

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента **Андрева Вячеслава Викторовича** на диссертацию Илалетдинова Ленера Фаритовича “Разработка модели управления движением тела с винтовой симметрией и внутренними роторами в вязкой жидкости”, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике)»

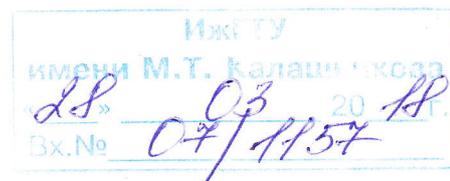
Актуальность темы исследования

Самоходные системы, подвижные роботы, мобильные устройства, беспилотные летательные аппараты, подводные самодвижущиеся устройства, роботы различного назначения становятся мощным инструментом в решении разнообразных технических задач. В широком спектре ситуаций отсутствие подвижных движителей снаружи корпуса подобного устройства обеспечивает разнообразные преимущества. Использование в качестве подобных устройств инерциоидов с вращающимися внутри массами обеспечивается возможностью их трехмерного перемещения в жидкости за счет вращательного движения, вызванного вращением роторов и поступательного движения за счет силы тяги. Однако использование подобных устройств осложняется нерешенностью задачи управления движением подобных устройств по заданной или контролируемой траектории. В рассматриваемой работе исследуется движение винтового тела с тремя лопастями в вязкой жидкости за счет вращения внутренних роторов. Постановка задачи об управлении движением винтового тела за счет роторов с учетом сил вязкости является новой, теоретически и практически значимой.

Новизна и достоверность результатов работы

Считаю, что подтвержденную научную новизну исследования составляют следующие положения:

1. На основе численного эксперимента по исследованию движения винтового тела в вязкой жидкости с применением нейронных сетей получены зависимости сил и моментов, действующих на тело со стороны жидкости, от кинематических и динамических характеристик движения.
2. Построены карты режимов устойчивости движения винтообразного тела в поле сил тяжести в идеальной и вязкой жидкости.
3. Разработан алгоритм управления движением тела с винтовой симметрией в вязкой жидкости с помощью вращения 3-х внутренних роторов.
4. С применением генетического алгоритма решена задача оптимального управления движением трехлопастного винтового тела в окрестности заданной траектории.
5. Методика построения модели управления движением инерциоидов в вязкой среде.



Предложенные решения обоснованы и математически корректны. Результаты диссертационной работы опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК РФ (шесть статей) и представлены на ряде международных и всероссийских конференций.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 109 источников и приложения. **Во введении** изложена актуальность диссертационного исследования, поставлены цели и задачи, отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту. Необходимо отметить высокое качество текста введения, лаконичность и точность формулировок. **В первой главе** приводится характеристика устройств, движущихся за счет внутренних подвижных масс и вращения внутренних роторов. Представлена история их создания и классификация по характеру движения, раскрыта практическая значимость и востребованность инерциоидов в различных областях применения. В исследовании рассматривается инерциоид – трехлопастной винт с подвижными массами внутри. Констатируется, что использование подобных устройств имеет ряд преимуществ, но затруднено отсутствием разработанных моделей управления при трехмерном движении в вязкой жидкости, для чего, в частности, необходим расчет гидродинамических параметров движения тела. **Во второй главе** представлена математическая модель движения тела с внутренними подвижными массами в вязкой жидкости. Выполнен анализ программных комплексов в области вычислительной гидродинамики, проведена процедура сравнения результатов расчетов характеристик вязкой жидкости этими комплексами, выполнена процедура верификации результатов расчетов характеристик гидродинамики винтообразного тела для различных режимов движения, которые необходимы и используются далее для построения модели управления. Для изменения направления движения, поддержки необходимой глубины погружения устройство должно вращаться одновременно относительно нескольких осей, двигаться по прямой, не совпадающей с осью винтовой симметрии (с разными угловыми и линейными скоростями). Большое число возможных комбинаций параметров движения создает необходимость планирования эксперимента. Как сказано в автореферате диссертационной работы изначально предварительные численные эксперименты были проведены по центральному симметричному ортогональному плану второго порядка. Отдельные зависимости гидродинамических параметров удалось получить в виде удобных, практически функциональных зависимостей от поступательной или вращательной скорости, для других сочетаний входных условий (параметров) таких удобных зависимостей получить не удалось. В связи с чем, было выполнено 448 расчетов с различными комбинациями

изменяемых входных параметров расчетной модели трехмерного движения трехлопастного винта в жидкости (углы тангажа и рыскания, угловая и поступательная скорость). Результатами этих расчетов являются силы и моменты по трем осям в подвижной и неподвижной системах координат. **В третьей главе** рассмотрена возможность аппроксимации вязких сил и моментов с помощью искусственных нейронных сетей. Обосновывается выбор аппроксиматора. Среди рассматривавшихся в качестве таковых: уравнение множественной регрессии, многослойные нейронные сети, метод опорных векторов, нечеткие деревья решений, радиальные сети. При этом нейронные сети показали достаточный уровень точности при простой программной реализации. Возможность построения таких аппроксимирующих зависимостей является условием создания модели управления. **В четвертой главе** содержится модель управления движением трехлопастного винта в вязкой жидкости. В ее основе модель управления для идеальной жидкости и аппроксимирующие зависимости, полученные автором работы для рассматриваемой системы.

Оценивая текст диссертации в целом, могу заключить, что диссертация действительно является научно квалификационной работой, имеет четкую и логически обоснованную структуру, написана ясным языком.

Основные результаты работы

Впервые разработана модель управления движением тела с внутренними подвижными роторами в вязкой жидкости путем интеграции известной модели для идеальной жидкости с характеристиками вязкой жидкости, обеспечивающая высокую точность движения вдоль заданной траектории.

Практическая значимость результатов работы

Возможность управления предложенной схемой движения имеет больше значения для проектирования и практического применения инерциоидов, в частности, при решении задачи по управлению движением в жидкости винтообразных устройств, движущихся за счет вращения внутренних роторов.

Работа выполнена в рамках Гранта РФФИ 15-08-09093-а «Исследование закономерностей движения подводных механических и робототехнических систем».

Положительные стороны работы

Среди отличительных особенностей диссертационной работы необходимо отметить рациональное использование современных программных комплексов в области вычислительной гидродинамики, оптимальных по точности результатов расчетов данной задачи

аппроксиматоров в форме нейронных сетей, генетических алгоритмов построения аппроксимационных зависимостей, позволивших достичь поставленной цели исследования – получить модель и алгоритмы управления движением в вязкой жидкости тела с винтовой симметрией и внутренними вращающимися массами в окрестности заданной траектории. Среднеквадратичное отклонение от заданной траектории составило от 2% до 5%. Данные результаты обеспечивают практическое использование уникальных по своим возможностям технических систем, изобретенных “по воле случая”, и остающихся долгое время неоправданно “в забвении” в силу невозможного ими управления.

Замечания по работе

Изучение текста диссертационной работы и автореферата позволило сформулировать следующие замечания, не носящие, однако, принципиального характера и которые можно рассматривать как направления для дальнейшего совершенствования работы:

