

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук

Измерова Михаила Александровича

на диссертацию Дубиновой Ольги Богдановны

**«Фреттинг-изнашивание вибронгруженных фланцевых соединений»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по
специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах**

1. Актуальность работы.

Фланцевые соединения наиболее часто используются для соединения участков трубопроводов в газовой и нефтяной промышленности. Широкое распространение они получили из-за простоты конструкции, её надёжности, обеспечения герметичности при высоком внутреннем давлении, возможности относительно простого ремонта и обслуживания и т.д.

Вместе с тем фланцевые соединения обладают рядом недостатков, таких как большой вес, трудоёмкость сборки и монтажа, применение определённых сортов сталей или чугуна, но самым важным недостатком является необходимость обслуживания соединений из-за ослабления крепежа, особенно при воздействии на них вибраций, из-за чего вероятность разгерметизации повышается. Кроме того, в последнее время потребность в энергоресурсах постоянно растёт, в связи с чем трубопроводное оборудование часто работает при высоких давлениях в жёстких условиях, и риск возникновения протечек возрастает.

Транспортируемые углеводороды сами по себе представляют определённую ценность как энергоресурсы, но кроме того их утечка представляет собой высокую пожаро- и взрывоопасность, а также может привести к отравлению и удушью.

Повышение фреттингостойкости вибронгруженных фланцевых соединений позволит снизить расходы на обслуживание трубопроводного оборудования и повысить безопасность и экологичность транспорта углеводородов, в связи с чем считаю, что тема диссертационной работы Дубиновой О.Б. «Фреттинг-изнашивание вибронгруженных фланцевых соединений» является актуальной.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов.

1. Автором установлено, что с помощью шероховатости уплотнительной поверхности фланца, а именно за счёт угла при вершине выступов профиля, можно повысить коэффициент трения покоя в зоне контакта фланец–прокладка.

2. В работе была выявлена возможность воздействия на значения молекулярных констант трения покоя τ_0 и β с помощью шероховатости уплотнительной поверхности фланца и твёрдости материала прокладки.

3. Автором был найден диапазон значений шероховатости стальной поверхности фланца, при которой коэффициент трения скольжения достигает своего максимума (R_a от 3,41 мкм до 5,23 мкм). При этом контактное давление оказывает меньшее влияние на коэффициент трения скольжения, чем шероховатость.

4. В работе установлено, что применение материалов прокладки с низкими значениями отношения коэффициента трения скольжения к критическому контактному давлению ($f_{ск}/p_{кр}$) будет снижать толщину пластически деформированного слоя прокладки, что положительно скажется на долговечности уплотнения.

3. Научная и практическая значимость работы.

1. Автором разработана методика оценки герметичности фланцевых соединений, подверженных фреттинг-изнашиванию. На основе предложенной методики строится план проведения технического обслуживания фланцевых соединений по восстановлению их работоспособного состояния.

2. В работе предложены параметры оптимального профиля контактной поверхности фланцевого соединения, повышающего фреттингостойкость соединения.

Кроме того, результаты диссертационной работы использованы при разработке стандарта Р Газпром «Газораспределительные станции. Методика определения предельно допустимых режимов эксплуатации трубопроводов и оборудования ГРС» по договору № 7053-308-19-9 от 22.11.2019 с ПАО «Газпром», принятого к внедрению в 2023 г.

4. Структура и содержание диссертационной работы.

Работа выглядит законченным научным трудом и имеет логическую структуру. Диссертация изложена на 158 страницах и состоит из введения, четырёх глав и заключения. Список литературы содержит 119 источников, в диссертации имеется 46 рисунков, 36 таблиц, список условных обозначений и 5 приложений.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи, обозначены объект и предмет исследования, а также представлена научная новизна, практическая значимость работы и положения, выносимые на защиту.

В главе 1 представлена конструкция фланцевого соединения и ее разновидности, а также рассмотрены причины возникновения вибрационных воздействий, их спектр колебаний и последствия воздействия вибраций. Было установлено, что колебания возникают при малых частотах вибраций (в основном до 20 Гц) с малыми амплитудами при довольно высоких нагрузках, что приводит к возникновению фреттинга.

