

ОТЗЫВ

**официального оппонента д.т.н. Анцева Виталия Юрьевича
на диссертационную работу Лагерёва 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 научной специальности 05.02.02 – Машиноведение,
системы приводов и детали машин**

Актуальность темы диссертации

Реализуемая в настоящее время Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации направлена на достижение лидерства отечественных фундаментальных и прикладных разработок по значимым направлениям научно-технологического развития в рамках как традиционных, так и новых рынков технологий, продуктов и услуг и построение целостной национальной инновационной системы. При этом важная роль отводится последовательной реализации принципа импортозамещения, в первую очередь, в тех отраслях экономики, в которых российские разработки традиционно успешно конкурировали с аналогичными зарубежными образцами машин и оборудования и в которых имеется значительный проектный и кадровый потенциал для дальнейшего развития.

Одной из отраслей экономики, перспективных для ускоренного научно-технологического развития России, является подъемно-транспортное машиностроение и, в частности, производство многоцелевых мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных надежным, экономичным и безопасным грузоподъемным оборудованием на основе манипуляционных систем с гидравлическим приводом. Это связано с тем, что указанные машины являются одним из наиболее эффективных и распространенных видов оборудования для механизации широкого спектра строительных, погрузочно-разгрузочных, складских, сборочно-монтажных, транспортных, специальных и других работ. Как следствие, российский рынок мобильных транспортно-технологических машин с манипуляционными системами характеризуется значительной емкостью, причем почти две трети всего парка машин в настоящее время приходится на импортные модели манипуляторов, из которых половина – бывшие в употреблении. Тем не менее, мобильные краны-манипуляторы отечественного производства пользуются достаточным спросом и продолжают выпускаться рядом российских предприятий.

Поэтому диссертационная работа И.А. Лагерёва, направленная на совершенствование методов проектирования и элементов конструкций отечественных мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных манипуляционными системами, а также повышение их конкурентоспособности, является безусловно актуальной.

Анализ содержания диссертации, ее завершенность

Диссертация И.А. Лагерева является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно. Содержание диссертации соответствует поставленной цели исследования и содержит решение всех предварительно сформулированных автором задач. Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Диссертационная работа включает введение, 6 разделов, заключение, список сокращений и условных обозначений, список использованных литературных источников отечественных и зарубежных исследователей, 2 приложения, акты об использовании результатов работы в промышленности. Содержание диссертации изложено на 409 страницах машинописного текста, содержит 196 рисунков и 17 таблиц.

Во **введении** дана общая характеристика диссертационной работы: обоснована актуальность темы диссертации; сформулирована цель, объекты исследования, задачи и методы их решения; раскрыты научная новизна и практическая значимость; приведены сведения об апробации и реализации результатов работы.

В **разделе 1** «Современные подходы к проектированию и моделированию процессов при эксплуатации манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин» выполнен критический анализ научной литературы по теме диссертационного исследования. Наряду с отечественными работами ведущих российских школ в области подъемно-транспортного машиностроения автор достаточно широко использовал также иностранные источники по теме диссертации. Значительную долю использованных источников составляют научные публикации, выполненные за последние годы. На основе проведенного обзора сформулированы актуальные научно-технические задачи, направленные на повышение технического уровня отечественных разработок манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин и решаемые далее автором в диссертационной работе.

В **разделе 2** «Комплексная математическая модель манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины» сформулирована в целом концепция манипуляционной системы мобильных транспортно-технологических машин как интегрированной подсистемы, функционирование которой происходит в комплексном взаимодействии с другими основными подсистемами – самой мобильной машиной, исполнительным органом, опорным основанием и окружающей средой. Автором показано, что между пятью указанными подсистемами существует развитая совокупность обратных связей, которая требует обязательного учета при моделировании процесса функционирования мобильных транспортно-технологических машин при различных режимах эксплуатации и выполняемых технологических работах с целью получения адекватных результатов. С указанных методологических позиций построен комплекс связанных математических моделей подсистем комплексной математической модели манипуляционной системы мобильной машины: исполни-

тельного органа (модели груза на жесткой и гибкой подвеске), манипуляционной системы (модели динамики и прочности с учетом и без учета упругой податливости звеньев, модель люфта в шарнирных соединениях звеньев, модель силового гидропривода), мобильной транспортно-технологической машины (модель двигателя и трансмиссии базовой машины, обобщенная модель базовой машины), опорного основания (модели взаимодействия шасси машины с опорным основанием для гусеничного и колесного движителя, модель деформированного опорного основания применительно к грунту, железнодорожному полотну, водной среде), окружающей среды (модели факторов воздействия нагруженности и условий работы на эксплуатацию манипуляционной системы). При построении перечисленных математических моделей автором корректно используются положения и методы теории упругости и теории колебаний, теоретической и строительной механики, геомеханики, матричной алгебры, теории вероятностей и математической статистики.

В разделе 3 «Особенности моделирования и рекомендации по анализу работы отдельных типов мобильных транспортно-технологических машин на основе комплексной математической модели» представлены результаты компьютерного моделирования и численных расчетов рабочих процессов для ряда различных мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных манипуляционными системами, с использованием как комплексной модели в целом, так и ее составных элементов – математических моделей подсистем. В частности, были исследованы кинематика, динамика и прочность манипуляционных систем машины АСТ-4-А на базе гусеничного трактора ТТ-4М, ломовоза на базе грузового автомобиля КамАЗ-740 с манипуляционной системой Атлант С90 и грейфером ГЛ-1, грузового автомобиля Mercedes Atego 1823 с манипуляционной системой FASSI F290. Представляют интерес результаты сравнительного анализа динамических процессов в металлоконструкции манипуляционных систем без учета и с учетом упругой податливости звеньев. Учет упругости звеньев позволил выявить многочастотный характер их колебаний при отработке манипуляционной системой отдельных или нескольких совмещенных штатных движений, а также установить связанные с этим отклонения в уровне динамических напряжений, усилий в гидродвигателях, размахе колебаний скорости и ускорения звеньев. Рассмотрены характерные особенности формирования динамической нагруженности манипуляционных систем и поведения исполнительного органа с транспортируемым грузом при движении мобильной машины по поверхности с учетом стохастического рельефа, включающего макро- и микронеровности. Показаны возможности разработанных совместных моделей шасси базовой машины и опорного основания при моделировании во времени динамики и прочности металлоконструкции работающей манипуляционной системы для анализа общей устойчивости мобильной машины с учетом деформационных свойств грунта и кинетики его осадки вплоть до возможного опрокидывания машины. В тексте диссертации содержится большой объем графического материала и цифровой информации, которые наглядно отражают результаты моделирования кинематики, динамики и прочности рассмотренных типов

мобильных транспортно-технологических машин, выполнен подробный их анализ и сформулированы обобщающие выводы.

