

На правах рукописи



**Таричко Вадим Игоревич**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ  
РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ОДНОПРОЛЕТНЫХ МОБИЛЬНЫХ  
КАНАТНЫХ ДОРОГ НА БАЗЕ САМОХОДНЫХ  
ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ  
КАНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

2.5.2. Машиноведение (технические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ).

Научный консультант: **Лагерев Игорь Александрович**,  
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Белоусов Борис Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор

**Гончаров Кирилл Александрович**,  
доктор технических наук, доцент,  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Брянский государственный университет имени  
академика И.Г. Петровского», проректор  
по инновационному развитию, информатизации  
и цифровой трансформации

**Онищенко Дмитрий Олегович**,  
доктор технических наук,  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)», директор научно-  
образовательного центра «Поршневое двигателестроение  
и спецтехника», профессор кафедры Э-2

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет (МАДИ)»

Защита состоится «13» июня 2024 г., в 13:00 на заседании диссертационного совета 40.2.002.07 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), <https://www.miiit.ru>.

Автореферат разослан «3» апреля 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Воронин Николай Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В современных условиях достаточно часто возникает необходимость оперативного проведения различных транспортно-логистических мероприятий в течение относительно небольшого временного интервала, к которым предъявляются жесткие требования по срокам начала их реализации, в сложных природно-социальных условиях – на труднодоступных или экологически уязвимых территориях (в частности, в условиях Арктики), при отсутствии необходимой транспортной инфраструктуры, неблагоприятном природном рельефе (горные, холмистые, лесные, заболоченные, речные местности), в зонах разрушений при природных или техногенных авариях, во время военных конфликтов и др. Перспективным направлением эффективного решения указанной проблемы может являться создание быстро развертываемых подвесных однопролетных мобильных канатных дорог (МКД), мобильность которых обеспечивается размещением необходимого технологического канатного оборудования на автономных самоходных специальных многоосных базовых колесных или гусеничных шасси повышенной проходимости и грузоподъемности – мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексах (МТПКК).

Хотя опыт использования транспортных канатных технологий имеет многовековую историю, в последние десятилетия наблюдается рост интереса к этому виду транспорта. Это напрямую связано с развитием в современном мире таких глобальных процессов, как повышение значимости экологических требований при оценке качества функционирования промышленных и социальных объектов или охраняемых природных экосистем, реализация концепции «Умный город», переход к технологиям Индустрии 4.0, направленным на автоматизацию работы предприятий с использованием современных информационных технологий, применительно к сфере транспорта.

Однако в настоящее время как в России, так и за рубежом отсутствуют мобильные машины и оборудование с целью практической реализации канатных технологий с надземным перемещением транспортируемых грузов или пассажиров для решения транспортно-логистических проблем на труднодоступных территориях со сложным рельефом.

В качестве конструктивно-функционального аналога МКД следует рассматривать подвесные стационарные канатные дороги (СКД), конструкции и методы проектирования которых разработаны в достаточной степени. Однако имеющийся опыт конструирования, проектирования и эксплуатации, накопленный к настоящему времени применительно к СКД, нельзя в полной мере использовать для создания МКД на базе МТПКК. Основная причина заключается в том, что существующие подходы, расчетные методы и рекомендации не могут сформировать научную базу для создания перспективных МКД и МТПКК вследствие существенных принципиальных различий в конструкции основного технологического оборудования (ОТО), условиях и режимах эксплуатации, принципах интеллектуального управления, учета влияния базового колесного или гусеничного

шасси, процессов его взаимодействия с деформируемым опорным основанием и др.

Для успешного создания современных и конкурентоспособных на мировом рынке образцов технологического оборудования для МКД на базе МТПКК, обладающих высокими техническими, экономическими и экологическими характеристиками, требуется создание научно обоснованной теории данного вида транспорта и разработанных на ее основе перспективных конкурентоспособных конструкций машин и оборудования отечественного производства. Таким образом, тема диссертационного исследования является актуальной.

**Степень разработанности темы исследования.** Научным вопросам проектирования, моделирования рабочих процессов, технического обслуживания и анализа безопасной эксплуатации подвесных грузовых и пассажирских канатных дорог, имеющих стационарное размещение, посвящены исследования отечественных ученых Е.В. Громова, А.И. Дукельского, А.Н. Земскова, Б.Ф. Иванова, А.А. Короткого, А.В. Лагерева, И.А. Лагерева, Г.В. Кустарева, В.Б. Маслова, Б.Ч. Месхи, А.В. Панфилова, Е.В. Сорокиной, К.К. Шестопалова, М.Н. Хальфина, а также ряда зарубежных исследователей А. Arena, R. Hoffman, E. Hristovska, M. Lohr, R.M. Martinod, E.S. Neumann, R. Petrova, G. Piskoty, J. Qin, M. Reichenbach, S. Tezak, H. Thaler, V. Vuchic, D. Wang, M. Wenin и др.

Вопросы создания научно обоснованных методов проектирования, моделирования рабочих процессов и эксплуатации технологического оборудования МКД, предназначенных для их оперативного монтажа и демонтажа, а также использования в течение относительно короткого времени, освещены в научно-технической литературе в значительно меньшей степени. Исследованию этих вопросов посвящены, в частности, работы А.А. Короткого, А.В. Лагерева, И.А. Лагерева, Ф.В. Свойкина, П.И. Шалупины, а также P. Beno, F. Holzleitner, D. Lates, R. Spinelli и др.

**Объектом исследования** являются мобильные канатные транспортно-перегрузочные комплексы для формирования однопролетных мобильных грузовых и пассажирских надземных канатных дорог маятникового типа.

**Целью исследования** является создание научных основ проектирования и моделирования рабочих процессов МТПКК на базе автономных самоходных колесных шасси высокой проходимости и грузоподъемности, обеспечивающих оперативное развертывание в экстремальных условиях и на неподготовленной местности однопролетных одноканатных надземных МКД маятникового типа.

**Задачи исследования.** Для достижения указанной цели должны быть решены следующие задачи:

– разработать принципы формирования однопролетных одноканатных МКД маятникового типа на основе сопряженных единой несущетяговой канатной системой (НТКС) автономных МТПКК на самоходных колесных шасси повышенной проходимости и грузоподъемности;

– разработать перспективные варианты конструктивного исполнения автономных МТПКК на самоходных колесных шасси повышенной проходимости и

грузоподъемности отечественного производства, а также разработать их классификацию с учетом определяющих конструктивных признаков;

– разработать комплексную математическую модель однопролетной МКД маятникового типа в виде шестикомпонентной системы «НТКС – ОТО МТПКК – базовое шасси – система управления – опорное основание – окружающая среда», в состав которой необходимо включить подмодели основных систем и уравнения связи, позволяющие учесть различные варианты конструктивного исполнения и функционального назначения однопролетной МКД на базе МТПКК. Комплексная математическая модель должна обеспечивать рациональную компоновку, проведение кинематического и силового анализа ОТО МТПКК, оценку параметров нагруженности и надежности ОТО МТПКК и НТКС, на основе которых можно оценить кинематику, динамику, прочность, надежность и другие эксплуатационные свойства МКД с целью создания конкурентоспособных конструкций, в том числе, путем оптимального проектирования;

– выявить и научно обосновать функциональные возможности однопролетных одноканатных МКД маятникового типа на базе МТПКК, выполнить анализ грузо-пространственных характеристик МКД и установить их взаимосвязь с ключевыми количественными параметрами конструкции, условий и режимов эксплуатации;

– на основе комплексной математической модели разработать методы анализа рабочих процессов, протекающих в несущих металлоконструкциях ОТО МТПКК, гидроприводах механизмов движения МТПКК и в элементах НТКС, а также алгоритмы автоматизированного проектирования, которые могут быть реализованы в составе программных пакетов инженерного анализа для расчета разработанных перспективных вариантов конструктивного исполнения МТПКК путем цифровизации проектных процедур;

– установить особенности применения комплексной математической модели и методов расчета для исследования рабочих процессов, протекающих на стадиях развертывания и штатной работы МКД в несущих металлоконструкциях ОТО, гидроприводах механизмов движения и в элементах НТКС применительно к разработанным вариантам конструктивного исполнения МТПКК;

– разработать вероятностные математические модели и методики анализа и нормирования надежности ОТО отдельных МТПКК, НТКС и МКД в целом, включая прогнозирование кинетики количественных показателей надежности и формирование оптимальных стратегий планово-предупредительных ремонтов и технических обслуживаний МТПКК с целью минимизации технико-экономических затрат при эксплуатации МКД;

– разработать и научно обосновать технические решения по оптимальному или рациональному выбору базовых характеристик и параметров конструкции ОТО МТПКК, повышению его надежности (безотказности и долговечности) и общей устойчивости против опрокидывания в условиях действия эксплуатационных нагрузок.

**Научная новизна** работы заключается в дальнейшем развитии элементов теории моделирования и практики проектирования подвесных канатных дорог и создании основ специализированной теории моделирования, практики проектирования и анализа рабочих процессов однопролетных МКД маятникового типа на базе МТПКК на специальных самоходных колесных шасси повышенной проходимости и грузоподъемности, базирующейся на комплексной математической модели однопролетной МКД в виде шестикомпонентной системы «НТКС – ОТО МТПКК – базовое шасси – система управления – опорное основание – окружающая среда» и позволяющей системно и эффективно решать важную научно-техническую проблему создания конкурентоспособных многоцелевых мобильных канатных систем нового поколения. Научная новизна получена за счет того, что:

- сформулированы общие принципы формирования МТПКК как интегрированной подсистемы в составе однопролетной МКД, функционирование которой происходит в комплексном взаимодействии с другими значащими подсистемами (НТКС, базовым шасси, опорным основанием, окружающей средой), характеризующимся развитой совокупностью обратных связей между подсистемами;

- разработаны математические модели, устанавливающие взаимосвязь ключевых параметров конструкции, условий и режимов эксплуатации МТПКК с грузо-пространственными характеристиками однопролетных МКД маятникового типа, что позволило выявить и научно обосновать их функциональные возможности;

- разработана с единых методологических позиций комплексная математическая модель однопролетной МКД маятникового типа, в основе которой лежит учет взаимовлияния ее структурно-функциональных подсистем на протекающие в них рабочие процессы и ряд частных математических моделей, включая модели НТКС, модели ОТО МТПКК, модели гидроприводов механизмов МТПКК, модели несущей конструкции, двигателя и трансмиссии базового шасси, модели факторов воздействия окружающей среды;

- разработан комплекс математических моделей, который можно рассматривать в качестве научно обоснованных основ конструирования, проектирования, моделирования рабочих процессов и обеспечения безопасности и экономичности эксплуатации МТПКК в составе однопролетных грузовых и пассажирских МКД маятникового типа, в том числе, пространственную и тяговую модели НТКС, компоновочные, кинематические и силовые модели ОТО разработанных вариантов конструктивного исполнения МТПКК, гидродинамические и структурную модели гидроприводов с частотно-дрессельным регулированием механизмов движения ОТО, динамические и прочностные модели колесных базовых шасси МТПКК, модели вероятностного прогнозирования кинетики количественных показателей надежности и безопасности эксплуатации МКД, формирования оптимальных стратегий планово-предупредительных ремонтов и технических обслуживаний МКД;

– разработан ряд оптимизационных математических моделей для автоматизированного проектирования ОТО МТПКК с целью комплексного обеспечения возможно высоких значений значимых показателей его качества, включая массо-габаритные характеристики размещения элементов ОТО на несущей раме базового шасси, массогабаритные и энергетические характеристики гидроприводов механизмов движения МТПКК;

– созданы научные основы конструкторско-технологических и эксплуатационных мероприятий повышения показателей надежности, безопасности и экономичности эксплуатации однопролетных МКД маятникового типа на базе МТПКК, позволяющих минимизировать технико-экономические затраты на эксплуатацию МКД в течение всего срока службы.

**Теоретическая значимость работы** заключается в том, что:

– сформулированы и обоснованы общие методологические принципы формирования многоцелевых однопролетных МКД маятникового типа на базе МТПКК на специальных самоходных колесных шасси повышенной проходимости и грузоподъемности;

– построена комплексная математическая модель в виде шестикомпонентной системы «НТКС – ОТО МТПКК – базовое шасси – система управления – опорное основание – окружающая среда»;

– сформулированы и обоснованы потенциальные грузо-пространственные и тактико-технические возможности однопролетных МКД маятникового типа, которые могут быть достигнуты созданием МТПКК на специальных самоходных колесных шасси повышенной проходимости и грузоподъемности;

– установлены и исследованы закономерности формирования оптимальной компоновки ОТО на несущей раме многоосного базового шасси с учетом нормативных габаритных ограничений на транспортные средства, получены зависимости для анализа указанных закономерностей и проектные рекомендации;

– разработаны математические модели для кинематического и силового анализа механизмов движения ОТО, установлены и исследованы закономерности изменения количественных характеристик кинематики, динамики и нагруженности их конструктивных элементов в процессе развертывания и эксплуатации МКД;

– разработаны математические модели, установлены и исследованы закономерности формирования нагруженности базового шасси и ОТО МТПКК на всех стадиях развертывания и эксплуатации МКД;

– разработаны математические модели, установлены и исследованы закономерности формирования и изменения во времени гидродинамических процессов в гидроприводах механизмов движения ОТО МТПКК при эксплуатации МКД;

– исследован механизм повышения общей устойчивости МТПКК, оснащенных аутригерами с анкерными устройствами, при их работе на слабых грунтах и не строго горизонтальных поверхностях в условиях значительных, близких к горизонтальным нагрузок от НТКС.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что:

- разработана общая структурно-функциональная схема однопролетных одноканатных МКД маятникового типа на базе МТПКК;
- разработан и защищен патентами Российской Федерации ряд перспективных вариантов конструктивного исполнения МТПКК на специальных самоходных колесных шасси повышенной проходимости и грузоподъемности, не имеющих мировых аналогов;
- разработана классификация МТПКК с учетом определяющих конструктивных признаков, позволяющая создавать различные варианты конструктивного исполнения МТПКК с учетом конкретных требований технического задания;
- разработаны рекомендации для оценки условий возможного использования однопролетных МКД маятникового типа в зависимости от требуемой грузоподъемности, дальности и высотного перемещения транспортируемых грузов;
- созданы и апробированы на основе разработанных комплексной математической модели однопролетной МКД маятникового типа и частных математических моделей подсистем методики компьютерного моделирования, анализа, оптимального проектирования и технического обслуживания, охватывающие широкий круг инженерных задач, связанных с проектированием и эксплуатацией конкурентоспособных образцов МТПКК различного конструктивного исполнения, не имеющих мировых аналогов;
- разработаны методики проектирования, моделирования рабочих процессов и формирования стратегий планово-предупредительных ремонтов МТПКК, а также реализующие их и защищенные путем государственной регистрации в Роспатенте Российской Федерации вычислительные компьютерные программы, обеспечивающие автоматизацию и цифровизацию проектирования, включая оптимизацию проектных решений;
- разработана методика имитационного моделирования режимов автономного движения колесного базового шасси МТПКК;
- разработана методика натурных экспериментальных исследований динамики трансмиссии базового шасси.

**Методология и методы исследования.** Теоретические исследования проводились на основе положений и методов теории упругости, теоретической механики, геомеханики, гидравлики, теории вероятностей и случайных процессов, методов матричной алгебры, аналитической геометрии, численного анализа, конечных элементов, компьютерного математического и имитационного моделирования, оптимального проектирования.

