

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

АНО ВО «Университет Иннополис»

д.ф.-м.н., профессор

А.Г.Тормасов

2019 г.



## ОТЗЫВ

### ведущей организации

ведущей организации на диссертацию Кленова Анатолия Игоревича «Динамический синтез и анализ механизма, реализующего движение локомоционной мобильной платформы в жидкости», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.18 – «Теория механизмов и машин»

### Актуальность выбранной темы

В настоящее время существенный интерес проявляется к разработке автономных робототехнических систем, предназначенных для передвижения в жидкости. Особое место среди таких систем занимают мобильные платформы с внутренним механизмом, которые не содержат внешних приводных элементов, взаимодействующих непосредственно с жидкостью или воздухом над её поверхностью, и в процессе движения не изменяет свою форму, что является новым, как с точки зрения гидродинамики, так и мобильной робототехники. Поэтому вопросы синтеза механизма, обеспечивающего передвижение локомоционной мобильной платформы в жидкости являются актуальными для создания подобных систем.

В диссертационной работе представлены этапы структурного и кинематического синтеза механизма, осуществляющего изменение распределения масс локомоционного робота. Приведены существующие и разработанные математические модели движения тела с переменным

распределением масс в жидкости. Проведены экспериментальные исследования разработанной математической модели, на основе которой сделана оценка о возможности её использования для описания и управления локомоционным роботом с переменным распределением масс.

### **Структура, содержание и оформление диссертации**

Диссертация изложена на 127 страницах, состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и списка литературы (96 наименования).

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, отмечены научная новизна, практическая значимость полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор существующих надводных и подводных способов передвижения в жидкости. Выявлены объективные преимущества безвинтовых надводных локомоционных мобильных платформ, перемещающихся в жидкости за счёт изменения распределения масс. Проведен анализ различных механизмов изменяющих распределение масс системы и, в качестве реализуемого, выбран зубчатый механизм с двумя массами, закрепленными на ведомых зубчатых колесах.

Во второй главе разрабатывается математическая модель движения локомоционной мобильной платформы в жидкости за счёт изменения распределения масс, реализуемого посредством вращения двух внутренних масс по окружности. Данная модель учитывает трёхмерные колебания системы и внешние силы, действующие на платформу со стороны жидкости. В результате моделирования определена зависимость скорости продвижения от массогеометрических параметров и законов движения выходных звеньев механизма.

В третьей главе описан процесс синтеза зубчатого механизма, который сообщает движение двум массам, закреплённым на двух ведомых зубчатых колесах. Синтезируемый механизм реализует заданное изменение положения



центра масс механической системы и обеспечивает движение локомотивной мобильной платформы. По результатам синтеза механизма сформулирована методика динамического синтеза. Данная методика основана на использовании универсальной структурной системы при структурном синтезе механизма и динамической математической модели движения мобильной платформы при кинематическом синтезе механизма. Так же, в третьей главе представлены макет внутреннего механизма и локомотивной мобильной платформы. Определены инерционно-массовые характеристики мобильной платформы. Гидродинамические свойства макета определены с использованием разработанного автором лабораторного стенда и экспериментальных методик, которые также представлены в третьей главе.

В четвертой главе приведено описание экспериментальных установок и методик проведения экспериментов. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния частоты вращения выходных звеньев механизма с закрепленными на них массами на движение локомотивной мобильной платформы. Проведено сравнение результатов эксперимента с предложенной математической моделью.

Заключение содержит главные результаты работы и выводы, сделанные автором на основе проведенного исследования.

### **Научная новизна исследований состоит в следующем:**

Научная новизна заключается в том, что разработана методика динамического синтеза механизма, осуществляющего продвижение локомотивной мобильной платформы за счёт изменения распределения масс. На основе разработанной методики синтезирован сам механизм и локомотивная мобильная платформа. Проведена экспериментальная верификация разработанной математической модели. На основе полученных данных сделана оценка возможности использования разработанной математической модели для синтеза механизма и управления локомотивной мобильной платформой в жидкости с переменным распределением масс.

### **По диссертации можно сделать следующие замечания:**

1. Не проведено сравнение двигателя исследуемого типа с традиционными двигателями по энергетической эффективности.

2. Не исследованы вопросы применимости разработанной математической модели с аппаратами, имеющими другие значения параметров.

3. Не проведено исследование диапазонов изменения управляющих параметров аппарата, при которых сохраняется валидность разработанной математической модели.

4. Не проведён анализ шумов, возникающих при движении аппарата в жидкости из-за вибраций, создаваемых механизмом изменения положения центра масс.

5. Не рассмотрена задача оптимального расположения внутри аппарата механизмов, обеспечивающих изменение положения его центра масс.

### **Заключение**

Сделанные замечания не снижают ценность работы, а скорее носят рекомендательный характер для дальнейших направлений исследований.

В целом диссертация Кленова А.И. является законченным научным исследованием, выполненным на современном математическом и техническом уровнях. Основные результаты являются новыми и строго обоснованными. Они полностью отражены в 4 публикациях в журналах из перечня ВАК, из которых 1 опубликована в зарубежном журнале, входящих в базу данных Web of Science, что также подтверждает высокий научный уровень диссертационной работы. Автореферат полностью отражает содержание диссертации, цель и задачи исследования, раскрывает научную новизну работы и ее практическую значимость.

Диссертационная работа на тему «Динамический синтез и анализ механизма, реализующего движение локомотивной мобильной платформы

в жидкости» отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а её автор, Кленов Анатолий Игоревич, заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.18 – «Теория механизмов и машин».

Отзыв на диссертационную работу обсужден и одобрен на заседании научного семинара, протокол № 2 от 11 сентября 2019 г.

Руководитель Центра технологий компонентов  
робототехники и мехатроники

АНО ВО «Университет Иннополис»

PhD, профессор



Климчик А.С.

Автономная некоммерческая организация высшего образования  
"Университет Иннополис"

420500, Российская Федерация, Республика Татарстан,  
город Иннополис, улица Университетская, д. 1.

Контактные телефоны:

Телефон +7 (843) 203-92-53;

e-mail: [university@innopolis.ru](mailto:university@innopolis.ru)

Официальный сайт:

<http://university.innopolis.ru/>