

**ТУЛЕКЕНОВА ДАНА ТОЛЕУБЕКОВНА**

**РАЗРАБОТКА САМОРЕГУЛИРУЮЩЕГОСЯ АДАПТИВНОГО  
ПРИВОДА СТЫКОВОЧНОГО МЕХАНИЗМА КОСМИЧЕСКОГО  
АППАРАТА**

**АННОТАЦИЯ**

диссертации на соискание степени  
доктора философии (PhD) по специальности  
6D060300 – «Механика»

**Актуальность темы исследования.** Освоение космического пространства привело к возникновению и развитию новых разделов науки и техники. Создание уникальных систем космических аппаратов потребовало развития методов конструирования и решения ряда научных и технических проблем, связанных с проектированием, расчетами и имитацией условий работы этих систем в земных условиях. Одной из таких систем является стыковочный механизм, предназначенный для непосредственного соединения космических аппаратов на орбите.

Стыковочный механизм представляет собой механическую систему взаимосвязи элементов космического аппарата и орбитальной станции, приспособляющуюся к непрерывно и спонтанно меняющимся условиям их взаимодействия. Стыковочный механизм содержит стыковочные элементы и привод с системой управления. Существующий привод является сложной определенной механической системой с двумя степенями свободы, содержащей два двигателя, передаточные механизмы, тормозные демпфирующие элементы и датчики.

Взаимодействие этих элементов выполняет сложная система управления.

Стыковочный механизм может быть существенно упрощен, если в нем использовать передаточный механизм, способный самостоятельно без системы управления приспособляться к переменной нагрузке. Такой привод можно назвать саморегулирующимся адаптивным приводом. Саморегулирующийся передаточный механизм может быть создан на основе кинематической цепи с двумя степенями свободы, имеющей только один вход (двигатель). Саморегулирующийся адаптивный привод упрощает конструкцию и обеспечивает надежность работы стыковочного механизма. Главным элементом конструкции адаптивного привода является саморегулирующийся зубчатый передаточный механизм (зубчатый вариатор) с переменным передаточным отношением, адаптирующимся к переменной нагрузке.

**Целью диссертационной работы** является создание саморегулирующегося, надежного и экономичного адаптивного привода

стыковочного аппарата на основе использования кинематической цепи с двумя степенями свободы и с одним входом.

Для этой цели предусмотрено использование теоретических основ создания адаптивного механизма, способного обеспечить при постоянной входной мощности двигателя переменную скорость движения выходного рабочего органа в зависимости от нагрузки. Для этого используется теоретический аппарат профессора Иванова К.С. создания механизмов с двумя степенями свободы, согласно которому начальная кинематическая цепь с двумя степенями свободы и с одним входом преобразуется в структурную цепь, содержащую силовую связь, которая добавляет силовое ограничение, обеспечивает определенность движения и создает новое свойство – свойство силовой адаптации к переменной нагрузке.

При выполнении работы решаются **следующие задачи:**

- 1) Исследование закономерностей взаимосвязи кинематических и силовых параметров адаптивного зубчатого механизма;
- 2) Теоретическое описание действия адаптивного привода с обеспечением определенности движения;
- 3) Разработка методики и алгоритма расчета адаптивного привода;
- 4) Разработка конструкторской документации: сборочного чертежа адаптивного вариатора, чертежей основных деталей и испытательного стенда.
- 5) Изготовление адаптивного вариатора и испытательного стенда.
- 6) Проведение испытаний опытного образца адаптивного вариатора и анализ полученных результатов.

**Объект исследования.** Объектом исследования является саморегулирующийся адаптивный привод стыковочного механизма космического аппарата, содержащий электродвигатель и адаптивный вариатор с двумя степенями свободы с одним входом.

**Методы исследования.** Теоретические исследования проводились на основе классических методов теоретической механики и теории механизмов и машин (структура, кинематика, силовой анализ).

Метод исследования, обеспечивающий определенность движения кинематической цепи с двумя степенями свободы и с одним входом, состоит в добавлении силовой связи в один из шарниров цепи. В этом шарнире добавляется силовое (например, фрикционное) взаимодействие с помощью натяжного устройства, создающего требуемую нормальную реакцию между взаимодействующими поверхностями.

Достижение силовой адаптации механизма с двумя степенями свободы и с одним входом выполнялось на основе исследований профессора Иванова К.С.

**Научная новизна работы состоит** в разработке методики расчета и в проектировании саморегулирующегося адаптивного привода стыковочного механизма космического аппарата.

Научная новизна включает:

- Исследование закономерностей взаимосвязи кинематических и силовых параметров саморегулирующегося зубчатого адаптивного механизма.

- Теоретическое описание достижения определмости движения двух-подвижной кинематической цепи с одним входом.

- Теоретическое описание эффекта силовой адаптации зубчатого вариатора на основе добавления фрикционной связи в шарнире на центральной оси.

- Выполнение эксперимента с использованием внешней фрикционной связи, допускающей внешнее силовое регулирование.

- Разработка и изготовление опытного образца адаптивного вариатора и испытательного стенда.

- Проведение испытаний и анализ полученных результатов.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

- Определмость движения двух-подвижной кинематической цепи с одним входом обеспечивает дополнительная фрикционная силовая связь в одном из шарниров цепи, создаваемая натяжным устройством.