**Положения, выносимые на защиту:**

- общие методологические принципы формирования многоцелевых однопролетных МКД маятникового типа на базе МТПКК на специальных многоосных самоходных колесных шасси повышенной проходимости и грузоподъемности в рамках комплексной математической модели однопролетной МКД в виде шестикомпонентной системы «НТКС – ОТО МТПКК – базовое шасси – система управления – опорное основание – окружающая среда»;



– общая структурно-функциональная схема и варианты конструктивного исполнения МТПКК на специальных самоходных колесных шасси повышенной проходимости и грузоподъемности;

– математические модели и рекомендации, определяющие функциональные возможности одноканатных МКД маятникового типа на базе МТПКК на многоосных самоходных колесных шасси;

– математические модели подсистем комплексной математической модели однопролетной МКД маятникового типа, описывающие кинематическое и динамическое взаимодействие НТКС, ОТО МТПКК, базового шасси, опорного основания и окружающей среды с учетом совокупности обратных связей между ними;

– математические модели и расчетные методы тягового расчета НТКС, а также компоновки, кинематического и силового анализа ОТО разработанных вариантов конструктивного исполнения МТПКК;

– математические модели и методы проектирования и моделирования гидродинамических процессов в гидросистемах с частотно-дрессельным регулированием МТПКК;

– математические модели и методы моделирования динамики и прочности самоходных колесных базовых шасси МТПКК на этапах их автономного движения и эксплуатации;

– математические модели и методы прогнозирования надежности и безопасности эксплуатации МКД, формирования оптимальных стратегий планово-предупредительных ремонтов и технических обслуживаний МКД на основе вероятностного прогнозирования кинетики количественных показателей надежности в течение всего срока эксплуатации;

– научно обоснованные технические решения и рекомендации по конструированию, проектированию и оптимизации разработанных вариантов конструктивного исполнения МТПКК.

**Степень достоверности** научных положений и выводов подтверждается корректным использованием методов научного исследования, результатами проведенных натурных экспериментов, использованием результатов работы в практике проектирования профильных научных и производственных хозяйствующих субъектов.

**Апробация результатов работы.** Результаты исследований были представлены на X Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика» (г. Смоленск, 2013 г.); Международной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (г. Могилёв, Республика Беларусь, Белорусско-Российский университет, 2019 г.); Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (г. Могилёв, Республика Беларусь, Белорусско-Российский университет, 2020 г.); Международных научно-технических конференциях

«Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях» (г. Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019, 2020 и 2022 г.г.); 24-й Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы» (г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020 г.); XV Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых» (г. Йошкар-Ола, ПГТУ, 2020 г.); Международной научно-технической конференции «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства» (г. Тюмень, ТИУ, 2020 г.); VI Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг: ICIE-2020» (г. Челябинск, 2020); VII и VIII Международных научно-практических конференциях «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020, IPDME-2021» (г. Санкт-Петербург, СПбГГУ, 2020 и 2021 г.г.); Международной научно-практической конференции «International Transport Scientific Innovation: ITSI-2021» (г. Москва, МИИТ, 2021 г.); XXVI Международной научно-технической конференции "ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2022" (г. Ярославль, ЯГТУ, 2022 г.); 1 International Marmara scientific research and innovation Congress (Istanbul, Turkey, 2021); 9 International Zeugma conference on scientific research (Gaziantep, Türkiye, 2023); Национальной научно-практической конференции с международным участием «Университет на пути к новому качеству науки и образования» (г. Брянск, БГУ, 2020 г.); XII и XIII Всероссийских конференциях молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019 и 2020 г.г.); Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта» (г. Екатеринбург, УрФУ, 2019 г.); Всероссийских научно-практических конференциях «Инновационное развитие подъемно-транспортной техники» (г. Брянск, БГТУ, 2019 и 2020 г.г.). Всего было принято участие в 21 научной конференции различного уровня.

**Реализация результатов работы.** Разработанные перспективные конструкции МТПКК, математические модели рабочих процессов, расчетные методики и комплекс компьютерных программ были использованы АО Северо-Западный региональный центр Концерна воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» - Обуховский завод» (г. Санкт-Петербург) при разработке проекта тактико-технического задания на опытно-конструкторскую работу «Разработка мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов»; АО «Брянский автомобильный завод» (г. Брянск) при разработке и изготовлении подъемно-мачтовых устройств машин ОАМ-32, трансмиссии стартового пожарно-спасательного автомобиля БАЗ-8080 и полуприцепа-шасси БАЗ-9828; ФГБУ «ЦНИИ инженерных войск» при оценке модернизационного потенциала переносных горных дорог ГЛКД-100 и ГЛКД-1000; АО «Специальное конструкторское бюро машиностроения» (г. Курган) по созданию гидромеханической коробки передач 667-000-сб1; АО «Конструкторское бюро специального машиностроения»

(г. Санкт-Петербург) при создании электрогидравлической системы управления мобильной антенной опоры; ПАО «Тутаевский моторный завод» (г. Тутаев) по созданию дизельного двигателя 854.10-01 мощностью 600 л.с.; АО «Научно-конструкторское бюро вычислительных систем» (г. Таганрог) при создании встраиваемых комплексов бортового оборудования и информационно-управляющих систем мобильных транспортно-технологических машин нового поколения; Инжиниринговым научно-образовательным центром цифровых технологий Индустрии 4.0 при ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» (г. Брянск) при разработке цифровых двойников транспортных систем и в учебном процессе.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 8 разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений. Объем работы с приложениями составляет 435 с. Диссертация содержит 210 рисунков, 28 таблиц, 3 приложения, 296 источников.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** определен объект исследования, обоснована актуальность работы, проанализирована степень разработанности темы исследования, сформулированы цели и задачи исследования, изложены научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость, дана краткая характеристика работы.

**В первом разделе** проанализированы современные подходы к проектированию и моделированию рабочих процессов при эксплуатации основного технологического оборудования подвесных канатных дорог, подробно рассмотрено место канатного транспорта в системе современных транспортно-логистических технологий.

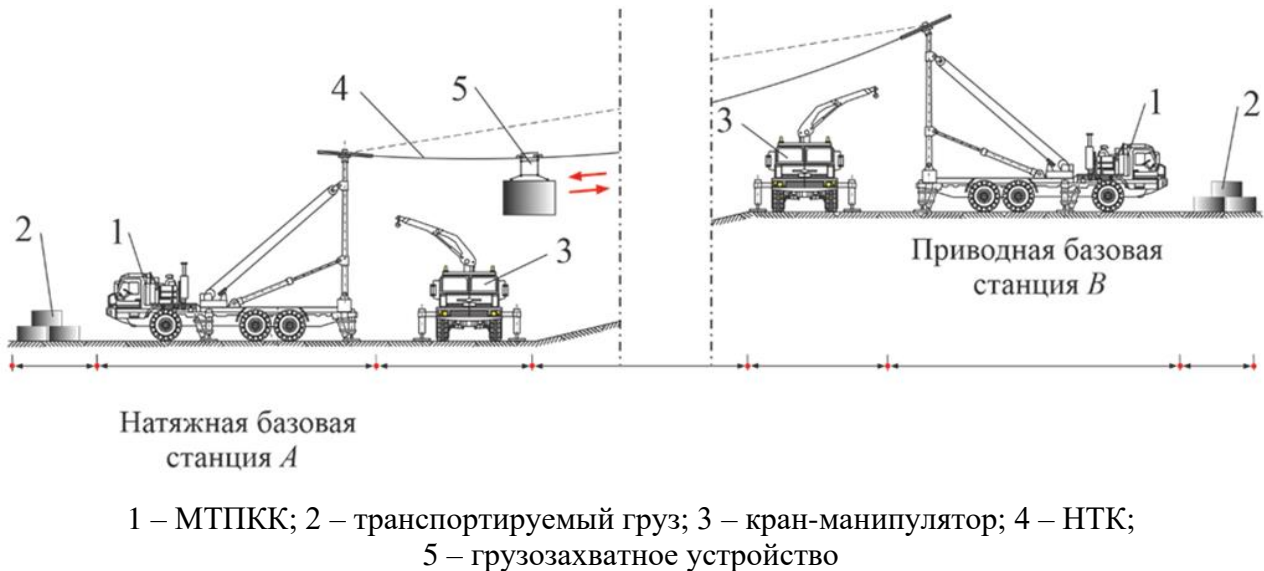
Рассмотрены основные достоинства транспортного оборудования на основе канатных технологий: перемещение грузов и пассажиров над землей без пересечения с трассами других видов городского или промышленного транспорта; возможность прокладки дорожных трасс между конечными точками напрямую, что позволяет минимизировать длину канатной дороги, затраты на ее строительство и эксплуатацию, время транспортировки; использование электрической тяги, не оказывающей негативного влияния на окружающую среду, низкий уровень шума и вибраций, отсутствие вредных выбросов, независимость от нефтепродуктов и др.

Выполнен критический анализ существующих современных отечественных и зарубежных конструкций подвесных канатных дорог, что позволило выявить их проблемные положения, недостатки и ограничения применения.

Проведенный анализ и выполненный литературный обзор научных работ позволил сформулировать указанные цели и задачи диссертации.

**Во втором разделе** определены общие принципы формирования однопролетных мобильных канатных дорог маятникового типа на базе мобильных транспортно-перегрузочных комплексов.

Проанализированы возможные схемные решения, обеспечивающие получение работоспособной конструкции однопролетной МКД, что позволило выявить шесть альтернативных вариантов, наилучшим из которых является однопролетная одноканатная МКД маятникового типа с единой НТКС в виде замкнутого кольцевого несуще-тягового каната (НТК) с двумя параллельно расположенными ветвями (рисунок 1).



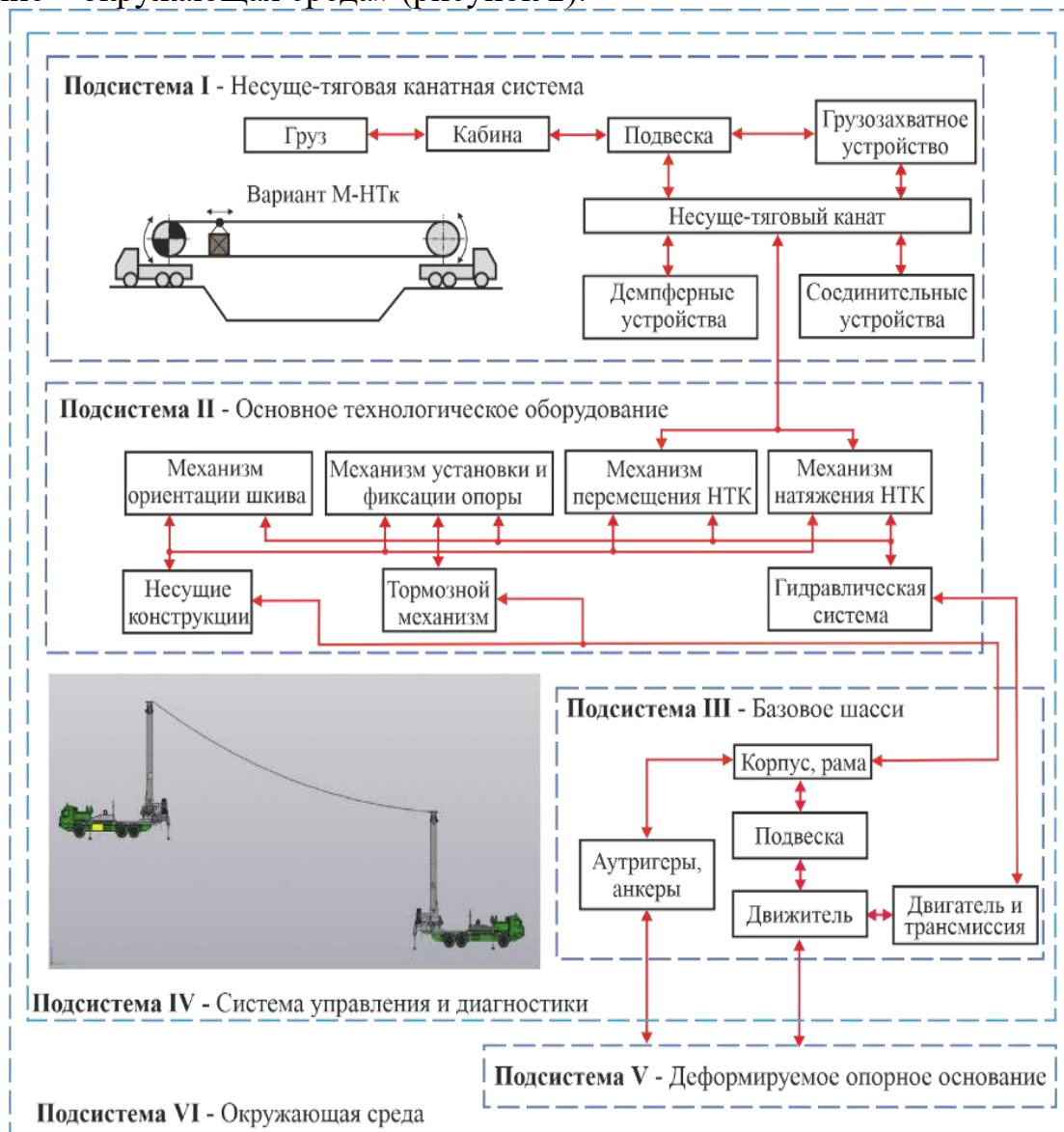
**Рисунок 1 – Типовое конструктивное исполнение однопролетной МКД маятникового типа на базе МТПКК**

Анализ рабочих процессов этой системы позволил выявить минимально необходимый комплект механизмов, устройств и систем, присутствующих в составе ОТО, для обеспечения эффективной работы автономных МТПКК и МКД в целом, включающий: концевую опору, механизм установки и фиксации концевой опоры в рабочем положении, механизм пространственной ориентации канатного шкива, механизм перемещения, механизм натяжения НТК, тормозной механизм против самопрокидывания концевой опоры, дополнительные устройства, механизмы и системы, систему управления и диагностики, насосную систему. Комплект устанавливается на базовом шасси МТПКК, которое должно иметь механизм отбора мощности для обеспечения работы ОТО, устройства для обеспечения общей устойчивости МТПКК против опрокидывания и устройства для анкерования базового шасси на опорном основании.

Было выяснено, что теоретической основой для системного и эффективного решения важной научно-технической проблемы создания конкурентоспособных многоцелевых мобильных канатных систем нового поколения, а также для научного обоснования методологических подходов и методов проектирования и моделирования рабочих процессов на всех стадия жизненного цикла однопролетных МКД маятникового типа на базе автономных МТПКК повышенной проходимости и грузоподъемности является их комплексная математическая модель.

Комплексная математическая модель МКД как одной из разновидностей канатных транспортных систем – это совокупность взаимосвязанных математических моделей ее основных подсистем, формирующаяся по модульному принципу и позволяющая учесть различные варианты конструктивного исполнения и функционального назначения транспортной системы, обеспечивающая оценку параметров нагруженности при выполнении различных транспортно-технологических операций, на основе которых можно оценить силовые, прочностные, кинематические, динамические, энергетические и другие ключевые эксплуатационные свойства МКД, ее надежность и экономичность.

