

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Слободзяна Никиты Сергеевича на тему
«Прецизионное управление линейным приводом механизма с параллельной
структурой космического применения», представленную на соискание
учёной степени кандидата технических наук по специальности
05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы
(в машиностроении)»

Актуальность избранной темы

Одной из ключевых задач современного отечественного приборостроения является создание и применение новых прецизионных исполнительных механизмов, предназначенных для работы на борту космических аппаратов.

В настоящее время в различных областях техники всё большее распространение получают механизмы параллельной структуры.

Исследованию и созданию таких технических устройств для наземной техники посвящены исследования отечественных и иностранных специалистов. Однако, для решения современных задач к механизмам параллельной структуры, предназначенным для работы в составе космических аппаратов, предъявляются особые требования. Такие технические устройства должны устанавливаться на подвижном основании, работать в условиях агрессивных сред, обеспечивать точность позиционирования.

В существующих работах недостаточно полно освещены вопросы проектирования прецизионных механизмов для космической техники, работоспособности электронных блоков управления в условиях космического пространства, а также ограничений по применению специальной компонентной базы, в первую очередь, абсолютных датчиков положения.

Актуальность диссертационной работы Слободзяна Н.С. заключается в решении задач управления линейными приводами механизмов параллельной структуры с шестью степенями свободы выходного звена с учетом названных ограничений.

Структура и оформление диссертации

Диссертация Слободзяна Н.С. состоит из четырех глав. Цель диссертации и положения, выносимые на защиту, полностью отражают суть работы.

В первой главе автором выполнен анализ особенностей эксплуатации механизма параллельной структуры с шестью степенями подвижности (гексапода) в космической технике с точки зрения проблемы повышения точности. Отмечено, что эти механизмы, благодаря высокой жесткости и точности, а также модульности конструкции, могут применяться для наведения и позиционирования прецизионной полезной нагрузки

космических аппаратов (КА) с предельно высокой точностью и обеспечить работоспособность в условиях открытого космоса.

Выполнен обстоятельный обзор датчиков положения выходного звена механизма параллельной структуры. Отмечено, что применение абсолютных датчиков положения платформы затруднено или ограничено из-за отсутствия коммерчески доступных и технически пригодных серийно выпускаемых отечественных изделий. В связи с этим обоснована необходимость исследования механизма, не имеющего абсолютной измерительной системы. Показано, что точностные характеристики гексапода во многом определяются точностью работы его линейных приводов. Поэтому основным путем повышения точности позиционирования механизма в диссертации определена работа по уменьшению погрешностей его линейных приводов и компенсации их влияния за счет синтеза эффективной системы управления.

Вторая глава посвящена исследованию исполнительной и информационно-управляющей подсистем линейного привода гексапода. Рассмотрены основные компоненты линейного привода, обоснован их выбор. Систематизированы и выделены основные источники погрешности линейного привода, намечены перспективные способы повышения точности за счет программной компенсации выявленных погрешностей.

В третьей главе автором разработаны и исследованы конкретные методы повышения точности линейного привода, приведен алгоритм прецизионного управления. Изучены вопросы построения систем регулирования привода с учетом заданного закона движения, разработаны и проанализированы соответствующие структурные схемы систем управления приводом.

Четвертая глава посвящена динамическому анализу разработанной системы управления приводом. На основе компьютерной модели представлены исследования устойчивости системы управления, выполнено моделирование работы в режимах слежения за задающим сигналом. Доказана устойчивость системы управления, в том числе при действии скачкообразных возмущающих воздействий. Выполнено моделирование динамики гексапода обобщенной системе координат. Показано высокое качество работы гексапода с малыми значениями статических и динамических ошибок по всем координатам подвижной платформы гексапода. Далее автором на основе экспериментальных исследований подтверждена работоспособность предложенных методов компенсации систематической ошибки механической передачи, а также температурных и упругих механических деформаций линейного привода. Показано, что максимальное значение ошибки линейного привода с прецизионной системой управления находится в пределах $\pm 2,5$ мкм.

В заключении представлены основные результаты работы и выводы, полученные на основе проведенных исследований.

Диссертация написана грамотным научным языком, аккуратно оформлена в едином стиле, формулы, схемы и графики представлены в удобочитаемом виде.

Научная новизна работы

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Выполнен анализ источников ошибок работы механизма параллельной структуры космического применения и его линейных приводов. При этом учтены особенности конструкции таких механизмов: подвижное основание и работа в космическом пространстве. Показаны основные типы ошибок работы механизмов параллельной структуры, позволившие определить возможные пути повышения точности позиционирования. Такой комплексный подход, несомненно, является новым при исследовании гексапода и приводов космического назначения.

