

Утверждаю  
проректор по НИР  
и инновационной деятельности,  
доктор физико-математических  
наук, профессор



А.И. Сухинов

« 14 » 04 2017 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ) на диссертацию Лагерева Игоря Александровича на тему «Развитие элементов теории проектирования и моделирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – **Машиноведение, системы приводов и детали машин**

### Актуальность темы исследования.

В последнее десятилетие наблюдается активный рост рынка гидравлических манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. Однако наметилась отчетливая тенденция увеличения числа закупок импортных машин (в первую очередь, бывших в употреблении) по сравнению с отечественными. Таким образом, значительная доля российского парка манипуляторов сформирована за счет импортного оборудования, поставляемого на отечественный рынок из Японии, Кореи, США, Германии и ряда других стран. Это связано с тем, что манипуляторы иностранного производства позволяют решать более широкий круг практических задач благодаря широкому разнообразию конструкций и более высоким потребительским свойствам.



Для реализации целей и задач, предусмотренных Стратегией научно-технологического развития РФ, отечественным производителям необходимо сокращать издержки на проектирование и изготовление новых конструкций, создавать серии унифицированных манипуляционных систем с одинаковым грузовым моментом, но разным количеством элементов стрелы. Для успешной реализации такого сценария требуется дальнейшее развитие теории проектирования конкурентоспособных манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, рассматриваемых как сложные динамические системы, функционирование которых связано с комплексным взаимодействием между элементами пятикомпонентной структуры «исполнительный орган – манипуляционная система – транспортно-технологическая машина (шасси) – опорное основание – окружающая среда», а также базирующихся на них инженерных методик автоматизированного проектирования, расчета и инжинирингового сопровождения на всех стадиях жизненного цикла новых образцов многоцелевых манипуляционных систем с требуемыми показателями надежности, безопасности и точности.

Поэтому тема диссертационного исследования И.А. Лагеревы является актуальной и направлена на решение важной для развития страны научно-технической задачи.

### **Оценка структуры и содержания работы**

Диссертация И.А. Лагеревы состоит из введения; 6 разделов, разбитых на подразделы; заключения; списка сокращений и условных обозначений; списка литературы и приложений. Общий объем работы с приложениями составляет 409 страниц машинописного текста в твердом переплете. Диссертация содержит 196 рисунков, 17 таблиц, 2 приложения.

Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленным задачам исследования. Выдвигаемые соискателем теоретические и практические положения, а также сформулированные выводы являются новыми.



### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации.**

Диссертация И.А. Лагерева соответствует паспорту специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин». Содержание работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности.

П.1. Теория и методы исследования процессов, влияющих на техническое состояние объектов машиностроения, способы управления этими процессами.

П.2. Теория и методы проектирования машин и механизмов, систем приводов, узлов и деталей машин.

П.4. Методы исследования и оценки технического состояния объектов машиностроения, в том числе на основе компьютерного моделирования.

П.5. Повышение точности и достоверности расчетов объектов машиностроения; разработка нормативной базы проектирования, испытания и изготовления объектов машиностроения.

### **Соответствие автореферата диссертации ее содержанию.**

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, раскрывает основные положения проведенного исследования и полученные результаты. Основные результаты и выводы по диссертации приведены в заключении автореферата. В автореферате также указаны публикации соискателя по теме диссертации.

### **Личный вклад соискателя в получение результатов исследования.**

Личный вклад автора в получение результатов состоит в выполнении всего объема теоретических и экспериментальных исследований, апробации основных научных положений, создании и регистрации объектов интеллектуальной собственности, выполнении внедрения результатов на предприятиях реального сектора экономики. Исследование опирается на большой объем фактического материала, собранного и обработанного лично автором. По результатам исследования соискателем опубликовано 57 авторских научных работ, в том числе 22 статьи в ведущих рецензируемых журналах,



рекомендованных ВАК РФ, получено 7 патентов Российской Федерации и 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

### **Степень достоверности результатов исследования.**

Степень достоверности результатов исследования подтверждается корректным использованием методов исследования (методов теории упругости, теоретической механики, геомеханики, теории вероятностей и случайных процессов, экспериментальной механики, матричной алгебры, аналитической геометрии, статистических испытаний, конечных элементов, компьютерного имитационного моделирования, оптимального проектирования); результатами проведенных натурных экспериментов с различными конструкциями манипуляционных систем; опытом эксплуатации манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов.**

Теоретическая значимость результатов заключается в следующем:

