

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

44.2.005.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РОСЖЕЛДОР), по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 17.06.2024 № 5

О присуждении Дубиновой Ольге Богдановне, Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Фреттинг-изнашивание вибронгруженных фланцевых соединений» по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах принята к защите 04.04.2024 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 44.2.005.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», РОСЖЕЛДОР, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, Приказ Минобрнауки РФ № 227/нк от 14.02.2023, далее – ФГБОУ ВО РГУПС.

Соискатель Дубинова Ольга Богдановна, 7 октября 1990 года рождения, в 2012 г. окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина» по направлению 151000 «Технологические машины и оборудование». В 2014 г. с отличием окончила магистратуру ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина» по направлению подготовки 151000 «Технологические машины и оборудование». В 2023 г. окончила очную аспирантуру ФГАУО ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» по направлению подготовки 15.06.01 – «Машиностроение». В настоящее время работает в должности ассистента на кафедре металловедения и неметаллических материалов ФГАУО ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина».

Диссертация выполнена на кафедре трибологии и технологии ремонта нефтегазового оборудования ФГАУО ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Елагина Оксана Юрьевна, заведующий кафедрой трибологии и технологии ремонта нефтегазового оборудования ФГАУО ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина».

Официальные оппоненты: Куксенова Лидия Ивановна – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела конструкционного материаловедения ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (г. Москва); Измеров Михаил Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Трубопроводные

транспортные системы» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» (г. Брянск) – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск) – в своем положительном отзыве, подписанном Безбородовым Юрием Николаевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Топливообеспечение и горюче-смазочные материалы», а также Шрамом Вячеславом Геннадьевичем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Топливообеспечение и горюче-смазочные материалы» и утвержденном Барышевым Русланом Александровичем, доктором педагогических наук, проректором по научной работе ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», указала, что диссертация Дубиновой Ольги Богдановны «Фреттинг-изнашивание вибронгруженных фланцевых соединений» представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены результаты исследования развития процесса фреттинга в сопряжении металл–неметалл, определены параметры контактирующих поверхностей, влияющие на развитие фреттинга, разработана методика оценки герметичности фланцевых соединений и предложена конструкция уплотнительной поверхности фланца, что имеет существенное значение для повышения наработки вибронгруженных фланцевых соединений технологических трубопроводов газотранспортной отрасли. Диссертация соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Дубинова Ольга Богдановна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

Соискатель имеет 48 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы, в издании, входящем в международные базы цитирования Scopus и Web of Science – 1. Объем опубликованных работ по теме диссертации составляет 3,59 п.л. Авторский вклад – 2,02 п.л. Все публикации достаточно полно отражают основные результаты исследований. Они посвящены особенностям развития фреттинг-изнашивания в зоне контакта фланец–уплотнение и способам повышения наработки фланцевых соединений, эксплуатируемых под воздействием вибрационных нагрузок. В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные результаты диссертации, имеются ссылки на авторов и источники заимствования.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Елагина, О.Ю. Развитие фреттинга при эксплуатации газотранспортных объектов / О.Ю. Елагина, А.Г. Буклаков, О.Б. Дубинова, Ф. Новотни-Фаркас // Трение и износ. – 2021. – Т. 42. - № 5. – С. 562-571 (изложены основные причины развития фреттинга во фланцевых соединениях, эксплуатируемых в условиях вибрации, и установлены зависимости для определения интенсивности изнашивания в исследуемых парах трения (всего: 0,63 п.л., личный вклад: 0,25 п.л.)).

2. Дубинова, О.Б. Исследование влияния фреттинга на опасность разгерметизации фланцевых соединений на объектах ГРС в условиях повышенных вибраций / О.Б. Дубинова, О.Ю. Елагина, Ю.С. Дубинов // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2022. - №2(307). – С. 158-171 (изложены особенности развития фреттинга во фланцевых соединениях в зависимости от контактного давления, формирующегося в зоне контакта фланец–уплотнение, и виброскорости, а также установлено влияние данных параметров на герметичность фланцевых соединений (всего: 0,88 п.л., личный вклад: 0,63 п.л.)).

3. Елагина, О.Ю. Моделирование процесса изнашивания уплотнительной прокладки во фланцевом соединении при фреттинге / О.Ю. Елагина, О.Б. Дубинова // Вестник машиностроения. – 2024. – Т. 103. – №3. – С. 217-221 (изложены расчетно-теоретическое моделирование и экспериментальные исследования условий трения скольжения в зоне контакта фланец–уплотнение и определены закономерности изменения коэффициента трения скольжения в зависимости от шероховатости стальной поверхности фланца и усилия прижатия (всего: 0,31 п.л., личный вклад: 0,25 п.л.)).

