

Отзыв официального оппонента

*на диссертационную работу Бусарова Сергея Сергеевича
«Создание и совершенствование бессмазочных поршневых компрессоров среднего и высокого давления на базе малорасходных тихоходных длинноходовых ступеней»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.10. «Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника гидро- и пневмосистемы»*

Диссертационная работа Бусарова Сергея Сергеевича выполнена на кафедре «Холодильная и компрессорная техника и технология» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет».

Диссертация состоит из введения, 9 глав, заключения, списка использованных источников. Содержит 325 страниц текста, 238 рисунков, 42 таблицы. Список использованных источников содержит 298 наименований.

Актуальность избранной темы диссертационного исследования

Уровень требований по ресурсным характеристикам, предъявляемый к перспективной технике, недостижим для выпускаемого в настоящее время компрессорного оборудования при этом энергетические и технологические показатели должны иметь уровень значений не меньше, чем у передовых конструкций. Современные компрессоры, обеспечивающие давление нагнетания 1-15 МПа позволяют проработать в автономных условиях не более 10 тыс. ч., тогда как во многих случаях автономной эксплуатации компрессорного оборудования, например, в системах жизнеобеспечения космических объектов, на технологических и транспортных средствах морского базирования, требуемый ресурс может существенно превышать 30 000 часов, а в отдельных случаях – 80 000 часов. Такие показатели ресурса в настоящее время не удаётся обеспечить по причине отказов основных функциональных элементов компрессорных ступеней – клапанов, уплотнений цилиндропоршневой группы и сальников штока. При этом требования к энергоэффективности постоянно возрастают и в настоящее время для рассматриваемых малорасходных компрессоров среднего и высокого давления величина индикаторного изотермического КПД достигает 0,8, а величина коэффициента подачи – 0,85. Кроме этого, безусловными критериями конкурентоспособности компрессорного оборудования остаются его себестоимость, технологичность, импортонезависимость.

Анализ зарубежного и отечественного уровня развития бессмазочных малорасходных компрессоров среднего и высокого давления показывает, что существующие конструктивные схемы компрессорных ступеней, конструкции клапанов и уплотнений, рекомендации по определению основных конструк-

тивных и режимных параметров ступеней исчерпали возможность дальнейшего повышения ресурса, что требует принципиально нового подхода к решению проблемы увеличения ресурса компрессорного оборудования.

Учитывая вышесказанное, актуальность данной работы заключается в отсутствии научно-технологического задела для создания малорасходных бессмазочных компрессоров среднего и высокого давления, существенно превосходящих разработанные в настоящее время аналоги по ресурсным характеристикам и имеющих сравнимые с ними энергетические, массогабаритные и технологические показатели. Разработка новой технологии позволит решить проблему длительной автономной эксплуатации компрессорного оборудования на транспортных и стационарных объектах наземного, морского и космического базирования в широком диапазоне температур окружающей среды; обеспечит технологическую импортнезависимость и приоритет РФ в рассматриваемой области компрессорной техники.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

В диссертационной работе представлено обоснование и концептуальные основы создания поршневых компрессоров с повышенным отношением давления нагнетания к давлению всасывания и теоретическим ресурсом работы который превышает 100 000 ч.

Для этого автором решен ряд задач:

- обоснована целесообразность и доказана возможность создания бессмазочных малорасходных компрессоров среднего и высокого давления с повышенным ресурсом автономной эксплуатации, высокими показателями технологичности и энергоэффективности на базе поршневых тихоходных длинноходовых ступеней;
- разработаны математические модели рабочих процессов основных функциональных элементов поршневых бессмазочных тихоходных длинноходовых компрессоров среднего и высокого давления;
- разработана обобщённая модель рабочих процессов поршневых бессмазочных тихоходных длинноходовых компрессоров с учетом особенностей теплофизических, газодинамических, трибологических и механических процессов в основных функциональных элементах таких ступеней;
- разработаны методики экспериментальных исследований тихоходных длинноходовых компрессоров и их основных функциональных элементов и созданы стенды для их реализации;
- проведён комплекс теоретических и экспериментальных исследований рабочих процессов тихоходных длинноходовых компрессоров среднего и высокого давления и их основных функциональных элементов;
- выполнены теоретические и экспериментальные исследования взаимосвязи конструктивных и режимных параметров поршневых бессмазочных тихоходных длинноходовых компрессоров и их основных функциональных эле-

ментов и их влияние на интегральные характеристики ступени, а также влияние циклической деформации конструктивных элементов клапанов, цилиндропоршневых уплотнений и цилиндров на энергетические, массогабаритные и ресурсные характеристики бессмазочных тихоходных длинноходовых компрессоров;