При построении комплексной математической модели МКД на основе МТПКК, характеризующейся достаточно высокой степенью сложности, целесообразно использовать подходы и принципы системного анализа, с точки зрения которого МКД на базе МТПКК может быть представлена как шестикомпонентная система «НТКС – ОТО – базовое шасси – система управления – опорное основание – окружающая среда» (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Представление МКД на базе МТПКК как шестикомпонентной системы**

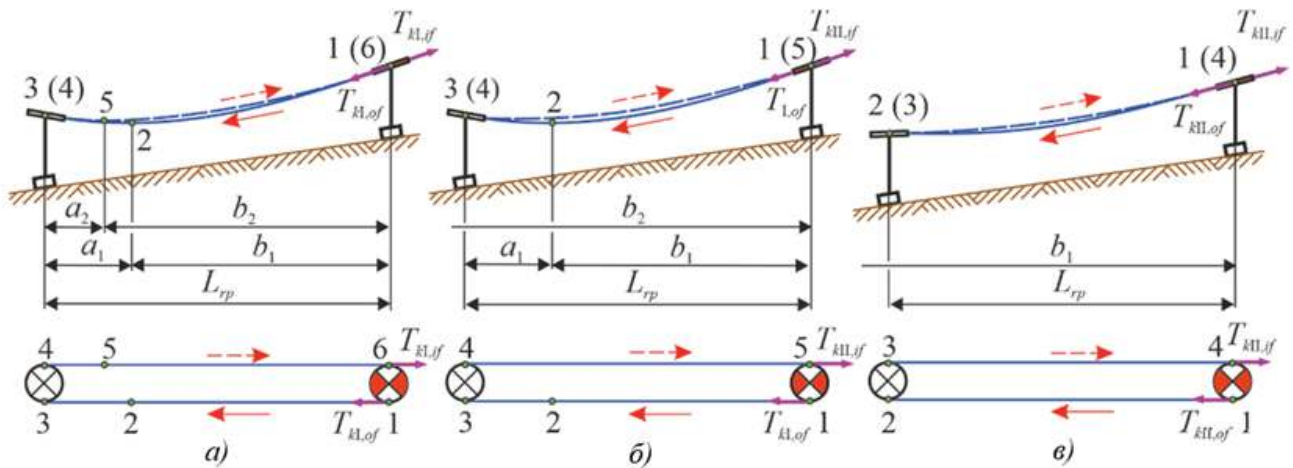
Стрелками показаны взаимные связи ключевых структурных элементов подсистем как внутри самих этих подсистем, так и между подсистемами. Структурные элементы связаны между собой совместными параметрами, что позволяет учитывать при моделировании наличие обратных связей как между ними, так и между подсистемами.

Использование комплексной математической модели, в состав которой включены локальные математические модели ключевых механизмов, устройств и систем ОТО, дающие возможность учесть различные варианты конструктивного исполнения и функционального назначения МКД, позволяет обеспечить рациональную компоновку, проведение кинематического, силового, динамического и гидродинамического анализа ОТО, оценку параметров нагруженности и надежности МТПКК, НТКС и МКД в целом с целью создания конкурентоспособных конструкций, в том числе путем оптимального проектирования.

**В третьем разделе** рассмотрены функциональные возможности однопролетных МКД маятникового типа на базе МТПКК, в основе анализа которых лежит тяговый расчет с определением диаграммы натяжения НТК по длине НТКС. Единый НТК в пределах параллельных ветвей НТКС может иметь две характерные формы провисания под действием эксплуатационных нагрузок, причем эти формы могут различаться для разных ветвей НТКС.

Проанализированы ключевые технические характеристики МКД, определяющие необходимое натяжение НТК: величина пролета, угол наклона линии каната, вес и вертикальный габарит транспортируемого груза, минимальный вертикальный габарит приближения транспортируемого груза к поверхности, длина концевой опоры и параметры ветровой нагрузки. Увеличение угла наклона линии каната и длины концевой опоры уменьшают натяжение НТК. Увеличение пролета, веса и вертикального габарита груза и минимального вертикального габарита приближения повышают натяжение НТК. Ветровое воздействие не оказывает существенного влияния на требуемое натяжение НТКС. Диаграмма натяжения НТК при перемещении одинаковых грузов имеет количественные различия в зависимости от направления перемещения груза: при перемещении груза к натяжной базовой станции (БС) нагрузка на НТКС является наибольшей, а скорость перемещения груза и пропускная способность МКД – наименьшими.

Определены наилучшие условия работы МКД, соответствующие горизонтальному положению линии НТК и в диапазоне малых углов наклона линии каната (до  $3...7^\circ$ ), при которых реализуется форма I провисания НТК (рисунок 3). Для углов наклона свыше  $7...10^\circ$  реализуется исключительно форма II провисания НТК, что не требует его значительного натяжения. Тяговые и кинематические характеристики МКД, силовое воздействие НТКС на концевые опоры снижаются с ростом угла наклона НТК. У приводной БС концевая опора всегда испытывает сжимающую осевую нагрузку от действия эксплуатационных нагрузок, а у натяжной БС – растягивающую осевую нагрузку, снижающую нагруженность несущей рамы МТПКК. В условиях значительных перепадов высот (углы наклона линии НТК более  $30...35^\circ$ ) использование БС с концевыми опорами повышенной длины является малоэффективным для снижения усилий натяжения в НТКС.



*a* – I форма провисания обеих ветвей НТК; *б* – I и II формы провисания ветвей НТК; *в* – II форма провисания обеих ветвей НТК

**Рисунок 3 – Расчетные схемы замкнутой трассы МКД маятникового типа**

Для случая провисания НТК по II форме, который характерен для большинства условий эксплуатации МКД с углом наклона трассы более  $7...10^\circ$ , усилия в сбегавшей и набегающей ветвях НТК определяются соотношениями (1):

$$T_{kII,of} = \frac{k_{pr} W_{II,1-2} + W_{II,3-4}}{\exp(\mu_f \alpha_p) - k_{pr}}; \quad T_{kII,if} = \frac{\exp(\mu_f \alpha_p)}{\exp(\mu_f \alpha_p) - k_{pr}} (k_{pr} W_{II,1-2} + W_{II,3-4}), \quad (1)$$

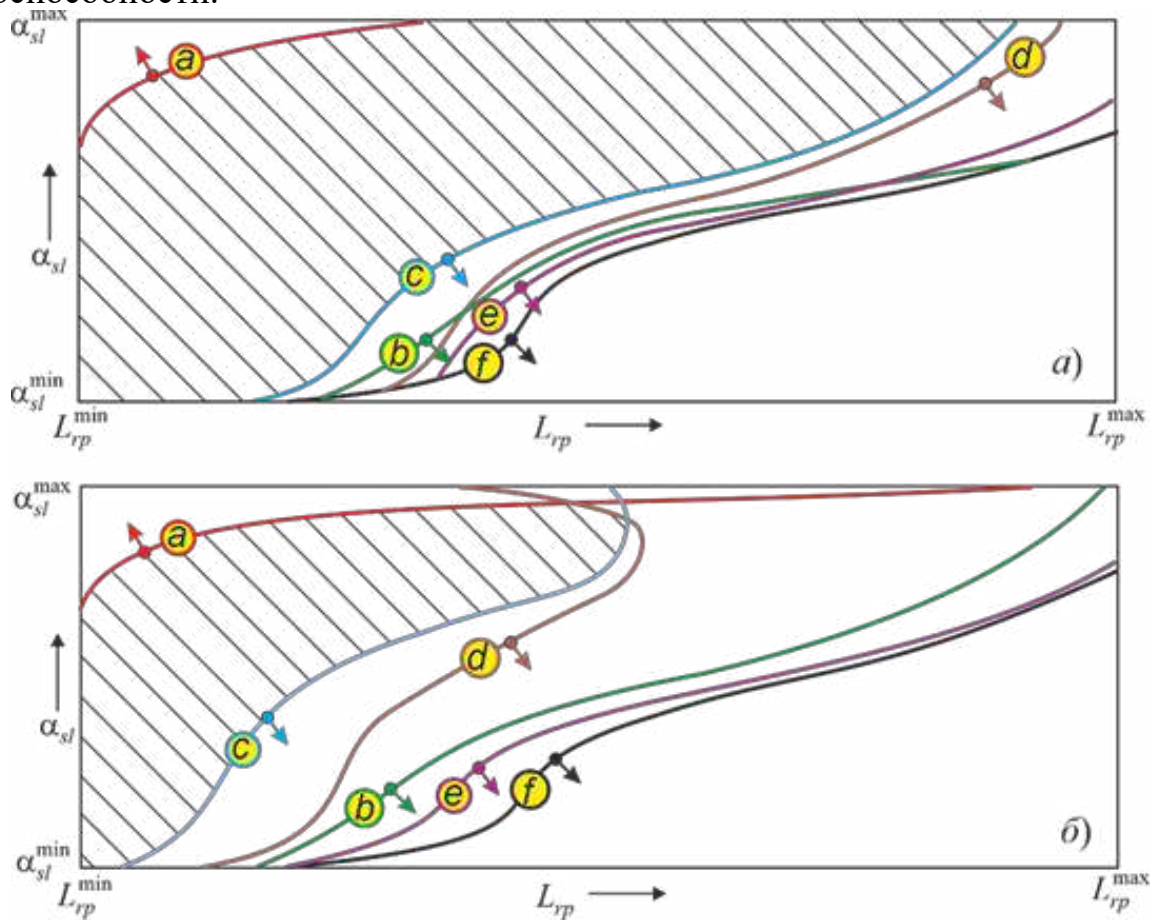
где  $W_{II,i-j}$  – сила сопротивления движению НТК между расчетными точками  $i$  и  $j$  (складывается из массовых сил вследствие учета массы подвижных элементов канатной системы, фрикционных сил вследствие трения в подшипниковых опорах вращающихся элементов, упругих сил деформации НТК при прохождении отклоняющих шкивов, ветрового воздействия на транспортируемый груз, инерционных сил при перемещением или вращением подвижных элементов с ускорением);  $\mu_f$  – коэффициент трения между канатом и канатным шкивом;  $\alpha_p$  – угол обхвата приводного канатного шкива НТК;  $k_{pr}$  – коэффициент сопротивления при огибании НТК канатного шкива.

Установлено, что функциональные возможности однопролетных одноканатных МКД маятникового типа на базе сопряженных самоходных МТПКК определяются грузо-пространственными характеристиками (ГПХ), выраженными в трехмерном пространстве параметров «пролет МКД – угол наклона МКД – вес груза». Их удобно представлять набором двумерных сечений пространства параметров «пролет МКД – угол наклона МКД» для нескольких дискретных значений веса транспортируемого груза (рисунок 4).

Однопролетные одноканатные МКД маятникового типа на базе самоходных колесных МТПКК обеспечивают следующие предельные ГПХ в диапазоне углов наклона линии НТК до  $60^\circ$ : при длине концевой опоры 10 м диапазон допустимых пролетов составляет 170...700 м при транспортировании груза весом 10 кН и 100...180 м при транспортировании груза весом 40 кН; при длине концевой опоры 16 м соответственно 230...760 м и 130...200 м.

Работоспособность МКД определяется следующими ключевыми техническими характеристиками: обеспечиваемым конструкцией приводного канатного

шкива тяговым фактором; поверхностным давлением НТК на футерованную поверхность приводного канатного шкива; отбираемой от штатного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) мощности для работы механизма перемещения НТК; диаметром НТК с учетом его конструкции, маркировочной группы и агрегатной прочности на разрыв; предельным расчетным изгибающим моментом в корневом сечении концевой опоры. Для того, чтобы работоспособность обеспечивалась, эти характеристики должны одновременно удовлетворять критериям работоспособности.



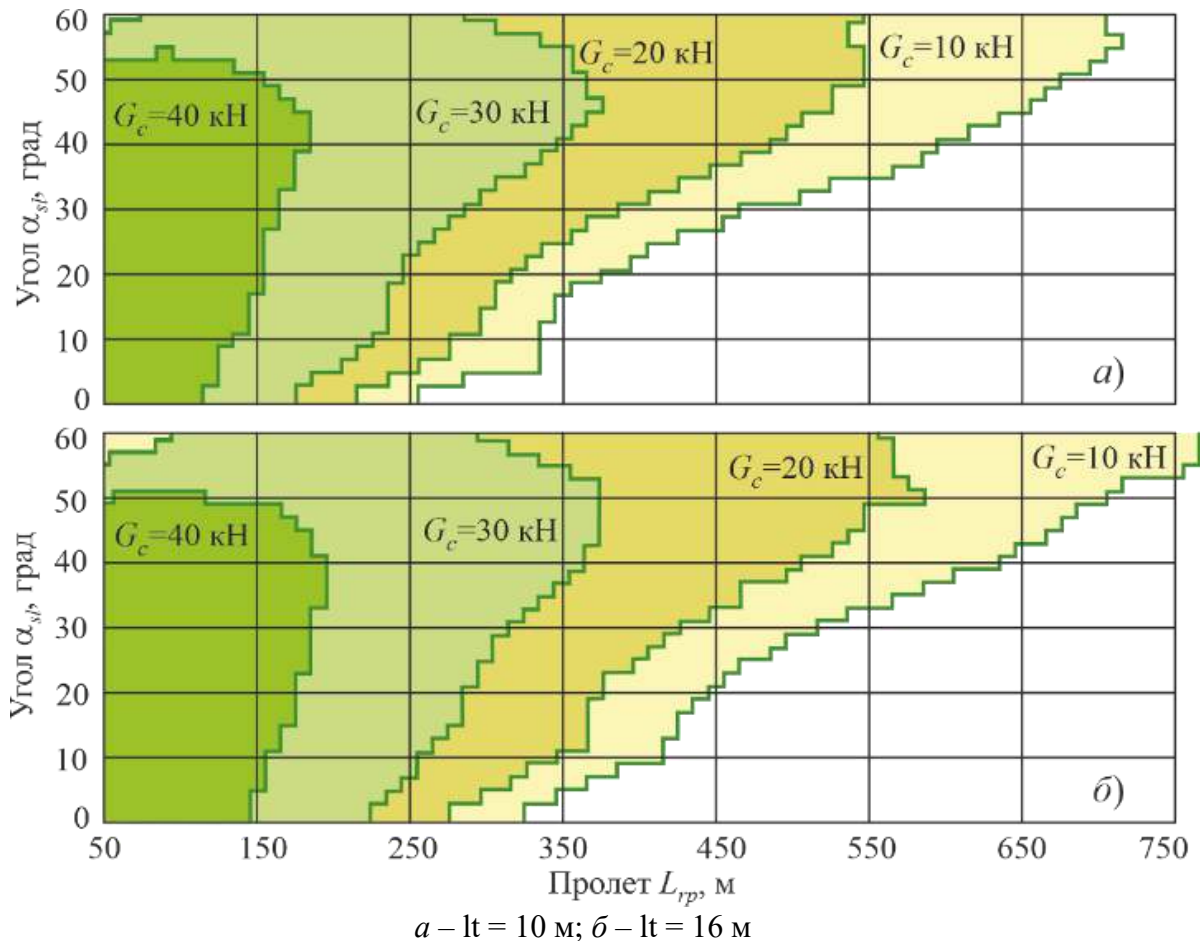
а – малый вес груза; б – большой вес груза

**Рисунок 4 – Типичная конфигурация области возможного использования МКД в пространстве параметров «пролет МКД – угол наклона МКД» при фиксированном весе транспортируемого груза**

Допустимый вертикальный габарит приближения транспортируемого груза к опорной поверхности, а также ключевые технические характеристики определяют конфигурацию, положение границ и количественные параметры областей возможного использования МКД. Повышение тягового фактора приводного канатного шкива смещает верхнюю границу области возможного использования МКД в сторону меньших значений пролетов (рисунок 5). Для приводных канатных шкивов обязательна футеровка, ее отсутствие нецелесообразно из-за получения неудовлетворительных ГПХ и малых размеров области возможного использования МКД. Остальные ключевые характеристики оказывают влияние



на смещение нижней границы области, т.е. на изменение ширины диапазона допустимых пролетов.



