

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Кравченко Игоря Николаевича 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» в диссертационный Д 212.125.05 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Актуальность темы диссертации

Обеспечение прочности и герметичности фланцевых соединений трубопроводов является важной задачей, требующей большого объема теоретических и экспериментальных исследований. Автором в диссертации и автореферате приведено достаточно убедительное обоснование актуальности выбранной темы. В настоящее время исследования проблемы обеспечения прочности и герметичности фланцевых соединений находятся практически на начальном этапе. Как следствие, в большинстве литературных источников, содержащих в себе рекомендации по проектированию фланцевых соединений, отсутствуют конкретные зависимости, связывающие силу затяжки фланцевого соединения с достигаемой герметичностью, а также позволяющие рассчитать на прочность детали соединения.

Автором в диссертации доказано, что математическое моделирование нагружения фланцевого соединения с использованием апробированных теорий механики деформируемого твердого тела позволяет рассчитать напряженно-деформированное состояние деталей соединения, а также получить параметры контакта уплотнения и фланца, необходимые для его расчета на герметичность.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«23 05 2022»

Наиболее остро вопросы обеспечения прочности и герметичности фланцевых соединений стоят в конструкциях трубопроводов, находящихся под высоким давлением (более 5 МПа) и которые служат для перемещения вредных или опасных для человеческого организма сред (горячие газы, химикаты и т.д.), а также в трубопроводах, находящихся на борту летательных аппаратов. В последнем случае дополнительно возникает вопрос обеспечения минимально возможной массы фланцевого соединения, что также может быть возможным только при проведении расчетов соединения на прочность и герметичность. Данный аспект также подчеркивает актуальность темы диссертационной работы.

Научная новизна и практическая значимость полученных соискателем результатов

Теоретическая значимость работы заключается в развитии и апробации прикладного метода исследования напряжённо-деформированного состояния при контактном взаимодействии жестких тел различной конфигурации, а также в математическом описании зависимости утечки герметизируемой среды от силовых факторов, действующих на фланцевое соединение, геометрических характеристик соединения и материалов деталей.

В качестве научной новизны работы представлены:

- графоаналитический метод решения задачи Хилла в случае с осесимметричным клином, а также аналитические зависимости для математического моделирования фланцевого соединения с Z-образным уплотнением при его затяжке;
- аналитические зависимости, позволяющие определить напряженно-деформированное состояние и изгибную жесткость металлического Z-образного уплотнения;
- аналитические зависимости для решения конструкционно-контактных задач упругой разгрузки соединения с Z-образным металлическим уплотнением, а также для расчета внутреннего давления и внешней осевой силы, приводящих к разгерметизации соединения;

– зависимость коэффициента проницаемости пористого слоя от величины контактного сближения и параметрами микрорельефа уплотняемых поверхностей, предложены соотношения для вычисления проницаемости эквивалентного пористого слоя.

– функция проницаемости контакта, устанавливающая зависимость между утечкой герметизируемой среды и углом клиновидной кромки уплотнения.

Значимыми результатами для практики являются:

– аналитические соотношения конструкционной прочности фланцевых соединений с металлическими Z-образными уплотнениями, при этом, если изменить математическое описание осевой податливости уплотнения полученные зависимости могут быть применены к другим типам уплотнений;

– 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 фланцевых соединений для оценки их прочности и герметичности.

Достоверность, научная новизна и практическая значимость выводов

В работе представлено 4 вывода, соответственно, по каждой из четырех глав диссертации.

Вывод 1 резюмирует сказанное в Главе 1, которая является по большей части, обзорной и доказывающей актуальность темы исследования, что также отражено в выводе. Глава 1 действительно дает достаточно полное представление об объекте исследования и производит постановку задачи исследования.

В Выводе 2, касающемся Главы 2, сказано о получении метода моделирования контактного взаимодействия клиновидной кромки уплотнения

с сопрягаемой поверхностью фланца, а также зависимостей, позволяющих моделировать деформирование уплотнения с учетом его упруго-пластического характера, а также деформирование болтов и фланцев. Приведенные в выводе утверждения соответствуют действительности, однако, следует заметить, что в пункте 2 во фразе «Получены выражения для напряжений в опасных сечениях фланца» допущена небольшая ошибка. Согласно теории осесимметричной деформации колец К.Б. Бицено, коррелирующими с выкладками автора диссертации, полученные зависимости позволяют определить напряжения именно в опасной точке сечения фланца, ровно, как саму опасную точку.

Вывод по Главе 3 также полностью соответствует действительности. Были разработаны аналитические зависимости, позволяющие решить конструкционно-контактные задачи упругой разгрузки и получить приращение контактного давления на пятне контакта уплотнения и фланца, а также величину давления и осевой силы разгерметизации соединения.

В Выводе по Главе 4 приведен краткий анализ герметологических аспектов контактного взаимодействия клиновидной кромки уплотнения с материалом фланца, а также выводы по проведенному автором исследованию функции проницаемости контакта. В целом вывод соответствует исследованию, описанному в Главе 4. Однако, именно в выводе следовало бы отметить о том, что при указанных допущениях вид функции проницаемости контакта и, как следствие, значение оптимального угла клиновидной кромки уплотнения определяется исключительно материалом фланца.