- Силовая адаптация саморегулирующегося вариатора с постоянной входной мощностью в виде обратной пропорциональной зависимости выходной угловой скорости от выходного момента сопротивления имеет место в определенной двух-подвижной структурной цепи с дополнительной силовой связью.

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов диссертационной работы** подтверждается использованием известных положений, принципов и методов теоретической механики и в теории механизмов и машин и согласованием полученных теоретических результатов с результатами экспериментальных исследований.

#### **Теоретическая и практическая значимость исследования.**

Теоретическая значимость работы заключается в описании эффекта силовой адаптации для зубчатых механизмов и исследовании закономерностей взаимосвязи кинематических и силовых параметров адаптивного зубчатого вариатора основанного на использовании теоремы о равновесии замкнутого контура

Практическая значимость диссертационных исследований состоит в разработке конструкторско-технологического комплекса проектирования саморегулирующегося адаптивных приводов стыковочного механизма космического аппарата с муфтой. Выполнить экспериментальные испытания и анализ работы вариатора на различных режимах движения. Разработать анимационную модель адаптивного зубчатого вариатора.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих мероприятиях:

- научные семинары Института механики и машиноведения имени У.А. Джолдасбекова (2015 – 2020 гг., Алматы);

- Международная конференция «Sustainable Energy, Environment and Information Engineering» (Бангкок, Таиланд, март 2016);

- Международная научная конференция студентов и молодых ученых «III Фарабиевские чтения. Мир Науки» (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, апрель, 2016);

- XI Международная научно-техническая конференция «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование» (АУЭС им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, октябрь 2021);

- Международная конференция «Mechanisms and Machine Science, Mechanism Design for Robotics, MEDER2021» (Пуатье, Франция, июнь, 2021);

- 7-я Азиатская конференция по механизмам и машиноведению «Asian MMS 2024» (ИММаш им. академика У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан, август, 2024);

- научные семинары кафедры Механики КазНУ им. аль-Фараби (2015-2020 г., Алматы).

**Публикации.** По теме диссертации автором было опубликовано 11 работ, в том числе 4 публикации в научных изданиях, входящих в перечень рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК для публикации основных результатов научной деятельности; 2 публикации в научных журналах индексируемой базой данных Scopus; 5 публикаций в трудах зарубежных и отечественных научных конференций, среди которых 3 публикации в материалах зарубежных конференции, 2 публикации в материалах отечественной конференции.

**Личный вклад автора.** Основные результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. В совместной статье соискателем была проделана основная часть работы, соавторы участвовали в постановке задачи и обсуждении результатов. Отечественным научным руководителем Ивановым К.С. была поставлена задача, соискателю Тулекеновой Д.Т. принадлежит практическая реализация модели, ее качественный и количественный анализ и обсуждение результатов. В статьях соискатель внес вклад в построении модели и анализ результатов с зарубежным научным руководителем М. Чеккарелли.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из титульного листа, содержания, обозначений и сокращений, введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников из 82. Общий объем диссертации составляет 92 страниц, включая 69 иллюстрации и 2 таблиц.

#### **Основное содержание диссертации.**

Во введении отражены следующие моменты: актуальность темы диссертационного исследования, основная цель работы, объект, предмет и методы исследования, научная новизна, научно-практическое значение диссертационной работы, степень ее разработанности.

В первой главе исследуется обзор и анализ существующих конструкций стыковочных механизмов космических аппаратов, классификация стыковочных механизмов, описание конструкций стыковочных механизмов и характеристика момента сопротивления, технические требования к

проектируемому электроприводу стыковочного механизма и анализ существующих конструкций стыковочных механизмов.

Предметом второй главы является задача разработки схемы адаптивного редуктора для привода стыковочного механизма. Структурный синтез адаптивного редуктора. Кинематический анализ адаптивного редуктора. Силовой анализ адаптивного редуктора. Разработка эффективной конструкции адаптивного редуктора.

В третьей главе выполняется разработка конструкции адаптивного редуктора. Описание конструкции стыковочного аппарата. Определение основных конструктивных параметров адаптивного редуктора. Динамика адаптивного привода (построение характеристики привода). Анализ режимов движения привода.

В четвертой главе практическая реализация адаптивного редуктора. Разработка конструкторской документации. Создание экспериментального образца и испытательного стенда. Экспериментальная характеристика опытного образца. Разработан конструкторско-технологический комплекс проектирования адаптивных приводов аэрокосмической техники. Выполнены экспериментальные испытания и анализ работы вариатора на различных режимах движения. Разработана анимационная модель адаптивного зубчатого вариатора.

В заключении приводятся основные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе.

### **Благодарность**

Автор выражает глубокую признательность отечественному научному консультанту д.т.н., профессору Иванову Константину Самсоновичу за научное руководство, неоценимую помощь и ценные советы на всех этапах выполнения диссертационной работы и зарубежному научному консультанту президент IFToMM, профессору Марко Чеккарелли за поддержку, за научное руководство и помощь при выполнении эксперимента во время стажировки (Университет Тор Вергата, Лаборатория робототехники и мехатроники, Италия).