**Рисунок 5 – Предельные области возможного использования МКД с концевой опорой различной длины при отбираемой мощности 200 л.с.**

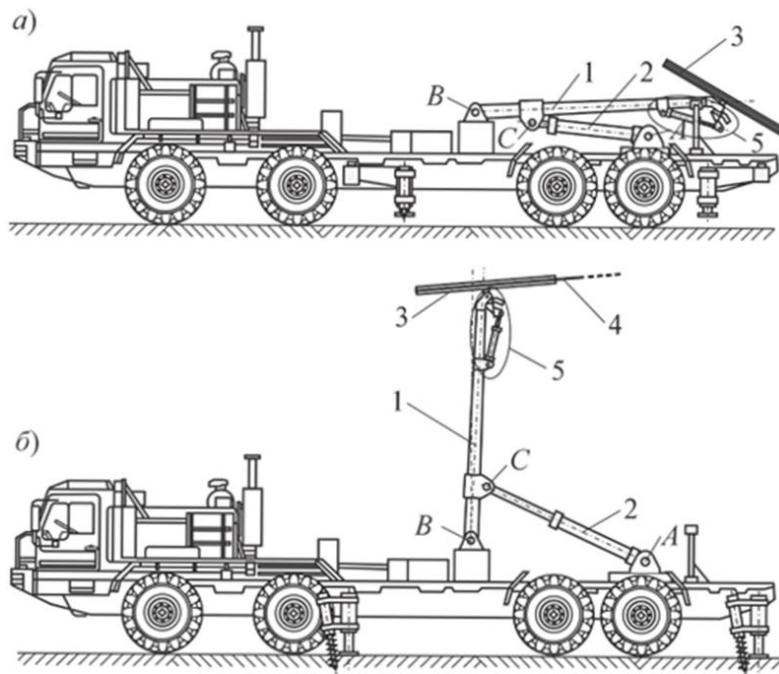
Было выяснено, что увеличение длины концевой опоры и диаметра приводного канатного шкива, а также уменьшение допустимого габарита приближения груза к поверхности увеличивают ширину диапазона допустимых пролетов. Использование НТК более высокой маркировочной группы и повышение отбираемой от штатного ДВС мощности увеличивают ширину диапазона допустимых пролетов при углах наклона линии каната свыше  $30^\circ$ . При углах наклона менее  $5...8^\circ$  (наихудшие условия работы МКД) наиболее эффективным является увеличение длины концевой опоры и диаметра приводного канатного шкива. Увеличение веса транспортируемых грузов приводит к уменьшению размеров области возможного использования МКД как за счет уменьшения ширины диапазона допустимых пролетов, так и за счет уменьшения диапазона углов наклона линии НТК. Ветровое воздействие на перемещаемый груз оказывает незначительное влияние на размеры области возможного использования МКД. Оно может уменьшать ширину диапазона допустимых пролетов при углах наклона линии НТК свыше  $30^\circ$  при встречном ветре и его высокой скорости свыше 30 м/с (не менее 5 баллов по шкале Бофорта).

Предельный расчетный изгибающий момент в корневом сечении концевой опоры, отбираемая от штатного ДВС мощность и максимальный диаметр НТК

неоднозначно влияют на конфигурацию и размеры области использования МКД. Наилучшие показатели качества спроектированных МТПКК обеспечиваются, когда эти параметры несколько превышают свои пороговые значения.

С учетом проведенного анализа обеспечение предельных функциональных возможностей МКД для заданной длины концевой опоры достигается при максимально возможном отборе мощности от штатного ДВС путем использования при проектировании МТПКК максимально возможного тягового фактора приводного канатного шкива и минимально возможного условного поверхностного давления НТК на поверхность футерованного приводного канатного шкива за счет выбора максимального диаметра приводного шкива и минимального вертикального габарита приближения транспортируемого груза к поверхности, а также использованием пороговых значений предельного расчетного изгибающего момента в корневом сечении концевой опоры и максимального диаметра принятого типа НТК.

В четвертом разделе проанализированы варианты конструктивного исполнения мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов, перспективными из которых являются варианты с центральным, концевым и выносным расположением концевой опоры во время эксплуатации канатной дороги, с гидравлическим, канатным, канатно-гидравлическим и штанговым типами фиксации концевой опоры в рабочем положении, с установкой концевой опоры непосредственно подъемным гидроцилиндром, с помощью складывающейся штанги и двухэтапным подъемом (рисунок 6).



*a* – транспортное положение; *б* – рабочее положение

*A, B, C* – шарнир; 1 – концевая опора; 2 – шток подъемного гидроцилиндра;  
3 – канатный шкив; 4 – несущее-тяговый канат; 5 – механизм пространственной ориентации канатного шкива

**Рисунок 6 – Общий вид МТПКК с центральным расположением концевой опоры (модификации Сс1м-4/Х и Сс2м-4/Х)**

Концевая опора 1 крепится к надрамной конструкции в ее центральной или концевой части с помощью цилиндрического шарнира В, который позволяет опоре совершать поворотное движение в вертикальной плоскости, совпадающей с продольной осью шасси. К нижней части концевой опоры с помощью цилиндрического шарнира С крепится шток подъемного гидроцилиндра 2, а сам его корпус шарниром А крепится к надрамной конструкции.

Конструкция и принцип действия ключевых узлов, механизмов и систем, входящих в структуру основного технологического оборудования МТПКК, во многом, за исключением отдельных специфических особенностей, сходны для всех разработанных вариантов конструктивного исполнения МТПКК, что позволяет применять модульный принцип проектирования и моделирования, а также на всех стадиях жизненного цикла обеспечивать глубокую унификацию проектных решений, технологических и эксплуатационных процессов.

Предложенные конструктивные варианты МТПКК обладают взаимодополняющими как технико-экономическим достоинствами, так и ограничениями. Поэтому обоснованное использование различных перспективных вариантов конструктивного исполнения МТПКК позволяет, применяя общие конструкторские подходы к проектированию основного технологического оборудования МТПКК, создавать значительное число конструктивных модификаций МТПКК для наиболее всестороннего и максимального учета конкретных требований заказчика, ожидаемых условий и режимов работы, формируемых ими МКД.

**В пятом разделе** проанализирована компоновка основного технологического оборудования МТПКК.

Предварительная компоновка ОТО МТПКК вносит важный вклад в формирование функциональных возможностей МТПКК и МКД в целом, так как она определяет возможности автономного движения МТПКК к месту разворачивания по автомобильным дорогам общего назначения, а также определяет возможную длину концевой опоры и, как следствие, определяет ГПХ однопролетной МКД.

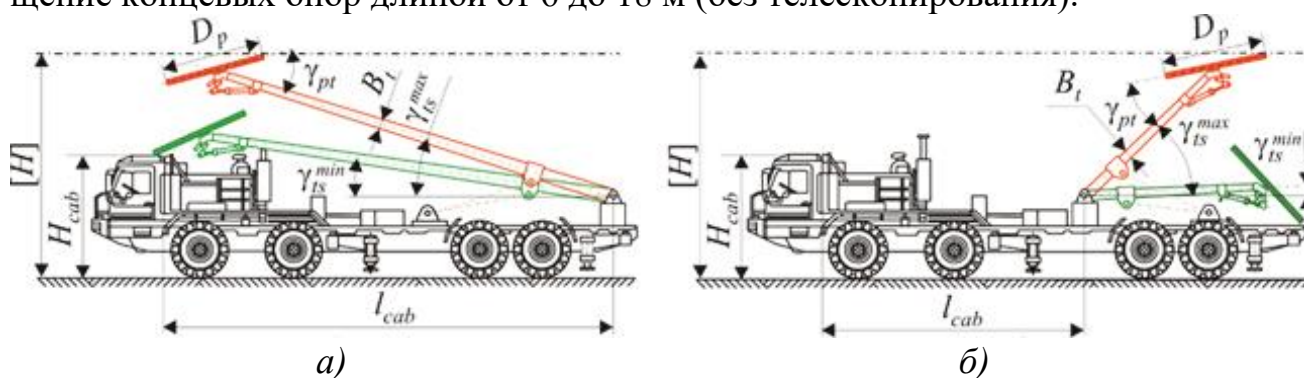
С целью безопасного проезда МТПКК под путепроводами на дорогах общего назначения вертикальная координата наиболее высокой точки концевой опоры в транспортном положении (2) не должна превышать нормативный габарит приближения по высоте  $[H]$ :

$$h_{lb} + h_{of} + l_t \sin \gamma_{ts} + 0,5D_p \sin(\gamma_{pt} - \gamma_{ts}) \leq [H], \quad (2)$$

где  $h_{lb}$ ,  $h_{of}$  – высоты несущей рамы и надрамной конструкции;  $D_p$  – диаметр канатного шкива;  $\gamma_{ts}$  – искомый угол наклона концевой опоры в транспортном положении.

Предварительная компоновка ОТО МТПКК должна решаться как оптимизационная задача, в которой критерием оптимальности выступает нахождение максимальной длины концевой опоры, исходя из габаритных размеров базового шасси и нормативных ограничений, действующих при организации автомобильных дорожных перевозок, перевозок авиационными и морскими средствами доставки крупногабаритного тяжелого оборудования. Для МТПКК вариантов К и С (рисунок 7) диапазоны углов допустимого наклона концевой опоры в транспортном положении, обеспечивающие возможность использования опоры

максимальной длины, составляют соответственно не более  $5^\circ$  и  $18...25^\circ$ . На базовых шасси российского производства с числом осей от 3 до 6 возможно размещение концевых опор длиной от 6 до 18 м (без телескопирования).



*a* – вариант К; *б* – вариант С

**Рисунок 7 – Расчетные схемы предварительной компоновки ОТО**

Итоговая компоновка ОТО МТПКК, включая размещение и сопряжение основных структурных элементов механизма установки и фиксации концевой опоры в рабочем положении, окончательно определяет конструктивное исполнение МТПКК и является основой для проектирования механизмов и узлов ОТО, анализа напряженно-деформированного состояния несущих металлоконструкций, выполнения моделирования рабочих процессов при эксплуатации МТПКК, формирования стратегии планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания.

Для МТПКК с установкой концевой опоры в рабочее положение с помощью подъемного гидроцилиндра установлено наличие зон, в которых недопустимо присоединение штока подъемного гидроцилиндра к металлоконструкции концевой опоры в связи с невозможностью обеспечить полный поворот концевой опоры из транспортного положения в требуемое рабочее положение. Протяженность этих зон может достигать до  $70...90\%$  длины концевой опоры. Зоны допустимого присоединения штока подъемного гидроцилиндра к металлоконструкции концевой опоры для МТПКК вариантов К и С примыкают к шарниру крепления концевой опоры на несущей раме базового шасси и имеют относительно небольшую протяженность (оставшиеся  $10...30\%$  длины концевой опоры), для МТПКК варианта В протяженность указанных зон оказываются еще заметно меньше вследствие Z-образной конструкции поворотной платформы ( $5...20\%$  длины концевой опоры). Это ограничивает возможности компоновки механизма установки и фиксации концевой опоры в рабочем положении и требует использование подъемного гидроцилиндра повышенной мощности и типоразмера вследствие необходимости в начальный период подъема концевой опоры преодоления значительных усилий, создаваемых весом концевой опоры и канатного шкива.

На компоновку ОТО МТПКК, использующих складывающуюся штангу для установки концевой опоры в рабочее положение, накладываются весьма жесткие требования на диапазоны допустимых размеров и соотношения размеров нижней и верхней частей штанги по отношению к ее достаточно большой

длине, достигающей 6...12 м. Эти требования в наименьшей степени оказывают влияние на проектирование механизма установки и фиксации концевой опоры в рабочем положении для МТПКК варианта С.

Компоновка подъемного гидроцилиндра в пространстве под концевой опорой в транспортном положении возможна только в том случае, когда соблюдается условие (3):

$$(l_{AC})_{\max} / (l_{AC})_{\min} - 1 \leq [\xi_{hc}], \quad (3)$$

где  $(l_{AC})_{\max}$ ,  $(l_{AC})_{\min}$  – границы интервала допустимого расстояния между шарнирами крепления концевой опоры и гидроцилиндра;  $[\xi_{hc}]$  – коэффициент выдвигания штока гидроцилиндра, заданный при проектировании МТПКК.

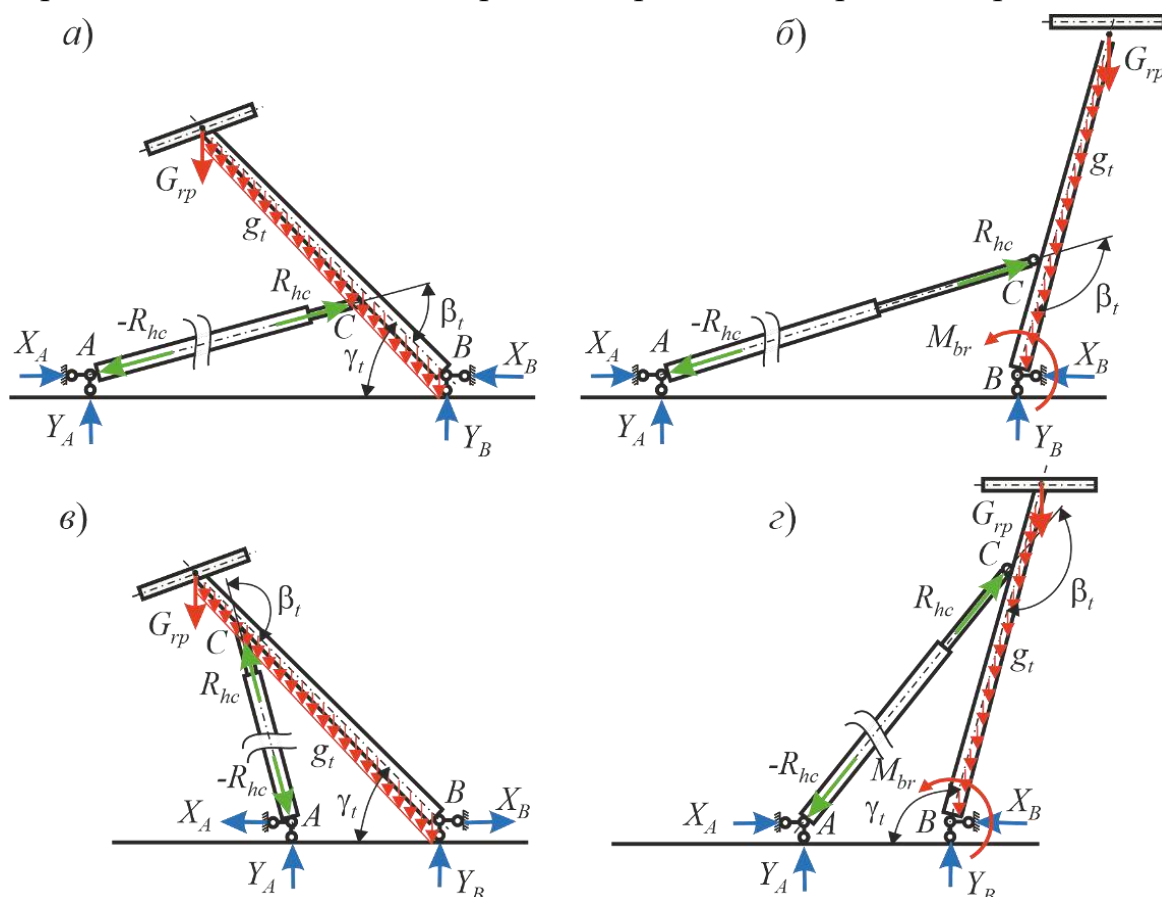
Требуемая длина подъемного гидроцилиндра, являющегося ключевым элементом при компоновке механизма установки и фиксации концевой опоры в рабочем положении, в значительной степени определяется вариантом конструктивного исполнения МТПКК. При установке концевой опоры непосредственно подъемным гидроцилиндром для МТПКК вариантов К и С его длина составляет 1...2,5 м в зависимости от длины опоры, для варианта В – 1,5...4 м. Для установки концевой опоры с помощью складывающейся штанги необходима длина подъемного гидроцилиндра в 1,5...2 раза меньше, чем при использовании только подъемного гидроцилиндра.