В разделе 4 «Оптимизация конструкций манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин» представлены разработанные автором оптимизационные математические модели и методики многокритериальной оптимизации конструктивных схем манипуляционных систем мобильных машин и элементов их силового гидропривода. Многокритериальная оптимизация выполняется на основе предложенной автором аддитивной целевой функции, позволяющей совместно рассмотреть несколько различных показателей качества оптимизируемого объекта с учетом их приоритетности для целей проектирования, и методики последовательного расчета указанной целевой функции на основе однокритериальной оптимизации по каждому из рассматриваемых показателей качества. Оптимальное проектирование конструктивных схем манипуляционных систем позволяет установить такое сочетание характерных размеров звеньев (размеров поперечных сечений, длин, присоединительных размеров гидродвигателей) и основных параметров силового гидропривода (рабочего давления и объемного расхода рабочей жидкости), которое обеспечивает получение минимально возможных массы металлоконструкции и мощности гидропривода при удовлетворении совокупности устанавливаемых техническим заданием условий (размеров рабочей зоны, компоновки, нагруженности, условий эксплуатации и др.) и условий работоспособности манипуляционной системы (прочности, жесткости, устойчивости). При этом проверка условий работоспособности выполняется на основе моделирования работы мобильной машины в соответствии с ее комплексной математической моделью. Оптимальное проектирование основных типов шибберных и поршневых гидродвигателей, используемых в конструкциях современных гидравлических кранов-манипуляторов, обеспечивает их разработку на основе одновременного получения минимальных значений таких негативных показателей качества, как материалоемкость, объем занимаемого пространства и потери мощности на трение и внутренние утечки рабочей жидкости. Выполненные с помощью указанных оптимизационных математических моделей типовые расчеты подробно проиллюстрированы графическим материалом и цифровыми данными, и дают представление о степени влияния различных конструктивных и режимных параметров на характеристики оптимальных вариантов.

В разделе 5 «Технические решения по совершенствованию конструкций манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин и их научное обоснование» изложены технические предложения по совершенствованию конструкции манипуляционных систем мобильных машин, направленные на повышение их показателей надежности при эксплуатации за счет снижения уровня динамического напряженного состояния в металлоконструкциях звеньев, повышения трещиностойкости элементов шарнирных узлов сопряжения смежных звеньев и крепления силовых гидроцилиндров, а также повышения общей устойчивости мобильной машины при работе с использованием аутригеров. Все предложенные автором указанные технические решения

защищены патентами Российской Федерации. Теоретический и практический интерес представляют разработанные автором математическая модель цилиндрического шарнира с учетом наблюдаемого в реальных манипуляционных системах мобильных машин повышенного зазора вследствие износа или смятия конструктивных элементов шарнира и детальный анализ обусловленного таким зазором процесса формирования нестационарного динамического ударного напряженного состояния в металлоконструкциях звеньев. Это позволило предложить ряд конструкций демпферных устройств шарнирных соединений на основе использования упругих и диссипативных амортизирующих элементов, сформулировать рекомендации по их использованию с целью максимального снижения негативных последствий от наличия повышенных зазоров в шарнирах вплоть до безударного режима работы и разработать методы проектирования таких демпферных устройств в зависимости от нагруженности и условий эксплуатации манипуляционных систем. Значение этих разработок обусловлено тем, что они позволяют до 3 раз снизить уровень динамического напряженного состояния в металлоконструкциях звеньев, замедлить или исключить рост зазоров свыше заданного и снизить до 5 раз величину испытываемого транспортируемым грузом ускорения. Является оригинальным конструктивный способ повышения трещиностойкости и живучести шарнирных соединений путем создания биметаллических проушин, что по оценкам автора способно в 1,5 раза увеличить их ресурс за счет торможения развития усталостных трещин. Также практический интерес имеет предложенная автором конструкция аутригера, снабженного устройством дополнительной анкеровки, для повышения общей устойчивости мобильной машины при ее работе на негоризонтальных поверхностях и слабых грунтах. Представленные в диссертации численные расчеты с помощью метода конечных элементов позволили сформулировать рекомендации по выбору основных конструктивных параметров устройства анкеровки и выявили возможность увеличения с их помощью восстанавливающего момента максимально до 40 %.

В разделе 6 «Экспериментальные исследования рабочих процессов манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин» представлены методика экспериментальных исследований динамики манипуляционных систем натуральных мобильных транспортно-технологических машин различного функционального назначения и результаты выполненных исследований. Разработанная автором методика, основанная на видеорегистрации процесса перемещения исполнительного органа с последующим покадровым анализом видеозаписи в программном комплексе Kinovea, является мало затратной и не требующей использования специальной экспериментальной аппаратуры и средств измерений, однако позволяющей исследовать изменение во времени динамических прогибов, деформаций, скоростей и ускорений произвольных сечений звеньев манипуляционной системы с погрешностью до 7 %. Приведенные в диссертации результаты выполненных экспериментальных исследований динамических процессов в манипуляционных системах в процессе работы ряда

натурных мобильных машин подтверждают адекватность комплексной математической модели.

В приложении представлены рекомендации по использованию промышленных программных пакетов при моделировании работы манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, а также документы об использовании результатов диссертационной работы профильными предприятиями.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертационное исследование выполнено на достаточном научно-методическом уровне с привлечением современных подходов и методов теории упругости, теоретической механики, геомеханики, теории вероятностей и случайных процессов, методов статистических испытаний, матричной алгебры и аналитической геометрии, конечных элементов, компьютерного имитационного моделирования и оптимального проектирования. Адекватность результатов теоретических исследований в достаточной мере подтверждена их совпадением в рамках допустимой для инженерных расчетов погрешности с результатами натурных экспериментальных исследований динамических процессов в работающих манипуляционных системах мобильных транспортно-технологических машин.

Представленные в диссертации результаты прошли апробацию в рамках ряда международных и всероссийских научных и научно-практических конференций и семинаров, в полном объеме опубликованы в открытой печати в 57 публикациях. В их числе: 22 статьи в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК); 2 статьи в журналах, входящих в международную базу Scopus; 7 патентов Российской Федерации на полезную модель; 6 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ. Также опубликовано 5 монографий (из них 2 – единолично) и 2 учебных пособия с грифом УМО вузов России по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов.

Таким образом, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы сомнений не вызывают.

