

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Несмиянова И.А. «Структурный и параметрический синтез и оптимизация программных движений манипуляторов на основе трипода», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.18 – «Теория механизмов и машин».

Диссертационная работа Несмиянова И.А. посвящена вопросам как теоретических, так и экспериментальных исследований робототехнических манипуляторов параллельно–последовательной структуры на основе трипода с поворотным основанием. Такие манипуляторы, как показывает автор, являются перспективными для выполнения грузоподъемных и транспортных работ в сельском хозяйстве.

В настоящее время признано, что применение робототехнических манипуляционных устройств в промышленности является перспективным и поэтому для этой области деятельности разработаны и внедрены в производство такие системы. Однако в сельском хозяйстве эти устройства практически не применяются. Известные манипуляционные роботы сельскохозяйственного назначения существуют в единичных экземплярах и представляют собой опытные образцы.

Ограниченное применение роботов в агропромышленном комплексе связано с:

- их дороговизной;
- малой производительностью;
- отсутствием навесного оборудования;
- отсутствием сервисных служб.

Существующие модели промышленных роботов непосредственно не могут быть применены для выполнения многообразных сельскохозяйственных работ. Поэтому проведение работ по созданию и исследованию робототехнических манипуляционных устройств, предназначенных для работы в сельском хозяйстве, является перспективным направлением. Эти машины избавят человечество от тяжёлого монотонного труда.

В условиях интенсивного развития промышленности, сельского хозяйства, техники и технологии совершенствование как теоретических, так и экспериментальных методов исследования и управления робототехническими манипуляторами на основе трипода с поворотным основанием – весьма необходимое мероприятие для эффективного расширения области их применения и повышения производительности труда.

Автор понимает это и формулирует соответствующие цели и задачи исследования, связанные с теоретическими и экспериментальными исследованиями кинематики, динамики и синтезом как самих устройств, так и систем управления ими.

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Содержание работы

Диссертация изложена на 259 страницах, состоит из введения, пяти глав, выводов и списка цитируемой литературы и интернет ресурсов (398 наименований), и 6 приложений на 37 страницах.

Анализ содержания работы

Во введении обосновывается необходимость и актуальность выполненной автором работы. Показаны основные недостатки классических манипуляционных устройств грузоподъемных машин. Приводятся данные по распределению грузов в сельском хозяйстве. Указаны научные проблемы, с которыми сталкиваются разработчики манипуляционных механизмов, и авторы работ, которые занимались исследованием и изучением этих проблем.

Формулируются и обосновываются:

- цель диссертационной работы;
- задачи, которые решались при выполнении работы;
- научная новизна;
- достоверность полученных результатов;
- положения, выносимые на защиту;
- теоретическая и практическая значимость работы.
- Приводятся сведения об апробации работы и участии автора в выполнении научно-исследовательских проектов.

В первой главе диссертант анализирует опыт применения манипуляторов с параллельной и параллельно-последовательной структурой в промышленности, непромышленных отраслях и сельском хозяйстве.

Начинает главу автор с утверждения: «Технологические особенности сельскохозяйственного производства накладывают существенные ограничения на внедрение средств робототехники, в т. ч. и манипуляторов, в связи с этим, как уже отмечалось, внедрение промышленных роботов в аграрное производство невозможно».

Следует отметить, что в работе нет убедительных доказательств, ограничивающих применение известных в промышленности и быту грузоподъемных робототехнических систем в сельском хозяйстве. Более

того, такое начальное заявление свидетельствует о том, что создаваемый и исследуемый им объект предназначается исключительно для выполнения погрузочно-разгрузочных работ в сельском хозяйстве, тогда непонятно, для чего в главе анализируются также и универсальные, станочные и транспортные манипуляционные устройства.

Автор показывает недостатки манипуляторов с незамкнутыми кинематическими цепями, которые имеют низкую точность позиционирования, поэтому он правильно указывает на необходимость применения манипуляторов, имеющих замкнутую кинематическую цепь (механизмы параллельной структуры).

Далее в первой главе автор делает обзор известных механизмов параллельной структуры, который, к сожалению, никак не связан с назначением этих устройств. Затем автор приводит преимущества триподов перед гексаподами и переходит к их обзору. В результате этого анализа автор за объект своего исследования принимает поворотные манипуляторы параллельно-последовательной структуры на базе трипода и указывает на необходимость развития теории структурного синтеза и оптимизации законов управления для таких устройств.