**В шестом разделе** рассмотрен силовой анализ основного технологического оборудования МТПКК, задачей которого является определение опорных реакций в узлах крепления ключевых элементов ОТО на этапах установки концевой опоры в рабочее положение и эксплуатации МКД, основных технических характеристик подъемных гидроцилиндров и устройств фиксации концевой опоры. Полученные результаты позволяют выполнить проектирование несущих металлоконструкций МТПКК и моделирование их напряженно-деформированного состояния.

Силовой анализ механизма установки и фиксации в рабочем положении концевой опоры для МТПКК вариантов К и С позволяет установить, что компоновка подъемного гидроцилиндра, соответствующего положению II, позволяет использовать гидроцилиндр в ~1,4...1,7 раз меньшего диаметра, чем при компоновке согласно положению I, вследствие требующихся меньших усилий для подъема и гидравлической фиксации концевой опоры во время работы МКД (рисунок 8). Однако необходимость при этом использовать гидроцилиндр с большим в ~2,5...3,0 ходом штока приводит к превышению в ~1,3...1,8 раза весовых и в ~2,5...3,0 раза его габаритных характеристик по сравнению с аналогичными характеристиками гидроцилиндра согласно положению I.

При работе механизма установки и фиксации в рабочем положении концевой опоры со складывающейся штангой отсутствуют условия для реализации самопрокидывания концевой опоры при ее установке, что позволяет отказаться от внешних тормозных устройств. Для установки опоры в рабочее положение требуется сравнительно небольшой ход штока, что позволяет использовать короткоходные гидроцилиндры, длина которых оказывается меньше по сравнению с гидроцилиндрами механизма без складывающейся штанги в ~4...8 раз для МТПКК

вариантов К и С. На этапе установки в рабочее положение концевой опоры, имеющей угол наклона в транспортном положении менее  $10...15^\circ$ , силовые характеристики механизма со складывающейся штангой являются недопустимо высокими, хотя и при углах  $15...20^\circ$  они оказываются выше, чем при установке опоры непосредственно подъемным гидроцилиндром в  $\sim 5...8$  раз для вариантов К и С.



а – стадия 1, положение гидроцилиндра I; б – стадия 1, положение гидроцилиндра I; в – стадия 2, положение гидроцилиндра II; з – стадия 2, положение гидроцилиндра II

Рисунок 8 – Расчетные схемы для МТПКК вариантов К и С

При установке концевой опоры наблюдаются две стадии движения штока гидроцилиндра, отличающиеся действующей системой эксплуатационных нагрузок:

- стадия 1 при  $\gamma_{ts} \leq \gamma_t \leq \pi / 2$ ;
- стадия 2 при  $\pi / 2 < \gamma_t \leq \gamma_{ws}$ .

На стадии 1 шток гидроцилиндра преодолевает реактивную силу от двух весовых нагрузок – канатного шкива  $G_{rp}$  и концевой опоры  $g_t$ . Эта сила, имеющая максимальное значение при  $\gamma_t = \gamma_{ts}$ , с ростом угла  $\gamma_t$  уменьшается, достигая нулевого значения при  $\gamma_t = \pi / 2$ . На стадии 2 наблюдается явление самопрокидывания концевой опоры под действием ее собственного веса. Для исключения самопрокидывания в конструкции МТПКК предусмотрено внешнее тормозное устройство для создания тормозного момента  $M_{br}(\gamma_t)$  относительно шарнира B

в интервале углов поворота  $\gamma_{br} \leq \gamma_t \leq \gamma_{ws}$ . Для исключения аварийных рисков тормозной момент должен начинать действовать при  $\gamma_{br} \leq \pi / 2$ .

Для МТПКК вариантов К и С установка концевой опоры в рабочее положение в два этапа с помощью вспомогательного подъемного гидроцилиндра приводит к существенному снижению необходимого максимального усилия на штоке основного подъемного гидроцилиндра в  $\sim 1,5 \dots 2$  раза и, таким образом, к уменьшению его диаметра на 20...40 %. Также снижаются опорные реакции в узлах присоединения гидроцилиндров, складывающейся штанги и концевой опоры к надрамной конструкции, что снижает общую нагруженность несущей рамы шасси БС на 20...30 %. Однако применительно к МТПКК варианта В комбинированная схема установки концевой опоры не дает подобного положительного эффекта и потому является нецелесообразной.

Обобщая результаты силового анализа ОТО, установленного на МТПКК различных конструктивных вариантов, на этапах установки концевой опоры и ее фиксации в рабочем положении, можно сделать вывод, что каждый из рассмотренных конструктивных вариантов имеет как существенные технические преимущества, так и существенные технические недостатки. Поэтому на этапе разработки технического задания на проектирование МТПКК решение о выборе конструктивного варианта должно выполняться с учетом требуемых режимов и ожидаемых условий эксплуатации после предварительного силового анализа возможных вариантов конструктивного исполнения МТПКК.

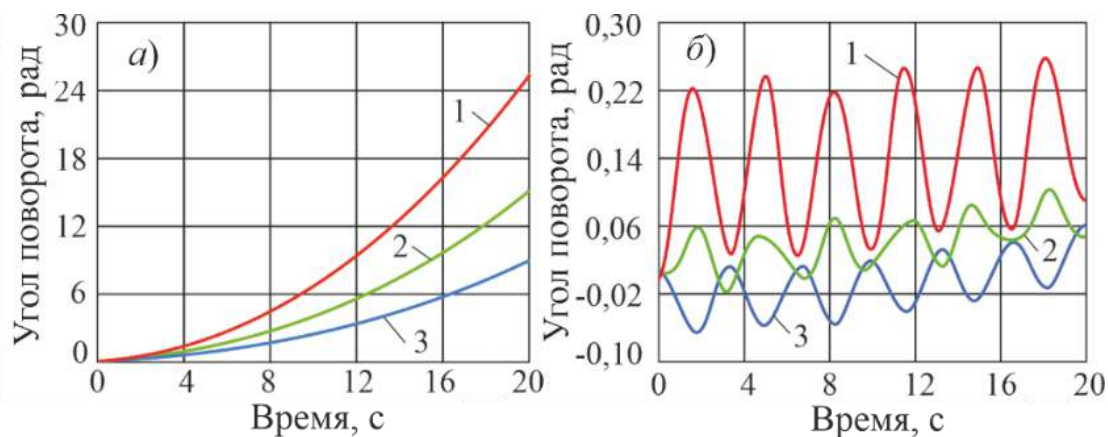
**В седьмом разделе** рассмотрено моделирование и анализ рабочих процессов при эксплуатации МТПКК, представлены локальные математические модели, структурно входящие в состав Подсистемы II – Основное технологическое оборудование и Подсистемы III – Базовое шасси комплексной математической модели однопролетных одноканатных МКД маятникового типа на базе автономных МТПКК.

Использование имитационного моделирования является наиболее эффективным для оценки нагруженности самоходных колесных шасси МТПКК на этапе их проектирования, так как такой подход позволяет прогнозировать характеристики нагруженности элементов МТПКК в вероятностном аспекте.

Использование результатов имитационного моделирования режимов движения БС позволяет не только определить параметры законов изменения характеристик нагруженности (в частности, построить блоки циклических напряжений в опасных сечениях конструкции), но и оценить историю нагружения (процессы чередования высоких и низких значений амплитуд колебаний), что особенно важно при оценке живучести.

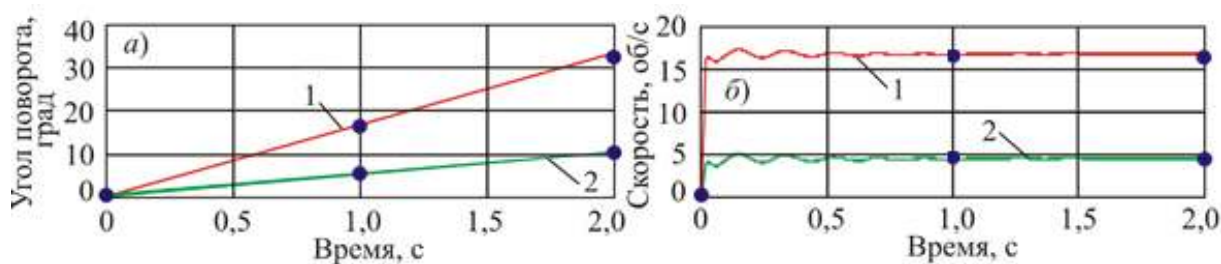
Экспериментальные исследования показали необходимость учета передаточных чисел передач (рисунки 9 и 10), так как иначе при решении системы дифференциальных уравнений движения элементов трансмиссии энергия штатного ДВС базового шасси расходуется преимущественно на колебательные движения вращающихся частей относительно положения равновесия, а не на их разгон. В условиях эксплуатации МКД негативным следствием этого явления могут быть либо буксование сцепления, либо остановка ДВС.

Таким образом, если передаточные числа трансмиссии не учитываются, то при отсутствии существенного превышения движущего момента  $M_{D0}$  над моментом сопротивления  $M_S$  привод не может сдвинуть трансмиссию с места, так как не происходит повышение момента. В результате энергия ДВС расходуется в большей степени не на разгон вращающихся частей (рисунок 9, а), а на их колебательные движения (рисунок 9, б).



а – результаты моделирования с учетом передаточных чисел трансмиссии;  
 б – результаты моделирования без учета передаточных чисел трансмиссии  
 1 –  $\varphi_0$ ; 2 –  $\varphi_1$ ; 3 –  $\varphi_2$

**Рисунок 9 – Сравнение подходов к моделированию динамики трансмиссии**



а – изменение угла поворота валов; б – изменение скорости вращения валов  
 1 – первичного вала редуктора  $\varphi_1$ ; 2 – вторичного вала редуктора  $\varphi_2$ ;  
 (— – результаты моделирования; ● – результаты эксперимента)

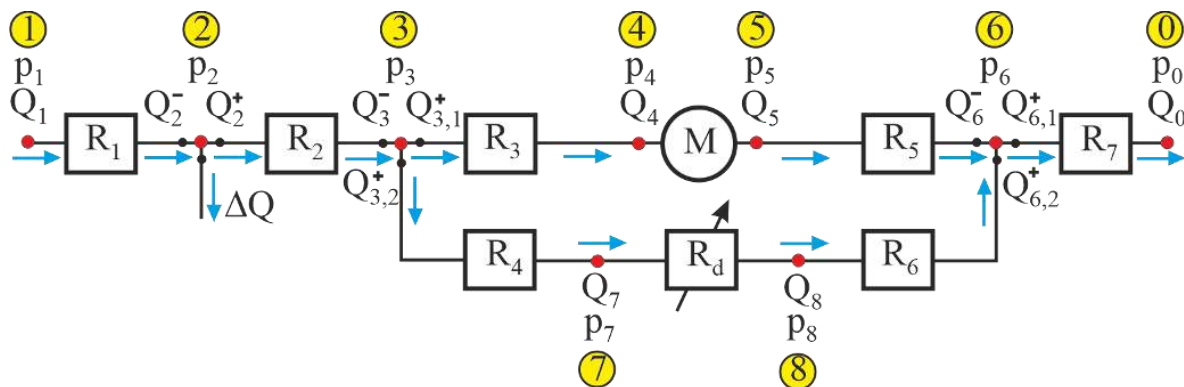
**Рисунок 10 – Изменение угла поворота и скорости вращения валов**

Погрешность моделирования динамики механической части трансмиссии привода механизма перемещения НТК с использованием предложенной математической модели составляет не более 1 % по перемещениям, не более 2 % по частоте процесса.

Установлено, что комбинированное частотно-дрессельное регулирование гидропривода позволяет достаточно эффективно и гибко управлять работой НТКС, обеспечивая необходимые скоростные параметры перемещения НТК как на стадии разгона транспортируемого груза, так, что более важно, и на стадии торможения при подходе к конечной точке останова. Изменение частоты вращения вала насоса нерегулируемого типа позволяет обеспечивать плавный останов даже без использования дополнительных внешних тормозных устройств.



Настройка регулируемых дросселей заметно влияет на кинематические характеристики работы НТКС. При установке дросселя параллельно гидромотору с ростом создаваемого дросселем гидравлического сопротивления скорость перемещения НТК на всех стадиях движения груза увеличивается, а время перемещения сокращается (рисунок 11).

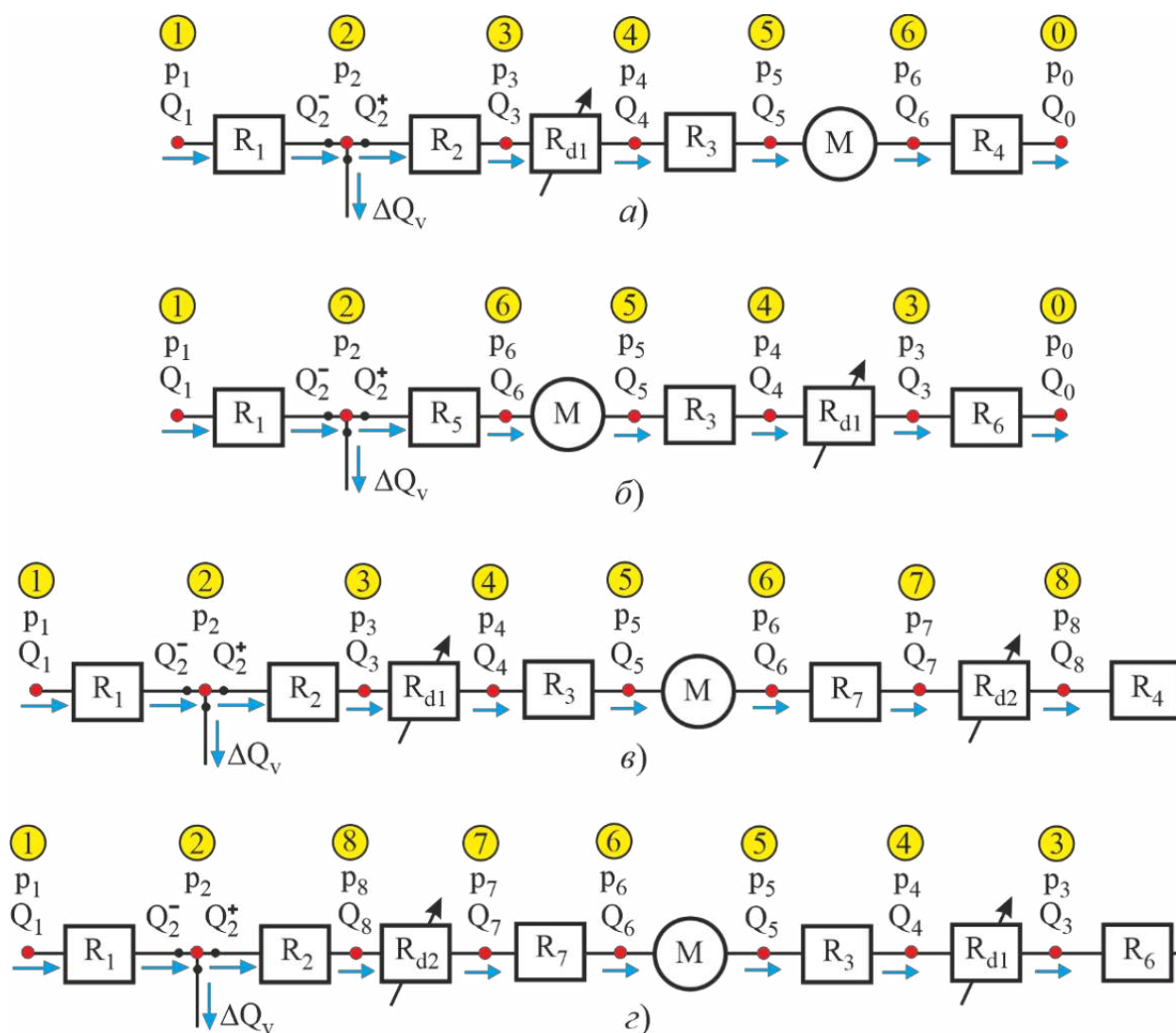


**Рисунок 11 – Структурно-функциональная схема гидропривода с частотно-дроссельным регулированием при параллельной установке гидромотора и дросселя**

В качестве характерных точек структурно-функциональной схемы (рисунок 11) на гидравлической схеме были выбраны следующие точки:

- точка 1: выход объемного нерегулируемого насоса;
- точка 2 (тройник): место установки предохранительного напорного клапана;
- точка 3 (тройник): место разделения потока рабочей жидкости (одна часть жидкости поступает в гидромотор, другая проходит через дроссель);
- точка 4: вход гидромотора;
- точка 5: выход гидромотора;
- точка 6 (тройник): место суммирования потоков рабочей жидкости, поступающего из гидромотора и прошедшей через регулируемый дроссель;
- точка 7: вход регулируемого дросселя;
- точка 8: выход регулируемого дросселя;
- точка 0: вход в гидробак.