Анализ научной новизны результатов, положений, выводов и рекомендаций

К положениям диссертационной работы, обладающим научной новизной, следует отнести:

1) сформированную концепцию манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин различного конструктивного исполнения и функционального назначения как интегрированной подсистемы, функционирование которой происходит в комплексном взаимодействии с другими значащими подсистемами (опорным основанием, базовой машиной, исполнительным

органом, окружающей средой) при наличии развитой совокупности обратных связей между подсистемами;

2) комплексную математическую модель манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, а также формирующие ее частные математические модели значащих подсистем (исполнительного органа – модели груза на жесткой и гибкой подвеске; манипуляционной системы – модели динамики и прочности металлоконструкций учетом и без учета упругой податливости звеньев, модели повышенного зазора в цилиндрических шарнирах шарнирно-сочлененных стрел, модели силового гидропривода; мобильной транспортно-технологической машины – модели двигателя и трансмиссии, обобщенной модели базовой машины; опорного основания – модели взаимодействия машины с опорным основанием для гусеничного и колесного движителя, модели деформируемого опорного основания применительно к грунту, железнодорожному полотну, водной среде; окружающей среды – модели факторов воздействия внешней среды на эксплуатацию манипуляционной системы);

3) математическую модель формирования динамического напряженного состояния в металлоконструкциях шарнирно-сочлененных манипуляционных систем мобильных машин при наличии повышенных зазоров в цилиндрических шарнирах, а также выявленные физические закономерности протекания во времени указанного процесса, включая определение условий реализации безударного режима работы манипуляционных систем и контролируемой величины предельного износа шарнира;

4) математические модели работы предложенных конструкций демпферных устройств шарнирных соединений, формирующих вязкоупругие связи между осью шарнира и соединяемыми звеньями манипуляционной системы и позволяющих снизить интенсивность возникающих ударных нагрузок;

5) оптимизационные многокритериальные математические модели для автоматизированного проектирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин: модель предпроектной совместной оптимизации конструктивной схемы и силового привода гидрофицированных манипуляционных систем и модель оптимального проектирования механизмов поворота звеньев на основе поворотных гидродвигателей различных типов;

6) разработанные научные основы ряда перспективных конструкторско-технологических мероприятий повышения показателей надежности и безопасности эксплуатации мобильных транспортно-технологических машин: снижение (вплоть до полного исключения) ударных нагрузок в шарнирно-сочлененных металлоконструкциях манипуляционных систем при наличии повышенных зазоров в шарнирных соединениях звеньев; повышение трещиностойкости элементов шарнирных соединений с помощью биметаллических структур за счет рационального выбора марки наплавляемого материала; повышение общей устойчивости мобильных машин с помощью аутригеров, снабженных анкерными устройствами;

7) результаты анализа и теоретического обобщения опытных данных, полученных в ходе натурных экспериментальных исследований динамики манипуляционных систем при эксплуатации мобильных транспортно-технологических машин.

Значимость результатов для науки и практики и возможные пути их использования

Теоретическая значимость диссертации состоит в следующем:

1) выполнено дальнейшее развитие элементов теории проектирования и моделирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин в части формирования концепции манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин различного конструктивного исполнения и функционального назначения как интегрированной подсистемы, функционирование которой происходит в комплексном взаимодействии с другими значащими подсистемами (опорным основанием, базовой машиной, исполнительным органом, окружающей средой) при наличии развитой совокупности обратных связей между подсистемами, а также в части разработки реализующих указанную концепцию комплексной математической модели и совокупности взаимоувязанных частных математических моделей значащих подсистем;

2) доказана перспективность комплексного подхода на основе максимально полного учета прямых и обратных связей, характеризующих взаимодействие значащих подсистем объекта исследования для решения актуальных задач повышения надежности, экономичности и конкурентоспособности мобильных транспортно-технологических машин отечественного производства в различных отраслях российской экономики;

3) изучены 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;

4) установлены и изучены закономерности формирования динамической нагруженности шарнирно-сочлененных манипуляционных систем мобильных машин, при эксплуатации которых в шарнирных соединениях звеньев формируются повышенные зазоры;

5) установлены и изучены характерные режимы работы упруго-диссипативных демпферных устройств шарнирных соединений звеньев шарнирно-сочлененных манипуляционных систем, обоснованы условия активного подавления с их помощью повышенного уровня динамического напряженно-деформированного состояния и снижения поперечных колебаний звеньев, сформулированы рекомендации по обеспечению безударного режима с минимальным возможным уровнем нагруженности металлоконструкций;

б) обоснованы условия и выполнена оценка повышения ресурса биметаллических проушин шарнирных соединений звеньев шарнирно-сочлененных манипуляционных систем;

7) раскрыт механизм и выполнена оценка эффективности повышения общей устойчивости мобильных транспортно-технологических машин при работе на слабых грунтах и негоризонтальных поверхностях с помощью аутригеров с устройствами дополнительной анкеровки;

8) разработаны оптимизационные математические модели, включающие целевые функции и системы конструктивных, прочностных, деформационных и технологических ограничений, для проведения многокритериального оптимального проектирования конструктивных схем и гидропривода манипуляционных систем мобильных машин;

9) обоснована возможность получения адекватных экспериментальных данных на основе цифровой видеофиксации рабочего процесса при исследованиях кинематики и динамики манипуляционных систем натуральных мобильных машин.

Практическую значимость имеют следующие результаты, полученные в диссертационной работе:

1) расчетные методики компьютерного моделирования динамических процессов применительно к задачам проектирования и анализа манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин различного назначения, реализующие весь комплекс разработанных в рамках формирования концепции манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин комплексной и частных математических моделей их основных подсистем;

2) защищенные путем государственной регистрации вычислительные программы для ЭВМ, реализующие перечисленные выше методики моделирования и расчета манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин;

3) научно обоснованные и защищенные патентами Российской Федерации такие технические решения, как демпферные устройства различной конструкции изнашиваемых шарнирных соединений шарнирно-сочлененных манипуляционных систем, трещиностойкие биметаллические конструкции элементов шарнирных соединений, аутригеры повышенной нагрузочной способности с устройствами дополнительной анкеровки;

4) методика экспериментального исследования динамических процессов при работе манипуляционных систем мобильных машин в натуральных условиях их эксплуатации.

Значение результатов диссертационной работы для практики подтверждается имеющимися актами о внедрении и использовании ее результатов предприятиями и организациями реального сектора экономики: ЗАО «Дизель-Ремонт» (г. Брянск), ООО «Лестехком» (г. Йошкар-Ола), ЗАО «Почепгазстрой» (г. Почеп), ООО «СТЭК» (г. Брянск), ООО «Техноэлектромонтаж» (г. Брянск).

Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации, оценка качества оформления автореферата

Автореферат в полной мере отражает основные положения и выводы диссертационной работы и соответствует ее содержанию. Автореферат изложен в объеме, достаточном для понимания существа проведенных исследований, и оформлен в соответствии с предъявляемыми требованиями. Текст автореферата, представленного в диссертационный совет, полностью идентичен тексту автореферата диссертации, размещенному в сети «Интернет».

Оценка качества оформления диссертации

Диссертация написана технически грамотным научным языком, качество ее оформления соответствует общепринятым требованиям к оформлению научных работ согласно ГОСТ Р 7.0.11-2011. Изложенный в диссертации и автореферате материал логично структурирован.

Замечания по диссертации и автореферату

По содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1. При анализе динамики манипуляционных систем мобильных машин с учетом упругой податливости звеньев автор отмечает, что наблюдаемые в этом случае деформации звеньев носят многочастотный характер, причем частота колебаний отдельных звеньев может быть сопоставима с первой низшей собственной частотой металлоконструкции манипуляционной системы. Это может представлять опасность с точки зрения развития резонансных явлений, однако автор не проводит соответствующей проверки возможности реализации указанных явлений.

2. При анализе динамики шарнирно-сочлененных манипуляционных систем мобильных машин не учитывается податливость призматических шарнирных соединений звеньев.

3. При построении математической модели многокритериальной оптимизации гидродвигателей был использован такой показатель их качества, как потеря мощности. Наряду с потерями мощности на трение, которые в настоящее время определяются достаточно корректно, вторая составляющая указанного показателя качества – потери мощности вследствие внутренних перетечек рабочей жидкости между рабочей и холостой полостями гидродвигателя – определяются достаточно приближенно. Это обстоятельство снижает достоверность результатов оптимизации.

4. При анализе влияния величины вязкости демпферного устройства шарнирных соединений звеньев манипуляционной системы на количественные параметры процесса формирования динамического напряженного состояния в ее металлоконструкции автор ограничился рассмотрением только случая линейной характеристики коэффициента вязкости от скорости смещения шарнирного пальца в пределах повышенного зазора. Однако возможно проектирование демпферных устройств, обладающих и другими, нелинейными формами указанной характеристики. Поэтому было бы желательно также рассмотреть влия-

ние нелинейных характеристик на особенности формирования динамического напряженного состояния.

5. При использовании для проведения экспериментальных исследований динамики натуральных мобильных транспортно-технологических машин видеофиксации рабочих движений манипуляционной системы или груза важное значение для точности получаемых результатов имеет разрешающая способность видеокамеры и расстояние до исследуемого объекта. Однако вопрос о взаимосвязи между этими показателями и величиной погрешности экспериментальных данных в диссертации не был рассмотрен и не были сформулированы рекомендации по их выбору.

Указанные замечания не подвергают сомнению значимость и достоверность основных теоретических и практических результатов диссертационной работы и не снижают общую положительную оценку данной работы.

Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Лагерёва Игоря Александровича на соискание ученой степени доктора технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложены новые научно обоснованные технические и технологические решения актуальной научно-технической задачи совершенствования конструкции и методов проектирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин различного назначения с целью повышения показателей эффективности, надежности и безопасности, создания конкурентоспособных отечественных конструкций, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие отечественного подъемно-транспортного машиностроения (п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней).

Диссертация подготовлена в виде рукописи, написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, а также сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку (п. 10 Положения о порядке присуждения ученых степеней).

Основные результаты диссертации в полностью представлены в 22 научных работах автора, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК), а также в приравниваемых к публикациям, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций, 7 патентах Российской Федерации на полезную модель и 6 свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ (п. 11 Положения о порядке присуждения ученых степеней).

Автор диссертационной работы корректно ссылается на авторов и первоисточники заимствования материалов и отдельных результатов, использованных в диссертации (п. 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней).

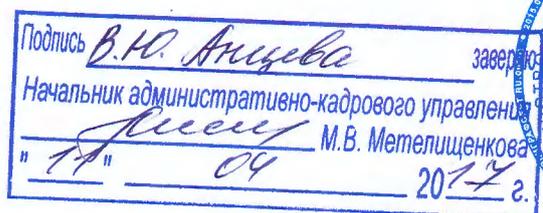
Текст диссертации, представленной в диссертационный совет к предварительному рассмотрению, полностью идентичен тексту диссертации, размещенному в сети «Интернет» (п. 20 Положения о порядке присуждения ученых степеней).

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем И.А. Лагеревым работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации (п. 51 Положения о порядке присуждения ученых степеней).

Таким образом, диссертация «Развитие элементов теории проектирования и моделирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин» на соискание ученой степени доктора технических наук в полной мере соответствует требованиям действующего Положения «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Лагерев Игорь Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные
машины и оборудование» федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Тульский государственный
университет», д.т.н., профессор

Анцев Виталий Юрьевич



Анцев Виталий Юрьевич, гражданин РФ, доктор технических наук (05.02.08 – Технология машиностроения; 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции), профессор, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины и оборудование» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет».

Адрес: 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92

Электронная почта: anzev@tsu.tula.ru

Телефон: +7 (4872)25-46-88, +7 9038402872

Факс +7 (4872) 35-81-81

URL: <http://www.tsu.tula.ru>

ОТЗЫВ

**официального оппонента д.т.н. Бауровой Натальи Ивановны
на диссертационную работу Лагерёва 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**

1. Актуальность темы диссертации

Перед машиностроительной отраслью Российской Федерации в связи со сложившейся геополитической обстановкой стоит задача импортозамещения, так как значительная доля (свыше 63 %) российского парка манипуляционных систем (далее – МС) мобильных транспортно-технологических машин (далее – МТТМ) сформирована за счет импортного оборудования, поставляемого из Японии, Кореи, США, Германии. Импортозамещение должно основываться на естественном отказе потребителей от иностранного товара. Такое развитие ситуации возможно только при выпуске российскими предприятиями современных конкурентоспособных образцов МС МТТМ, обладающих высокими потребительскими свойствами, высокой надежностью, низкой стоимостью эксплуатации.

Анализ рынка показал, что для повышения конкурентоспособности отечественных МС необходимо снижать издержки на проектирование и изготовление серий унифицированных МС с одинаковым грузовым моментом, но разным количеством звеньев стрелы, развивать и внедрять методы оптимального проектирования несущих металлоконструкций (далее – МК), позволяющих повысить эффективность МС при заданных грузовых характеристиках.