Также в главе рассмотрен механизм фреттинг-изнашивания: причины, основные факторы, условия, этапы процесса и т.д. Главной особенностью

настоящей работы является то, что процесс фреттинга рассматривается при наличии промежуточного тела – прокладки из неметаллического материала, которая в последствии разрушается, приводя к разгерметизации.

Глава 2 посвящена экспериментальному определению триботехнических характеристик материалов, используемых в рассматриваемом узле трения, а также проведению лабораторных и стендовых испытаний.

В качестве материала прокладки были выбраны паронит, фторопласт, терморасширенный графит и полиуретан, а в качестве материала фланца – сталь 20. Для материалов прокладок были определены твёрдость по Шору, предел прочности и текучести при растяжении, удлинение при разрыве, а также сжимаемость и восстанавливаемость материала. У стального образца вариативной величиной являлась шероховатость поверхности ($R_a = 0,394 - 6,621$ мкм).

Были проведены лабораторные испытания на сертифицированной установке МТ-085 по определению коэффициента трения покоя и скольжения, а также испытания на фреттинг на специализированной установке на основе вертикального сверлильного станка. Испытания на фреттинг проводились при возвратно-вращательном движении при наличии в зоне контакта образца материала прокладки толщиной 3 мм при разных условиях нагружения и величинах смещения образцов. После прохождения заданного количества циклов испытаний оценивался износ образцов весовым способом и определялась интенсивность изнашивания поверхностей трения.

Для оценки интенсивности фреттинга в условиях, близких к натурным, был проведён стендовый эксперимент на участке трубопровода с диаметром 219 мм при наличии фланцевого соединения. Воздействие на него осуществлялось с помощью вентилятора ВР 132-30-5 мощностью 15 кВт, который прокачивал через трубу воздух со скоростью 24 м/с и создавал вибрации частотой 33 Гц. Данный эксперимент выявлял величину ослабления затяжки фланцевого соединения через определённое количество циклов.

Глава 3 посвящена расчётно-экспериментальным исследованиям этапов развития фреттинга во фланцевом соединении при наличии прокладки между сопряжёнными поверхностями и сравнению расчётных данных с результатами лабораторных испытаний.

Анализ контактного взаимодействия шероховатой поверхности фланца с материалом прокладки позволил получить уравнение коэффициента трения покоя при разной величине внедрения микровыступов поверхности фланца в материал прокладки. При этом микровыступ шероховатости моделировался конусной поверхностью, а основными факторами, влияющими на коэффициент трения,

оказались фактическая площадь контакта и угол при вершине конуса.

Полученные экспериментальные данные коэффициента трения покоя и, рассчитанные на их основании сжимающие и тангенциальные напряжения, позволили найти значения молекулярных констант τ_0 и β в зависимости от параметра шероховатости R_a . Результат оказался неоднозначным: для полиуретана обе константы меняются в зависимости от R_a , а для остальных образцов только τ_0 . Кроме того, анализ влияния шероховатости R_a на коэффициент трения скольжения тоже дал неоднозначные результаты, показав нелинейный характер, однако выявил большее влияние шероховатости, а не давления.

Моделирование условий скольжения шероховатой поверхности фланца по материалу прокладки позволило определить толщину деформированного слоя при регламентированных значениях давления обжатия, которая увеличивается с ростом давления. Для оценки интенсивности изнашивания уплотнения был предложен комплексный показатель фреттинга k_f , который также показал разное влияние на разные материалы.

Глава 4 посвящена оценке долговечности работы фланцевых соединений.

Стендовые испытания, описанные в главе 2, показали, что скорость снижения затяжки болтов фланцевого соединения много меньше, чем шпилек, а на основании ранее выведенного выражения (3.42) рассчитана фактическая величина износа поверхностей трения после 50·млн. циклов, близкая к расчётному значению, говоря о возможности применения полученных выражений для указанных материалов при этих условиях.

Кроме того, предложена методика расчёта контактного давления, возникающего при сборке фланцевого соединения, для указанных материалов прокладок в зависимости от числа циклов вибрации с учётом ослабления затяжки резьбовых соединений и фреттинга в зоне контакта фланец–прокладка. Если давление становится ниже допустимого для рассматриваемого случая, то необходимо провести ремонт соединения.