При последовательной установке дросселя и гидромотора наблюдается обратный эффект, причем при одинаковой настройке дросселей схема с односторонней установкой обеспечивает большую скорость стационарного движения по сравнению со схемой с двухсторонней установкой и меньшее время транспортировки груза. Важным преимуществом частотно-дроссельного регулирования также является возможность использования нерегулируемых объемных гидронасосов, что позволяет повысить надежность эксплуатации гидроприводов ОТО при одновременном снижении стоимости оборудования, запасных частей, технического обслуживания и ремонта (рисунок 12).



*a* – одностороннее размещение (прямое движение); *б* – одностороннее размещение (возвратное движение); *в* – двухстороннее размещение (прямое движение); *г* – одностороннее размещение (возвратное движение)

**Рисунок 12 – Структурно-функциональные схемы гидропривода с частотно-дрессельным регулированием при последовательной установке гидромотора и дросселей**

**В восьмом разделе** выполнено прогнозирование надежности и безопасности эксплуатации, формирование оптимальных стратегий ремонта и технического обслуживания МТПКК, представлены методологические подходы и разработанные на их основе методы прогнозирования кинетики показателей надежности ключевых структурных элементов ОТО и МКД в целом, планирования оптимальных стратегий проведения их ремонтно-восстановительных мероприятий (РВМ), и оценки общей устойчивости МТПКК против опрокидывания в процессе эксплуатации МКД.

Было выяснено, что первостепенной инженерной задачей, которую необходимо решать при формировании эффективной стратегии ремонтов ОТО МТПКК и НТКС, является взаимная увязка как технического аспекта данной задачи, т.е. обеспечение приемлемо высокого уровня надежности и технического риска, так и ее экономического аспекта – обеспечения приемлемо низкого уровня

суммарной стоимости и числа ремонтов в течение всего заданного срока эксплуатации МТПКК.

Анализ математической модели позволяет сделать вывод, что исходными факторами, определяющими эффективность стратегии ремонтов МТПКК или МКД, являются два фактора:

– число плановых ремонтов  $N_{rp}$  в течение заданного срока эксплуатации  $T_{op}$ ;

– предельно допустимая вероятность критического отказа  $[P_{v,m}]$ .

При рассмотрении этих факторов были введены следующие допущения:

– в течение срока эксплуатации  $T_{op}$  моменты времени проведения плановых ремонтов  $\tau_{r,i}$  распределены равномерно с периодичностью  $\Delta T_{op} = T_{op} / N_{rp}$ ;

– все критически опасные структурные элементы мобильного объекта имеют одинаковую предельно допустимую вероятность критического отказа  $[P_{v,m}] = [P]$ .

Разработаны математическая модель и метод прогнозирования кинетики количественных показателей надежности ОТО при эксплуатации МКД, которые целесообразно использовать на стадии проектирования МТПКК с целью проведения риск-анализа эксплуатации однопролетных МКД маятникового типа, образованных с помощью указанных канатных установок. Это позволяет решать ряд важных технико-экономических задач, связанных с дальнейшей эксплуатацией спроектированных МТПКК и МКД:

– оценить максимальное снижение вероятности безотказной работы в течение нормативного срока службы МТПКК при заданном графике проведения их плановых ремонтов (рисунок 13);

– оценить влияние периодичности плановых ремонтов на снижение показателей надежности МТПКК и его отдельных подсистем с целью обеспечения требуемого уровня вероятности безотказной работы;

– оценить эффективность операций по периодической замене или восстановлению структурных элементов МКД в целом и отдельных МТПКК;

– определить для каждого планового ремонта объем необходимых РВМ и перечень подлежащих восстановлению структурных элементов МТПКК, приводящих к критическим отказам ОТО;

– получить исходные данные для расчета и оптимизации технического риска эксплуатации МКД и МТПКК.

С увеличением числа ремонтов наблюдается некоторый рост величин  $(P_0)_{\min}$  и  $(P_0)_{av}$ . Однако их постоянный рост характерен для малых значений  $[P] \leq 0,01 \dots 0,02$ . При больших значениях наблюдается практически равные значения  $(P_0)_{\min}$  и  $(P_0)_{av}$  при числе ремонтов  $N_{rp} \geq 4 \dots 8$ .

В основе формирования стратегии ремонта лежит технико-экономический критерий оптимальности: получение минимальной суммарной стоимости ремонтов МКД  $C_{rp}$  за весь срок ее эксплуатации при обеспечении среднего значения ве-

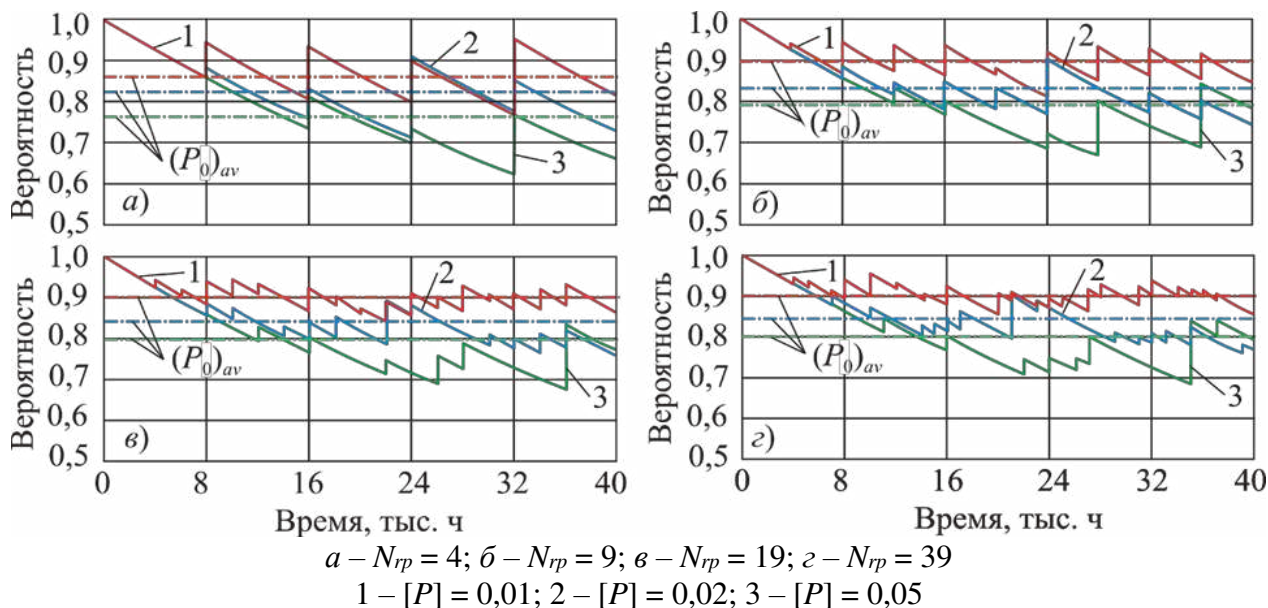
роятности безотказной работы, установленного в техническом задании на проектирование. В качестве факторов, варьируемых в процессе оптимизации целевой функции (4):

$$C_{rp}([P]; N_{rp}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

используются предельно допустимая вероятность критического отказа  $[P]$  и число ремонтов  $N_{rp}$  при учете ряда ограничений (5):

$$[P] - [P]_{\min} \geq 0; \quad 1,0 - [P] \geq 0; \quad (N_{rp})_{\max} - N_{rp} \geq 0; \quad N_{rp} - (N_{rp})_{\min} \geq 0, \quad (5)$$

где  $[P]_{\min}$  – заданное минимальное значение допустимой вероятности критического отказа;  $(N_{rp})_{\min}$ ,  $(N_{rp})_{\max}$  – заданные минимально и максимально возможное число плановых ремонтов.



**Рисунок 13 – Изменение вероятности безотказной работы МТПКК в течение заданного срока эксплуатации**

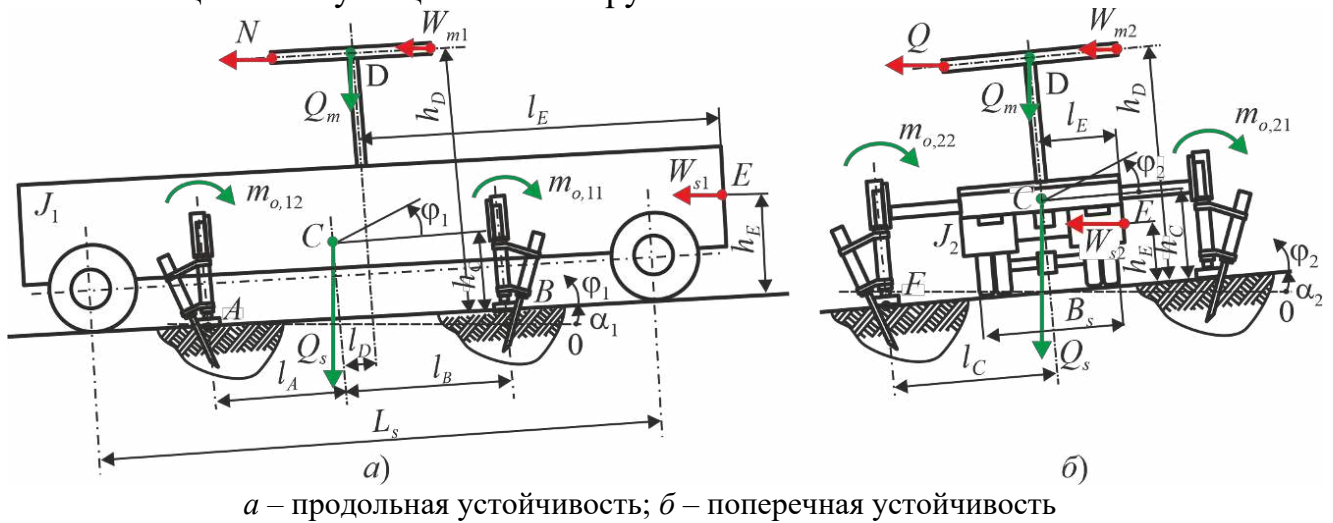
Разработан метод формирования эффективных стратегий плано-предупредительных ремонтов МТПКК и НТКС, который позволяет поддерживать исходно заданный при проектировании уровень их надежности на основе упреждающей замены во время планового ремонта в стационарных условиях тех ключевых структурных элементов, у которых вероятность потери работоспособного состояния достигает к моменту такого ремонта определенного, заданного на этапе проектирования предельно допустимого значения вероятности критического отказа.

Практическая ценность метода заключается в том, что он позволяет для каждого планового ремонта определить структуру ремонта, включая перечень подлежащих восстановлению элементов, объем и стоимость ремонта, перечень и объем потребных запасных частей.

Совместный анализ структуры и объемов всех ремонтов позволяет на этапе проектирования МТПКК планировать распределение во времени работы МКД материальных и финансовых ресурсов для проведения необходимых РВМ.

Общая устойчивость против опрокидывания, включая продольную и поперечную БС (рисунок 14) при работе однопролетных МКД на базе колесных

МТПКК в значительной степени определяется действием горизонтальной составляющей эксплуатационных нагрузок со стороны НТКС, хотя при повышенных углах наклона трассы МКД существенную роль играет также и вертикальная составляющая эксплуатационных нагрузок.



**Рисунок 14 – Расчетная схема для оценки устойчивости БС**

Как следствие, базовые шасси МТПКК должны дополнительно иметь как аутригеры, так и анкерные опоры, предназначенные для уравнивания горизонтальных нагрузок.

Для оценки эффективности использования различных вариантов размещения аутригеров были выполнены расчеты продольной и поперечной устойчивости БС однопролетной МКД, созданной на базе трехосного колесного шасси. Были рассмотрены следующие варианты:

Вариант I – наличие одной опоры с винтовым анкером и обычных аутригеров без анкеровки. Вариант отличается тем, что винтовой анкер плохо противостоит потере устойчивости в поперечном направлении.

Вариант II – наличие двух опор с винтовыми анкерами и обычных аутригеров без анкеровки. Вариант отличается тем, что пара винтовых анкеров активно препятствует потере устойчивости в поперечном направлении.

Вариант III – наличие аутригеров с анкеровкой.

Анализ полученных результатов показывает, что использование опор с винтовыми анкерными элементами, расположенными в передней части БС (варианты I, II) обеспечивает большой запас продольной устойчивости (до 7,58). Вариант III не предполагает использование винтовых анкеров. Анкерные опоры конструкции обеспечивают меньший, но удовлетворительный запас устойчивости, поэтому этот вариант также может применяться. Запас поперечной устойчивости примерно одинаков для всех вариантов, так как в большей степени определяется вылетом аутригеров. Однако с конструктивной точки зрения использование опор с винтовыми анкерами проще, чем использование четырех опор с анкерными элементами типа. Следует также отметить, что значительного увеличения поперечной устойчивости при использовании двух опор с винтовыми анкерами не происходит (рост составляет 2 %).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования получены следующие итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

1 Сформирована концепция самоходных колесных МТПКК как интегрированной подсистемы однопролетных одноканатных МКД маятникового типа, функционирование которой происходит в комплексном взаимодействии с другими значащими подсистемами шестикомпонентной системы «НТКС – ОТО МТПКК – базовое шасси – система управления – опорное основание – окружающая среда», характеризующимся наличием развитой совокупности обратных связей между подсистемами.