Многие МС имеют только 1-2 дополнительные выносные опоры, поэтому во время работы машина продолжает опираться колесами одной оси. Таким образом, необходима разработка математических моделей, позволяющих учесть взаимное влияние отдельных подсистем МС МТТМ, а также разрабатывать технические решения по повышению общей устойчивости МТТМ на аутригерах при работе МС.

Звенья МС соединяются между собой шарнирами, формируя шарнирно-сочлененные стрелы (далее – ШСС). Повышенный зазор в шарнирах, вызванный износом, приводит к значительному увеличению динамических нагрузок на МС и транспортируемый груз. Таким образом, требуется разработка математических

моделей для исследования динамики МС МТТМ при наличии повышенных зазоров в шарнирных соединениях для научного обоснования технических устройств, снижающих негативное воздействие повышенных зазоров на работу МС МТТМ, позволяющих повысить трещиностойкость шарнирных проушин.

Именно на решение перечисленных проблем и направлено данное диссертационное исследование И.А. Лагерева. Поэтому тема исследования является безусловно актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Тема диссертации И.А. Лагерева соответствует современной проблематике научных исследований, связанных с повышением надежности грузоподъемного оборудования. Формулируя основную проблему, автор диссертации показывает необходимость развития элементов теории проектирования и моделирования манипуляционных систем МТТМ.

Исходя из этого, целью диссертации является повышение надежности, экономичности, безопасности и конкурентоспособности МС отечественных МТТМ различного назначения при выполнении широкой номенклатуры транспортно-технологических операций на основе разработки научно обоснованных технических и технологических решений, базирующихся на создании комплексной математической модели динамической системы «исполнительный орган – МС – МТТМ – опорное основание – окружающая среда», учитывающей сложное взаимодействие и наличие совокупности обратных связей между подсистемами.

Объектом исследования являются манипуляционные системы мобильных транспортно-технологических машин. Выбор объекта исследования соответствует поставленной цели.

Обоснованность полученных автором исследования результатов обеспечена:

- критическим анализом достаточного количества отечественных и зарубежных источников по научным исследованиям в выбранной автором области;
- применением математического аппарата, адекватного поставленным задачам, а также современных научных методов математического моделирования и экспериментальных исследований;
- внедрением результатов данной работы в реальном секторе экономики (в диссертации приведено 6 документов, подтверждающих внедрение).

Спектр вопросов, затронутых в диссертации (исследование динамики и прочности манипуляционных систем, математическое и компьютерное моделирование, оптимальное проектирование несущих металлоконструкций и механизмов, разработка математических моделей для научного обоснования технических решений, разработка технических решений, экспериментальные исследования с использованием различных методов) свидетельствует о широком научном кругозоре соискателя и комплексном подходе к решаемой в диссертации проблеме.

Научные положения, выводы и рекомендации основаны на апробированных исследованиях, что позволяет считать их обоснованными и достоверными. Приведенные результаты и выводы диссертации свидетельствуют о достижении поставленной цели и решении сформулированных задач исследования.

3. Анализ новизны результатов, обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Все научные положения и выводы по результатам диссертации обеспечены глубокой проработкой литературного материала, согласованностью полученных теоретических и экспериментальных данных. Теоретические исследования проводились на основе положений и методов теории упругости, теоретической механики, геомеханики, теории вероятностей и случайных процессов, экспериментальной механики, методов матричной алгебры, аналитической геометрии, статистических испытаний, конечных элементов, компьютерного имитационного моделирования, оптимального проектирования. Работа выполнена на современном научно-методическом уровне.

Научная новизна работы заключается:

- в формировании концепции манипуляционной системы МТТМ 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;
- в создании комплексной модели МС МТТМ, состоящей из ряда разработанных с единых методологических позиций взаимоувязанных частных математических моделей подсистем: исполнительного органа (модели груза на жесткой и гибкой подвеске), манипуляционной системы (модели динамики и прочности МС с учетом и без учета упругой податливости звеньев, модель люфта в шарнирных

соединениях звеньев, модель силового гидропривода МС), мобильной транспортно-технологической машины (модели двигателя и трансмиссии МТТМ, обобщенная модель базовой машины), опорного основания (модели взаимодействия МТТМ с опорным основанием для гусеничного и колесного движителя, модель деформированного опорного основания применительно к грунту, железнодорожному полотну, водной среде), окружающей среды (модели факторов воздействия внешней среды на эксплуатацию МС МТТМ); отличающейся учетом взаимного влияния подсистем на протекающие в них динамические и прочностные процессы и формирование их количественных характеристик: транспортируемый груз оказывает влияние на МС, в свою очередь динамика груза зависит от динамики и текущей конфигурации МС; МС действует на базовую машину, в свою очередь колебания базовой машины, вызванные движением по опорной поверхности и деформируемому опорному основанию оказывают влияние на МС, а через нее на груз; деформации опорного основания зависят от колебательных процессов, протекающих в МС и базовой машине, при этом на протекающие динамические процессы влияют факторы внешней среды, определяемые с помощью имитационного моделирования;

- в создании математической модели формирования динамического напряженного состояния в металлоконструкции МС МТТМ при наличии повышенных зазоров в ее шарнирных соединениях, отличающейся возможностью моделирования работы демпферных устройств, конструктивно формирующих вязко-упругие связи между осью шарнира и соединяемыми звеньями МС, позволяющих снизить интенсивность возникающих ударных нагрузок; выполнение на основе разработанной модели анализа данного процесса, выявление его значимых физических закономерностей, включая определение условий реализации безударного режима работы МС и контролируемой величины предельного износа шарнира, заключающихся в необходимости обеспечения вязко-упругим демпферным устройствам необходимого хода, позволяющего полностью погасить энергию удара;

- в создании ряда оптимизационных многокритериальных математических моделей для автоматизированного проектирования МС МТТМ с целью комплексного обеспечения возможно высоких значений нескольких значимых показателей их качества (собственная масса, мощность насоса гидропривода), включая предпроектную совместную оптимизацию конструктивной схемы и силового привода

гидрофицированных МС, оптимальное проектирование механизмов поворота МС на основе поворотных гидродвигателей различных типов;

- в создании научных основ ряда перспективных конструкторско-технологических мероприятий повышения показателей надежности и безопасности эксплуатации МТТМ: снижение (вплоть до полного исключения) ударных нагрузок металлоконструкции МС при наличии повышенных зазоров в цилиндрических шарнирах с помощью вязко-упругих демпферных устройств различного конструктивного исполнения; повышение трещиностойкости и живучести элементов шарнирных соединений МС с помощью биметаллических структур за счет рационального выбора марки наплавленного материала; повышение общей устойчивости МТТМ с помощью выносных опор с анкерными устройствами;

- в получении, анализе и теоретическом обобщении результатов натурных экспериментальных исследований динамики МС в процессе эксплуатации МТТМ, позволивших подтвердить адекватность разработанных моделей; установить виды МТТМ, оснащенных МС, для которых в обязательном порядке требуется применение разработанной комплексной модели МС МТТМ.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций сомнений не вызывают. Результаты работы прошли апробацию на международных и всероссийских научных и научно-практических конференциях и семинарах, доведены до сведения научно-технической общественности в 57 публикациях. В том числе 22 статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК); 2 статьи в журналах, входящих в международную базу Scopus; 7 патентов РФ на полезную модель; 6 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ. Опубликовано 5 монографий (из них 2 – единолично) и 2 учебных пособия с грифом УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов.