4. Elagina, O.Y. Development of Fretting During the Operation of Gas Transportation Facilities / O.Y. Elagina, A.G. Buklakov, O.B. Dubinova, F. Novotny-Farkas // Journal of Friction and Wear, 2021, Vol. 42, No. 5, pp. 367–373. DOI: 10.3103/S1068366621050056 (изложены основные факторы, влияющие на снижение герметичности фланцевых соединений, и представлены полученные в результате лабораторных испытаний аналитические зависимости по определению величины износа в парах трения металл–неметалл (всего: 0,44 п.л., личный вклад: 0,13 п.л.)).

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

– **ведущей организации** – ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Отзыв положительный. Замечания: **1.** Исходя из работы, не до конца понятно, будет ли возникать фреттинг при использовании стопорных элементов для болтов и шпилек, так как они предотвращают самопроизвольное развинчивание и, скорее всего, предупреждают относительное перемещение поверхностей фланцев по уплотнению. **2.** В работе сказано о ряде патентов, описывающих применение различных стопорных элементов в резьбовых соединениях фланцев, но не ясно какой из них лучше всего предотвращает самопроизвольное развинчивание. **3.** Нет информации об оценке шероховатости уплотнительной поверхности фланца до и после проведенных натурных испытаний и не ясно, будет ли она меняться в процессе эксплуатации в условиях фреттинга. **4.** Имеют место опечатки и замечания редакционного характера.

– **официального оппонента** – доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника отдела конструкционного материаловедения федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (г. Москва) **Куксеновой Лидии Ивановны**. Отзыв положительный. Замечания: **1.** В работе изучаются триботехнические свойства четырех неметаллических уплотнительных материалов: паронит, фторопласт, терморасширенный графит,

полиуретан, обладающие существенно разными характеристиками механических свойств, разным составом и структурой и соответственно разными нормативными требованиями к условиям их эксплуатации. Поэтому для усиления методологического аспекта работы следовало бы проанализировать все особенности материалов и четко выявить наиболее значимые характеристики для триботехнических свойств, что позволило бы с позиций основ фрикционного материаловедения рекомендовать условия выбора материалов, стойких против фреттинг-изнашивания. **2.** Работа содержит элементы математического и экспериментального моделирования. Автором показано, что процесс фреттинг-изнашивания является функцией многих переменных: давления, амплитуды скольжения, шероховатости поверхности, частоты вибраций, числа циклов нагружения и др., при этом реализуются разные режимы процесса. Поэтому для возможности более широкого использования в реальных соединениях рекомендаций работы целесообразно было бы привести широко используемые карты фреттинга. Тем более что в работе есть данные как для построения карт методом исследования реакции материалов, так и исследования условий работы материалов. **3.** В описании диссертационной работы имеется ряд недостатков оформления: в тексте нет ссылок на литературные источники [81] и [119]; на рис. 2.4 *a* и *b* не соответствуют обозначения 1 и 2; в обобщающем положении по результатам части 3.4 речь идет об износе, хотя экспериментальных данных для этого нет; не ясно, что значат разные плотности одного и того же материала в табл. 3.9; принципиальное различие зависимостей на рис. 3.13 требует пояснений; кривые на рис.4.1 проведены не корректно в диапазоне количества циклов 0 – 3000000 и 0 – 10000000; рис. 4.2 вероятнее всего иллюстрирует массоперенос материала уплотнения на поверхность фланца, а не следы фреттинга; в части 4.1. не понятно, как оценивались количественные значения момента затяжки.

– **официального оппонента** – кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры «Трубопроводные транспортные системы» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» (г. Брянск) **Измерова Михаила Александровича**. Отзыв положительный. Замечания: **1.** Соотносятся ли выбранные параметры шероховатости (например,  $Ra$ ) с реальными, которые бывают на фланцах? В четвертой главе дается сравнение износа сопряженных 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  $\tau_0$  и  $\beta$ , 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?

**На автореферат поступило 8 отзывов. Все отзывы положительные.**

**1. Отзыв** кандидата технических наук, начальника Управления лабораторных исследований ООО «НК «Роснефть-НТЦ» **Корниенко Андрея Васильевича**. Замечание: **1.** Непонятно как определяется максимальное сдвиговое перемещение уплотнительной поверхности фланца относительно уплотнения.

**2. Отзыв** кандидата технических наук, доцента, начальника научно-исследовательской лаборатории исследования конструкционных материалов Филиала АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» «Научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей» (Филиала АО «ОДК» «НИИД») **Петухова Игоря Геннадьевича**. Замечание: **1.** Не учитывается влияние температуры в контакте фланца с прокладкой, которая будет возникать в процессе развития относительных смещений двух поверхностей.