Оценка содержания диссертации

Диссертация изложена последовательно и грамотно. Структура диссертации является последовательной и направлена на реализацию поставленной цели и решение задач исследования. Изложенные в диссертации материалы достаточно полно характеризуют объем исследований, проведенных соискателем.

Работа построена по классической схеме, имеет введение, четыре главы, заключение, список использованных источников и приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, представлены объект и предмет научных исследований, сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе представлен анализ существующих конструкций фланцевых соединений с металлическими уплотнениями, дано описание объекта исследования, в качестве которого рассматривается фланцевое соединение с Z-образным металлическим уплотнением. Проведен 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.

В данной главе было бы уместно привести больше примеров конструкций фланцевых соединений. Это позволило бы лучше оценить применимость тех аналитических зависимостей, что будут получены в последующих главах, по отношению к фланцевым соединениям, имеющим в своей конструкции другие уплотнения.

Во второй главе проведено исследование упругопластического деформирования поверхностей фланцев при контактном взаимодействии с клиновидной кромкой 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. Предложен графоаналитический метод решения задачи внедрения осесимметричного клина, позволяющий рассчитать параметры его контакта с материалом фланца. Разработаны математические модели фланцевого соединения и формирования уплотняемого стыка, на основе которых проведено моделирование осесимметричного изгиба фланца. Получены соотношения для

напряжений в опасных точках фланца с учетом силового влияния болтов и присоединенных труб, а также для напряжений в опасных сечениях болтов с учётом их изгиба.

В качестве замечания следует отметить, что апробация графоаналитического метода решения задачи Хилла в случае с осесимметричным клином была проведена только для одного возможного значения его угла. Автору можно порекомендовать проведение апробации полученного метода решения для других значений углов клина.

В третьей главе сформулирована постановка конструкционно-контактных задач нагружения соединения внутренним давлением и внешней осевой силой. Получены аналитические зависимости, позволяющие их решить и, как следствие, определить параметры контакта уплотнения и фланца, которые можно использовать при решении герметологической задачи. Рассмотрены случаи разгерметизации соединения при отрыве кромки уплотнения. Получены формулы для расчета давления разгерметизации, а также осевой силы, приводящей к разгерметизации соединения. При этом как в случае с внутренним давлением, так и в случае с внешней осевой силой отдельно рассматривались случаи отрыва верхней и нижней кромки и после решения обеих задач выбиралось наименьшее из двух значений.

Апробация автором полученных зависимостей на конкретном практическом примере, выполненная в приложении, говорит о том, что не всегда приходится выбирать наименьшее из двух значений. В случае с давлением разгерметизации в приведенном практическом примере было получено отрицательное значение для одной из кромок, что говорит о том, что подача внутреннего давления не может вызывать отрыва рассматриваемой кромки в представленной конструкции, поскольку имеет место самоуплотнение.

В качестве давления разгерметизации в итоге было выбрано единственное положительное значение. О возможности возникновения подобной ситуации необходимо было сказать непосредственно в Главе 3.

В четвертой главе приведены соотношения теории эквивалентного пористого слоя Козени-Кармана как составляющие математической модели массопереноса герметизируемой среды. На ее основе была установлена функция проницаемости контакта, характеризующая зависимость утечки герметизируемой среды через уплотняемый стык от угла клиновидной кромки уплотнения.

Полученная функция проницаемости контакта представляет большой научный интерес. Однако, автору можно порекомендовать рассмотреть вывод подобной функции не только на основании теории Козени-Кармана, но и других известных моделей массопереноса герметизируемой среды через уплотняемый стык.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности полученных соискателем результатов.

Апробация и полнота опубликования результатов работы

Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на конференциях международного и российского уровня.

Основные положения диссертационного исследования достаточно полно отражены в 12 научных работах, из них 5 научных работ в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК при Министерстве образования и науки РФ и 1 работа в издании, входящем в международную базу данных научного цитирования Scopus, остальные 6 – в прочих изданиях.

Заключение

1. Диссертация Бойкова Андрея Александровича «Контактное взаимодействие металлических профилированных уплотнений с сопрягаемыми поверхностями фланцев в соединениях трубопроводов» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи, заключающейся в разработке аналитических зависимостей, позволяющих рассчитать фланцевое

соединение трубопроводов с Z-образным уплотнением на прочность и герметичность. Несмотря на отмеченные замечания, диссертация содержит новые научно-обоснованные решения и разработки, что свидетельствует о личном вкладе ее автора в науку.

2. Представленная работа соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Бойков Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

Главный научный сотрудник лаборатории цифровых методов управления жизненным циклом изделий машиностроения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук»,

доктор технических наук,
профессор

И.Н. Кравченко

« 18 » мая 2022 г.

Должность, ученую степень, ученое звание и подпись Кравченко Игоря Николаевича удостоверяю.

Заместитель директора по научной работе
доктор технических наук, профессор



М.Н. Ерофеев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук» (ИМАШ РАН) 101000, г. Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, тел.: 8(916)242-78-86; e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru