

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Беляева Александра Константиновича на диссертацию Смирнова Алексея Сергеевича на тему «Динамика, управление движением и оптимизация режимов гашения колебаний пространственного двойного маятника», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

**Диссертация А.С. Смирнова** посвящена комплексному исследованию динамического поведения пространственного двойного маятника. На базе этого строятся желаемые режимы управления движением и оптимизация гашения нежелательных колебаний.

**Актуальность темы диссертационного исследования и практическая новизна.** Динамическое поведение двойного маятника и его модификаций традиционно привлекает внимание исследователей в области динамики. Тому есть ряд причин, начиная с того, что это естественное обобщение теории классического маятника в линейной и нелинейной постановках на системы с несколькими степенями свободы. Подходы, которые развиваются на примере двухзвенного маятника, допускают логическое обобщение на системы с любым конечным числом степеней свободы. Отсюда проистекает и практический интерес к поведению многозвенников, манипуляторов и прочих силовых устройств с системами приводов и управлением. Теоретические изыскания в данной области представляются особенно ценными и привлекательными, поскольку существенно упрощают синтез системы управления и выбор технических решений. Сплошь и рядом подобный инженерный подход представляется рациональным в инженерном деле.

### **Краткое содержание диссертации.**

- 1. В первой главе** приводится история исследований динамики двойного маятника, равно как и современных методов динамического анализа.
- 2. Вторая глава** посвящена выводу нелинейных уравнений движения пространственного двойного маятника. При этом внимание уделено вариантам плоского и ортогонального двойного маятника, малым колебаниям с учетом вязкого трения в шарнирах.
- 3. Третья глава** предлагает использование асимптотических методов нелинейной механики для построения нелинейных форм колебаний пространственного двойного маятника. Приводится сравнение с результатами численного интегрирования.
- 4. В четвертой главе** предлагается аналитический и численный анализ управляемых движений двойного маятника, вызванных коллинеарным управлением. Продемонстрированы преимущества подобного управления, позволяющего осуществлять разгон системы по каждой форме колебаний в отдельности. Также исследуется эффект вязкого трения и изучаются режимы движения системы под действием диссипативных и управляющих воздействий.
- 5. Пятая глава** имеет дело с проблемой оптимального подбора параметров пассивного и активного гашения колебаний пространственного двойного маятника как по отдельности, так и совместно по различным критериям оптимизации. Оценивается эффективность гашения движений.

**Достоверность результатов проведенных исследований.** Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием точных и приближенных математических методов исследования линейных и нелинейных колебаний механических систем при отсутствии и наличии диссипативных эффектов и управляющих воздействий, а также путем сопоставления аналитических выражений с результатами, найденными при помощи численного интегрирования уравнений движения.

**Замечания.** Представляется возможным сделать два замечания.

1. Оптимизация по критерию максимального гашения колебаний пространственного двойного маятника имеет тот недостаток, что высокодемпфированная механическая система имеет низкое быстродействие. В зависимости от целевой функции системы управления быстродействие может являться определяющим фактором.

2. Известно несколько разных способов построения нелинейных форм колебаний. Наиболее известные из них предложили Steven W. Shaw, Christophe Pierre, Alexander Vakakis. Они упомянуты в диссертации. Остается открытым вопрос, какой способ из вышеперечисленных ближе всего к подходу, разработанному в диссертации?

**Сделанные замечания не снижают общую высокую оценку диссертации.**

Диссертация Смирнова Алексея Сергеевича на тему: «Динамика, управление движением и оптимизация режимов гашения колебаний пространственного двойного маятника» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Смирнов Алексей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

доктор физико-математических наук,  
член-корреспондент РАН,  
главный научный сотрудник лаборатории мехатроники  
Института проблем машиноведения Российской академии наук



Беляев Александр Константинович

23 декабря 2024 года