Завершается глава тем, что диссертант рассматривает особенности структурного строения, анализа и синтеза манипуляторов параллельной структуры. К сожалению, этот раздел работы написан без учета современных работ по структуре машин и механизмов, и поэтому он содержит в себе не совсем корректные выводы

Глава 2 диссертации посвящена структурному анализу и синтезу параллельно-последовательных манипуляторов на базе трипода.

Начинается глава с того, что диссертант указывает на то, что разработанные и спроектированные на кафедре «Механика» погрузочные манипуляторы на основе трипода хорошо исследованы. Однако структурному анализу и синтезу таких манипуляторов до последнего времени не уделялось должного внимания. Поэтому автор определяет подвижности ранее разработанных грузоподъемных манипуляторов-триподов. Следует отметить, что, к сожалению, все приведенные в работе структурные схемы исследуемых механизмов выполнены с нарушением правил условного обозначения как звеньев, так и кинематических пар.

В процессе структурного анализа триподов с кинематическими парами различного класса автор устанавливает зависимость количества кинематических пар V класса от числа подвижных звеньев n при $W=3$ (рисунок 2.5) и строит область существования триподов. При этом он зачем-

то вводит понятия квазиплоских и рациональных механизмов. Под рациональными механизмами он понимает механизмы без лишних подвижностей и избыточных связей, имеющие из всех возможных вариантов наименьшее число подвижных звеньев при заданной степени подвижности выходного звена.

Затем автор показывает развитие структурных схем параллельно-последовательных манипуляторов, определяет их манёвренность и области существования.

Впоследствии диссертант переходит к структурному синтезу триподов, для чего записывает почему-то их упрощённую структурную математическую модель (2.14). В результате перебора параметров этой модели при наложенных ограничениях он находит 121 возможное решение. Тут же делается вывод, что не все сочетания кинематических пар определённого класса при данном числе подвижных звеньев могут образовывать работоспособный механизм с требуемой степенью подвижности, лишённый избыточных связей и не имеющий местных подвижностей. Поэтому он переходит к следующему этапу синтеза, для чего вводит дополнительные ограничения на поиск рациональных структурных схем. Это позволяет ему свести поиск рациональных структурных схем до 77 вариантов. Однако, в работе эти возможные схемы не приводятся, а лишь указывается, что поиск рациональных структурных схем манипуляторов параллельно-последовательной структуры может быть сведен к задаче линейного программирования.

Завершает вторую главу диссертации параметрический синтез параллельно-последовательных манипуляторов, который почему-то автор назвал геометрическим.

В третьей главе диссертант решает задачу определения зон обслуживания исследуемых им триподов. В начале главы он отмечает, что основной задачей при проектировании манипуляторов является обеспечение перемещения точки выходного звена механизма по заданной траектории. В качестве такой точки манипулятора берется точка М, к которой прикреплены штоки трех приводных цилиндров и захват. Для определения пространственного перемещения точки М, в зависимости от положения обобщенных координат манипулятора-трипода, он прописывает соответствующие системы уравнений. Для построения зон обслуживания был разработан алгоритм их формирования, который впоследствии был реализован на языке Visual Basic 6.0. В результате были найдены и построены зоны обслуживания манипулятора-трипода на поворотном

основании, установленного на шагающем шасси в составе робототехнического комплекса РШ-7.

В дальнейшем решалась задача определения и анализа статических усилий в звеньях манипулятора. Для чего были построены многочисленные графики, которые, как и в предыдущих разделах работы, приведены без серьёзного их анализа.

В конце главы диссертант рассматривает вопросы планирования и обеспечения необходимых траекторий рабочего органа погрузочного манипулятора. Предложены законы программных движений по прямолинейным и криволинейным траекториям.

Следует особо отметить, что все разработанные в третьей главе методики были доведены в результате математического моделирования до практической реализации.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена динамическому анализу манипуляторов параллельно-последовательной структуры и синтезу законов управления их приводами.

Начинается глава с формулировки задач, которые, по мнению автора, надо решать при динамическом анализе и в процессе проектирования манипуляторов. Это следующие задачи:

- определение движущих сил, необходимых для реализации требуемых движений захвата;
- определение динамических нагрузок в кинематических парах, необходимых для проведения прочностных расчетов;
- динамический синтез программных движений захвата;
- определение динамических ошибок, возникающих при реализации программных движений.

