**Белоголов, Юрий Игоревич. Совершенствование конструкций уплотнительных соединений с тонкостенными элементами : упругой кромкой : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.02 / Белоголов Юрий Игоревич; [Место защиты: Брат. гос. ун-т].- Иркутск, 2013.- 178 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/2614**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ**

**СООБЩЕНИЯ»**

На правах рукописи

04201363413

БЕЛОГОЛОВ ЮРИЙ ИГОРЕВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ТОНКОСТЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ (УПРУГОЙ КРОМКОЙ)

Специальность 05.02.02 - Машиноведение, системы приводов и детали машин

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор **Долотов А.М.**

Иркутск - 2013

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ** 5

[**ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ТОНКОСТЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ 11**](#bookmark0)

1. [Основные положения, предпосылки и пути совершенствования уплотнительных соединений с тонкостенными элементами 12](#bookmark1)
2. [Патентный обзор конструкций уплотнительных соединений с тонкостенными элементами 18](#bookmark4)
3. [Обзор конструкций клапанов, разгруженных от давления герметизируемой среды 26](#bookmark7)
4. [Постановка цели и задач исследования 32](#bookmark9)

[**ГЛАВА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОСТЕННОГО ОБОЛОЧЕЧНО-ПЛАСТИ- НЧАТОГО СЕДЛА** 34](#bookmark10)

1. [Состояние вопроса расчета уплотнительных соединений с оболочечными и пластинчатыми элементами 35](#bookmark11)
2. [Определение жесткостных характеристик тонкостенного оболочечно- пластинчатого седла 39](#bookmark15)
3. Прочностной расчет тонкостенного\* оболочечно-пластинчатого седла, нагруженного давлением герметизируемой среды 52
4. [Учет отклонений формы оболочечного элемента 53](#bookmark32)

**ГЛАВА** 3. **ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

**ТОНКОСТЕННОГО ОБОЛОЧЕЧНО-ПЛАСТИНЧАТОГО СЕДЛА 61**

1. Алгоритм оптимизации геометрических размеров тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла клапанного уплотнительного соединения при ударном нагружении (без учета давления рабочей среды) 62
2. Алгоритм оптимизации геометрических размеров тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла фланцевого и статически нагруженного клапанного уплотнительных соединений с учетом давления рабочей среды 69
3. Перспективные конструкции уплотнительных соединений с

тонкостенными элементами 72

[**ГЛАВА 4. КОМПЕНСАЦИЯ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЗАТВОР СО СТОРОНЫ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ** 76](#bookmark49)

1. [Разгрузка затворов уплотнительных соединений с тонкостенными элементами 77](#bookmark50)
2. [Обеспечение герметичности вторичных уплотнений в разгруженных уплотнительных соединениях 86](#bookmark51)
3. Экспериментальные исследования по обеспечению герметичности вторичных уплотнений 89
4. Перспективные конструкции разгруженных затворов от давления

рабочей среды 95

[**ГЛАВА 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМА­ЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОСТЕННОГО ОБОЛОЧЕЧНО- ПЛАСТИНЧАТОГО СЕДЛА 101**](#bookmark57)

1. [Описание экспериментальной установки 102](#bookmark58)
2. Исследование деформационных параметров тонкостенного оболочечно- пластинчатого седла 110
3. [Экспериментальные данные и результаты расчета в MathCad тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла 114](#bookmark63)
4. [Использование конечно-элементного моделирования. Обсуждение результатов расчета тонкостенного оболочечно-пластинчатого элемента затвора в MSC.visual Nastran for Windows и АРМ WinMachine 118](#bookmark64)
5. [Анализ полученных результатов 127](#bookmark67)

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 131**

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК** 133

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1.** Результаты экспериментальных исследований 153

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2.** Программа расчета рациональных геометрических размеров тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла в MathCAD 14. .158

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время для управления потоком рабочей среды и обеспечения требуемой герметичности подвижных и неподвижных соединений деталей (узлов) арматуры используются различные конструкции клапанов, задвижек, кранов, фланцев, штуцеров и др. Используемые в них сопрягаемые элементы - уплотнительные соединения (УС), должны обеспечивать требуемую герметичность в широком диапазоне давлений, температур, при различном химическом составе рабочих сред и др. условиях эксплуатации.