**3. Отзыв** кандидата технических наук, заместителя начальника службы по управлению техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы Инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Томск» **Саубанова Оскара Маратовича**. Замечания: **1.** Нет четкого понимания, что в работе понимается под количеством циклов вибрации. **2.** В формуле №25 отсутствует параметр контурной площади контакта образцов,  $m^2$ . **3.** В заключении отсутствует рекомендуемый материал уплотнения для применения на вибронгруженных фланцевых соединениях по результатам проведенных исследований. **4.** Отсутствует объяснение по выбору в качестве одной из базовых характеристик выступов шероховатости среднеарифметического отклонения профиля  $R_a$ , а не наибольшую высоту профиля  $R_z$ .

**4. Отзыв** кандидата технических наук, заместителя генерального директора АО «НИИхиммаш» **Харина Петра Алексеевича**. Замечание: **1.** По тексту не ясно, какие параметры вибрации значительнее всего оказывают влияние на развитие фреттинга во фланцевых соединениях.

**5. Отзыв** кандидата технических наук, начальника лаборатории масел и смазочных материалов корпоративного научно-технического центра газотранспортных систем и технологий ООО «Газпром ВНИИГАЗ» **Полякова Сергея Юрьевича**. Замечания: **1.** В работе представленные зависимости базируются на результатах лабораторных исследований в ограниченном диапазоне контактных давлений. По тексту автореферата непонятно, проверялась ли методика на других значениях контактных давлений.

**6. Отзыв** кандидата технических наук, заведующего лабораторией антикоррозионных и теплоизоляционных покрытий ООО «НИИ Транснефть» **Макаренко Алексея Витальевича**. Замечание: **1.** По тексту не ясно, какой вклад в развитие фреттинга в зоне контакта фланца с уплотнением дают нормальные напряжения на этапе скольжения.

**7. Отзыв** доктора технических наук, профессора, заведующего отделом «Трение, износ, смазка. Трибология» ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН **Албагачиева Али Юсуповича**. Замечания: **1.** По тексту

сказано, что проведено измерение твердости уплотнительных материалов по шкале Шора (D), но не приведены результаты замеров. 2. Некорректно обозначены единицы измерения для параметров, входящих в формулу (1).

**8. Отзыв** доктора технических наук, профессора заведующего кафедрой «Химия» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет» **Бурлаковой Виктории Эдуардовны**. Замечание: **1.** По тексту автореферата не ясно, учитывается ли при разработке методики оценки герметичности фланцевых соединений наличие двух зон контакта фланец–уплотнение.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием исследуемых ими научных проблем в области изучения трибологических характеристик различных пар трения и методов снижения износа, с темой диссертационного исследования соискателя, что подтверждено наличием публикаций по данной тематике. Выбор ведущей организации обусловлен научными направлениями и разработками ее ученых в области исследования методов снижения фрикционных свойств различных материалов.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

– **разработана** расчетно-экспериментальная методика оценки герметичности фланцевых соединений в условиях вибрации, подверженных фреттинг-изнашиванию;

– **предложено** техническое решение по созданию макрогеометрии уплотнительной поверхности фланца, позволяющее повысить наработку фланцевых соединений до отказа;

– **доказано** повышение работки фланцевых соединений до отказа с изменением шероховатости стальной контактной поверхности;

– **введен** комплексный показатель фреттинга, включающий контактное давление и виброскорость трибосистемы для оценки интенсивности изнашивания уплотнения во фланцевом соединении.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

– **доказано**, что развитие фреттинга во фланцевом соединении состоит из трех этапов: неподвижный контакт, первичное скольжение и многоцикловое перемещение. Основными влияющими параметрами на этапе неподвижного контакта являются угол при вершине выступов профиля шероховатости стальной поверхности ( $\alpha$ ) и молекулярные константы трения покоя ( $\tau_0$ ) и ( $\beta$ ); при первичном скольжении – параметр шероховатости ( $R_a$ ) стальной поверхности фланца и отношение коэффициента трения скольжения к критическому контактному давлению ( $f_{ск}/p_{кр}$ ), характеризующее уплотнительный материал; при многоцикловом перемещении – интенсивность изнашивания ( $I$ ) и комплексный показатель фреттинга ( $k_f$ );

– **применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс стандартного и специализированного лабораторного оборудования, на котором моделировалось развитие фреттинга в парах трения

сталь–уплотнительный материал при разных параметрах шероховатости стальной поверхности и материалах уплотнения;

– **изложены** этапы развития фреттинга в виде аналитических зависимостей, позволяющих оценить интенсивность фреттинг-изнашивания в зоне контакта фланец–уплотнение и его влияние на разгерметизацию фланцевых соединений при вибрации разной величины;

– **раскрыты** закономерности влияния молекулярных констант трения покоя и их взаимосвязь с твердостью уплотнения и шероховатостью стальной поверхности фланца;

– **изучено** влияние шероховатости стальной поверхности фланца и твердости неметаллического материала уплотнения на развитие фреттинга во фланцевых соединениях;