- усовершенствована существующая методика расчёта производительности поршневых компрессоров применительно к тихоходным длинноходовым ступеням среднего и высокого давления, на её базе разработана методика оптимизации основных размеров и параметров поршневых бессмазочных тихоходных длинноходовых компрессоров среднего и высокого давления и проведены исследования влияния конструктивных и режимных факторов на оптимальные характеристики компрессора;

- на основании результатов проведённых комплексных экспериментальных и теоретических исследований разработаны научно-обоснованные рекомендации по созданию технологичных малорасходных компрессоров среднего и высокого давления на базе бессмазочных тихоходных длинноходовых ступеней и определить перспективные направления их развития и применения.

Обоснованность научных положений, достоверность выводов и рекомендаций не вызывает сомнений и обеспечивается использованием стандартных методов исследования с применением современного оборудования, прошедшего метрологическую поверку; апробацией результатов; достаточной воспроизводимостью результатов экспериментов и статистической обработкой полученных данных, удовлетворительным совпадением экспериментальных и теоретических результатов.

Научная значимость диссертационной работы может быть охарактеризована положительно.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые теоретически и экспериментально обоснована возможность повышения давления газа в одной бессмазочной поршневой компрессорной ступени от 0,1 МПа до 12,0 МПа при температурах нагнетания, не превышающих 430 К.

2. Впервые теоретически обоснована возможность обеспечения непрерывной работы бессмазочной поршневой компрессорной ступени среднего и высокого давления в течение 100000 часов и более.

3. Разработаны новые математические модели рабочих процессов интенсивно охлаждаемых бессмазочных тихоходных длинноходовых поршневых компрессорных ступеней с циклически деформируемыми стенками цилиндра, а также модели функционирования самодействующих клапанов и цилиндропоршневых уплотнений с эластомерными конструктивными элементами.

4. Разработана новая обобщённая модель рабочих процессов интенсивно охлаждаемых бессмазочных тихоходных длинноходовых поршневых

компрессорных ступеней, учитывающая особенности функционирования системы охлаждения ступени, самодействующих клапанов и цилиндропоршневых уплотнений с эластомерными конструктивными элементами, а также возможность циклической деформации стенок цилиндра при соотношении $S/D > 10$, времени рабочего цикла от 2 до 4 с, давлении нагнетания до 12 МПа (при атмосферном давлении всасывания).

5. Впервые получены результаты исследования рабочих процессов бессмазочных поршневых компрессорных ступеней среднего и высокого давления при $S/D > 10$, времени рабочего цикла от 2 до 4 с, давлении нагнетания до 12 МПа (при атмосферном давлении всасывания) и интенсивном охлаждении стенок цилиндра; получены зависимости для расчёта коэффициента теплоотдачи в рабочей камере и составляющих коэффициента подачи с учетом особенностей функционирования клапанов и цилиндропоршневых уплотнений с эластомерными конструктивными элементами.

6. Теоретически и экспериментально доказано перераспределение значимости отдельных конструктивных и режимных факторов, по сравнению с существующими быстроходными поршневыми компрессорными ступенями, оказывающих определяющее влияние на эффективность рабочих процессов.

7. Теоретически и экспериментально установлена взаимосвязь между конструкцией ступени и её элементов, режимными параметрами ступени и свойствами рабочего газа, а также определено их влияния на интегральные характеристики ступени; определены рабочие диапазоны основных размеров и параметров ступени.

8. Получены результаты исследования влияния циклической деформации стенок цилиндра и эластомерных конструктивных элементов самодействующих клапанов и цилиндропоршневых уплотнений на основные показатели эффективности бессмазочных тихоходных длинноходовых компрессорных ступеней и определены принципы конструирования их систем охлаждения, уплотнения и газораспределения.

Следует отметить и достаточно высокую *практическую ценность работы*. Ее конечным результатом являются предложенные автором:

1. Методики экспериментального исследования упруго-деформируемого состояния цилиндра тихоходного длинноходового компрессора при его циклическом нагружении давлением рабочего газа, работы цилиндропоршневых уплотнений, работы клапана с эластомерным элементом и переменной величиной периметра герметизации в седле, пульсаций давления газа в коммуникация тихоходного длинноходового компрессора, многоступенчатого сжатия в компрессорах на базе тихоходных поршневых ступеней, рабочих процессов тихоходного длинноходового компрессора и изготовлены экспериментальные стенды для их реализации.