Так как манипулятор представляет собой пространственный механизм с распределенными массами, то для упрощения составления и исследования дифференциальных уравнений движения предлагается в качестве расчетной схемы манипулятора выбрать механизм с четырьмя поступательными исполнительными звеньями, массы которых сосредоточены в точках:

- М - крепления захвата;
- А - поворотного основания;
- Е - подвеса груза.

Масса переносимого груза принимается величиной известной, а массы манипулятора, приведенные к точкам А и М, определяются из условия равенства кинетических энергий манипулятора и его модели на парциальных движениях.

Следует отметить, что выбор расчетной схемы произведен без какого-либо серьезного её обоснования.

Дифференциальные уравнения движения трехмассовой модели манипулятора составляется с помощью уравнения Лагранжа с неопределенными множителями.

В результате численных исследований определяются законы изменения движущих сил при движении точки М по заданным траекториям, необходимые моменты и характеристики приводов. Также приводятся исследования динамики привода с упругой самотормозящейся передачей.

Также в главе приводятся:

- анализ динамических ошибок;
- результаты численных экспериментов манипулятора;
- синтез оптимальных законов перемещения исполнительных звеньев манипулятора и усилий при заданной конечной конфигурации манипулятора.

В пятой главе для экспериментальной проверки результатов теоретических исследований разработано и изготовлено два варианта систем управления манипуляционными устройствами. Системы управления создавались с целью реализации различных, включая и синтезированные, законов движения рабочего органа и проведения экспериментальных исследований. Обе системы устроены так, что основные задачи управления в них реализуются оператором. Основным элементом в системе управления является модуль, построенный на 32-разрядном контроллере семейства STM32. Система управления предназначена для работы с исполнительными механизмами системы, имеющими до 5 степеней свободы, осуществляет текущий контроль состояния линейных приводов и реализует заданные программой законы перемещения рабочего органа.

Экспериментальные исследования проводились на установленном на поворотной платформе манипуляторе, который имел четыре исполнительных поступательных звена. Исполнительным механизмом звена манипулятора является линейный электродвигатель постоянного тока – актуатор. В разработанном манипуляторе применялись актуаторы САНВ-21 series компании «SKFgroup».

Проведено экспериментальное и численное, в среде Mathcad 15, моделирование перемещения захвата манипулятора по программным движениям, полученным при решении задачи динамического синтеза программных движений манипулятора. Приведенные расчетные и экспериментальные зависимости изменения длин звеньев манипулятора от

времени при движении захвата по прямой показали, что максимальное отклонение теоретических и экспериментальных результатов не превышает 10%. Поэтому можно считать, что установлена адекватность математической и экспериментальной модели манипулятора.

Исследована динамика парциальных перемещений исследуемого манипулятора и путем косвенных экспериментальных исследований показана их адекватность.

Следует отметить, что в целом содержание главы 5 не соответствует её названию «Методы экспериментального исследования манипуляторов параллельной структуры».

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Теоретические и экспериментальные результаты И.А. Несмиянова получены при использовании общепринятых положений и методов механики машин, теории машин и механизмов, теоретической механики и математики. Допущения, которые делались автором, являются общепринятыми, а использованный математический аппарат – широко известен.

Работа достаточно хорошо апробирована на конференциях различного уровня и широко опубликована в печати.

Заимствованный материал оговорен ссылками на соответствующую литературу.

Экспериментальные данные обработаны и не вызывают сомнений.

Основные результаты, полученные в работе, можно признать достоверными.

Значимость для науки и практики полученных результатов.

Диссертационная работа И.А. Несмиянова носит как теоретический, так и прикладной характер.

К наиболее ценным результатам работы следует отнести:

- привлечение внимания специалистов к проблеме создания и исследования современных грузоподъёмных манипуляторов для проведения сельскохозяйственных работ и их экспериментального и теоретического исследования;
- создание математической модели манипуляторов параллельно-последовательной структуры на базе трипода;
- разработку метода и алгоритма синтеза структурных схем механизмов параллельно-последовательной структуры;

- оптимизацию структуры погрузочного манипулятора с пространственным исполнительным механизмом по количеству кинематических пар;
- разработку метода параметрического синтеза манипуляторов - триподов с четырьмя исполнительными поступательными механизмами и поворотным основанием;
- определение рациональных траекторий и оптимальной конечной конфигурации манипулятора для задаваемого положения рабочего органа;
- определена устойчивость движения исполнительных звеньев манипулятора – трипода на подвижном основании;
- проведен анализ динамических ошибок;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований;
- создание, на основе проведенных исследований, банка результатов экспериментальных исследований;
- разработку и экспериментальное исследование манипулятора-трипода на подвижном основании грузоподъемностью 2000 Н.

