

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО Волгоградский  
государственный аграрный университет,  
член-корреспондент РАН, профессор  
Овчинников А.С.

«28» декабря 2016 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

Диссертация «Структурный и параметрический синтез и оптимизация программных движений манипуляторов на основе трипода» выполнена на кафедре «Механика» ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет.

В период подготовки диссертации соискатель Несмиянов Иван Алексеевич работал в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» в должности доцента, а в последствии заведующего кафедрой «Механика» и проректора по учебной работе.

В 1994 году окончил Волгоградский сельскохозяйственный институт по специальности «Механизация сельскохозяйственного производства и гидромелиоративных работ». В 1997 году окончил очную аспирантуру Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии по специальности 05.20.01 – Механизация сельскохозяйственного производства. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Повышение эффективности сельскохозяйственных манипуляторов за счет улучшения динамических характеристик гидропривода» защитил в 1999 году, в диссертационном совете, созданном на базе Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии по специальности 05.20.01 – Механизация сельскохозяйственного производства.

Научный консультант – Жога Виктор Викторович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Теоретическая механика» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

По итогам обсуждения на расширенном заседании кафедры «Механика» принято следующее заключение:

#### Актуальность темы и направленность исследования

Работа посвящена решению проблем структурного и параметрического синтеза, механики и управления манипуляторов параллельно – последовательной структуры на основе трипода с поворотным основанием, синтеза и реализации заданных траекторий выходного звена манипуляторов. В предлагаемой работе разработаны новые методы структурного и параметрического синтеза пространственных манипуляционных систем параллельно – последовательной структуры, учитывающие особенности их применения в конкретных

технологических процессах агропромышленного производства и в перерабатывающей промышленности.

Учитывая недостатки манипуляторов параллельной структуры, к одним из которых относятся ограниченность рабочей зоны, относительно небольшая манипулятивность, возникает необходимость разработки манипуляторов параллельно – последовательной структуры, которые объединяли бы преимущества обеих структурных схем манипуляционных систем.

Актуальными являются также исследования и разработка методов синтеза и оптимизации параметров управляемого перемещения манипуляционных робототехнических систем параллельно – последовательной структуры. Разработка аналитических методов исследования кинематики и динамики приводов манипулятора – трипода с самотормозящейся передачей и упругими звеньями, является дальнейшим развитием методов управления перемещением выходных звеньев.

**Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.** Соискатель лично осуществлял разработку программы исследований, постановку цели и задач исследований и участие на всех этапах теоретических и натурных исследований, формулирование основных выводов и написание диссертационной работы.

**Степень достоверности результатов исследований.** Достоверность полученных результатов подтверждается применением фундаментальных положений механики, проведением параметрической идентификации по значениям динамических ошибок реальной электромеханической системы и ошибок принятой модели, а также сопоставлением результатов численного и натурального моделирования реализуемых законов программного движения выходного звена манипулятора.

**Научная новизна исследований** заключается в развитии теории синтеза манипуляторов параллельно-последовательной структуры на основе трипода и аналитическом построении оптимальных программных движений и алгоритмов управления исполнительными звеньями манипулятора-трипода, а именно: Установлены закономерности эволюции структурных схем механизмов погрузочных манипуляторов параллельно-последовательной структуры на основе трипода в зависимости от значений показателей качества и вида технологических операций; Разработаны метод и алгоритмы оптимального синтеза рациональных структурных схем механизмов манипуляторов параллельно-последовательной структуры на основе трипода, позволяющие значительно сузить границы поиска целочисленных решений. Развита метод геометрического синтеза рациональных параметров манипуляторов - триподов с четырьмя исполнительными поступательными механизмами и поворотным основанием, обеспечивающий значения показателей качества, сформулированных в техническом задании на выполнение погрузочно-разгрузочных работ; Разработан оригинальный алгоритм формирования зоны обслуживания манипуляторов параллельно-последовательной структуры на основе трипода. Решена задача определения оптимальной конечной конфигурации манипулятора параллельно – последовательной структуры, для задаваемого положения захвата, нахождением



