

УДК (UDC) 608.4

**РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БРЯНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА В 2021 ГОДУ В СФЕРЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В
МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ КАНАТНЫХ КОМПЛЕКСАХ****THE RESULTS OF SCIENTIFIC RESEARCH OF BRYANSK STATE UNIVERSITY
IN 2021 IN THE FIELD OF DESIGN AND MODELING OF WORK PROCESSES IN
MOBILE TRANSPORT AND OVERLOADING ROPE COMPLEXES**Степченко Т.А., Бабич О.В.
Stepchenko T.A., Babich O.V.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. Представлены результаты научно-исследовательской деятельности ученых Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского в области разработки перспективных отечественных образцов конструкций мобильных транспортно-перегрузочных канатных систем и дорог на базе самоходных колесных шасси высокой грузоподъемности и проходимости и создания научно обоснованных методов их проектирования и компьютерного моделирования рабочих процессов при эксплуатации. Дано описание и анализ эффективности новых технических решений мобильных пассажирских и грузовых подвесных канатных дорог.

Ключевые слова: мобильные канатные дороги, мобильные канатные комплексы, моделирование, проектирование, оптимизация.

Дата принятия к публикации: 20.01.2022
Дата публикации: 25.03.2022

Сведения об авторах:

Степченко Татьяна Александровна – доктор педагогических наук, профессор, проректор по научной работе и международным связям ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: ta-step2007@yandex.ru.

Бабич Оксана Викторовна – доктор экономических наук, доцент, директор НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: babichoksana221@mail.ru.
ORCID: 0000-0003-1954-1475

Abstract. The results of scientific research activities of scientists of the Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University in the development of promising domestic samples of designs of mobile transport and overloading rope systems and ropeways based on self-propelled wheeled chassis of high carrying capacity and cross-country ability and the creation of scientifically substantiated methods for their design and computer simulation of work processes during operation. The description and analysis of the effectiveness of new technical solutions of mobile passenger and cargo aerial ropeways are given.

Keywords: mobile ropeways, self-propelled wheeled chassis, modeling, design, optimization.

Date of acceptance for publication: 20.01.2022
Date of publication: 25.03.2022

Authors' information:

Tatyana A. Stepchenko - Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Vice rector for research and international relations, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *e-mail:* ta-step2007@yandex.ru.

Oksana V. Babich - Doctor of Economical Sciences, Assistant Professor, Director of Research Institute of Fundamental and Applied Research, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University,
e-mail: babichoksana221@mail.ru.
ORCID: 0000-0003-1954-1475

1. Введение

В 2021 году учеными Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского были продолжены многолетние научные исследования в приоритет-

ном направлении – в области разработки перспективных отечественных образцов конструкций мобильных транспортно-перегрузочных канатных систем и комплексов, других мобильных наземных грузоподъемных средств, обладающих высокими показателя-

ми производительности, надежности, экономичности, безопасности и экологичности, а также в области создания научно обоснованных методов их проектирования и компьютерного моделирования рабочих процессов при дальнейшей эксплуатации. Указанные исследования проводились в соответствии с планами развития научной деятельности университета [1] и научно-исследовательской лаборатории «Транспортно-логистические роботизированные технологии и комплексы безопасной урбанизированной среды» [2] при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук (проект № МД-422.2020.8).

В настоящее время мобильные транспортно-перегрузочные канатные системы и комплексы рассматриваются в качестве перспективного вида подъемно-транспортной техники [3]. Такое внимание к данному типу транспортного оборудования обусловлено тем, что мобильные канатные комплексы, с помощью которых возможно оперативное формирование мобильных подвесных канатных дорог, обеспечивают проведение погрузочно-разгрузочных, транспортных и перегрузочно-переправочных операций в заранее не обустроенных или труднодоступных местностях со сложным профилем рельефа. Высокая мобильность данного типа грузových канатных транспортных систем, которая разительно отличает их от традиционных наземных средств, объясняется их размещением на специальных многоосных специальных колесных или гусеничных шасси высокой грузоподъемности и проходимости.