4. Значимость результатов для науки и практики и возможные пути их использования

Теоретическая значимость диссертации состоит в следующем:

- сформирована концепция манипуляционной системы МТТМ как интегрированной подсистемы, функционирование которой происходит в комплексном взаимодействии с другими значащими подсистемами - опорным основанием, базовой машиной, исполнительным органом, окружающей средой;
- разработаны математические модели, установлены и исследованы закономерности формирования динамической нагруженности МС 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 гидропривода МС МТТМ на основе предложенной комплексной целевой функции аддитивного вида;
- установлены и исследованы закономерности формирования динамической нагруженности МС вследствие появления при эксплуатации МТТМ повышенных зазоров в цилиндрических шарнирных соединениях звеньев, получены зависимости для анализа указанного процесса;
- обоснованы условия активного подавления повышенного уровня динамического напряженно-деформированного состояния и снижения поперечных колебаний звеньев МС 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 МС;
- обоснованы условия и степень эффективности повышения трещиностойкости проушин шарнирных соединений звеньев МС с помощью создания биметаллических структур;
- исследован механизм повышения общей устойчивости МТТМ, 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 МС натуральных МТТМ на основе цифровой видеофиксации рабочего процесса.

Практическая значимость работы подтверждается актами о внедрении и документами об использовании результатов работы, приложенными к диссертации. Предложенные автором модели, методики и комплекс компьютерных программ отличаются оригинальностью и могут быть использованы в решении широкого круга научно-технических задач.

5. Анализ содержания диссертации, ее завершенность

Диссертация И.А. Лагерева является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, содержание которой соответствует поставленной цели исследования. Сформулированные в работе задачи решены, исходя из поставленной цели.

Диссертация состоит из введения, 6 разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (411 источников) и приложений. Содержание работы изложено на 409 страницах машинописного текста. Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель, задачи, методы и объекты исследования, а также научная новизна, практическая ценность и реализация результатов работы.

В первом разделе приведен обзор конструкций МС МТТМ, выпускаемых ведущими отечественными и зарубежными производителями; проанализированы условия функционирования МС; представлена оценка современных подходов к проектированию, моделированию и оптимизации механизмов и несущих металлоконструкций грузоподъемных машин; определены цели и задачи диссертации.

Во втором разделе представлена комплексная математическая модель пятикомпонентной структуры «исполнительный орган – МС – МТТМ – опорное основание – окружающая среда», с использованием данной модели исследована нагруженность ряда типовых конструкций МС.

В третьем разделе приведены результаты исследования конкретных МС МТТМ с использованием разработанной комплексной математической модели. Показаны результаты моделирования различных режимов их работы.

В четвертом разделе сформулирована и решена задача многокритериальной оптимизации МС МТТМ на примере МС МТТМ АСТ-4-А. Рассмотрена методика оптимизации гидродвигателя МС.

В *пятом разделе* представлены научно обоснованные технические решения, позволяющие повысить эффективность использования манипуляционных систем. В том числе: усовершенствованные конструкции шарнирных соединений манипуляционных систем, выносных опор мобильных транспортно-технологических машин с анкерным устройством.

В *шестом разделе* приведены результаты экспериментальных исследований МС МТТМ с использованием тензометрии и методики анализа видеозаписей рабочих процессов МС МТТМ.

В *заключении* обобщены выводы, рекомендации и научные результаты, разработанные и обоснованные в соответствующих разделах диссертации.

6. Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации, качество оформления автореферата

Автореферат и опубликованные И.А. Лагеревым печатные работы в полном объеме отражают основные положения диссертационной работы, соответствуют ее содержанию и задачам исследования, раскрывают положения ее научной новизны. Автореферат изложен в объеме, достаточном для понимания существа проведенных исследований, и оформлен в соответствии с предъявляемыми требованиями.

7. Анализ качества оформления диссертации

Диссертация написана хорошим научным языком, аккуратно оформлена, отвечает предъявляемым требованиям по качеству оформления. Представленный в диссертации материал логично структурирован, изложен технически грамотно, оформлен в полном соответствии с требованиями, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук.

Диссертация и автореферат И.А. Лагеревы соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ. – 2012.

8. Замечания по диссертации и автореферату

Диссертация не лишена определенных недостатков. В частности, имеются следующие замечания.

1. Цель работы сформулирована, как «повышение надежности ...», однако в работе нет оценки ресурса или вероятности безотказной работы. Взамен автор использует множество частных характеристик качества.

2. Следует отметить избыточность литературного обзора (стр. 20-92). Разделы 1.2 (стр. 50-58); 1.3.6 (стр. 86-89) и 1.4 (стр. 89-92) целесообразно было бы сократить или удалить.

3. На рис. 1.7 (стр. 29) в диссертации отсутствуют подписи под осями.

4. Говоря о многокритериальной оптимизации автор не приводит перечень используемых критериев и не делает оценки их значимости.

5. При выполнении ряда технологических операций возможно одновременное использование нескольких МТТМ, оснащенных МС. Например, при прокладке трубопроводов большого диаметра, транспортировке длинномерных гибких грузов без применения траверс, проведении лесозаготовительных работ с использованием нескольких лесных машин и т.д. В предложенной комплексной математической модели МС МТТМ данная ситуация не рассматривается, хотя это можно было бы сделать без существенного изменения самой модели.

6. На стр. 32 указано, что манипуляционные системы могут оснащаться широкой гаммой исполнительных органов (буры, пилы, ковши и др.). Но в основной части диссертации подробно рассмотрены только модели для исследования динамики груза на жесткой и гибкой подвесках. Каким образом моделируется и моделируется ли вообще воздействие на МС других исполнительных органов?

7. Большинство расчетов динамической нагруженности с использованием предложенных математических моделей выполнено для машины АСТ-4-А. Было бы целесообразно увеличить количество рассматриваемых конструкций для повышения степени обобщенности выводов диссертационного исследования.

