталей ПРМ для уменьшения утечек рабочей среды, а также по разработке промышленных образцов пневмомашин: вакуумного насоса, компрессора, пневмодвигателя.

Замечания

Отмечая актуальность, научную новизну теоретическую и практическую значимость исследования, следует также обратить внимание на замечания, возникшие в процессе анализа текста диссертации.

1. В работе недостаточно подробно описаны условия эксперимента, в частности неясно как осуществлялась смазка пневмомашин.

2. Почему в работе рассматривается только механический КПД? Обычно для пневматических машин типа компрессора более значимыми являются потери, вызванные термодинамическими явлениями, а для машины с таким большим вредным (остаточным) объемом рабочих камер принципиальное значение имеет объёмный КПД.

3. На стр. 64 говорится, что одним из важнейших факторов, принятых во внимание при выборе чисел зубьев колес ПРМ (в том числе сателлита) является возможность применяемой технологии, в частности лазерной. Поэтому число зубьев сателлита выбрано близким к минимально возможному. Но лазерная технология это не единственное и, видимо, не лучшее решение. Возможно, здесь следовало абстрагироваться от технологий и увеличить число зубьев сателлита. Когда числа зубьев сателлита больше, улучшаются показатели по степени сжатия, по механическому КПД.

4. На стр. 81 сказано, что явление подклинивания в наибольшей степени проявляется в схемах ПРМ при больших углах λ удержания сателлита и малых числах волн M и N . Из диссертации не ясно на чем основано это суждение.

5. Недостаточно пояснен рис. 4.4. Откуда берутся углы 67,5 градусов?

6. В тексте диссертации имеются стилистические погрешности и пунктуационные ошибки. Так, например, на стр. 102 в двух строках подряд использовано местоимение «это». На стр. 113 (10-я строка снизу) и на стр. 115 (9-я строка снизу) отсутствуют запятые.

Указанные замечания не снижают научного и практического значения выполненной работы и не влияют на новизну и достоверность положений, выносимых на защиту.

Заключение

Диссертационная работа Фадюшина Дениса Вячеславовича «Повышение характеристик пневматических роторных машин за счет модификации геометрических параметров планетарного механизма» является законченным научным исследованием по актуальной теме. В работе представлены результаты, имеющие важное научное и практическое значение для специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин. Результаты исследований, представленные в диссертации, вносят существенный вклад в решение актуальной задачи совершенствования методов проектирования механизмов с некруглыми зубчатыми колесами.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Фадюшин Д.В., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение,

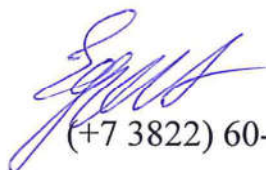
системы приводов и детали машин.

Диссертационная работа Д.В. Фадюшина, автореферат диссертации, а также отзыв обсуждены на семинаре Отделения общетехнических дисциплин Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Национального исследовательского Томского политехнического университета 5 апреля 2022г., протокол № 8.

И.о. руководителя Отделения общетехнических дисциплин Национального исследовательского Томского политехнического университета,
кандидат технических наук, доцент


 Пашков Евгений Николаевич
(+7 3822) 60-60-74, epashkov@tpu.ru

И.о. руководителя Отделения машиностроения Национального исследовательского Томского политехнического университета
кандидат технических наук

 Ефременков Е.А.
(+7 3822) 60-63-92, egorefr@tpu.ru

Подписи к.т.н., и.о. руководителя ООД Е.Н. Пашкова и к.т.н., и.о. руководителя ОМШ Ефременкова Е.А. заверяю.

Ученый секретарь Национального исследовательского Томского политехнического университета

 Екатерина Александровна Кулинич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Адрес: 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30

Телефон: (3822) 60-63-33

Email: tpu@tpu.ru