

## **ОТЗЫВ**

### **ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**на диссертацию 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 представлена диссертация на 157 страницах машинописного текста, состоящая из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 90 наименований, двух приложений, включая 28 рисунков и 12 таблиц. Автореферат, изданный на правах рукописи, содержит 26 страниц. Материалы, изложенные в автореферате, достаточно полно отражают содержание диссертации Бойкова А.А.

Диссертационная работа Бойкова А.А. выполнена на основании значительного объёма теоретических исследований, проведённых непосредственно автором или при его участии в творческом коллективе.

#### **Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа Бойкова Андрея Александровича посвящена проблемам обеспечения прочности и эксплуатационной надёжности сложных технических систем, в составе которых имеются разветвленные конструкции трубопроводов технологического, магистрального и другого назначения, состоящие из множества труб и состыкованные в большинстве случаев с помощью фланцевых соединений. Такие конструкции широко применяются в нефтегазовой промышленности, энергетическом и атомном машиностроении, в авиакосмической технике и других отраслях отечественной экономики.

Одним из наиболее опасных элементов названных конструкций являются узлы соединения труб и агрегатов, которые зачастую работают под

высокими давлениями и температурами. Прочность и герметичность стыковых узлов труб является актуальной проблемой в обеспечении безопасности эксплуатации трубопроводов.

В изделиях, требующих герметизацию стыка, часто применяют конструкции с неконтактирующими стыками и с самоуплотняющимися прокладками, где к перспективным техническим решениям относятся применение в стыках трубопроводов фланцевых соединений с металлическими уплотнениями специального профиля, например, с «Z» и «С» образными профильными сечениями. Требуемая герметичность подобных конструкций осуществляется за счет плотного контакта при внедрении уплотнения в поверхности фланцев. Такие фланцевые соединения позволяют существенно снизить металлоемкость уплотняемых стыковых конструкций трубопроводов.

Данную задачу Бойков А.А. решает путем исследования особенностей контактного взаимодействия металлических профилированных уплотнений с сопрягаемыми поверхностями фланцев и разработки математического аппарата к определению опасных факторов влияния на эксплуатационную надежность изделия в целом. К их числу относятся действующие контактные нагрузки и напряжения в зонах контакта элементов фланцевых соединений, влияние которых в настоящий момент не учтены в действующих нормативных документах при расчетах на прочность трубопроводов и их конструктивных элементов.

Решение подобных задач остается актуальным в создании конкурентной отечественной техники с оптимальной металлоемкостью и высокими эксплуатационными свойствами.

Вышеизложенное дает основание утверждать, что тема диссертации имеет научное и практическое значение, является **актуальной**, а применение полученных результатов исследования позволит внести значительный вклад в разработку перспективных проектов сложных технических систем

нефтегазовой промышленности, энергетического, атомного машиностроения и авиакосмической техники.

**Научная новизна** заключается в следующем.

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций** обусловлена проведенным анализом научно-технической литературы по заявленной специальности и тематике диссертационной работы. Результаты исследования получены в ходе теоретического анализа контактного взаимодействия уплотнения Z-образного профиля различной формы с сопрягаемыми поверхностями фланцев, математическим моделированием напряжённо-деформированного состояния при контактном взаимодействии жестких тел различной конфигурации, а также математическим описанием плотности контакта и взаимодействия герметизируемой среды с элементами фланцевого соединения.

Основные положения работы, выводы, рекомендации докладывались и обсуждались на международных и отраслевых конференциях и отражены в 5-ти статьях в журналах из Перечня ВАК РФ и 1-ой статьи в журнале, цитируемом международной базой Scopus.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается использованием фундаментальных положений механики деформируемого твёрдого тела, апробированных методов решения контактных задач, теории пластичности и прикладной теории герметологии, а также корреляцией полученных результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными, которые приводятся другими авторами по аналогичным исследованиям.

**Значимость для науки и практики полученных автором результатов**

Автор А.А. Бойков:

- Разработал математические модели контактного взаимодействия металлических профилированных уплотнений с сопрягаемыми поверхностями фланцев в соединениях трубопроводов на этапе сборки и

нагружения уплотняющих узлов, адаптированных к рабочим условиям эксплуатации.