Однако указанные замечания носят уточняющий характер, не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертации и не снижают общую положительную оценку работы.

9. Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней

- По п. 10 Положения о порядке присуждения ученых степеней – диссертация подготовлена в виде рукописи, написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, а также приведены сведения о практическом

использовании полученных автором диссертации научных результатов, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

- По п. 11 Положения о порядке присуждения ученых степеней – основные результаты диссертации в полной мере отражены в 22 научных работах автора, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК), и в 13 патентах на полезную модель и свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ, приравниваемых к публикациям, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций - всего в 35 публикациях.

- По п. 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней – автор работы ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов, использованных в диссертационной работе.

- По п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней – диссертация Лагерева Игоря Александровича на соискание ученой степени доктора технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложены новые научно обоснованные технические и технологические решения актуальной научно-технической задачи совершенствования конструкции и методов проектирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин различного назначения с целью повышения показателей эффективности, надежности и безопасности, создания конкурентоспособных отечественных конструкций на основе построения и теоретико-экспериментального обоснования комплексной математической модели системы «исполнительный орган – МС – МТТМ – опорное основание – окружающая среда», функционирование которой происходит в комплексном взаимодействии, характеризующимся наличием развитой совокупности обратных связей между подсистемами, создания математической модели формирования динамического напряженного состояния в металлоконструкции МС МТТМ при наличии повышенных зазоров в ее шарнирных соединениях, отличающейся возможностью моделирования работы демпферных устройств, конструктивно формирующих вязко-упругие связи между осью шарнира и соединяемыми звеньями МС, позволяющих снизить интенсивность возникающих ударных нагрузок, в создании ряда оптимизационных многокритериальных математических моделей МС МТТМ для комплексного обеспечения возможно высоких зна-

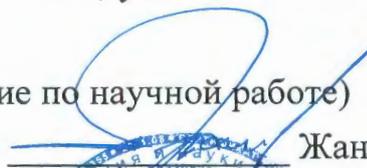
чений нескольких значимых показателей их качества (минимальной собственной массы, мощности гидропривода), внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Лагерев Игорь Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – Машиностроение, системы приводов и детали машин.

Официальный оппонент,
Баурова Наталья Ивановна,
доктор технических наук,
специальности: 05.02.08 – «Технология машиностроения»
и 05.02.11 – «Методы контроля и диагностика в машиностроении»,
доцент,
адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64,
телефон (499)155-08-51, e-mail: nbaurova@mail.ru,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)»,
декан факультета «Дорожные и технологические машины»,
профессор кафедры «Производство и ремонт автомобилей
и дорожных машин»


Баурова Наталья Ивановна
«24» марта 2017 г.

Должность, ученую степень, ученое звание и подпись Бауровой Натальи Ивановны заверяю:

проректор (направление по научной работе)


Жанказиев Султан Владимирович
«24» марта 2017 г.



Адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64,
телефон (499)155-08-51, e-mail: nbaurova@mail.ru

ОТЗЫВ

***официального оппонента д.т.н. Кобзева Романа Анатольевича
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 избранной темы

В настоящее время одной из наиболее устойчивых областей промышленного производства страны является строительная индустрия. Иностранные компании, ведущие деятельность в данной отрасли, а также смежных отраслях, в частности, в области строительного и дорожного машиностроения, проникают на российский рынок, стремясь увеличить свою долю. Стабильно растут продажи манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. При этом две трети из них произведены за рубежом. Процессы слияния и поглощения на рынке манипуляторов в РФ свидетельствуют о том, что иностранные компании заинтересованы переломить конъюнктуру в свою пользу. Следовательно, отечественным производителям для возвращения утраченных позиций требуется разработка новых высокоэффективных и конкурентоспособных конструкций. Для этого требуется дальнейшее совершенствование расчетных методик, позволяющих моделировать различные рабочие режимы манипуляционных систем. Поэтому тему диссертационного исследования следует признать актуальной.

Научная новизна работы

С единых методологических позиций разработана комплексная математическая модель манипуляционных систем мобильных машин, отличающаяся учетом взаимного влияния подсистем на протекающие в них динамические процессы, включающая частные математические модели: модель исполнительного органа, модель манипулятора, модель гидропривода, модель базовой машины (шасси), модель двигателя и трансмиссии, модель деформируемого опорного основания и опорной поверхности, модель факторов воздействия окружающей среды.

Разработана математическая модель для исследования рабочих процессов при наличии повышенных зазоров в цилиндрических шарнирных соединениях звеньев шарнирно-сочлененных стрел манипуляционных систем, отличающаяся возможностью моделирования работы демпферных устройств, конструктивно формирующих вязко-упругие связи между осью шарнира и соединяемыми зве-

нями; с ее использованием определены условия реализации безударного режима работы и обеспечения заданных значений коэффициентов динамичности и максимального износа шарнира.

Разработан ряд оптимизационных многокритериальных математических моделей для автоматизированного проектирования манипуляционных систем мобильных машин с целью комплексного обеспечения возможно высоких значений нескольких значимых показателей их качества, включая предпроектную оптимизацию конструктивной схемы и силового гидропривода.

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

Анализ обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, сомнений не вызывает. Это объясняется корректным использованием современных методов исследования рабочих процессов манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. Автор корректно использует методы и подходы теоретической механики, механики деформируемого тела, геомеханики, теории вероятностей и случайных процессов, экспериментальной механики, методов матричной алгебры, аналитической геометрии, статистических испытаний, конечных элементов, компьютерного имитационного моделирования, оптимального проектирования.

Достоверность теоретических результатов работы подтверждается представленными экспериментальными данными. Основные результаты диссертации неоднократно обсуждались на различных конференциях и симпозиумах и получили одобрение ведущих специалистов. Результаты исследования реализованы в рамках грантовых и договорных научно-исследовательских работ и внедрены на предприятиях реального сектора экономики.

Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов

Результаты диссертации направлены на повышение конкурентоспособности отечественных манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, что вносит вклад в развитие страны.

На основе разработанных комплексной математической модели 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 манипуляционных систем различного конструктивного исполнения для отечественных машин.

Разработан, теоретически обоснован и защищен патентами ряд технических решений, направленных на совершенствование конструкций манипуляционных систем, 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 МТТМ, направленные на автоматизацию их проектирования, включая оптимальное проектирование.