В настоящее время распространение в качестве УС получили цельнометаллические УС (т.н. УС «металл-металл»), где подвижный элемент УС - золотник - выполняется коническим (реже - сферическим или более сложной формы), а неподвижный элемент - седло - тонкостенным в виде оболочки вращения (иногда в литературе именуемой упругой кромкой). Чаще всего используются цилиндрические оболочки, как наиболее простые в изготовлении.

Выполнение седла тонкостенным, позволяет снизить усилие герметизации в цельнометаллическом УС практически до уровня металлополимерного УС, обеспечить равномерность распределения герметизирующего усилия по периметру, снизить требования к точности монтажа и сборки.

Использование тонкостенных элементов особенно целесообразно, когда применение металлополимерных УС осложнено по условиям эксплуатации (составы рабочих сред, температурные режимы), использование притертых плоских или конических УС нерационально из-за термоциклирования, так как при этом теряются достигнутые притиркой геометрические параметры уплотнительных поверхностей.

Однако, при всех положительных свойствах тонкостенных элементов, следует отметить их чувствительность к силовому нагружению, особенно в

клапанных УС, где перекрытие потока рабочей среды сопровождается динамической (ударной) нагрузкой, которая может более чем на порядок превышать статическую. При этом область рациональных геометрических размеров для тонкостенных элементов достаточно узкая. Выход из нее в одну сторону ведет к пластическому деформированию тонкостенного элемента и его возможному разрушению, а в другую сторону - к потере тонкостенным элементом его положительных свойств, а именно малых усилий герметизации и большого ресурса работы УС.

Поэтому одним из направлений совершенствования конструкций УС является снижение толщины (жесткости) тонкостенного элемента при безусловном сохранении им своих прочностных свойств, т. е. выбор таких размеров тонкостенного элемента, при которых минимизация жесткости тонкостенного элемента сочетается с обеспечением его прочности. Такие геометрические размеры будем называть рациональными.

Особо отметим, что при назначении рациональных размеров оболочечного седла одновременно обеспечивается минимизация герметизирующего усилия.

Наряду с указанным направлением совершенствования рассматриваемых УС, для клапанов важным также является снижение динамической нагрузки. Очень часто это снижение может быть достигнуто путем полной или частичной разгрузки золотника от действия давления рабочей среды. При этом одновременно с задачей снижения динамической нагруженное™ клапана за счет использования менее мощных приводов, улучшения габаритно-массных характеристик, что особенно важно для авиационной и космической техники, решается задача защиты оболочечного элемента от перегрузки со стороны привода при изменении давления рабочей среды.

Проблема использования тех или иных способов разгрузки золотника от действия давления рабочей среды обычно связано с появлением в клапане т.н.

вторичных уплотнений (ВУ), обеспечению работоспособности которых также может помочь использование тонкостенных элементов.

На основании вышеизложенного можно заключить, что возможными направлениями совершенствования конструкций УС с тонкостенными элементами являются выбор рациональных размеров тонкостенного седла УС, при которых минимизация жесткостных свойств седла обеспечивает минимизацию герметизирующего усилия, а также разгрузка золотника клапана от давления рабочей среды, что позволяет снизить динамические нагрузки при срабатывании клапана, как основных силовых факторов, определяющих ресурсные, массогабаритные и другие эксплуатационные характеристики УС. Отсутствие рекомендаций по выбору рациональных размеров тонкостенного элемента УС, путей управления его жесткостью, снижению динамической нагрузки при срабатывании клапана и разгрузке золотника обуславливает актуальность темы диссертационной работы.