Следует также отметить, что такие мобильные канатные дороги имеют хорошие перспективы для их использования при проведении спасательных и восстановительных работ в процессе ликвидации разрушительных последствий природных и техногенных катастроф. Наличие критических разрушений жилых и производственных зданий и наземной транспортной системы резко усложняет использование традиционных транспортных средств, ориентированных на наземное размещение. Канатные дороги лишены указанного недостатка, так как ис-

пользуют принцип надземного перемещения грузов по кратчайшему пути без ограничения со стороны уцелевшей наземной застройки и образовавшихся завалов. Расположение необходимого технологического оборудования и канатной системы на самоходных установках высокой проходимости и грузоподъемности позволяет им автономно перемещаться к местам катастроф и быстро включаться в работу. Кроме того, повышенная мобильность позволяет при необходимости достаточно быстро менять расположение трассы канатной дороги по мере ликвидации последствий катастрофы [4].

В области разработки перспективных отечественных образцов конструкций мобильных транспортно-перегрузочных канатных систем и комплексов, других мобильных наземных грузоподъемных средств фундаментальные и прикладные исследования ученых БГУ им. акад. И.Г. Петровского, позволяющие дать научно обоснованные технико-экономические и технологические решения при проектировании и эксплуатации подобного типа машин, занимают лидирующие позиции [5, 6].

Новым перспективным направлением исследований специалистов НИЛ «Транспортно-логистические роботизированные технологии и комплексы безопасной урбанизированной среды», которое планируется развивать в ближайшие годы, будет являться разработка цифровых двойников мобильных транспортно-перегрузочных канатных систем и комплексов. Указанные исследования были поддержаны Российским научным фондом в конкурсе 2021 году (проект № 22-29-00798 «Создание научных основ разработки цифровых двойников мобильных канатных транспортно-перегрузочных систем для работы в зонах чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера»). Работы в этом направлении были начаты еще в предыдущие годы [7] и выполнялись также в 2021 году [8, 9].

Результаты выполненных в 2021 году исследований ученых БГУ имени академика И.Г. Петровского были обобщены в монографии [10] и учебном пособии [11]. Представленные в [10] результаты оригинальных

исследований в сфере компьютерного моделирования ряда рабочих процессов, протекающих при эксплуатации мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов на базе автономных самоходных колесных шасси высокой грузоподъемности и проходимости, являются логическим продолжением исследований авторского коллектива, ранее изложенных в монографии [12]. Были рассмотрены вопросы построения математических моделей и их компьютерной реализации применительно к анализу гидродинамических процессов в гидроприводе несущих канатных систем, а также анализ напряженно-деформированного состояния ответственных элементов металлоконструкции самоходных шасси. Для реализации задач компьютерного моделирования исследованных рабочих процессов были созданы и защищены как объекты интеллектуальной деятельности, правообладателем которых является БГУ им. акад. И.Г. Петровского, вычислительные программы для ЭВМ [13-17].

Исследования в области мобильных канатных транспортно-логистических технологий на базе самоходных колесных шасси высокой грузоподъемности и проходимости, успешно проводимые в Брянском государственном университете имени академика И.Г. Петровского, представляют интерес как для отечественных, так и зарубежных ученых и специалистов производства. Это подтверждается публикацией результатов рассмотренных выше исследований в иностранных научных журналах, индексируемых в авторитетных наукометрических базах Scopus и Web of Science [18 - 23]. В целях повышения доступности и качества зарубежных публикаций также были проанализированы возможные меры по согласованию русскоязычных и англоязычных текстов, корректному использованию необходимой научно-технической терминологии [24].

Далее более подробно рассмотрены публикации, содержащие обладающие научной новизной и практической значимостью результаты выполненных в 2021 году научных исследований, по основным направлениям деятельности в области мобильных канатных транспортных и грузоподъемных машин.

2. Проектирование основного технологического оборудования и базовых самоходных шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов

Одной из задач, решаемых на стадии проектирования мобильных канатных комплексов, является разработка новых вариантов конструктивного исполнения основного технологического оборудования и его размещения на несущей раме базовых самоходных шасси. Было предложено несколько таких вариантов, на которые БГУ имени академика И.Г. Петровского получены патенты Российской Федерации [25 - 27]. Возможно также размещение основного технологического оборудования не на раме шасси, а на тяжелых буксируемых прицепах или полуприцепах [28].