Для повышения фреттингостойкости фланцевых соединений необходимо уменьшить тангенциальные напряжения в материале прокладки при относительном сдвиге сопряжённых поверхностей, которые приводят к повреждению материала. Это можно сделать, заменив скольжение контактных поверхностей при фреттинге на внутреннюю деформацию материала прокладки, выполнив концентрические канавки на поверхности фланца. В работе предложена методика расчёта размеров и количества концентрических канавок.

5. Обоснованность научных положений и выводов заключается в применении автором системного подхода при оценке фреттингостойкости

фланцевого соединения, моделирования контакта пары трения с учётом напряженно-деформированного состояния и применения современных средств анализа данных.

6. Достоверность результатов работы подтверждается проработкой достаточного количества литературы по теме исследований, применения современного специализированного и стандартизированного оборудования и инструментальной базы, высокого согласования результатов экспериментов с расчётами, а также широкого освещения результатов работы на конференциях российского и международного уровня и достаточного количества публикаций в рецензируемых научных журналах.

7. Соответствие паспорту научной специальности. Работа соответствует следующим пунктам Паспорта научной специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах: п. 2. – «Механика контактного взаимодействия при трении скольжения, трении качения и качения с проскальзыванием с учетом качества поверхностного слоя»; п. 3. – «Закономерности различных видов изнашивания и поверхностного разрушения»; п. 10. – «Физическое и математическое моделирование процессов трения и изнашивания. Расчет и оптимизация узлов трения и сложных трибосистем».

8. Основные публикации автора работы. Результаты работы опубликованы в 12 изданиях, из которых 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в издании, индексируемом в международных базах Scopus/Web of Science, а отдельные результаты диссертации докладывались на 8 международных и всероссийских конференциях.

9. Замечания по диссертации.

1. Соотносятся ли выбранные параметры шероховатости (например, Ra) с реальными, которые бывают на фланцах? В четвёртой главе даётся сравнение износа сопряжённых поверхностей реального фланца и формулы 3.42, но нигде не говорится о величине исходной шероховатости фланцев, а также она не входит в формулу 3.42 или в её компоненты.

2. Была ли проверка адекватности формулы 3.12 оценки минимального давления, обеспечивающего полное внедрение микровыступов? Она построена на конусной модели шероховатости, которая не точно воспроизводит реальную шероховатость поверхности.

3. Как удалось оценить коэффициенты τ_0 и β , представленные в таблице 3.4? Из работы можно понять, что они определяются из уравнения 3.18, но тогда мы имеем 2 неизвестных и 1 уравнение, что не позволяет однозначно его решить.

4. Как по формуле 3.13 можно получить одинаковые значения величины внедрения микровыступа h для таблицы 3.3 при разных давлениях? Какая переменная

в формуле компенсировала рост давления для обеспечения постоянного h ?

5. Что в итоге вы рекомендуете применять для фланцевого соединения: шпильки или болты?

Замечания не снижают общей научной и практической ценности работы и носят рекомендательный характер. Неоднозначные выводы по полученным зависимостям для разных материалов прокладок скорее всего говорят о том, что не все важные факторы учтены, и у работы будет продолжение.

10. Заключение

Диссертационная работа Дубиновой Ольги Богдановны «Фреттинг-изнашивание вибронгруженных фланцевых соединений» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно и на высоком научном уровне, в которой решена задача оценки долговечности вибронгруженных фланцевых соединений с уплотнительными прокладками и обоснованного расчёта периода их обслуживания.

Диссертация Дубиновой Ольги Богдановны соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

Официальный оппонент

Кандидат технических наук (спец. 05.02.04), доцент, доцент кафедры «Трубопроводные транспортные системы» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»


Измеров Михаил Александрович
« 8 » _____ мая _____ 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО БГТУ)

Адрес: 241035, Брянская область, город Брянск, бульвар 50 лет Октября, дом 7.

Тел. +7 (961) 002-72-92. E-mail: m.izmerov@yandex.ru