- разработаны математические модели, установлены и исследованы закономерности формирования динамической нагруженности манипуляционных систем с учетом и без учета упругой податливости звеньев, неподвижного, подвижного и деформируемого основания, типа движителя, силового гидропривода, факторов нагруженности, движения базовой машины, рельефа поверхности, просадки грунта;

- сформированы целевые функции и системы конструктивных, прочностных, деформационных и технологических ограничений для проведения многокритериальной оптимизации кинематических схем и элементов гидропривода манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин на основе предложенной комплексной целевой функции аддитивного вида;

- установлены и исследованы закономерности формирования динамической нагруженности манипуляционных систем вследствие появления



при эксплуатации мобильных транспортно-технологических машин повышенных зазоров в цилиндрических шарнирных соединениях звеньев, получены зависимости для анализа указанного процесса;

- обоснованы условия активного подавления ударных нагрузок и снижения поперечных колебаний звеньев манипуляционных систем на основе использования демпфирующих устройств с упруго-диссипативными свойствами;

- выявлены характерные режимы работы демпфирующих устройств, сформулированы рекомендации по обеспечению безударного режима, обеспечивающего минимальный уровень нагруженности звеньев манипуляционных систем;

- обоснованы условия и степень эффективности повышения трещиностойкости проушин шарнирных соединений звеньев манипуляционных систем с помощью создания биметаллических структур;

- исследован механизм повышения общей устойчивости мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных аутригерами с анкерными устройствами, при их работе на слабых грунтах и не строго горизонтальных поверхностях;

- обоснована возможность получения адекватных данных экспериментальных исследований кинематики и динамики манипуляционных систем натуральных машин на основе цифровой видеофиксации рабочего процесса.

Практическая значимость результатов заключается в следующем:

- на основе разработанных комплексной математической модели манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины и частных математических моделей подсистем созданы и апробированы методики компьютерного моделирования, анализа и оптимального проектирования, охватывающие широкий круг инженерных задач, связанных с проектированием и эксплуатацией конкурентоспособных образцов различного конструктивного исполнения;



- разработана методика натурных экспериментальных исследований динамики манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин и автоматизированной обработки их результатов, основанная на дистанционной цифровой видеофиксации динамических процессов;

- разработан, теоретически обоснован и защищен патентами РФ ряд технических решений, направленных на совершенствование конструкций манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, включая конструкции и методику проектирования демпферных устройств шарнирных соединений, конструкции трещиностойких биметаллических элементов шарнирных соединений, конструкции выносных опор с дополнительными анкерными устройствами;

- разработан и защищен путем государственной регистрации ряд вычислительных программ, реализующих разработанные методики моделирования и расчета манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, направленные на автоматизацию их проектирования, включая оптимальное проектирование.

### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, имеют важное значение для развития элементов теории проектирования и моделирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. Результаты работы могут быть использованы в деятельности организаций, проектирующих и производящих манипуляционные системы для установки на мобильные транспортно-технологические машины с целью создания конкурентоспособных конструкций; при планировании погрузочно-разгрузочных и технологических операций в организациях, эксплуатирующих оснащенные манипуляционными системами мобильные транспортно-технологические машины; в учебном процессе технических вузов.



## **Новизна полученных результатов.**

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

- сформулирована концепция манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины как интегрированной подсистемы, функционирование которой происходит в комплексном взаимодействии с другими значащими подсистемами (опорным основанием, базовой машиной, исполнительным органом, окружающей средой), характеризующимся наличием развитой совокупности обратных связей между подсистемами;

- разработана комплексная математическая модель манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины, предназначенная для исследования ее рабочих процессов, отличающаяся учетом взаимного влияния подсистем на протекающие в них динамические процессы, включающая частные математические модели: модель исполнительного органа, модель МС, модель гидропривода МС, модель базового шасси, модель двигателя и трансмиссии, модель деформируемого опорного основания и опорной поверхности, модель факторов воздействия окружающей среды;

- разработана математическая модель для исследования динамики при наличии повышенных зазоров в цилиндрических шарнирных соединениях звеньев манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины, отличающаяся возможностью моделирования работы демпферных устройств, конструктивно формирующих вязко-упругие связи между осью шарнира и соединяемыми звеньями; с ее использованием определены условия реализации безударного режима работы МС и обеспечения заданных значений коэффициентов динамичности и максимального износа шарнира;

- разработан ряд оптимизационных многокритериальных математических моделей для автоматизированного проектирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин с целью комплексного обеспечения возможно высоких значений нескольких значимых показателей их качества, включая предпроектную совместную оптимизацию конструктивной схемы и гидропривода манипуляционных систем, оптимальное проектирование