Предложенная в [25] самоходная концевая станция содержит концевую опору с расположенным на ней канатным шкивом с приводным и натяжным механизмами, огибающий канатный шкив движущийся замкнутый натянутый несущий канат с прицепными устройствами для подвески транспортируемых грузов и механизм перевода концевой опоры из транспортного положения в рабочее положение (рис. 1, а). Концевая опора и анкерные устройства закреплены на опорной пластине Z-образной поворотной платформы, имеющей возможность поворота в продольной вертикальной плоскости мобильного шасси относительно установленного в концевой части несущей рамы цилиндрического шарнира, продольная ось которого перпендикулярна продольной оси мобильного шасси, а концевая опора имеет возможность поворота в вертикальной плоскости относительно опорной пластины. Такая конструкция позволяет разгрузить надрамную конструкцию и несущую раму от воздействия значительных по величине опорных реакций, возникающих в узле крепления концевой опоры в процессе эксплуатации, и снизить вследствие этого ее металлоемкость. Это также повышает эксплуатационную надежность несущей рамы.

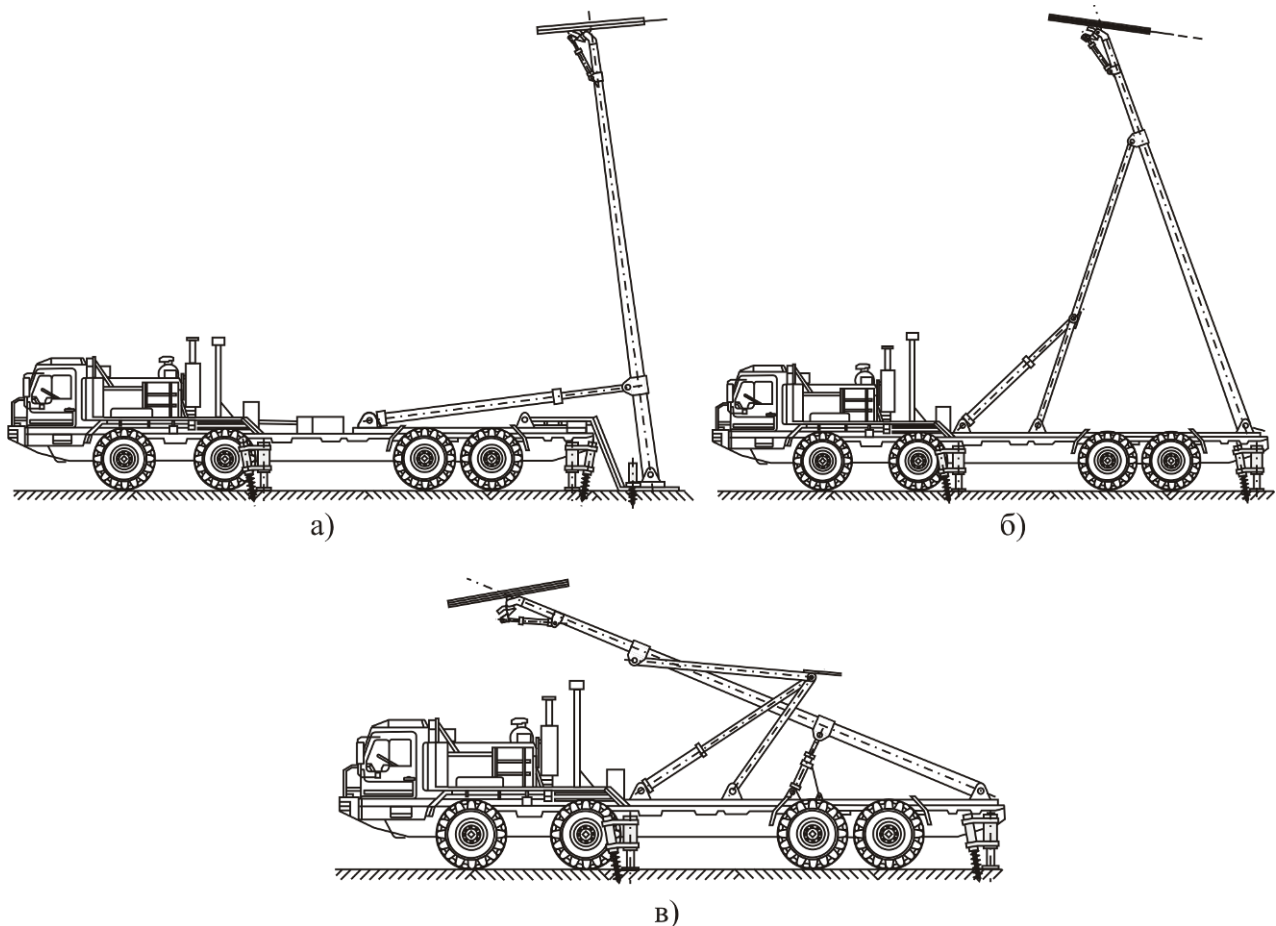


Рис. 1. Новые конструктивные варианты размещения основного технологического оборудования подвесных канатных дорог на несущей раме базового колесного шасси: а – вариант размещения концевой опоры на поворотной платформе [25]; б – вариант установки концевой опоры с помощью шарнирно-сочлененной складывающейся штанги [26]; в – вариант установки концевой опоры в два этапа с помощью дополнительного гидроцилиндра [27]

