

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор
Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Российский университет транспорта»,
доктор технических наук, доцент
Савин Александр Владимирович



2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Бойкова Андрея Александровича «Контактное взаимодействие металлических профилированных уплотнений с сопрягаемыми поверхностями фланцев в соединениях трубопроводов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

На отзыв представлены:

диссертационная работа на 157 страницах машинного текста, содержащего 28 рисунков, 12 таблиц, список использованных источников из 90 наименований и 2 приложения;

автореферат на 27 страницах, включая список из 6 основных публикаций автора по теме диссертационной работы, 5 из которых опубликованы в журналах из Перечня ВАК РФ и 1 статья – в журнале, цитируемом международной базой Scopus.

При подготовке отзыва были рассмотрены работы автора, опубликованные в открытых научных изданиях. Основное содержание диссертации нашло отражение в данных работах.

Актуальность темы диссертации. В настоящее время в нефтегазовой промышленности, энергетическом, атомном машиностроении и

авиастроении применяют системы трубопроводов технологического, магистрального и другого назначения, которые имеют сложные разветвленные конструкции значительной протяженности, состоящие из множества труб и состыкованные в большинстве случаев с помощью фланцевых соединений. К перспективным техническим решениям относят применение в стыках трубопроводов фланцевых соединений с металлическими уплотнениями специального профиля, например, с «Z» и «С» образными профильными сечениями, которые обеспечивают герметичность системы за счет плотного контакта при внедрении уплотнения в поверхности фланцев. Исследование особенностей контактного взаимодействия металлических профилированных уплотнений с сопрягаемыми поверхностями фланцев в соединениях трубопроводов представляет первостепенный интерес в вопросах обеспечения прочности и эксплуатационной надежности, как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации сложных технических конструкций. В связи с этой выбранной темой диссертационной работы следует признать вполне актуальной.

Структура и содержание диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений.

Введение содержит обоснование актуальности выбранной темы исследования. Сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные результаты, выносимые на защиту, и краткое содержание работы по главам.

В первой главе представлен анализ конструктивных решений фланцевых соединений с металлическими уплотнениями, дано описание объекта исследования, в качестве которого рассматривается конструкция фланцевого соединения различной формы с Z-образным металлическим уплотнением. Приведены технические требования, предъявляемые к соединениям трубопроводов, и выявлены конструктивные особенности

уплотняемого узла, в частности, состоящего в Z-образном исполнении металлического уплотнения. Приведен обзор конструкционно-контактных задач в инженерных расчетных методах по обеспечению прочности и эксплуатационной надежности уплотняющих узлов. Сформулирована постановка задачи исследования контактного взаимодействия металлических профилированных уплотнений во фланцевых соединениях.

Вторая глава посвящена разработке математических моделей и методов исследования контактного взаимодействия металлических профилированных уплотнений фланцевых соединений трубопроводов. Проведено исследование упругопластического деформирования поверхностей фланцев при контактном взаимодействии Z-образного металлического уплотнения. В качестве расчетной модели принята модель внедрения жесткого клина в полубесконечную среду и решения Хилла задачи неустановившегося пластического течения с геометрическим подобием. По разработанным математическим моделям получены соотношения величины контактного давления, формы и длины контакта для натурной модели фланцевого соединения цилиндрической формы и индентора в виде клинообразного кольца конечных размеров, а также соотношения для напряжений в опасных сечениях фланца с учетом силового нагружения и влияния элементов уплотняемого стыка. Определены значения контактной нагрузки, длины контакта и величина внедрения кромок при обжатии соединения.

В третьей главе сформулирована постановка конструкционно-контактных задач и получены решения в обосновании прочности и герметичности фланцевых соединений. Определены соотношения силовых факторов и результирующего давления в месте контакта уплотнения и фланца. Рассмотрены случаи разгерметизации соединения при отрыве кромки уплотнения. Получены формулы для расчета давления разгерметизации от действия осевой силы, приводящей к разгерметизации соединения.