механизмов поворота манипуляционных систем на основе поворотных гидродвигателей различных типов;

- созданы научные основы ряда перспективных конструкторско-технологических мероприятий повышения показателей надежности и безопасности эксплуатации манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, позволяющих снизить (или полностью исключить) ударные нагрузки в металлоконструкции манипуляционных систем при наличии повышенных зазоров в шарнирных соединениях звеньев с помощью вязко-упругих демпферных устройств различного конструктивного исполнения; повысить трещиностойкость и живучесть элементов шарнирных соединений манипуляционных систем с помощью биметаллических структур за счет рационального выбора марки упрочняющего материала; повысить общую устойчивость мобильных машин с помощью выносных опор, оснащенных дополнительными анкерными устройствами;

- получены и теоретически обобщены результаты натурных экспериментальных исследований динамики манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, позволившие подтвердить адекватность разработанных моделей; установить виды машин, оснащенных манипуляционными системами, для которых в обязательном порядке требуется применение разработанной комплексной модели.

### **Замечания по диссертационной работе.**

1. Во введении диссертации в разделе «актуальность» указана необходимость разработки комплексной математической модели, учитывающей взаимодействие манипуляционной системы и базового шасси. Но не затронута актуальность разработки технических решений, направленных на совершенствование шарнирных соединений. Актуальность этого вопроса подробно освещена в главе 1 диссертации, что не вполне логично.

2. В главе 3 рассмотрен вариант установки трехзвенного гидравлического крана-манипулятора как на шасси гусеничного трактора, так и на колесное



шасси. При этом указано, что реально существует только гусеничный вариант машины АСТ-4-А. Каким образом автор определил все параметры динамической модели для второго, реально не существующего варианта машины?

3. На с. 221 диссертации сказано: «упругость звеньев обуславливает колебательный характер движения звена... длительность переходного процесса при начале движения звена увеличивается с 0,1...0,2 до 2,0...2,5 с». Из этого следует некорректный вывод, что динамика манипулятора зависит от метода решения задачи (с учетом или без учета упругости звеньев). Что соискатель имеет в виду?

4. Выполнение оптимизации с использованием алгоритма и целевой функции, предложенной в главе 4, требует рекуррентного решения задачи оптимизации. В связи с этим для получения результатов может понадобиться высокопроизводительный компьютер и значительное вычислительное время. Тем не менее, соискателем заявляется возможность широкого применения разработанной методики оптимизации в составе САПР предприятий, производящих манипуляционные системы. Но для этого желательно обеспечить возможность выполнения расчетов на обычных персональных компьютерах.

5. В разделе 5.1 диссертации предложены технические устройства, снижающие или полностью исключаящие влияние зазора в шарнире на нагруженность манипуляционной системы. Однако на примере манипуляционных роботов известны другие технические решения по борьбе с нелинейностями, к которым можно отнести зазоры в шарнирах. Почему они не были рассмотрены?

Тем не менее, указанные замечания не ставят под сомнение научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных И.А. Лагеревым научных результатов.



**Заключение по диссертации о соответствии ее требованиям  
Положения о порядке присуждения ученых степеней по пунктам 9 и 10.**

Диссертация Лагерева Игоря Александровича на тему «Развитие элементов теории проектирования и моделирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные подходы к проектированию и моделированию рабочих процессов манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, предложены технические решения, повышающие надежность и экономическую эффективность эксплуатации указанного оборудования, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация написана соискателем самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит выдвигаемые для публичной защиты научные результаты и положения, и свидетельствует о личном вкладе соискателя в науку, что соответствует требованиям п.10 Положения о порядке присуждения ученых степеней.


*Представленная диссертация соответствует требованиям п.п. 9, 10 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин».*

Диссертация рассмотрена на заседании корпоративной кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего



образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ),  
протокол №14 от «06» апреля 2017 г.

Заведующий корпоративной кафедрой  
«Эксплуатация транспортных систем и  
логистика» ДГТУ, д.т.н., профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ

  
А.А.Короткий

Короткий Анатолий Аркадьевич, гражданин РФ, доктор технических наук, профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ, заведующий корпоративной кафедрой «Эксплуатация  
транспортных систем и логистика», федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический  
университет» (ДГТУ), диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук  
защищена по специальности 05.26.04 – Промышленная безопасность

**Адрес:** 344000, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1

**E-mail:** korot@novoch.ru, reception@donstu.ru

**Телефон:** +7(863)273-85-25, 8-800-00-19-30