локального минимума функции, характеризующей изменения длин исполнительных звеньев, с ограничениями типа равенств и неравенств, наложенных на значения обобщенных координат. Решена задача формирования траекторий, выведены условия существования прямолинейной траектории в пределах зоны обслуживания и условий знакопостоянства линейных скоростей исполнительных звеньев при движении выходного звена манипулятора-трипода по прямолинейной траектории; Разработаны математические модели динамики манипулятора, массы звеньев которого сосредоточены в его сочленениях, позволяющие проводить расчеты динамики управляемого движения звеньев манипулятора, на которые наложены голономные нестационарные связи. Математическая модель динамики исполнительного привода с самотормозящейся передачей учитывает податливость звеньев и необратимые потери, позволяет исследовать ее влияние на функциональные возможности манипулятора в зоне обслуживания и сформулировать условия отсутствия силового и динамического заклинивания привода; Получено решение задачи динамического синтеза программных движений исполнительных звеньев манипулятора - трипода из условия минимума ускорения захвата. Получены аналитические выражения условий устойчивости оптимальных траекторий захвата. Проведено сравнение кинематических параметров захвата, при его перемещении по синтезированной оптимальной траектории и по траектории, полученной в результате решения уравнений динамики манипулятора при изменении ускорений исполнительных звеньев по синусоидальному закону; Разработана аналитическая методика параметрической идентификации жесткостных параметров привода исполнительных звеньев манипулятора, основанная на спектральном анализе экспериментальных результатов. Спроектированная система управления позволяет определять законы изменения управляющих сигналов, которые обеспечивают реализацию синтезированных законов изменения обобщенных координат манипулятора. Разработаны программные средства для компьютера, оператора и бортовой системы, обеспечивающие позиционирование захвата манипулятора при задании различных программных законов траектории движения, минимизирующих время достижения заданной точки. Новизна технических решений подтверждается патентами РФ на изобретения и патентами РФ на полезную модель.

**Значимость работы теоретическая и практическая** заключается в разработанных методах структурного и геометрического синтеза манипуляторов параллельно-последовательной структуры, позволяющих на этапе проектирования создавать рациональные конструкции без избыточных связей и лишних подвижностей. Предложенные способы задания траекторий выходного звена манипулятора параллельно-последовательной структуры по синтезированным законам позволяют осуществлять энергоэффективное управление рабочим органом манипулятора по оптимальным траекториям и с минимальными инерционными нагрузками.

**Реализация результатов работы.** На основе полученных результатов теоретических исследований разработана конструкция манипулятора-трипода на подвижном основании, представляющая собой пространственный механизм

параллельно-последовательной структуры. Разработанный манипулятор-трипод грузоподъемностью 2000 Н входит в состав робототехнического комплекса РШ-7 на базе шагающего шасси, а также опытно эксплуатировался на самоходном колесном шасси Т-16МГ. Использование универсальных шарниров в конструкции манипулятора позволяет использовать широкий спектр сменного рабочего оборудования: крюковая подвеска, позиционируемый захват, различный инструмент. Вследствие чего разработанный манипулятор-трипод на подвижном основании, снабженный распределенной системой управления, реализующей разработанные методы синтеза управляющих движений, может использоваться в различных отраслях народного хозяйства: сельское хозяйство, строительство, коммунальное хозяйство, перерабатывающая промышленность, транспортно-складские работы и др.

**Соответствие диссертации требованиям, установленным пунктом 14 «Положения о присуждении ученых степеней».** Диссертация соответствует требованиям, установленным пунктом 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», и не содержит материалы или отдельные результаты без ссылки на автора и (или) источник заимствования.

**Научная специальность и отрасль науки, которым соответствует диссертация.** Диссертация соответствует паспорту специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин, в частности, пунктам 1, 2 области исследований.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** Основные научные результаты диссертации полностью отражены в 79 публикациях, в том числе в 18 статьях в журналах по перечню ВАК, 6 в иностранных изданиях, 8 патентах на изобретения, 1 патенте на полезную модель, 1 свидетельстве о регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы отражены в отчетах по грантам РФФИ №13-08-00387-а и №15-01-04577-а. Объем общих публикаций составляет 23,38 п.л., в том числе авторских – 7,46 п.л. Наиболее значимые из них:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Несмиянов, И.А. Улучшение динамических характеристик гидропривода погрузчика / И.А. Несмиянов, Ю.Г. Лапынин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. - №6. – с. 36-37.