2. Автором разработан, обоснован и применен подход к повышению точности исполнительных механизмов, заключающийся в комплексном использовании программно реализуемых методов прецизионного управления линейным приводом на основе предварительной калибровки механической передачи привода и мгновенного вычисления поправок на температурные и механические деформации элементов привода.

3. Предложена структурная схема следящей системы управления линейным приводом, где для оценки механических деформаций элементов привода и параметров привода (моментной постоянной двигателя, коэффициента трения и др.) предложено использовать программный наблюдатель состояния на основе расширенного фильтра Калмана.

4. Автором предложена система траекторного управления выходным звеном гексапода, обеспечивающая с учетом предъявляемых требований к устройствам космического назначения ограничение развиваемых рывков, ускорений и скоростей.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается достаточным объемом результатов теоретических и экспериментальных данных, полученных с применением общепризнанных методов теоретической механики, теории механизмов и машин, теории автоматического управления и современными методами компьютерного моделирования.

Результаты экспериментальных исследований точности линейного привода сходятся с теоретически полученными результатами.

Полученные в работе результаты и выводы достоверны и вытекают из поставленных и решенных задач, что подтверждается внедрением основных результатов при выполнении научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы, а именно разработанных методов и алгоритмов управления приводами и механизмом параллельной структуры. Также достоверность подтверждается апробацией на нескольких значимых научно-практических конференциях всероссийского и международного уровня.

Практическая и научная значимость результатов работы

Особенности разработанного в диссертации прецизионного линейного привода, а также механизма с параллельной структурой на основе таких приводов дают возможность их применения для решения таких задач, как создание точных устройств позиционирования и стабилизации полезной нагрузки космических аппаратов, наземных крупногабаритных телескопов, различных устройств и объектов в промышленности, а также атомной технике. Предложенные алгоритмы и структурные схемы управления приводами и механизмом, а также полученные теоретически и экспериментально результаты являются научно-методическим вкладом в области повышения точности позиционирования исполнительных механизмов.

Замечания по работе

1. Применяемая в диссертации терминология не соответствует общепринятой, вместо «механизм с параллельной структурой» в отечественной литературе принято использовать термин «механизм параллельной структуры».

2. Одним из недостатков механизмов параллельной структуры являются особые положения. В работе соискатель не исследовал их наличие для рассматриваемого механизма типа «гексапод». При этом появляется дополнительная задача вывода механизма из особых положений.

3. В работе не показана взаимосвязь целевых показателей точности гексапода с точностными показателями приводов. В частности, не приведено обоснование требуемой точности позиционирования линейных приводов ± 2 мкм исходя из целевой погрешности гексапода ± 10 мкм и ± 30 угл. секунд.

4. В главе 3 представлены графики и максимальное численное значение теоретической ошибки шарико-винтовой передачи после калибровки по результатам двухкратного измерения, при этом не приведены статистические вычисления и обоснования величины случайной составляющей погрешности шарико-винтовой передачи.

5. В работе не выполнены сравнительные экспериментальные исследования точности механизма параллельной структуры, включающего линейные привода с прецизионным управлением и без такового.

6. Для разработанной системы управления гексаподом не приведены результаты натурных испытаний по верификации предложенного алгоритма траекторного управления.

7. Из текста диссертации (глава 4) не ясно, относительно каких осей при моделировании заданы моменты инерции объекта управления и как он закреплен относительно подвижной платформы гексапода.

Заключение

Сделанные замечания не снижают общего достоинства и положительной оценки диссертационной работы. Диссертация представляет самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой

содержится новое решение актуальной задачи, имеющей существенное значение для различных отраслей промышленности и связанной с созданием новых прецизионных пространственных механизмов параллельной структуры.

Автореферат соответствует содержанию диссертации в достаточной степени. По результатам работы опубликовано 24 научных работы, в том числе 5 статей в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ, 1 статья в журнале, входящем в базу Scopus, получено 4 свидетельства о регистрации ПО ЭВМ. Опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации и результаты проведенных исследований.

Диссертация «Прецизионное управление линейным приводом механизма с параллельной структурой космического применения» полностью отвечает требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Слободзян Никита Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)».

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент
и.о. заведующего кафедрой
теоретической и прикладной механики
ФГБОУ ВО «Российский государственный
университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)»

 Хейло С.В.
«01» сентября 2021 г.

Место работы:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)».

Адрес: г. Москва, 119097, ул. Малая Калужская, д. 1

Телефон: 8 (495) 811-01-01 доб. 1303/1123, email: info@rguk.ru


Подлинность подписи удостоверяю
Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»
Подпись _____
ФИО **ПАРАХИН В.А.**