Таким образом, **целью работы** является: совершенствование

уплотнительных соединений с тонкостенными элементами с целью минимизации усилия герметизации и повышения ресурса УС.

**Достижение поставленной цели требует решение ряда задач:**

1. Анализ современного состояния конструктивных решений УС с тонкостенными элементами, с золотником, разгруженным от давления рабочей среды.
2. Определение направлений совершенствования УС с тонкостенными элементами.
3. Определение рациональных размеров оболочечно-пластинчатого седла, работающего в условиях ударного нагружения.
4. Определение рациональных размеров оболочечно-пластинчатого седла, работающего в условиях статического нагружения (с учетом давления рабочей среды).
5. Разгрузка золотника от действия давления рабочей среды.

6. Теоретико-экспериментальная проверка методики определения рациональных геометрических размеров оболочечно-пластинчатого седла затвора.

**Научная новизна и положения, выносимые на защиту:**

1. Разработка методик статического и динамического расчетов тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла.
2. Постановка и решение оптимизационной задачи определения размеров тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла, работающего в условиях ударного нагружения, без предварительного определения максимальной динамической нагрузки.
3. Постановка и решение оптимизационной задачи определения размеров тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла, работающего в условиях статического нагружения с учетом давления рабочей среды.

**Обоснованность и достоверность** полученных результатов подтверждаются: разработанной методикой определения рациональных

геометрических размеров оболочечно-пластинчатого седла, реализованной с помощью универсального математического пакета PTC MathCAD, конечно­элементным моделирование с использованием автоматизированных системах расчета АРМ WinMachine и MSC.vN4W, проведенными экспериментальными исследованиями на разработанном универсальном стенде; совпадением результатов конечно-элементного моделирования и аналитических расчетов, и совпадением результатов экспериментальных испытаний и аналитических с точностью, приемлемой для инженерной практики.

**Практическая ценность работы и ее реализация:**

* создана инженерная методика расчета рациональных геометрических размеров седла фланцевого УС, позволяющая снизить усилие герметизации в стыке;
* создана инженерная методика расчета рациональных геометрических размеров тонкостенного оболочечно-пластинчатого седла клапана, позволяющая снизить динамические нагрузки в затворе, что позволяет прогнозировать снижение герметизирующего усилия, повышение ресурса клапана, улучшение его массо-габаритных характеристик;
* разработано стендовое оборудование, позволяющее проводить деформационные исследования тонкостенных оболочечно-пластинчатых седел с диаметром условного прохода (ДУ) до 40 мм при усилии со стороны привода до 5 кН;
* разработаны перспективные конструкции седел пониженной жесткости и золотников, разгруженных от давления рабочей среды.

Результаты диссертационной работы использованы в ОАО ИркутскНИИхиммаш (г. Иркутск) при разработке новых УС, а также используются в лекционных курсах при подготовке студентов и аспирантов в ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения» и ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет».

**Апробация работы:** Основные результаты научных исследований

докладывались и обсуждались на научных конференциях: Международной научной конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева «Решетневские чтения» (г. Красноярск, 2011-2012 гг.); Всероссийской научно-практической

конференции «Проблемы транспорта Восточной Сибири» (г. Иркутск, 2012 г.); **II** Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной ко Дню космонавтики «Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (г. Иркутск, 2012 г.); Международной конференции «Проблемы механики современных машин» (г. Улан-Удэ, 2012 г.); Третьей международной научно-практическо 1 конференции «Безопасность регионов - основа устойчивого развития» (г. Иркутск, 2012 г.); Енерго-та ресурсозберігаючиі технології при експлуатації машин та устаткування (Україна, г. Донецьк, 2012 г.); Всероссийской научно-технической

конференции с международным участием «Механики XXI веку» (г. Братск, 2012

**Публикации:** по результатам исследований опубликовано 15 научных работ, включая статьи в журналах и трудах конференций, из них 6 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования результатов диссертационных работ, депонированная рукопись № 508-В2011. Поданы заявки (№ 20111502212, 2011 г.; № 2012132174, 2011 г.; № 2012150424, 2012 г.) на изобретения.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложений и библиографического списка. Общий объем работы 174 страниц, включая 10 таблиц, 88 рисунков, библиографического списка - 179 наименований.