2. Несмиянов, И.А. Совершенствование систем управления погрузочными манипуляторами / И.А. Несмиянов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. - №4. – С.21-22.

3. Герасун, В.М. Системы управления манипуляторами на основе пространственных исполнительных механизмов / В.М. Герасун, И.А. Несмиянов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. - №2. - С.24-28.

4. Герасун, В.М. Рычажные механизмы в телескопических стрелах погрузочных манипуляторов / В.М. Герасун, И.А. Несмиянов, П.В. Турыгин // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. - №8. – с.32-35.

5. Герасун, В.М. Синтез манипулятора для мобильного робота на гусеничном шасси / В.М. Герасун, А.Ф. Рогачёв, И.А. Несмиянов, В.Е. Павловский // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. - №5. – С.51-54.



6. Несмиянов, И.А. Система управления погрузочным манипулятором параллельной структуры / И.А. Несмиянов, Н.С. Воробьева, В.И. Токарев // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. ФГОУ. Агроинженерия. – 2012. - №3 (54). – с.42-44.

7. Герасун, В.М. Манипуляторы для мобильных роботов. Концепции и принципы проектирования / В.М. Герасун, В.И. Пындак, И.А. Несмиянов, В.В. Дяшкин-Титов, В.Е. Павловский // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша. 2012. №44. 24 с.

8. Герасун, В.М. Исследование устойчивости транспортного агрегата с манипулятором / В.М. Герасун, И.А. Несмиянов, С.Д. Фомин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2013. - №1(29) – с.204-211.

9. Герасун, В.М. Определение зоны обслуживания мобильного манипулятора-трипода / В.М. Герасун, В.В. Жога, И.А. Несмиянов, Н.С. Воробьева, В.В. Дяшкин-Титов // Машиностроение и инженерное образование. – 2013. - №3. – с.2-8.

10. Герасун, В.М. Исследование оптимальных конфигураций манипулятора-трипода с поворотным основанием / В.М. Герасун, В.В. Жога, И.А. Несмиянов, Н.С. Воробьева, В.В. Дяшкин-Титов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. - №6. – с.21-26.

11. Герасун, В.М. Оценка массовых характеристик манипулятора с пространственным механизмом / В.М. Герасун, И.А. Несмиянов, В.В. Дяшкин-Титов, В.А. Серов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2013. - №3(31). – с.175-179.

12. Несмиянов, И.А. Система управления манипулятора сельскохозяйственного робота / И.А. Несмиянов, В.В. Жога, В.Е. Павловский, Н.С. Воробьева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. - №3(35). – с.226-231.

13. Nesmiyanov, I the control system of the manipulator agricultural robot. / I.A. Nesmianov V.V. Zoga, V.E. Pavlovsky, N.S.Vorobieva // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. - №3(35). – с.232-237.

14. Жога, В.В. Динамический синтез оптимальных программных движений манипулятора-трипода. / В.В. Жога, В.М. Герасун, И.А. Несмиянов, Н.С. Воробьева, В.В. Дяшкин-Титов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2015. - №2. – с.85-92.

15. Несмиянов, И.А. Программно-аппаратный комплекс мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата. / Несмиянов И.А., Евдокимов А.П., Токарев В.И., Захаров Е.Н. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. - №4(36). – с.227-231.

16. Пындак, В.И. Расширение функциональных возможностей гидроманипуляционных систем. / В.И. Пындак, Н.С. Воробьева, И.А. Несмиянов

// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2015. - № 3 (39). - С. 158-162.

17. Жога, В.В. Задача позиционирования манипулятора параллельно-последовательной структуры с управляемым захватным устройством / В.В. Жога, В.В. Дяшкин-Титов, И.А. Несмиянов, Н.С. Воробьева. // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2016. – т. 17 - №8. – с.525-530.

18. Несмиянов, И.А. Динамика манипулятора-трипода с упругой самотормозящейся передачей. / И.А. Несмиянов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2016. - № 3 (43). - С. 245-252.

19. Захаров, Е.Н. Синтез законов управления погрузочным манипулятором-триподом из условия минимизации ускорения поворотного основания / Е.Н. Захаров, И.А. Несмиянов, С.Д. Фомин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2016. - № 4 (44). - С. 278-285.