В четвертой главе проведено математическое моделирование массопереноса рабочей среды при представлении шероховатого межповерхностного пространства эквивалентным пористым слоем, характеристики которого изменяются по мере сближения контактных поверхностей. Используется способ описания реального распределения материала по высоте микрорельефа в виде построения кривой опорной поверхности по результатам статистической обработки профилограммы. Проведена оценка герметичности уплотняемого стыка, где в качестве критерия выбрана функция проницаемости контакта, характеризующая зависимость утечки герметизируемой среды через уплотняемый стык от угла клиновидной кромки уплотнения. Приведены расчетные значения функция проницаемости контакта для ряда значений углов клиновидной кромки уплотнения и графики ее изменения.

В приложении А приведен практический пример расчёта утечки керосина ТС-1 из соединения трубопроводов с Z-образным металлическим уплотнением.

В приложении Б приведен акт внедрения результатов исследования диссертационной работы на машиностроительном предприятии ООО «Инструмент», г. Подольск Московской области.

Научная новизна заключается в следующем.

- Для решения задачи о нахождении предельных контактных давлений и определении формы контактной поверхности фланца, обусловленных контактным взаимодействием Z-образного металлического уплотнения, предложен графоаналитический метод исследования упругопластического деформирования фланца. В сравнении с решениями Хилла применительно к внедрению в жестко-пластическую среду призматического клина получены соотношения величины контактного давления, формы и длины контакта для цилиндрического фланца конечных размеров при внедрении индентора в виде клинообразного кольца.

- На основе известных уравнений теории осесимметричной деформации колец применительно к упругопластическому деформированию контактирующих деталей с помощью метода переменных параметров упругости получены аналитические зависимости, позволяющие определить напряжённо-деформированное состояние и изгибную жёсткость металлического Z-образного уплотнения.

- На основе дискретно-континуального метода проведено математическое моделирование механизма формирования уплотняемого стыка и получены аналитические решения конструкционно-контактных задач упругой разгрузки соединения с Z-образным металлическим уплотнением вследствие разгерметизации стыка при отрыве кромки уплотнения под действием внутренних и внешних нагрузок, адаптированных к рабочим условиям эксплуатации.

- На основе уравнения Козени для металл-металлического контакта с учетом вероятностного распределения неровностей по радиусу стыка установлена зависимость коэффициента проницаемости пористого слоя от величины контактного сближения и параметрами микрорельефа уплотняемых поверхностей, предложены соотношения для вычисления проницаемости эквивалентного пористого слоя.

- Предложен и обоснован критерий герметичности уплотняемого узла в виде функции проницаемости контакта, и впервые получена функциональная зависимость между утечкой герметизируемой среды, углом клиновидной кромки металлического уплотнения, позволяющая определить геометрические параметры кромки, при которых обеспечивается наименьший расход герметизируемой среды.

Практическая значимость работы:

- Разработан прикладной метод решения конструкционно-контактных задач и получены аналитические соотношения конструкционной прочности фланцевых соединений. Предложены рекомендации к оценке прочностных

свойств уплотняемого стыка по деформационному зазору при контакте и остаточному осевому зазору между фланцами при затяжке болтов.

- Результаты, полученные на основе исследования контактного взаимодействия металлических профилированных уплотнений с сопрягаемыми поверхностями фланцев в соединениях трубопроводов, могут быть использованы в проектных организациях на стадии проектирования изделий ответственного назначения при оценке прочности и эксплуатационной надежности в авиакосмической технике, энергетическом и атомном машиностроении.

- Разработанные в диссертации математические модели позволяют получить аналитические решения контактных задач для других конструкций металлических уплотнений с врезающимися элементами, а также для фланцевых соединений с плоскими, рифлёными, клиновидными и линзовыми прокладками на базе уравнений теории оболочек, пластин и колец, что определяет перспективность работы.

Результаты диссертационной работы внедрены в расчетную практику организации ООО «Инструмент» и используются при проектировании изделий техники и инструментального производства (прил. Б).

Публикации и апробация результатов работы. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ и 6 тезисов докладов по материалам Российских и международных конференций, в том числе: 5 статей в журналах из Перечня ВАК РФ и 1 статья в журнале, цитируемом международной базой Scopus.