Разработанные модели, методики и комплекс компьютерных программ используются: ЗАО «Дизель-Ремонт» (г. Брянск) при производстве и ремонте кранов-манипуляторов самоходных энергетических машин; ООО «Лестехком» (г. Йошкар-Ола) для моделирования рабочих процессов лесных машин, оснащенных МС; ЗАО «Почепгазстрой» (г. Почеп) для оценки нагруженности и ресурса трубокладчиков и экскаваторов; ООО «СТЭК» (г. Брянск) для повышения надежности и безопасности эксплуатации автомобильных стреловых кранов; ООО «Техноэлектромонтаж» (г. Брянск) при планировании погрузочно-разгрузочных работ с применением гидравлических кранов-манипуляторов; ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» в учебном процессе.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности и поставленной цели исследования. Сформулированные в работе задачи решены в полном объеме.

Диссертация объемом 409 страниц машинописного текста состоит из введения, 6 разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первом разделе выполнен обзор вопросов моделирования и проектирования манипуляционных систем, в частности кранов-манипуляторов, манипуляционных роботов экскаваторов, инженерных и лесных машин. На основе выполненного обзора сформированы цели и задачи исследования.

Во втором разделе изложены предлагаемые подходы к исследованию рабочих процессов манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. В их основе лежит разработанная соискателем комплексная математическая модель исследуемой системы. Подробно рассмотрены подмодели, входящие в состав комплексной модели: исполнительного органа (модели груза на жесткой и гибкой подвеске), манипуляционной системы (модели динамики и прочности учетом и без учета упругой податливости звеньев, модель люфта в шарнирных соединениях звеньев, модель силового гидропривода), мобильной транспортно-технологической машины (модели двигателя и трансмиссии мобильной машины, обобщенная модель базовой машины), опорного основания (модели взаимодействия с опорным основанием для гусеничного и колесного движителя, модель деформированного опорного основания применительно к грунту, железнодорожному полотну, водной среде), окружающей среды (модели факторов воздействия внешней среды на эксплуатацию).

В третьем разделе приведены результаты исследования различных рабочих режимов манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. В том числе машины АСТ-4-А на базе гусеничного трактора ТТ-4М; ломовоза на базе грузового автомобиля КамАЗ-740 с МС Атлант С90 и грейфером ГЛ-1; грузового автомобиля Mercedes Atego 1823 с МС FASSI F290.

В четвертом разделе приведена методика и математическая модель предпроектной многокритериальной оптимизации манипуляционной системы на примере машины АСТ-4-А. Рассмотрены результаты оптимизации поворотных гидродвигателей манипуляционных систем.

В пятом разделе предложены конструкции отдельных элементов манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. В том числе вязко-упругие демпферы для снижения ударных нагрузок в шарнирах, упрочненные биметаллические проушины, аутригеры для повышения устойчивости мобильной машины.

В шестом разделе рассмотрены методики экспериментальных исследований кинематики и динамики манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин, а также результаты данных исследований.

В заключении приведены основные научные и практические результаты проведенного исследования.

Таким образом, диссертацию можно считать законченной научной работой.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует содержанию диссертации, отражает ее структуру, раскрывает положения ее научной новизны, актуальности, теоретической и практической значимости.

Недостатки в содержании и оформлении диссертации

1. В разделах 2.3.3 и 5.1 диссертации автором уделено большое внимание исследованию влияния люфта в цилиндрических шарнирных соединениях на динамику манипуляционных систем. Однако похожие динамические явления могут возникать и в призматических шарнирах. Непонятно, почему не рассмотрен данный вопрос? Возможно ли применение разработанных математических моделей для исследования динамики манипуляционных систем при наличии люфтов в призматических шарнирных соединениях?

2. На с. 134 отмечено, что применение модели зазора в шарнире не позволит решить обратную задачу динамики способом, рассмотренным в разделе 2.3.1. Насколько это обосновано с точки зрения необходимости моделирования основных рабочих режимов манипуляционных систем мобильных машин на этапе проектирования?

3. В разделе 4.2 приведены результаты оптимального проектирования поворотных гидродвигателей манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин. При этом варьируемые параметры, определяющие конструктивные размеры основных деталей гидродвигателей, являются непрерывными. Однако на практике такие размеры должны соответствовать стандартному размерному ряду, по крайней мере, являться целыми числами. В связи с этим выводы о снижении по результатам оптимизации массы гидродвигателя и потребляемой им мощности (с. 257-259) могут быть не вполне обоснованными.

4. На рисунке 5.266 в конечноэлементной модели отсутствуют конечные элементы возле левого анкерного элемента. Это может привести к искажению результатов расчета.

5. Предложенный в разделе 6.2 способ экспериментального исследования динамики манипуляционных систем требует обязательной перпендикулярности

плоскости манипулятора и оси съемки. При повороте колонны результаты эксперимента будут искажены. Не ясно, каким образом обеспечивалось выполнение этого условия при проведении натурального эксперимента?

6. В связи с большим объемом диссертации приложение А можно было бы исключить без значительного ущерба для понимания основных научных результатов и выводов, полученных соискателем в ходе исследования.

7. В работе имеется ряд опечаток (8 строка сверху на с. 191; 2 строка сверху на с. 299), которые, тем не менее, не влияют на понимание смысла предлагаемых математических моделей и приведенных результатов исследования.

Данные замечания не оказывают существенного влияния на основные результаты и выводы диссертации.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ. – 2012

Диссертация и автореферат И.А. Лагерева соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ. – 2012.

Диссертация оформлена с соблюдением установленных правил, рисунки и формулы хорошо читаемы.

Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней по пунктам 10, 11 и 14

Диссертация подготовлена в виде рукописи, написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, а также приведены сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

Соискатель корректно ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов, использованных в диссертационной работе.

Основные результаты диссертации в полной мере отражены в 35 научных публикациях, учитываемых при защите докторских диссертаций. В том числе в 22 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК, в 7 патентах на полезную модель и 6 свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Заключение о соответствии диссертации требованиям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Лагерева Игоря Александровича на соискание ученой степени доктора технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Лагерев Игорь Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Официальный оппонент,
Кобзев Роман Анатольевич
заведующий кафедрой «Атомная энергетика»
Балаковского инженерно-технологического института –
филиала федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
профессионального образования «Национальный
исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
гражданин РФ, д.т.н. по специальности
05.05.04 – «Строительные, дорожные и
подъемно-транспортные машины»
413853, Саратовская область,
г. Балаково, ул. Чапаева, 140.
e-mail: RAKobzev@mephi.ru
тел. +79372446900


_____ Р.А. Кобзев

«25» 04 2017 г.

Подпись Кобзева Р.А. заверяю.

Руководитель Балаковского инженерно-
технологического института – филиала федерального
государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ», д.э.н., к.т.н.


_____ М.Г. Шевашкевич


«25» 04 2017 г.