

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

доктора технических наук,
профессора Хадиева Муллагали Бариевича
по диссертационной работе Соколова Николая Викторовича
«Разработка и совершенствование методов расчета
термоупругогидродинамических характеристик упорных подшипников
скольжения при нестационарных и установившихся режимах работы
компрессорных машин», представленной на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности 2.5.10. Гидравлические машины,
вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы

Соколов Николай Викторович в 2010 г. с отличием окончил Казанский государственный технологический университет по специальности «Вакуумная и компрессорная техника физических установок» и приступил к работе на кафедре «Компрессорные машины и установки» (ныне кафедра «Низкотемпературная и компрессорная техника и технологии»). В 2014 г. под моим руководством защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.06. Вакуумная, компрессорная техника и пневмосистемы на тему «Упорные подшипники скольжения компрессорных машин с профилированными рабочими поверхностями». В период подготовки докторской диссертации Соколов Н. В. с 2014 г. по 2022 г. работал на кафедре в должности ассистента и доцента, а с 2022 г. и по настоящее время – доцент кафедры.

В диссертационной работе исследованы гидродинамические и тепловые процессы, протекающие в упорном подшипнике скольжения при нестационарных и установившихся режимах работы компрессорных машин. С помощью разработанной периодической термоупругогидродинамической (ПТУГД) математической модели и численных методов выявлены закономерности изменения локальных и интегральных характеристик смазочных слоев подушек и пограничных слоев межподушечных каналов упорного подшипника при осевом перемещении и изменении частоты вращения во времени упорного диска ротора центробежного (ЦК) или винтового (ВК) компрессора.

Актуальность работы определена необходимостью совершенствования методики расчета упорных подшипников с самоустанавливающимися и неподвижными подушками, учитывающей режим работы компрессорной машины. Дело в том, что при эксплуатации ЦК и ВК работают не только на установившихся (расчетных), но и на нерасчетных нестационарных режимах, в том числе переходных. Несмотря на то, что работа ЦК, например в режиме вращающегося срыва или помпажа, происходит недолго, безотказная работа упорного подшипника на этих режимах в целом определяет надежность компрессора. При помпаже из-за значительной переменной осевой силы могут произойти осевой сдвиг вращающегося с высокой скоростью ротора и касание его со статором. При большой амплитуде и частоте изменения осевой силы и, следовательно, перемещении упорного диска в тонких

смазочных слоях между диском и упорным подшипником могут возникнуть предельно высокие температуры смазки, что приводит к внезапному разрушению этих слоев. На рабочей поверхности подушек совместное влияние локальных максимумов гидродинамического давления и температур может привести к достижению предела текучести баббитового покрытия подушек подшипника и искажению рабочего зазора. Эти факторы в итоге приводят к выходу из строя упорного подшипника, аварийной остановке и ремонту компрессорной машины.

Научная новизна работы заключается в разработке обобщенной трехмерной тепловой ПТУГД модели работы упорного подшипника с самоустанавливающимися и неподвижными подушками с учетом осевого перемещения, биения и изменения угловой скорости вращения упорного диска. Численно реализованная с некоторыми допущениями ПТУГД модель оформлена в виде программы Sm2px3Tht. Установлены закономерности изменения термоупругогидродинамических характеристик подшипника на нестационарных режимах работы компрессора. Введен дополнительный параметр – функция уязвимости $\Delta\sigma(r, \varphi, \tau)$ как разница между условным пределом текучести покрытия подушек и переменным гидродинамическим давлением. Проведен параметрический анализ и исследовано тепловое состояние элементов упорного подшипника на установившихся режимах работы компрессора. На специальном стенде при непосредственном участии Соколова Н. В. получены экспериментальные данные, и проведена валидация данных программы Sm2px3Tht.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработаны нестационарная трехмерная тепловая ПТУГД математическая модель работы упорного подшипника и численная реализованная на ее основе программа Sm2px3Tht. Программа позволяет определить локальную область наиболее вероятного разрушения покрытия подушек. Выработаны рекомендации к проектированию и конструктивному оформлению упорных подшипников компрессоров, требования к материалам и технологии нанесения антифрикционного баббитового покрытия на подушки. На некоторые конструкции подшипников получены патенты РФ. Разработана усовершенствованная инженерная методика расчета новых конструкций УПС с неподвижными подушками с помощью программы Sm2px3Tht и рекомендованы соотношения геометрических величин при проектировании. Рассмотрена технология проведения реинжиниринга конструкций упорных подшипников отечественных и иностранных компрессоров.

Основные результаты работы представлены в обширном списке научных работ, включающем достаточное для представления диссертации количество статей, опубликованных в периодических изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и публикации в изданиях, входящих в базы данных Scopus и Web of Science. Результаты работы прошли апробацию на многочисленных конференциях, форумах и семинарах разных уровней.

Соколов Николай Викторович одновременно участвовал в разработке и проектировании подшипников скольжения и уплотнений промышленных компрессорных машин в АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа» (Группа ГМС). Результаты, полученные в настоящей диссертации, внедрены в учебный процесс кафедры «Низкотемпературная и компрессорная техника и технологии» ФГБОУ ВО «КНИТУ» и использованы при проведении реинжиниринга подшипников иностранных компрессоров в АО «НИИтурбокомпрессор им. В. Б. Шнеппа». Спроектированные с помощью программы Sm2px3Tht двухсторонние упорные подшипники скольжения внедрены в центробежные компрессорные установки на АО «Газпромнефть-ОНПЗ» и АО «ТАНЕКО» (ПАО «Татнефть»). Акты внедрения приложены.

В процессе работы над докторской диссертацией Соколов Николай Викторович проявил себя как специалист высокой квалификации в области компрессорной техники – в математическом моделировании и проектировании подшипников скольжения как наиболее ответственного элемента, обеспечивающего надежную работу компрессора. Он отличается большим трудолюбием, целеустремленностью и чувством ответственности. Все результаты диссертационной работы получены Соколовым Н. В. самостоятельно.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что диссертационная работа Соколова Николая Викторовича «Разработка и совершенствование методов расчета термоупругогидродинамических характеристик упорных подшипников скольжения при нестационарных и установившихся режимах работы компрессорных машин» является законченной, самостоятельной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям, сформулированным в п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 в редакции от 25 января 2024 г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.10. Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы.

Научный консультант, профессор кафедры
«Низкотемпературная и компрессорная
техника и технологии» ФГБОУ ВО «КНИТУ»,
доктор технических наук, профессор

М. Б. Хадиев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

Адрес: 420015, РФ, РТ, г. Казань, ул. К. Маркса, 68

Тел. +7 (843) 238-56-94; +7 (843) 231-41-28 (каф. НКТИ)

E-mail: khadievmb@corp.knrtu.ru; mullagali@gmail.com



Подпись Хадиева М.Б.
удостоверяю.
Начальник управления
организационного
и кадрового развития
ФГБОУ ВО «КНИТУ»
И.Ш. Харисов
« 11 » 08 20 26 г.