Публикации в зарубежных изданиях, индексируемые в Scopus

20. Walking Mobile Robot with Manipulator-Tripod. V.Zoga, A.Gavrilov, V.Gerasun, I.Nesmianov, V.Pavlovsky, V.Skakunov, V.Bogatyrev, D. Golubev, V.Dyashkin-Titov, N.Vorobieva. Advances on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Proceedings of ROMANSY 2014 XX CISM-IFTOMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Springer, pp. 463-471.

21. Processing of Data from the Camera of Structured Light for Algorithms of Image Analysis in Control Systems of Mobile Robots. Vladimir Skakunov, Victor Belikov, Victor Zhoga and Ivan Nesmiyanov. Advances in Mechanical Engineering. Selected Contributions from the Conference «Modern Engineering: Science and Education», June 2014. Springer, pp. 149-158.

22. Dynamic Creation of the Optimum Program Motion of a Manipulator-Tripod. V.V. Zhoga, V.M.Gerasun, I.A. Nesmiyanov, N.S. Vorob'eva, and V.V. Dyashkin-Titov. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2015. Vol. 44, No. 2, pp 181-186.

23. Synthesis of Control Algorithm and Computer Simulation of Robotic Manipulator-Tripod. Ivan Nesmiyanov Victor Zhoga, Vladimir Skakunov, Stanislav Terekhov, Natalia Vorob'eva, Victor Dyashkin-Titov, Farea Ali Hussein Al-hadsha. Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. First Conference, CIT&DS 2015. Volgograd, Russia. Springer, pp 392-404.

24. Dynamics of tripod drive with elastic self-sustaining transmission. I. A. Nesmiyanov, V. V. Zhoga, N. S. Vorobieva, V. V. Dyashkin-Titov. Vibroengineering PROCEDIA Volume 8 contains papers presented at the 22-nd International Conference on VIBROENGINEERING. The main theme of this Conference is “Dynamics of Strongly Nonlinear Systems”. Kaunas, Lithuania, 2016. Pp.512-516.

Патенты РФ и свидетельства о регистрации программ

25. Патент №2456227 РФ, МПК В66С23/84. Механизм для поворота стрелы манипулятора/ В.М. Герасун, П.В. Турыгин, А.Ф. Рогачёв, И.А. Несмиянов. – Оpubл.20.07.2012.



26. Патент №2476372 РФ, МПК В66С23/36, В60Р3/00. Аварийно-спасательная машина. / В.В. Жога, В.Н. Скакунов, А.В. Ерёменко, П.В. Федченков, В.М. Герасун, И.А. Несмиянов, В.В. Дяшкин-Титов. – Оpubл.27.02.2013.

27. Патент №2517465 РФ, МПК F15В 19/00. Стенд для испытания гидроподъемников. / И.А. Несмиянов, В.П. Хавронин, В.Н. Хавронина, Н.С. Воробьева. – Оpubл.27.05.2013.

28. Патент №2501648 РФ, МПК В25J13/02. Устройство ручного управления манипулятором-триподом. / И.А. Несмиянов, В.М. Герасун, В.В. Дяшкин-Титов, В.В. Жога, В.Н. Скакунов. – Оpubл. 20.12.2013.

29. Патент на полезную модель № 140869 РФ, МПК В66F9/06, G01С9/12, В66 F17/00. Бортовая информационная система контроля положения погрузочного агрегата. / И.А. Несмиянов, В.И. Токарев, Е.Н. Захаров – Оpubл. 20.05.2014.

30. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ №2016615410 от 23 мая 2016 г. РФ. Кинематика манипулятора-трипода / И.А. Несмиянов, В.В. Жога, Н.С. Воробьева, В.В. Дяшкин-Титов; ВолГАУ. – 2016.

**Диссертация** «Структурный и параметрический синтез и оптимизация программных движений манипуляторов на основе трипода» Несмиянова Ивана Алексеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

**Заключение принято** на расширенном заседании кафедры «Механика» ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет. Присутствовало на заседании 21 человек, в том числе пять докторов технических и три доктора физико-математических наук. Результаты голосования: «за» - 21, «против» - нет, «воздержались» - нет. Протокол №11 от 25 мая 2016 года.

Воробьева Наталья Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Механика» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