1. Основную сложность в восприятии текста 2,3 и 4 глав диссертации доставила, выбранная автором система условных обозначений для скоростей, рассматриваемых в исследовании тел - самого инерциоида и роторов, размещенных внутри него (угловая скорость тела, вектор угловой скорости тела, угловая скорость роторов).
2. При описании содержания главы 4 в автореферате приведен рис. 6 с картой динамических показателей Ляпунова, отсутствующий в таком виде в тексте диссертации. Там соответствующий ему по смыслу рисунок назван “Граница усойчивости решений”.
3. На стр. 83 текста диссертации говорится о сравнительном анализе показателей точности различных аппроксиматоров, выполненном в работе [52] по списку трудов в диссертации (это также номер [3] в списке работ автора из автореферата диссертации). Формулировка “Нейронные сети показали достаточный уровень точности”, очевидно, требует в тексте диссертации большей конкретики в месте первого упоминания, поскольку далее эти характеристики все-таки приводятся на стр.105 в главе 4.
4. Неоднозначен смысл фразы “Исходными данными для построения сети являются результаты численного моделирования движения тела в виде трехлопастного винта.” (Текст диссертации на стр.87) О чем здесь говорится? О структуре, типе сети, или, все-таки, о характеристиках обучающей выборки, о которой в работе больше никакой информации не приведено.
5. На странице 87 текста диссертации, в таблице 3.8, озаглавленной “Параметры нейронной сети”, приведен параметр “Количество сетей”, приведено значение этого параметра – “6”. О какой сети и о каких сетях идет речь, требуется, видимо, пояснение.
6. Для рисунка 4.3 хотелось бы видеть количественные характеристики, подтверждающие обоснованность выбора именно этих аппроксимирующих зависимостей.

Имеется, также, ряд вопросов по списку публикаций автора:

1. Как связана тема первой публикации в списке опубликованных работ автора диссертации с темой исследования.
2. В списке публикаций автора, приведенных в автореферате, не приведены страницы (в тексте диссертации страницы для этих публикаций представлены).
3. Для характеристики п. 9 из списка публикаций автора в автореферате. (Решатель Kirchhoff Solver) указан регистрационный номер, без указания органа, зарегистрировавшего программный продукт.

Обращаю также внимание Совета на некоторые мелкие смысловые и редакционные ошибки автора в тексте диссертации и автореферата.

1. В диссертации на стр.7 дважды повторяется абзац “В большинстве своем алгоритмы управления основаны на применении интеллектуальных моделей: нейронные сети, нечеткая логика, генетические алгоритмы.”
2. В диссертационной работе имеются опечатки, например, на стр. 15, стр.97.
3. По тексту работы нет ссылки на рисунок 1.1, для рисунка 1.2. есть ссылка без указания номера рисунка. На рисунке 1.5 нет пояснения позициям с 1 по 7, отмеченным на рисунке.
4. Рис. 1.7, названный “Системы координат” не имеет ссылок по тексту и не снабжен пояснениями. Для описания какого движения приведены системы координат – переносного, абсолютного, относительного?
5. Ссылки и пояснения на рисунки, например, на рис.1.9 приводятся много позже того, как приведен сам рисунок.
6. Рисунок 1.10 назван “Перемещение тела” при этом на оси ординат надпись – “смещение тела”. Автором подразумевается одно и то же? Зачем использованы разные термины? И какого тела, по форме, рассматривается на этом рисунке “смещение-перемещение”? Вопрос связан с тем, что на рис. 1.11 тот же самый по смыслу график назван “Движение тел в виде сферы и капли”.

Еще раз отмечаю, что указанные замечания носят рекомендательный характер и не являются определяющими при оценке данного диссертационного исследования.

Заключение

На основе вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Илалетдинова Ленара Фаритовича удовлетворяет требованиям Положения ВАК о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, автореферат правильно и достаточно полно отражает

содержание диссертационной работы, научная новизна и положения, выносимые на защиту, соответствуют областям исследований паспорта специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике), а ее автор Илалетдинов Ленар Фаритович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по данной специальности.

Официальный оппонент доктор технических наук, доцент
Заведующий кафедрой «Ядерные реакторы и энергетические
установки» НГТУ им. Р.Е. Алексева,



Вячеслав Викторович Андреев

Дата: «21» марта 2018г.

603951, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д.24
Телефон: (831) 436-94-75
E-mail: vyach.andreev@mail.ru

Подпись Андреева В.В. заверяю
ученый секретарь
Ученого совета НГТУ