– **проведена** модернизация существующей конструкции уплотнительной поверхности фланца, позволяющая путем создания макронеровностей повысить наработку фланцевого соединения до отказа за счет перераспределения напряжений сдвига в уплотнительном материале при развитии фреттинга.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

– **разработана и внедрена** расчетно-экспериментальная методика оценки герметичности фланцевых соединений, эксплуатируемых в условиях вибрации и подверженных фреттинг-изнашиванию, в рамках нормативного документа компании ПАО «Газпром» Р Газпром «Газораспределительные станции. Методика определения предельно допустимых режимов эксплуатации трубопроводов и оборудования ГРС» по договору НИОКР № 7053-308-19-9 от 22.11.2019;

– **определено**, что продолжительность интервалов эксплуатации фланцевых соединений, работающих в условиях вибрации, между их плановыми техническими обслуживаниями, зависит от значения фактической виброскорости, исходного момента затяжки резьбовых соединениях фланцев и рабочего давления в трубопроводной системе;

– **представлено** предложение по уменьшению износа уплотнения и минимизации негативного влияния фреттинга во фланцевом соединении, заключающееся в изменении макрогеометрии уплотнительной поверхности фланца, которая позволяет увеличить объем материала уплотнения, участвующего в деформации и уменьшить касательные напряжения сдвига;

– **создана** методика определения геометрических параметров (ширины, высоты, угла наклона, шага) и количества выступов на уплотнительной поверхности фланца для повышения наработки фланцевых соединений до отказа в условиях вибрации.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

– **для экспериментальных работ** достоверность полученных результатов обеспечивается корректной формулировкой цели и задач исследований, а также проведением испытаний на своевременно поверенном оборудовании с применением стандартных методик исследований при многократном (3-5 раз) числе параллельных опытов;

– **теория**, представленная в работе, является основой для аналитических расчетных моделей, полученных с учетом взаимодействия контактирующих поверхностей с разными показателями механических свойств и классических законов трения;

– **идея базируется** на обобщении и анализе статистических данных по влиянию вибрации на герметичность фланцевых соединений и наработку до отказа трубопроводной системы газотранспортных объектов;

– **установлено** соответствие результатов теоретических и экспериментальных исследований с погрешностью в пределах 10 %;

– **использованы** современные методы сбора и обработки научной информации с применением интернет-ресурсов, а также результатов практических исследований.

**Личный вклад соискателя состоит в** проведении экспериментальных исследований по измерению триботехнических характеристик выбранных пар трения; получении на их основе расчетных зависимостей, описывающих влияние шероховатости и твердости материала уплотнения на начало и развитие фреттинга; разработке методики оценки герметичности фланцевых соединений, подверженных фреттинг-изнашиванию в условиях вибрации; разработке нормативного документа компании ПАО «Газпром» Р Газпром «Газораспределительные станции. Методика определения предельно допустимых режимов эксплуатации трубопроводов и оборудования ГРС».

**В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания** о том, что предложенное техническое решение по изменению конструкции уплотнительных поверхностей фланцев, работающих в условиях вибрации, не имеет подтверждения патентной чистоты и не оформлено в виде патента; следует расширить область применения результатов научных разработок для использования в трубопроводах с более высокими параметрами нагружения.

**Соискатель Дубинова О.Б. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:** предложенное техническое решение в настоящий момент зарегистрировано в виде заявки на полезную модель №2024116410 от 14.06.2024 г. «Фланцевое соединение для труб и аппаратов» и находится в стадии рассмотрения; разработанная методика оценки герметичности вибронегруженных фланцевых соединений имеет ограничение по виброскорости до 18 мм/с, что регламентировано действующими нормативными документами. Расчетные зависимости, входящие в методику, учитывают величину рабочего давления в трубопроводе, однако при увеличении данного параметра в условиях постоянной виброскорости наработка фланцевого соединения до отказа будет сокращаться.

**Диссертация охватывает** основные вопросы поставленных научных задач, обладает внутренним единством, что подтверждается корректной постановкой цели и задач исследований, содержит новые научные результаты, а также свидетельства личного вклада автора в науку.

На заседании «17» июня 2024 года диссертационный совет принял решение за разработанные новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение наработки вибронегруженных фланцевых




соединений, подверженных фреттинг-изнашиванию, внедрение которых вносит существенный вклад в повышение надежной и безопасной эксплуатации газотранспортных объектов, присудить Дубиновой Ольге Богдановне ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета  
44.2.005.01 академик РАН  
д-р техн. наук, профессор

  
Колесников Владимир Иванович

Ученый секретарь  
диссертационного совета 44.2.005.01  
д-р техн. наук, профессор

  
Щербак Петр Николаевич

«17» июня 2024 г.