В приложениях приводятся результаты экспериментальных исследований седел № 2 и № 3 (Прил. 1) и программа расчета рациональных геометрических размеров оболочечно-пластинчатого седла в MathCAD 14 (Прил. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований сформулированы следующие выводы:

1. Анализ конструктивных решений уплотнительных соединений с тонкостенными элементами показал, важнейшим направлением совершенствования конструкций клапанных и фланцевых уплотнительных соединений является снижение приведенной жесткости тонкостенного элемента.
2. В связи с эксплуатационным изменением параметров рабочей среды целесообразно совершенствование конструкций клапанов реализовать путем использования разгруженных от действия давления рабочей среды золотников.
3. С целью снижения динамического нагружения тонкостенного элемента в уплотнительных соединениях и минимизацией герметизирующего усилия, предложено выполнять тонкостенный элемент пониженной жесткости в виде оболочечно-пластинчатого седла как наиболее технологичного.
4. Разработана инженерная методика выбора рациональных геометрических размеров оболочечно-пластинчатого седла клапана, работающего в условиях ударного нагружения при неопределенной максимальной динамической нагрузке, обеспечивающая непревышение допускаемых напряжений в тонкостенном оболочечно-пластинчатом седле.
5. Разработана инженерная методика для проверки напряженно- деформированного состояния оболочечно-пластинчатого седла клапана при статическом нагружении усилием герметизации и давлением рабочей среды.
6. Разработана инженерная методика выбора рациональных геометрических размеров оболочечно-пластинчатого седла фланцевого соединения, обеспечивающая минимизацию приведенной жесткости (минимизация герметизирующего усилия) при условии обеспечения прочности оболочечно-пластинчатого седла.
7. Результаты аналитических расчетов деформационных параметров оболочечно-пластинчатого элемента, их экспериментальная проверка на специально разработанной установке и сопоставление с результатами моделирования в среде АРМ WinMachine и MSC.vN4W показали совпадение результатов с точностью, приемлемой для инженерных расчетов, что подтверждает правильное построение расчетной модели оболочечно- пластинчатого седла.
8. Использование оболочечно-пластинчатого седла вместо оболочечного в клапанных уплотнительных соединениях позволяет снизить приведенную жесткость уплотнительного соединения и ведет к значительному снижению динамической нагрузки, что позволяет выполнить седло более тонкостенным, что в свою очередь ведет к снижению требуемого усилия герметизации и снижению массо-габаритных характеристик привода, прогнозировать рост ресурса клапана.
9. Предложенная методика выбора рациональных геометрических размеров оболочечно-пластинчатого фланцевого уплотнительного соединения позволяет минимизировать герметизирующее усилие.