2. Программное обеспечение для расчёта: рабочих процессов и интегральных характеристик длинноходового поршневого компрессора с самодей-

ствующим клапаном, содержащим эластомерные элементы, а также для определения оптимальных параметров поршневого тихоходного компрессора при изменяющемся наборе критериев.

3. Рекомендации по конструированию компрессора, обеспечивающие существенное повышение ресурса, в том числе в условиях автономной эксплуатации (до 100 000 часов и более), высокий уровень унификации (коэффициент применяемости не менее 0,98, коэффициент повторяемости более 15) и энергоэффективности (индикаторный КПД не менее 0,7 (0,95 при сравнении с одноступенчатыми быстроходными компрессорами), коэффициент подачи не менее 0,7), снижение металлоемкости (в 5...10 раз по сравнению с мембранными и на 10...15% по сравнению с многоступенчатыми поршневыми компрессорами).

4. Обоснование необходимости и целесообразности совершенствования и промышленного освоения бесшмазочных малорасходных компрессоров среднего и высокого давления на базе поршневых тихоходных длинноходовых ступеней в целях обеспечения технологической импортонезависимости РФ в рассматриваемой области техники.

Полученные результаты научных исследований внедрены: в АО «Научно-технический комплекс «Криогенная техника» (г. Омск), АО «Компрессор» (г. Санкт - Петербург), АО «Газпромнефть – ОНПЗ» и АО «Омский каучук» (г. Омск), а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет».

Степень завершенности диссертации в целом и качество ее оформления

В целом, диссертация Бусарова Сергея Сергеевича является завершенным научным исследованием, направленным на решение вопросов, связанных с повышением энергоэффективности тихоходного длинноходового поршневого компрессора и ресурса автономной эксплуатации. В работе последовательно изложен подход к достижению поставленной цели исследования, который в полном объеме дает представление о результатах положений, выносимых на защиту.

Диссертация написана технически грамотным языком, содержательна, обладает внутренним единством и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Качество оформления диссертации соответствует нормативным положениям и требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени доктора технических наук.

Заслуживает внимания обилие экспериментальных исследований, работы по подготовке используемых датчиков и средств измерения, многие из представленных решений относятся к оригинальным.

Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. В автореферате отражены все основные проблемно-тематические блоки исследования – актуальность, цели и задачи, новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, степень достоверности, апробация результатов, реализация результатов работы, выводы. Структурно автореферат диссертационного исследования выстроен лаконично и обоснованно.

Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы

Автором сформулирована научная проблема, цель и задачи диссертационного исследования, выполнены теоретические и экспериментальные исследования рабочих процессов бессмазочных тихоходных длинноходовых поршневых ступеней и их отдельных функциональных элементов, в том числе, при циклически деформируемом состоянии цилиндрической части рабочей камеры, эластомерных элементов клапанов и цилиндропоршневого уплотнения, сформулированы задачи по совершенствованию и промышленному освоению бессмазочных малорасходных компрессоров среднего и высокого давления на базе поршневых тихоходных длинноходовых ступеней, выполнен анализ полученных результатов и разработаны рекомендации по повышению характеристик малорасходных бессмазочных компрессоров среднего и высокого давления на базе тихоходных длинноходовых поршневых ступеней, разработана инженерная методика расчёта производительности и динамики таких ступеней. Под руководством и с участием автора разработаны запатентованные конструкции компрессорной ступени с повышенным ресурсом и повышенным отношением давления нагнетания к давлению всасывания, а также конструкции функциональных элементов такой ступени.

Все результаты, составляющие научную новизну диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично.

Полнота опубликованных основных результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано более 140 научных печатных работ, из них 37 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 40 в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science; получены 13 патентов на полезную модель, 6 патентов на изобретение и 3 программы для ЭВМ.

Замечания по диссертации

1. В таблице 1.1 (стр. 20) минимальное значение ресурса принято на уровне 60 000 ч, хотя в задачах и выводах фигурирует цифра в 100 000 ч. Требуется пояснение по этому вопросу.

2. На стр. 34-35 идёт речь о компрессорах “периодического действия” – это общепринятый термин или понятие введено автором диссертации?
3. На стр. 41 представлена таблица 1.8, чем обусловлена температура в тихоходных компрессорах значением 160 К?
4. В модели клапана, представленной в п.2.1. реализована конструкция с конусным элементом, позволяет ли данная модель проводить расчёт при другой конфигурации эластомерного элемента?
5. В моделях поршневых компрессоров не принято учитывать деформацию стенки цилиндра, для чего исследованию цилиндра в данной диссертации уделено столько внимания?
6. В п. 3.1 представлен перечень упрощающих допущений, многие, из которых, общеприняты для данного класса моделей поршневого компрессора. Почему не взяты понятные формулировки из учебника П.И. Пластинина?
7. При реализации математической модели почему был применён метод Эйлера первого порядка точности?
8. При сопоставлении данных полученных численным расчётом и экспериментальных данных не на всех графиках нанесены экспериментальные точки, с чем это связано?
9. В п. 4.2 речь идёт об испытаниях различных газов, при исследовании на воздухе понятно от куда брался газ, а при работе на метане, гелии и диоксиде углерода непонятно.
10. С какой целью были испытаны четыре вида поршней?