Обоснованность и достоверность. Используемые подходы и методы базируются на фундаментальных положениях механики деформируемого твёрдого тела, апробированных методах решения контактных задач, теории пластичности и прикладной теории герметологии. Результаты диссертационного исследования подтверждены корреляцией известных теоретических и экспериментальных данных, которые приводятся другими авторами по аналогичным исследованиям.

Соответствие автореферата содержанию работы. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности. Диссертация А.А. Бойкова соответствует паспорту специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Замечания по диссертационной работе.

1. В первой главе диссертации (стр. 21) термин «менее химически агрессивная среда, такая как, например, водяной пар» (из цитаты «Для менее химически агрессивных сред, таких как, например, водяной пар, могут применяться коррозионностойкие стали, такие как 12X18H10T или 08X18H10T») не совсем корректный. В ГОСТ Р 51801-2001 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к воздействию агрессивных и других специальных сред» водяной пар не входит в перечень агрессивных сред.

2. Во второй главе следовало бы привести более полное обоснование использования результатов решения задачи Хилла при моделировании внедрения клиновидных кромок уплотнения в материал фланцев.

3. В третьей главе диссертации (стр. 76) методика расчета включает формулу соотношения реактивного изгибающего момента со стороны болтов к изгибающему моменту фланца. При этом дается рекомендация по возможной необходимости применения повышенной точности расчета (из цитаты «Если требуется повышенная точность расчёта, можно провести его в несколько итераций, с уточнением значения ϑ_{p,δ_p} в ходе каждой итерации с корректировкой угла поворота фланца, воспользовавшись методикой, приведённой в главе 2.»). Однако, нет пояснений, для каких конструкций фланцевых соединений по назначению требуется повышенная точность расчета. Поскольку отсутствуют пределы значений точности, то не совсем понятно, к каким фланцевым конструкциям трубопроводов (по категориям опасности) применима данная формула.

4. В четвертой главе диссертации приведены таблицы 4.1 – 4.8 с расчетными данными для построения графиков функции проницаемости контакта. Рассматривались свыше 70 расчетных точек. Вследствие монотонного изменения графиков можно было бы привести в таблицах расчетные значения реперных точек, сократив, таким образом, размер таблиц и число страниц в диссертации.

5. В прил. А (диссертация, стр. 151) приведен практический пример расчёта утечки керосина ТС-1 из соединения трубопроводов с Z-образным металлическим уплотнением. В пункте 8 методики расчета приведены численные параметры конструктивных элементов соединения и величины силовых факторов. Отсутствуют ссылки на источники, из которых взяты приведенные данные, или формулы, используемые для вычисления.

6. Автору также можно порекомендовать при продолжении исследований рассмотреть параметры контактного взаимодействия деталей соединения, зависящие от времени, поскольку в реальных фланцевых соединениях также остро стоит вопрос их ослабления со временем.

Отмеченные замечания не снижают общего положительного впечатления о работе и не являются принципиальными в оценке диссертации.

Заключение.

Диссертационная работа А.А. Бойкова «Контактное взаимодействие металлических профилированных уплотнений с сопрягаемыми поверхностями фланцев в соединениях трубопроводов» является законченной научно-квалифицированной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития страны.

Диссертация отвечает требованиям ВАК «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Бойков Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по

специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Отзыв обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры «Транспортное строительство» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», протокол № 15 от 04. 05. 2022г.

Заведующий кафедрой «Транспортное строительство»
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Российский университет транспорта»
доктор физико-математических наук, профессор



Локтев Алексей Алексеевич

Заведующая лабораторией
кафедры «Транспортное строительство»



Федорова Снежана Владимировна

Контактные данные организации:

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»

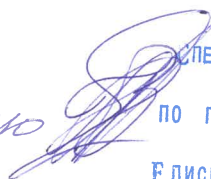
127994, г. Москва, ул Образцова, д 9, стр. 9,

тел. +7 495 681-13-40,

Адрес электронной почты организации: tu@miit.ru

Адрес официального сайта: www.miit.ru

*Подпись Локтева А.А. заверяю
Федоровой С.В.*



СПЕЦИАЛИСТ
ПО ПЕРСОНАЛУ
ЕЛИСЕЕВА Т.В.