10. Предложены перспективные конструкции затворов клапанов, разгруженных от давления рабочей среды, что позволяет отказаться от ограничителей деформаций тонкостенных элементов, тем самым повысить ресурс работы клапана, расширить допускаемый диапазон изменения давления рабочей среды.
11. Предложены перспективные конструкции УС с тонкостенными оболочечно-пластинчатыми седлами пониженной жесткости, в том числе для задвижек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **А.с. 167104 СССР, МПК6 F 16 К 1/42.** Упругое седло клапана **/** Б. **И.** Кондратишко (СССР). - № 799296/25-8; заявл. 18.10.62; опубл. 12.12.64, Бюл. № 24. - 2 с.: ил.
2. **А.с. 272745** СССР, МИК6 F **16** К **15/04.** Шариковый клапан / В. И. Подпружников, А. Н. Поляков (СССР). - № 1220601/25-8; заявл. 26.11.68; опубл. 03.06.70, Бюл. № 19. - 2 с.: ил.
3. **А.с. 356398 СССР, МПК6 F 16 J 15/02.** Вакуумное уплотнение **/** В. А. Чернов (СССР). -№ 1167400/25-8; заявл. 30.06.67 ; опубл. 23.10.72, Бюл. № 32. - 2 с.: ил.
4. **А.с. 383947 СССР, МПК6 F 16 L 23/16.** Разъемное вакуумно-плотное соединение / В. О. Токарев, Л. А. Кузиниц, И. И. Розенцвейг, Л. О. Вайсфельд, В. М. Тарасов (СССР). - № 1458200/25-8; заявл. 06.07.70; опубл. 23.05.73, Бюл. № 24. - 2 с.: ил.
5. **А.с. 396520 СССР, МПК6 F 16 К 25/00.** Предохранительный клапан / Г. В. Мамонтов, Б. 3. Абросимов, М. А. Зайцев (СССР). - № 131816/25-8; заявл. 28.08.69; опубл. 29.08.73, Бюл. № 36. - 3 с.: ил.
6. **А.с. 338721 СССР, МПК6 F 16 К 1/42.** Седло клапана / Б. Н. Николаев (СССР). - № 1452160/25-8; заявл. 08.06.70; опубл. 15.05.72, Бюл. № 16. - 2 с.: ил.
7. **А.с. 414449 СССР, МПК6 F 16 К 1/36.** Уплотнительный узел / О. Н. Хайлов, Ю. К. Кузьмин, В. А. Айриев, Ю. Д. Симкин (СССР). - № 1755330/25- 8; заявл. 06.03.72; опубл. 05.11.74, Бюл. №5.-2 с.: ил.
8. **А.с. 430263 СССР, МПК6 F 16 К 25/00, F 16 К 1/42.** Клапан / И. К. Попов (СССР). -№ 1671676/25-8; заявл. 21.06.71; опубл. 30.05.74, Бюл. № 20. - 2 с.: ил.
9. **А.с.** 463828 **СССР, МПК5 F** 16 **К** 1/36. Уплотнительный узел / Д. Ф. Пасынков, В. М. Мартынов, Н. Н. Пономарев, В. В. Вольский, В. Ф. Нефедов (СССР). - № 1912638/25-8; заявл. 28.04.73; опубл. 15.03.75, Бюл. № 10. - 2 с.: ил.
10. **А.с. 481744 СССР, МПК5 F 16 К 39/02.** Запорное устройство / **В.А.** Горлин, Е.Н. Коротков. — № 1877488/25-8; заявл. 06.02.73; опубл. 25.08.75, Бюл. № 31. -2 с.: ил.
11. **А.с. 479917 СССР, МПК5 F 16 К 1/34.** Клапан / Б. П. Коновалов, В. В. Мягков, Б. Н. Смирнов (СССР). - № 1959144/25-8; заявл. 03.09.73; опубл.
12. Бюл. № 29. - 2 с.: ил.
13. **А.с. 512332 СССР, МПК5 F 16 L 19/02, F 16 J 15/02.** Разъемное сверхвысоковакуумно-плотное соединение **/** В. **О.** Токарев, **И. И.** Розенцвейг, **JI.**

О. Вайсфельд, В. М. Тарасов (СССР). -№ 1963514/25-8; заявл. 10.10.73; опубл.

1. Бюл. № 16. - 2 с.: ил.
2. **А.с. 607084 СССР, МПК5 F 16 К 1/34.** Уплотнительный узел клапанных устройств / Б. В. Кармугин (СССР). - № 2431128/25-08; заявл. 20.12.76; опубл. 15.05.78, Бюл. № 18.-2 с.: ил.