В конструкции самоходной концевой станции, предложенной в [26], концевая опора удерживается в рабочем положении складывающейся штангой, которая одним своим концом крепится к концевой опоре, другим – к надрамной конструкции мобильного шасси (рис. 1, б). Штанга состоит из двух соединенных цилиндрическим шарниром стержней разной длины, имеющих возможность относительного поворота в вертикальной плоскости, причем цилиндрический шарнир закреплен на конце штока гидроцилиндра для подъема концевой опоры, совершающего возвратно-поступательное перемещение. Такая конструкция позволяет снизить массо-габаритные характеристики подъемного гидроцилиндра за счет уменьшения его необходимой длины и хода штока,

а также освободить подъемный гидроцилиндр от дополнительной функции по удержанию концевой опоры в требуемом рабочем положении в процессе эксплуатации мобильной канатной дороги.

В конструкции самоходной концевой станции, предложенной в [27], в состав механизма подъема концевой опоры в виде шарнирно сочлененной складывающейся штанги дополнительно включен вспомогательный гидроцилиндр предварительного подъема концевой опоры (рис. 1, в). Такое техническое решение позволяет снизить массо-габаритные характеристики основного подъемного гидроцилиндра и потребную мощность насоса гидросистемы за счет установки вспомогательного гидроцилиндра предварительного подъема концевой опоры

из исходного транспортного положения, а также за счет снижения нагруженности несущей рамы самоходного мобильного шасси в процессе установки концевой опоры в рабочее положение вследствие снижения максимального усилия на штоке основного подъемного гидроцилиндра и, следовательно, снижения величины опорных реакций и напряжений, возникающих в металлоконструкции несущей рамы шасси.

Проектный анализ условий размещения концевых опор, конструкция которых была разработана в патентах [25 - 27], содержится в работах [29 - 32]. Разработанные в этих исследованиях математические модели компоновки основного технологического оборудования на несущем шасси самоходных колесных шасси реализованы в компьютерных программах [13 - 17], на которые в Роспатенте России получены свидетельства о государственной регистрации.

В [30] представлена классификация самоходных концевых станций мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов на основе ряда базовых конструктивных признаков. В их число были включены такие признаки, как расположение ключевого элемента основного технологического оборудования – концевой опоры канатной системы – на колесном шасси и типа ее фиксации в рабочем положении во время эксплуатации мобильной канатной дороги. В качестве перспективных вариантов конструктивного исполнения мобильных транспортно-технологических канатных комплексов были рассмотрены новые [25 - 27] и ранее предложенный [33] варианты с концевым, центральным и выносным расположением концевой опоры, с гидравлическим, канатным, канатно-гидравлическим и штанговыми типами фиксации концевой опоры в рабочем положении, с установкой концевой опоры в рабочее положение непосредственно подъемным гидроцилиндром, с помощью складывающейся штанги и двухэтапным подъемом [12]. Дано краткое описание конструкций и принципа работы большого числа модификаций самоходных концевых станций различных перечисленных вариантов конструктивного исполнения мобильных

канатных комплексов при подготовке их к эксплуатации и во время самой эксплуатации. На основе проведенного сравнительного анализа рассмотренных вариантов мобильных канатных комплексов, исходя из учета их основных конструктивных и технико-экономических характеристик, были сформулированы как преимущества, так и недостатки разных вариантов конструктивного исполнения.

Важной задачей, которую необходимо решить при компоновке технологического оборудования, в первую очередь, концевой опоры для любого варианта конструктивного исполнения мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса, является обеспечение в транспортном положении соблюдение нормативного габарита приближения по высоте с целью безопасного проезда под мостовыми сооружениями и путепроводами при движении самоходного шасси по автомобильным дорогам общего пользования к месту дислокации. Нормативный габарит обеспечивается, если вертикальная координата наиболее высокой точки основного технологического оборудования на базовом шасси в транспортном положении (вертикальный габарит) H_{mc} не превышает нормативный габарит приближения по высоте с учетом требуемых зазоров $[H] = 4$ м (регламентируется ГОСТ Р 52748-2007).