2 Разработан с единых методологических позиций комплекс взаимосвязанных математических моделей подсистем комплексной математической модели МКД: модель НТКС (модель пространственной конфигурации ветвей НТК, тяговый расчет НТКС и модель построения диаграммы натяжения НТК, модель оценки функциональных возможностей МКД, модели влияния основных параметров МКД и МТПКК на ГПХ МКД, модель массовой производительности МКД, модель оценки оптимальных параметров грузовых КД с различной проектной производительностью, модель быстроразъемного соединения концов НТК); модель ОТО (модели силового расчета ОТО при установке концевой опоры в рабочее положение, модели силового расчета ОТО при эксплуатации МТПКК, модели гидродинамических процессов в гидросистемах с частотно-дроссельным регулированием МТПКК, модели прогнозирования кинетики показателей надежности ОТО при эксплуатации МТПКК, модели формирования оптимальных стратегий технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов ОТО); модель базового шасси (модели предварительной компоновки ОТО с учетом габаритных ограничений транспортного положения, модели компоновки ОТО на базовом шасси, модели динамических процессов в несущих конструкциях и механических передачах базовых шасси, модели нагруженности и напряженно-деформированного состояния несущих конструкций базовых шасси, имитационная модель режимов движения базового шасси, модели прогнозирования общей и поперечной статической устойчивости МТПКК против опрокидывания); модель опорного основания (модель оценки деформирования грунта при эксплуатации МКД); модель окружающей среды (модель ветрового воздействия на транспортируемый груз, модель аэродинамического сопротивления движению МТПКК).

3 Выполнен анализ функциональных возможностей однопролетных одноканатных МКД маятникового типа на базе самоходных колесных МТПКК определяются ГПХ, выраженными в трехмерном пространстве параметров «пролет МКД-угол наклона МКД-вес груза». Грузо-пространственные характеристики представлены набором двумерных сечений пространства параметров «пролет МКД-угол наклона МКД» для нескольких дискретных значений веса транспортируемого груза. Установлены следующие предельные значения ГПХ для рассматриваемого типа МКД в диапазоне углов наклона линии НТК до 60°: при длине концевой опоры 10 м диапазон допустимых пролетов составляет

170...700 м при транспортировании груза весом 10 кН и 100...180 м при транспортировании груза весом 40 кН; при длине концевой опоры 16 м соответственно 230...760 м и 130...200 м. Обеспечение предельных функциональных возможностей МКД для заданной длины концевой опоры достигается при максимально возможном отборе мощности от штатного ДВС путем использования при проектировании МТПКК максимально возможного тягового фактора приводного канатного шкива и минимально возможного условного поверхностного давления НТК на поверхность футерованного приводного канатного шкива за счет выбора максимального диаметра приводного шкива и минимального вертикального габарита приближения транспортируемого груза к поверхности, а также использованием пороговых значений предельного расчетного изгибающего момента в корневом сечении концевой опоры и максимального диаметра принятого типа НТК.

4 Определены наихудшие условия работы МКД соответствуют горизонтальному положению линии НТК и при малых углах наклона линии каната (до  $3...7^\circ$ ), когда реализуется форма I провисания НТК. Для углов наклона свыше  $7...10^\circ$  реализуется исключительно форма II провисания НТК, что не требует его значительного натяжения. Тяговые и кинематические характеристики МКД, силовое воздействие НТКС на концевые опоры снижаются с ростом угла наклона НТК. У приводной БС концевая опора всегда испытывает сжимающую осевую нагрузку от действия эксплуатационных нагрузок, а у натяжной БС – растягивающую осевую нагрузку, снижающую нагрузку несущей рамы МТПКК. В условиях значительных перепадов высот (углы наклона линии НТК более  $30...35^\circ$ ) использование МТПКК с концевыми опорами повышенной длины является малоэффективным для снижения усилий натяжения в НТКС и нагруженности МТПКК.

5 Установлено, что специальные многоосные колесные самоходные шасси российского производства и полуприцепы стандартной конструкции, обладающие повышенной грузоподъемностью и проходимостью, по своим техническим характеристикам пригодны для размещения на них ОТО для обеспечения работы однопролетных МКД маятникового типа. Перспективными вариантами конструктивного исполнения МТПКК для формирования таких МКД являются варианты с центральным, концевым и выносным расположением концевой опоры, с гидравлическим, канатным, канатно-гидравлическим и штанговым типами фиксации концевой опоры в рабочем положении, с установкой концевой опоры непосредственно подъемным гидроцилиндром, с помощью складывающейся штанги и двухэтапным подъемом. Конструкция и принцип действия ключевых узлов, механизмов и систем ОТО МТПКК во многом сходны для всех разработанных вариантов конструктивного исполнения МТПКК, что позволяет применять модульный принцип проектирования, моделирования и создания цифровых двойников, а также обеспечивать глубокую унификацию проектных решений, технологических и эксплуатационных процессов на всех стадиях жизненного цикла МТПКК.

6 Установлено, что каждый из разработанных вариантов конструктивного исполнения МТПКК имеет как существенные технические преимущества,

так и существенные технические недостатки по сравнению с альтернативными вариантами. Для различных вариантов МТПКК при установке концевой опоры в рабочее положение разница в опорных реакциях, воздействующих на несущие металлоконструкции БС, может достигать до 2...15 раз, а необходимые усилия привода – до 2...8 раз. При работе МКД – до 1...5 раз и 1,4...2 раза соответственно. На этапе разработки технического задания на проектирование МТПКК решение о выборе конструктивного варианта должно выполняться с учетом требуемых режимов и ожидаемых условий эксплуатации после предварительного силового анализа возможных вариантов конструктивного исполнения МТПКК.

7 Определено, что компоновка ОТО на самоходном шасси МТПКК в транспортном положении должна выполняться исходя из нормативных требований по допустимому вертикальному габариту приближения по высоте с целью безопасного автономного проезда МТПКК под мостовыми сооружениями и путепроводами при движении по автомобильным дорогам общего пользования или исходя из вертикальных габаритных ограничений на размещение в грузовых отсеках авиационных или морских транспортных средств доставки. Для МТПКК вариантов К и С выявлены интервалы углов допустимого наклона концевой опоры в транспортном положении, обеспечивающие возможность использования опоры максимальной длины. Для МТПКК варианта К ширина интервала достаточно мала, составляя не более  $5^\circ$ , для варианта С она составляет  $18...25^\circ$ . Для МТПКК варианта В выявлено наличие оптимального сочетания углов наклона и отклонения концевой опоры в транспортном положении, при котором наблюдается наименьший возможный вертикальный габарит установленного ОТО в транспортном положении. На базовых шасси российского производства с числом осей от 3 до 6 возможно размещение концевых опор длиной от 6 до 18 м (без телескопирования).

8 Установлено, что для МТПКК с установкой концевой опоры в рабочее положение непосредственно подъемным гидроцилиндром имеются зоны недопустимого присоединения его штока к металлоконструкции концевой опоры в связи с невозможностью обеспечить поворот в требуемое рабочее положение. Протяженность этих зон может достигать до 70...90 % длины концевой опоры. Зоны допустимого присоединения для МТПКК вариантов К и С примыкают к шарниру крепления концевой опоры на несущей раме БС и имеют относительно небольшую протяженность - 10...30 % длины концевой опоры. Для МТПКК варианта В указанные зоны оказываются заметно короче из-за Z-образной конструкции поворотной платформы - 5...20 % длины концевой опоры. Это ограничивает возможности компоновки механизма установки и фиксации концевой опоры в рабочем положении и требует использования подъемного гидроцилиндра повышенной мощности и типоразмера.

9 Установлено, что требуемая длина подъемного гидроцилиндра, являющегося ключевым элементом при компоновке механизма установки и фиксации концевой опоры в рабочем положении, в значительной степени определяется вариантом конструктивного исполнения МТПКК. При установке концевой опоры непосредственно подъемным гидроцилиндром для МТПКК вариантов К и С его длина составляет 1...2,5 м в зависимости от длины опоры, для варианта В –



1,5...4 м. Для установки концевой опоры с помощью складывающейся штанги необходима длина подъемного гидроцилиндра в 1,5...2 раза меньше, чем при использовании только подъемного гидроцилиндра.

10 Разработанный метод формирования эффективных стратегий планово-предупредительных ремонтов МТПКК и МКД в целом является перспективным направлением совершенствования их эксплуатационных показателей, так как решается двуединая технико-экономическая задача: обеспечение приемлемо высокого уровня надежности и технического риска при одновременном обеспечении минимально возможной суммарной стоимости и числа ремонтов в течение всего заданного срока эксплуатации МТПКК. Исходно заданный при проектировании уровень надежности поддерживается путем упреждающей замены во время плановых ремонтов в стационарных условиях тех элементов ОТО, у которых вероятность потери работоспособного состояния достигает предельно допустимой вероятности критического отказа. Для каждого планового ремонта метод позволяет определить структуру ремонта, включая перечень подлежащих восстановлению элементов, объем и стоимость ремонта, перечень и объем потребных запасных частей. Совместный анализ структуры и объемов всех ремонтов позволяет планировать распределение во времени работы МКД материальных и финансовых ресурсов для проведения необходимых РВМ.

11 Установлено, что общая устойчивость против опрокидывания БС при работе однопролетных МКД на базе колесных МТПКК в значительной мере определяется действием горизонтальной составляющей эксплуатационных нагрузок со стороны НТКС, хотя при повышенных углах наклона трассы МКД существенную роль играет также и вертикальная составляющая эксплуатационных нагрузок. Базовые шасси МТПКК должны дополнительно иметь кроме аутригеров также и анкерные опоры, предназначенные для уравнивания горизонтальных нагрузок. Наиболее эффективной конструктивной схемой является использование одной опоры с винтовым анкером и четырех аутригеров традиционной конструкции без анкеровки.

12 Результаты исследований использованы АО «Северо-Западный региональный центр Концерна воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» - Обуховский завод» (г. Санкт-Петербург) при разработке проекта тактико-технического задания на опытно-конструкторскую работу «Разработка мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов»; АО «Брянский автомобильный завод» (г. Брянск) при разработке и изготовлении подъемно-мачтовых устройств машин ОАМ-32, трансмиссии стартового пожарно-спасательного автомобиля БАЗ-8080 и полуприцепа-шасси БАЗ-9828; ФГБУ «ЦНИИ инженерных войск» при оценке модернизационного потенциала переносных горных дорог ГЛКД-100 и ГЛКД-1000; АО «Специальное конструкторское бюро машиностроения» (г. Курган) при создании гидромеханической коробки передач 667-000-сб1; АО «Конструкторское бюро специального машиностроения» (г. Санкт-Петербург) при создании электрогидравлической системы управления мобильной антенной опоры; ПАО «Тутаевский моторный завод» (г. Тутаев) по созданию дизельного двигателя 854.10-01 мощностью 600 л.с.; АО «Научно-конструкторское бюро вычислительных систем» (г. Таганрог) при создании встраиваемых

комплексов бортового оборудования и информационно-управляющих систем мобильных транспортно-технологических машин нового поколения; Инжиниринговым научно-образовательным центром цифровых технологий Индустрии 4.0 при ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» (г. Брянск) при разработке цифровых двойников транспортных систем и в учебном процессе.

13 Рекомендуются применение разработанных технических и технологических решений для формирования технических требований, предъявляемых к однопролетным МКД маятникового типа.

14 Перспективой дальнейшей разработки темы исследования является разработка эффективных конструкций механизмов ОТО, ориентированных на учет конструктивных особенностей МТПКК в корпусном или контейнерном исполнении; развитие методов имитационного моделирования стадии эксплуатации однопролетных МКД маятникового типа; развитие подходов и методов создания и применения в эксплуатационных условиях цифровых двойников и цифровых теней МТПКК и МКД; развитие методов диагностики и мониторинга работы ключевых механизмов ОТО и НТКС с учетом современного уровня развития средств диагностики; развитие методов принятия решений в области проектирования однопролетных МКД маятникового типа различного конструктивного исполнения.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

### *а) в рецензируемых научных изданиях*

1 Обозов, А.А. Математическое имитационное моделирование рабочего процесса автомобильного ДВС в целях получения диагностической информации / А.А. Обозов, В.И. Таричко // Двигателестроение. – 2013. – № 2. – С. 21–25.

2 Таричко, В.И. Комплексная математическая модель мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса / В.И. Таричко, А.В. Химич // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – № 4. – С. 523–532.

3 Лагерев, А.В. Моделирование режимов работы гидроприводов с частотно-дрессельным регулированием мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – № 4. – С. 462–480.

4 Лагерев, А.В. Определение оптимальных параметров грузовых подвесных канатных дорог с различной проектной производительностью / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 10. – С. 443–451.

5 Лагерев, А.В. Обеспечение общей устойчивости базовых колесных станций мобильных канатных дорог / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, С.П. Солдатчиков // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – № 2. – С. 210–220.

6 Лагерев, И.А. Создание экспериментального макета мобильной канатной дороги с использованием 3D-печати / И.А. Лагерев, В.И. Таричко,

С.П. Солдатченков, Д.А. Игнатов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – № 2. – С. 221–230.

7 Лагерев, А.В. Компонировка технологического оборудования на базовом шасси мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 3. – С. 388–403.

8 Таричко, В.И. Расчетно-экспериментальные исследования динамики механической трансмиссии базовой станции мобильной канатной дороги / В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 2. – С. 318–326.

9 Лагерев, А.В. Вероятностно-временной анализ кинетики показателей надежности на стадии проектирования канатной системы мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 2. – С. 256–275.

10 Лагерев, И.А. Формирование стратегии восстановления канатной системы мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса в процессе эксплуатации / И.А. Лагерев, В.И. Таричко, А.В. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 2. – С. 276–293.

11 Таричко, В.И. Компьютерное моделирование режимов движения мобильной транспортно-технологической машины / В.И. Таричко, И.А. Лагерев, А.А. Черных // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 1. – С. 136–143.

12 Лагерев, А.В. Работа гидроприводов с частотно-дрессельным регулированием мобильных канатных комплексов при последовательной установке дресселей / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 1. – С. 73–92.

13 Таричко, В.И. Моделирование нагруженности водоотражающего щита плавающей мобильной машины / В.И. Таричко, П.И. Шалупина, Г.А. Емельянова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – № 4. – С. 389–395.

14 Лагерев, И.А. Варианты компоновки основного технологического оборудования на базовых шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов и их сравнительный анализ / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев, В.И. Таричко // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – № 3. – С. 236–250.

15 Таричко, В.И. Уточнение характеристик аэродинамического сопротивления движению специальных колесных шасси и тягачей на основе применения методов вычислительной газодинамики / В.И. Таричко, П.И. Шалупина // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – № 3. – С. 270–279.

16 Лагерев, А.В. Обеспечение вертикального габарита самоходной машины со штанговым механизмом установки и фиксации концевой опоры для мобильной канатной дороги / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – № 2.

– С. 141-152.

17 Таричко, В.И. Моделирование нагруженности рамы базовой станции мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса / В.И. Таричко, П.И. Шалупина // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – № 2. – С. 166–175.

18 Таричко, В.И. Основные результаты разработки трансмиссии перспективного шасси для размещения мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса / В.И. Таричко, Д.И. Перминова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – № 1. – С. 66–72.

19 Таричко, В.И. Моделирование нагруженности полуприцепа мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса с размещением мачты на платформе / В.И. Таричко, П.И. Шалупина // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – № 1. – С. 73–81.

20 Лагерев, А.В. Производительность грузовых мобильных канатных дорог на базе сопряженных мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2022. – № 4. – С. 310–321.

21 Лагерев, А.В. Определение усилий натяжения канатов при эксплуатации мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, В.И. Таричко // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2022. – № 3. – С. 194–210.

22 Таричко, В.И. Конструкция и анализ технических характеристик быстроразъемного устройства для соединения концов канатов мобильных канатных дорог / В.И. Таричко // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2022. – № 2. – С. 131–141.