Рекомендации по использованию

Диссертационная работа И.А. Несмиянова «Структурный и параметрический синтез и оптимизация программных движений манипуляторов на основе трипода», представляет собой изыскание, относящееся к теоретическому и экспериментальному исследованию грузоподъемных триподов.

Результаты, полученные в работе, несомненно, важны как для практики, так и для теории, поэтому разработанные модели, стенды и методики проведения расчетных работ, измерений и экспериментальных исследований целесообразно довести как до предприятий, изготавливающих и эксплуатирующих грузоподъемные манипуляторы, так и до организаций, занимающихся их созданием и исследованием.

Разработанные стенды и методики, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований целесообразно передать как машиностроительным, так и производящим манипуляторы предприятиям, а также в сервисные службы, которые занимаются обслуживанием и ремонтом грузоподъемных машин.

Материалы диссертации также представляют интерес для конструкторских и технологических коллективов, занимающихся созданием и исследованием манипуляторов.

Замечания по работе.

1. Недостатком первой главы является то, что в ней: в основном рассмотрены манипуляторы, которые не предназначены для работы в сельском хозяйстве; отсутствует критический анализ рассматриваемых грузоподъемных манипуляторов; не приводятся данные о перспективности или, наоборот, нецелесообразности их применения в сельском хозяйстве. Следовательно, глава 1 формально не исполнила своего прямого назначения, так как из неё не вытекают цель работы и решаемые в ней задачи.

2. В работе нет прямых технических доказательств преимущества манипуляторов параллельной структуры перед рычажными. Таблица 1.1. «Сравнение манипуляторов различных компоновок» это только подтверждает, так как в ней приведено субъективное, качественное по формулировке автора, сравнение параметров манипуляторов.

3. Предлагаемая в работе классификация погрузочных роботоманипуляторов (рис. 1.29) не выполняет возложенных на неё функций. Это подтверждается тем, что она нигде в работе больше не используется, и более того, она не корректна, так как разные квалификационные признаки (расположение и движение звеньев) почему-то объединены между собой.

4. В работе используется не совсем корректная терминология и графика. Так, в работе графические (поступательные пары) и математические (класс пары обозначают римскими цифрами, а не арабскими) обозначения кинематических пар на структурных схемах и в формулах не соответствуют общепринятым. Используются такие понятия как:

- манипуляторы параллельной кинематики (механизмы могут иметь параллельную структуру, а не кинематику);
- прямая и обратная задачи кинематики (нет в классическом кинематическом анализе понятий прямая и обратная задачи кинематики);
- число степеней подвижности (принято употреблять число степеней свободы или подвижность);
- количество степеней свободы пространства (стр. 67) (Пространства не могут характеризоваться числом степеней свободы. Числом степеней свободы могут обладать только тела и механические системы);
- раздел 1.4.2. назван «Кинематические параметры манипуляторов на базе трипода». Кинематическими характеристиками являются ускорение, скорость и закон

движения исследуемого объекта, но в данном разделе они практически не обсуждаются и о них ничего не говорится и т.д.

5. Выводы по первой главе не вытекают из её содержания.

6. Так как структурные схемы исследуемых манипуляторов изображены некорректно, то также некорректно определены и подвижности исследуемых механизмов. Так, на стр. 83 сказано: «Число подвижных звеньев манипулятора $n=7$, число степеней подвижности для выходного звена 7 при $p_5=6$, $p_3=3$ равно $W=6n-5p_5-4p_4-3p_3=6\cdot7-5\cdot6-3\cdot3=3$ ». Но из рис. 2.1 видно, что манипулятор имеет 8 подвижных звеньев (не учтен крюк и его кинематическая пара) и 7 одноподвижных кинематических пар, тогда его реальная подвижность определится $W=6n-5p_5-4p_4-3p_3=6\cdot8-5\cdot7-3\cdot3=4$;

7. Структурный анализ и синтез исследуемых манипуляторов проводится только по классическим структурным формулам без учета современных работ А.Н. Дровникова, С.А. Кузнецова, В.И. Пожбелко, Э.Е. Пейсаха, А.И. Смелягина, Р.Д. Сухих, В.А. Терешина и др. Хотя известно, что структурная формула — это условие необходимое, но не достаточное для того, чтобы достоверно оценить структуру и правильно провести синтез машин и механизмов.