- Провел математическое моделирование механизма формирования уплотняемого стыка, позволяющего провести качественную и количественную оценку прочности соединения и плотности контакта кромок Z-образного металлического уплотнения с сопрягаемыми поверхностями фланцев.

- Получил аналитические решения конструкционно-контактных задач для фланцевых соединений с Z-образными металлическими уплотнениями, устанавливающие взаимосвязь контактных нагрузок, перемещения и формы поверхностей при пластическом течении металла фланцев вследствие контактного взаимодействия элементов уплотняемого стыка, ряда геометрических параметров сопрягаемых деталей и степень плотности контакта, характеризующую герметичность трубопроводов.

- Разработал методологию расчёта герметичности фланцевого соединения трубопроводов с металлическим уплотнением с врезающимися элементами, на основе которой предложил критерий и дал оценку герметичности уплотняемого узла в виде функции проницаемости контакта.

Полученные результаты в исследовании направлены на обеспечение прочности и эксплуатационной надежности сложных технических систем с трубопроводами технологического, магистрального и другого назначения.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

1. На Рисунке 1.3 (гл. 1 п. 1.2, стр. 19) трудно различить, что Z-образное уплотнение имеет клиновидную кромку, внедряющуюся в тело фланца. Автору следует порекомендовать вынести отдельно укрупнённый вид, показывающий зону контакта клиновидной кромки уплотнения с фланцем.

2. В ходе проведения проверочного расчёта на прочность клиновидных кромок уплотнения (гл. 2, п. 2.3.3, стр. 61) приведено условие прочности в виде неравенства. Отсутствует ссылка на приведенное соотношение и

соответствующие пояснения, почему предельная величина напряжения ограничивается значением  $0,9 \sigma_{B2}$ .

3. В четвертой главе п. 4.3 (стр. 105) автор считает, что контактное сближение поверхностей фланцев определяется их прочностными свойствами и топографией микрорельефа кромок уплотнения. Следовало бы пояснить, какие прочностные свойства имел в виду соискатель. Приведенные параметры поверхностного слоя (шероховатость, твердость, степень упрочнения поверхности) к прочностным свойствам конструкции не относятся.

4. Практический пример расчёта утечки керосина ТС-1 из соединения трубопроводов с Z-образным металлическим уплотнением (прил. А) следовало бы привести в конце третьей главы, поскольку в ней изложен математический аппарат нагружения и разгрузки фланцевого соединения рабочим давлением, используемый в примере. В данном изложении материала результаты расчетов затруднительно определить, по каким формулам они получены.

5. Текст диссертации не содержит ссылок на авторские работы соискателя. Данные ссылки позволили бы конкретизировать, какие результаты получены лично автором, а какие совместно с соавторами.

Сделанные замечания не снижают ценности результатов, полученных автором диссертации, их достоверности, научной и практической значимости.

### **Заключение**

Диссертация Бойкова Андрея Александровича на тему «Контактное взаимодействие металлических профилированных уплотнений с сопрягаемыми поверхностями фланцев в соединениях трубопроводов» является законченной научно-квалификационной работой, направленной на обеспечение прочности и эксплуатационной надежности сложных технических систем, в которой изложены новые научно обоснованные

технические решения, имеющие существенное значение для развития страны.

Автореферат оформлен в соответствии с установленными требованиями и полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Основные результаты диссертационной работы получены лично автором.

Диссертационная работа А.А. Бойкова на тему «Контактное взаимодействие металлических профилированных уплотнений с сопрягаемыми поверхностями фланцев в соединениях трубопроводов» отвечает требованиям п. 9 «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».

Доктор технических наук, доцент  
И.о заведующего кафедрой теоретической и прикладной механики  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технология. Дизайн. Искусство)»

Хейло Сергей Валерьевич



23.05.2022

Искренность подписи удостоверяю  
Секретарь Ученого совета  
«РГУ им. А.Н. Косыгина»  
Иванова А.В.

Контактные данные:  
ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технология. Дизайн. Искусство)»  
115035, Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1  
Тел. 8(495)811-01-01 (доб. 1064)  
Адрес электронной почты организации: [info@rguk.ru](mailto:info@rguk.ru)  
Адрес официального сайта: [www.kosygin-rgu.ru](http://www.kosygin-rgu.ru)  
e-mail: [khejlo-sv@rguk.ru](mailto:khejlo-sv@rguk.ru)