23 Таричко, В.И. Силовой расчет механизма канатной фиксации концевой опоры мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса / В.И. Таричко, А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2023. – № 2. – С. 159–172.

***б) в изданиях, индексируемых в базе Scopus***

24 Lagerev, A.V. Impact of design capacity on optimal parameters of freight aerial mono-cable cableways / A.V. Lagerev, I.A. Lagerev, V.I. Tarichko // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – № 378. – 012063.

25 Lagerev, A.V. Simulation of the change in the reliability of rope system motion mechanism in mobile ropeway complex / A.V. Lagerev, V.I. Tarichko, I.A. Lagerev // ICIE-2020: Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2020). – 2021. – P. 745-754.

26 Lagerev, A.V. Modeling of hydrodynamic and kinematic processes during the operation of a mobile cargo rope complex / A.V. Lagerev, V.I. Tarichko, I.A. Lagerev // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 1753. – 012022.

27 Lagerev, I.A. Modeling the swing of mobile loader cranes with anchor outriggers when operating on weak soils / I.A. Lagerev, A.V. Lagerev, V.I. Tarichko // E3S Web of Conferences – 2021. – № 326. – 00011.

28 Lagerev, A.V. Kinematic and force analysis of the end tower positioning

mechanism at mobile ropeway / A.V. Lagerev, V.I. Tarichko, I.A. Lagerev // ICIE-2021: Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2021). – 2022. – P. 394-404.

29 Lagerev, A.V. Force Analysis of the Hydraulic Mechanism for Moving the End Tower of a Transport Unit for a Mobile Ropeway / A.V. Lagerev, V.I. Tarichko, I.A. Lagerev // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2476. – P. 020017.

**в) патенты**

30 Пат. 121376 Рос. Федерация: МПК012 12-13. Корпусное колесное шасси / Колесников Д.В., Константинов В.А., Левковец Н.Р., Таричко В.И.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Брянский автомобильный завод». № 2019502703; заявл. 26.06.19; опубл. 31.08.2020, Бюл. № 9. – 3 с.

31 Пат. 2738871 Рос. Федерация: МПК В60К 17/34. Трансмиссия пожарно-спасательного автомобиля / Таричко В.И., Левковец Н.Р., Киселев О.В., Полехин Д.Э.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Брянский автомобильный завод» (АО «БАЗ»). – № 2020117459; заявл. 27.05.2020; опубл. 17.12.2020, Бюл. № 35. – 2 с.

32 Пат. 204003 Рос. Федерация: МПК В61В 7/00. Самоходная концевая станция мобильной канатной дороги / Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ им. ак. И.Г. Петровского». – №2020140506; заявл. 08.12.20; опубл. 04.05.2021, Бюл. № 13. – 2 с.

33 Пат. 200827 Рос. Федерация: МПК В61В 7/06. Самоходная концевая станция / Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ им. ак. И.Г. Петровского». – №2020117118; заявл. 12.05.20; опубл. 12.11.2020, Бюл. № 32. – 2 с.

34 Пат. 200206 Рос. Федерация: МПК F16G 11/06, В66В 7/06. Быстроразъемное устройство для соединения канатов мобильных канатных комплексов маятникового типа / Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ им. ак. И.Г. Петровского». – № 2020121057; заявл. 17.06.20; опубл. 13.10.2020, Бюл. № 29. – 2 с.

35 Пат. 204005 Рос. Федерация: МПК В61В 7/00. Самоходная концевая станция мобильной канатной дороги / Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ им. ак. И.Г. Петровского». – №2020141677; заявл. 16.12.20; опубл. 04.05.2021, Бюл. № 13. – 2 с.

36 Пат. 206299 Рос. Федерация: МПК7 В61В 7/00. Самоходная концевая станция мобильной канатной дороги / Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ им. ак. И.Г. Петровского». – №2021112278; заявл. 27.04.21; опубл. 03.09.2021, Бюл. № 25. – 2 с.

**г) свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ**

37 Моделирование частотно-регулируемого гидропривода мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса: свид-во о регистрации программы для ЭВМ / Таричко В.И., Лагерев А.В., Лагерев И.А.; заявитель и правообладатель Таричко В.И. – № 2020610757; заявл. 13.11.19; опубл. 20.01.20.

38 Моделирование кинетики показателей надежности механизма движе-

ния канатной системы мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса: свид-во о регистрации программы для ЭВМ / Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» – № 2020615868; заявл. 20.05.20; опубл. 03.06.20.

39 Моделирование гидропривода мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса с частотно-дрессельным регулированием: свид-во о регистрации программы для ЭВМ / Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» – № 2020615888; заявл. 12.05.20; опубл. 03.06.20.

40 Моделирование режимов движения колесной мобильной транспортно-технологической машины: свид-во о регистрации программы для ЭВМ / Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» – № 2020616786; заявл. 12.05.20; опубл. 22.06.20.

41 Планирование стратегии ремонтов канатной системы мобильного канатного комплекса : свид-во о регистрации программы для ЭВМ / Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» – № 2020664273; заявл. 11.11.20; опубл. 11.11.20.

42 Компонировка и силовой анализ технологического оборудования мобильного канатного комплекса: свид-во о регистрации программы для ЭВМ / Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А., Перминова Д.И.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» – № 2021614929; заявл. 23.03.21; опубл. 31.03.21.

43 Компонировка и расчет комбинированного механизма подъема и фиксации концевой опоры мобильного канатного комплекса: свид-во о регистрации программы для ЭВМ / Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» – № 2021617351; заявл. 27.04.21; опубл. 13.05.21.

44 Компонировка и анализ штангового механизма подъема и фиксации концевой опоры мобильного канатного комплекса: свид-во о регистрации программы для ЭВМ / Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» – № 2021617498; заявл. 27.04.21; опубл. 14.05.21.

45 Синтез оптимального закона частотно-дрессельного регулирования гидропривода мобильного канатного комплекса: свид-во о регистрации программы для ЭВМ / Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» – № 2021660927; заявл. 28.06.21; опубл. 05.07.21.

46 Моделирование надежности гидрофицированной мобильной канатной дороги на базе самоходных шасси: свид-во о регистрации программы для ЭВМ / Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А.; заявитель и правообладатель ФГБОУ

ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» – № 2021661113; 28.06.21; опубл. 06.07.21.

**д) монографии**

47 Короткий, А.А. Транспортно-логистические технологии и машины для цифровой урбанизированной среды: монография / А.А. Короткий, А.В. Лагерев, Б.Ч. Месхи, И.А. Лагерев, А.В. Панфилов, В.И. Таричко; Под общ. ред. А.В. Лагерева. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. – 268 с.

48 Лагерев, А.В. Конструкции и основы проектирования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов: монография / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, В.И. Таричко. – Брянск: РИСО БГУ, 2020. – 207 с.

49 Лагерев, И.А. Моделирование рабочих процессов мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов: монография / И.А. Лагерев, В.И. Таричко, А.В. Лагерев. – Брянск: РИСО БГУ, 2021. – 202 с.

50 Лагерев, А.В. Надежность и безопасность эксплуатации мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов: монография / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, В.И. Таричко. – Брянск: РИСО БГУ, 2022. – 207 с.

**е) в других изданиях и материалах конференций**

51 Обозов, А.А. Математическое имитационное моделирование рабочего процесса автомобильного ДВС в целях получения диагностической информации / А.А. Обозов, В.И. Таричко // Информационные технологии, энергетика и экономика: Сб. тр. X Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов; В 3 т. – Смоленск, 2013. – Т. 1. – С. 270–273.

52 Таричко, В.И. К вопросу о динамической нагруженности несущих конструкций специальных колесных шасси / В.И. Таричко, П.И. Шалупина // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2019. – № 4. – С. 73–83.

53 Таричко, В.И. Комплексная математическая модель для исследования рабочих процессов мобильных канатных дорог / В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Сборник материалов XII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – С. 770–774.

54 Таричко, В.И. Концепция создания мобильных канатных дорог на базе специальных колесных шасси / В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие подъемно-транспортной техники». – Брянск: БГТУ, 2019. – С. 84–87.

55 Таричко, В.И. Анализ подходов к моделированию динамики механических передач транспортных машин / В.И. Таричко // Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях». – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 261–265.

56 Таричко, В.И. Классификация подвесных канатных дорог с целью построения математических моделей / В.И. Таричко // Сборник материалов Международной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности». – Могилев: БРУ, 2019. – С. 107.

57 Таричко, В.И. Сравнительный анализ силы натяжения каната мобильных канатных дорог различного исполнения / В.И. Таричко // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта». – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – С. 148–150.

58 Таричко, В.И. Компьютерное моделирование нагруженности канатной системы мобильной канатной дороги / В.И. Таричко, И.А. Лагереv // Ученые записки Брянского государственного университета. – 2020. – №1. – С. 11–15.

59 Таричко, В.И. Создание цифрового двойника мобильной канатной дороги / В.И. Таричко // Ученые записки Брянского государственного университета. – 2020. – №2. – С. 28–32.

60 Лагереv, И.А. Методика создания и применения цифрового двойника мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса / И.А. Лагереv, В.И. Таричко, А.В. Панфилов // Advanced Engineering Research. – 2020. – Т. 20. – №3. – С. 243–251.

61 Таричко, В.И. Структура системы внеуличного городского пассажирского канатного транспорта / В.И. Таричко, И.А. Лагереv // Сборник материалов Междунар. научн.-техн. конф. «Материалы, технологии и ресурсосберегающие технологии» – Могилев: БРУ, 2020. – С. 188–189.

62 Лагереv, А.В. Моделирование гидродинамических и кинематических процессов при работе мобильного грузового комплекса / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv, В.И. Таричко // Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020». – С.-Пб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2020. – С. 349–353.

63 Таричко, В.И. Моделирование динамики гидромеханической трансмиссии мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса / В.И. Таричко // Сборник материалов 24-й московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы». – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – С. 159–162.

64 Таричко, В.И. Моделирование динамики зубчатой передачи при наличии люфта / В.И. Таричко // Сборник материалов XI Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых»: в 3 ч. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2020. Ч. 1. – С. 103–105.

65 Таричко, В.И. Расчет нагрузок на выходной вал гидромотора подвешенной канатной дороги / В.И. Таричко // Научному прогрессу – творчество молодых: сб. научн. тр. Международ. молодежной научн. конф.: в 2 ч. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2020. – Ч. 1. – С. 106–108.

66 Лагереv, А.В. Моделирование изменения показателей надежности механизма движения канатной системы мобильного канатного комплекса / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv, В.И. Таричко // Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг». – Челябинск:



ЮУрГУ, 2020. – С. 175–180.

67 Таричко, В.И. Сравнение вариантов размещения оборудования мобильного канатного комплекса на шасси грузового автомобиля / В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства». – Тюмень: ТИУ, 2020. – С. 240–244.

68 Таричко, В.И. Моделирование рабочих процессов канатных транспортных систем нового поколения / В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Сборник материалов XIII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – Т. 2. – С. 59–62.

69 Таричко, В.И. К вопросу об оптимизации элементов направляющего аппарата подвески специальных колесных шасси / В.И. Таричко, П.И. Шалупина, Ю.В. Рагулина // Сборник материалов XIII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – Т. 2. – С. 62–65.

70 Таричко, В.И. К вопросу об оценке поперечной статической устойчивости специальных колесных шасси / В.И. Таричко, П.И. Шалупина, Ю.В. Рагулина // Сборник материалов XIII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – Т. 2. – С. 66–69.

71 Таричко, В.И. Концепция применения ленточных конвейеров для загрузки мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов / В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие подъемно-транспортной техники». – Брянск: БГТУ, 2020. – С. 84–87.

72 Таричко, В.И. Удаленная диагностика канатной транспортной системы с использованием нейросетей / В.И. Таричко, А.А. Черных // Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях». – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 381–384.

73 Лагерев, И.А. Разработка научных основ исследования и проектирования многоцелевых канатных систем нового поколения / И.А. Лагерев, В.И. Таричко // Сборник материалов Национальной научно-практической конференции с международным участием «Университет на пути к новому качеству науки и образования». – Брянск: РИСО БГУ, 2020. – С. 461–465.

74 Таричко, В.И. Удаленная диагностика мобильной канатной дороги с использованием цифрового двойника / В.И. Таричко, И.А. Лагерев // Сборник материалов Национальной научно-практической конференции с международным участием «Университет на пути к новому качеству науки и образования». – Брянск: РИСО БГУ, 2020. – С. 473–477.

75 Таричко, В.И. Создание канатных транспортных систем нового поколения / В.И. Таричко // Сборник материалов XXV Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения». – Новокузнецк: СибГИУ, 2021. – Ч. I. – С. 113–117.

76 Таричко, В.И. Нагруженность несущей конструкции базовой станции мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса / В.И. Таричко, И.А. Лагереv // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие подъемно-транспортной техники». – Брянск: БГТУ, 2021. – С. 137–140.

77 Лагереv, И.А. Компоновка оборудования мобильной канатной дороги на базе колесного шасси / И.А. Лагереv, В.И. Таричко // Сборник материалов XXV Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы». – М: РУТ, 2021. – С. 73–75.

78 Таричко, В.И. Создание базовых станций мобильных канатных дорог / В.И. Таричко // Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях». – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 250–255.

79 Таричко, В.И. Конструктивные варианты расположения концевой опоры мобильного канатного транспортно-перегрузочного комплекса / В.И. Таричко // Научному прогрессу – творчество молодых: сб. научн. тр. Международ. молодежной научн. конф.: в 2 ч. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2021. – Ч. 1. – С. 109–111.

80 Лагереv, И.А. Проектирование канатных дорог нового поколения / И.А. Лагереv, В.И. Таричко // Сборник материалов XXI международной научно-практической конференции «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов». – Чита: ЗабГУ, 2021. – С. 168–174.

81 Tarichko V.I. General principles of creating mobile cable cars based on self-propelled wheeled chassis / V.I. Tarichko // Congress book of the 1 International Marmara Scientific Research and Innovation Congress. – Istanbul, Türkiye, 2021. – P. 704.

82 Лагереv, И.А. Моделирование раскачивания мобильных кранов-манипуляторов с анкерными аутригерами при работе на слабонесущих грунтах / И.А. Лагереv, А.В. Лагереv, В.И. Таричко // // Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2021». – С.-Пб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. – С. 213–217.

83 Таричко, В.И. Применение цифровых двойников и цифровых теней на различных этапах жизненного цикла мобильных канатных дорог / В.И. Таричко, И.А. Лагереv // Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях». – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 246–249.

84 Таричко, В.И. Исследование рабочих процессов мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов / Таричко В.И., Лагереv И.А. // Сборник материалов XXVI Международной научно-технической конференции «ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2022». – Ярославль: ЯГТУ. – 2022. – С. 78–82.

85 Tarichko, V.I. Functional capabilities and areas of effective application of single-span mobile ropeways based on self-propelled wheeled chassis / V.I. Tarichko, A.V. Lagerev // Congress book of the 9 International Zeugma Conference on Scientific Research. Gaziantep, Türkiye, February 19-21, 2023. P. 239, 264.

**Таричко Вадим Игоревич**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ  
РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ОДНОПРОЛЕТНЫХ МОБИЛЬНЫХ  
КАНАТНЫХ ДОРОГ НА БАЗЕ САМОХОДНЫХ  
ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ  
КАНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

2.5.2. Машиноведение (технические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

---

Подписано в печать «11» марта 2024 г. Изд. № \_\_\_\_\_ Формат 60x84/16

Заказ № \_\_\_\_\_ Объем 2,75 усл. п.л. Тираж 100 экз.

---

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9