8. Непонятно, с какой целью в работе приводятся так называемые неориентированные графы механизмов и топологические схемы (рис.2.1-2.3).

9. На стр. 82 утверждается: «Структурный анализ манипулятора – трипода проведён из условий реализации требуемых движений, с кинематическими парами V, VI и III классов», но пар VI класса не бывает.

10. В работе при структурном анализе исследуемых манипуляторов используется такие понятия, как: квазиплоские механизмы; манёвренность механизмов; манипулятивность механизмов. Отметим, что эти понятия имеют смысл при исследовании кинематики механизмов, а не их структуры.

11. Представленные на рис. 2.9-2.13 зависимости (аргумент и функция) являются дискретными величинами и поэтому представлять их в виде непрерывных функций некорректно.

12. Система уравнений (2.14) не учитывает количественные и видовые составы звеньев и кинематических пар (см. структурные математические модели механизмов), а, следовательно, она неполная и поэтому найденные с её помощью решения будут избыточны.

13. Система уравнений (2.14) является Диофантовыми уравнениями, методы решения которых хорошо разработаны. Непонятно почему для их решения надо было использовать «итерационные методы», которые для таких уравнений неэффективны и трудоёмки для нахождения всех решений.

14. Для эффективного решения системы (2.14) надо было прежде всего сформулировать начальные условия синтеза, а не накладывать на них ограничения и решать задачи оптимизации.

15. Задача структурного синтеза состоит не в нахождении числа возможных схем механизмов, а в построении их структурных схем. В работе не приведены возможные структурные схемы, соответствующие решениям системы уравнений (2.14), а, следовательно, задача синтеза до конца не доведена.

16. Непонятно, зачем надо было создавать и реализовывать сложные вычислительные алгоритмы для определения числа возможных структурных схем, если эта задача довольно просто решается методами комбинаторики.

17. Практически все приведенные в работе графики построены в неудобных для восприятия координатах и приводятся без их анализа (см., например, рисунки 3.7... 3.10, 3.18, 3.19, 4.3, 4.4 и т.д.).

18. В диссертационной работе отсутствует информация об экспериментальных стендах и методиках проведения и обработки эксперимента.

19. Глава 5 «Методы экспериментального исследования манипуляторов параллельной структуры» фактически не соответствует своему названию, так из семи ее разделов непосредственно экспериментальным исследованиям посвящены частично подразделы 5.6 и 5.7.4.

20. В работе нет документов, свидетельствующих о внедрении результатов работы.

Заключение

Диссертационная работа Несмиянова И.А. «Структурный и параметрический синтез и оптимизация программных движений манипуляторов на основе трипода» представляет собой объемное исследование в области теории машин и механизмов, относящееся, главным образом, к синтезу и анализу манипуляционных механизмов. Результаты, полученные в работе, важны как для практики, так и для теории.

По актуальности и глубине исследования рецензируемая работа отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям.

Диссертационная работа соответствует специальности, по которой она защищается, и её можно считать законченной.

Работа достаточно полно освещена в печати.

Автореферат, в основном, отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа показывает, что Несмиянова И.А. владеет современными методами исследований механизмов и машин. Видно, что он способен самостоятельно ставить и решать научные задачи и проблемы.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Несмиянов Иван Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

Официальный оппонент,

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Наземного транспорта и механики»
ФГБОУ ВО «КубГТУ»

А. И. Смелягин

10.11.17

Подпись профессора Смелягина А.И. заверяю

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «КубГТУ»

С.А. Подгорный

Наименование организации, работником которой является лицо, предоставившее отзыв:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет».

Сокращенные наименования:

ФГБОУ ВО «КубГТУ»

КубГТУ

Почтовый адрес организации:

350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, корп. «А».

Телефон (факс):

8(861)2596592

E-mail:

adm@kgtu.kuban.ru

Фамилия, имя, отчество лица, предоставившего отзыв:

Смелягин Анатолий Игоревич.

Должность:

профессор кафедры «Наземного транспорта и механики».