Заключение

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.5.10. Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы в части:

1. Предложенная обобщённая модель рабочего процесса тихоходного длинноходового компрессора и модели отдельных функциональных элементов (самодействующего клапана с эластомерным элементом, цилиндропоршневого уплотнения, цилиндра) соответствуют п. 1 «Математическое моделирование и оптимизация гидравлических, вакуумных, компрессорных машин, пневмооборудования и гидро- и пневмосистем, технических и технологических систем на их базе».

2. Разработанная усовершенствованная инженерная методика расчёта производительности поршневых компрессорных ступеней применительно к тихоходным длинноходовым ступеням среднего и высокого давления, в том числе уточнённые зависимости для определения отдельных составляющих потерь производительности; выявленные и обоснованные перераспределения значимости влияния отдельных факторов на потери производительности соответствуют п. 2 «Методы расчетов гидравлических, вакуумных, компрессорных машин, пневмооборудования и гидро- и пневмосистем, технических и технологических систем на их базе, а также комплектующего эти системы оборудования».

3. Разработанные экспериментальные методики, созданные стенды для их реализации исследования рабочих процессов тихоходной длинноходовой ступени, процессов при реализации многоступенчатого сжатия на базе тихоходных длинноходовых ступеней, истечения газов через неплотности клапанов и цилиндропоршневых уплотнений, упруго – деформированного состояния стенок цилиндра, пульсаций давления газа в коммуникациях малорасходного тихоходного длинноходового поршневого компрессора соответствуют п. 3 – «Методы и методики экспериментального исследования гидравлических, вакуумных, компрессорных машин, пневмооборудования и гидро- и пневмосистем, технических и технологических систем на их базе».

4. Теоретические и экспериментальные исследования взаимосвязи конструктивных и режимных параметров бессмазочных тихоходных длинноходовых компрессорных ступеней и их основных функциональных элементов и их влияние на интегральные характеристики ступени, а также влияние циклической деформации конструктивных элементов клапанов, цилиндропоршневых уплотнений и цилиндров на энергетические, массогабаритные и ресурсные характеристики бессмазочных тихоходных длинноходовых компрессорных ступеней соответствуют п. 4 «Исследование физических взаимосвязей между рабочими процессами, конструкторско-технологическими факторами и техническими характеристиками гидравлических, вакуумных, компрессорных машин, пневмооборудования и гидро- и пневмосистем, технических и технологических систем на их базе, а также оборудования этих систем».

Работа соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», принятого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 №842.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук Бусарова Сергея Сергеевича на тему «Создание и совершенствование бессмазочных поршневых компрессоров среднего и высокого давления на базе малорасходных тихоходных длинноходовых ступеней» является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема длительной автономной эксплуатации компрессорного оборудования на транспортных и стационарных объектах наземного, морского и космического базирования в широком диапазоне температур окружающей среды, имеющая важное хозяйственное значение. Предложенная новая технология получения средних и высоких давлений сжимаемого газа в одноступенчатых малорасходных поршневых машинах позволит успешно конкурировать им не только с существующими отечественными, но и с зарубежными аналогами. Предложены технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Новизна предлагаемых решений защищена патентами РФ.

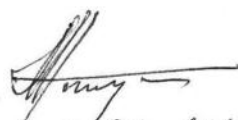
Представленная докторская диссертация Бусарова С.С. рекомендуется к

защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.10. Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.10 - Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро - и пневмосистемы.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Смоленская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА), профессор кафедры «Механизации»

Никифоров Александр
Георгиевич


11.04.2024

Адрес: 21400, Смоленск, Российская Федерация, ул. Большая Советская, д. 10/2

Контактный телефон: +7 (910) 789-10-83

Адрес электронной почты: nikiforof@mail.ru

Официальный сайт организации: <http://www.sgsha.ru>

Подпись Никифорова А.Г. заверяю:

Начальник отдела кадров

ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА



Е.А. Конюхова

Вход. № 15-7990
«23» 04 2024г.
подпись 