В работах [29, 32] рассмотрены вопросы компоновки механизма установки и фиксации концевой опоры с помощью складывающейся штанги, состоящей из двух шарнирно-сочлененных звеньев. В [32] рассмотрен вариант конструктивного исполнения, предусматривающий концевую установку концевой опоры на несущей раме самоходного шасси (рис. 1, б). В [29] рассмотрен альтернативный вариант конструктивного исполнения, предусматривающий установку концевой опоры на поворотной платформе, шарнирно закрепленной на несущей раме самоходного шасси (рис. 2). Для обоих вариантов дано описание соответствующих математических моделей, обеспечивающих требуемый нормативный вертикальный габарит самоходной базовой станции мобильной канатной дороги с целью ее безопасного

самостоятельного перемещения к месту развешивания канатной дороги по автомобильным дорогам общего назначения. Анализ разработанных математических моделей позволил доказать возможность разработки такой компоновки оборудования базовой станции в транспортном положении, которая бы позволяла ее самостоятельное перемещение по автомобильным дорогам общего назначения, причем при этом концевая опора имеет практически значимую длину. Например, 6-осные самоходные шасси могут укомплектовываться концевыми опорами длиной порядка 18 м, что позволяет в рабочем положении концевой опоры поднимать канатный шкив на высоту порядка 20 м, обеспечивая возможность транспортирования грузов на значительное расстояние исходя из естественного провисания несущего каната под нагрузкой и собственным погонным весом и разности высотных отметок установки сопряженных концевых базовых станций. Максимально возможная длина концевой опоры не зависит от конструктивных размеров верхней и нижней частей складывающейся штанги и ее присоединительных размеров, а лимитируется, главным образом, продольной длиной самоходного шасси. Таким образом, использование шасси с большим количеством осей позволяет устанавливать на них более высокие концевые опоры при использовании шарнирно-сочлененных штанг одинаковых размеров.

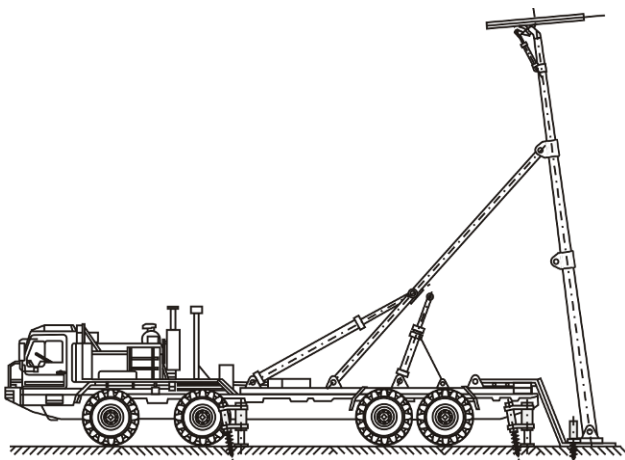


Рис. 2. Конструктивный вариант размещения основного технологического оборудования подвесных канатных дорог на несущей раме базового колесного шасси [29]

В [22] представлен анализ варианта кинематической схемы механизма перемещения концевой опоры для поддержки ведущего канатного шкива с несущим канатом при ее размещении в центральной части многоосного колесного шасси высокой грузоподъемности и проходимости. Механизм обеспечивает подъем концевой опоры из транспортного положения в рабочее положение и ее последующую гидравлическую фиксацию в рабочем положении во время эксплуатации мобильной канатной дороги. Рассмотрены особенности компоновки основного технологического оборудования на базовом самоходном шасси. Разработаны математические модели, обеспечивающие проведение кинематического и силового анализа кинематической схемы гидравлического механизма установки и фиксации концевой опоры. Выполнен анализ влияния основных конструктивных размеров указанного механизма на габариты мобильного канатного комплекса в транспортном положении, а также на силовые факторы, возникающие в процессе эксплуатации канатной системы. Определены условия расположения и длины приводного гидроцилиндра концевой опоры для обеспечения ее необходимого перемещения, выявлено наличие значительной зоны недопустимого расположения шарнирного узла крепления штока гидроцилиндра к металлоконструкции концевой опоры.

Важной задачей, решаемой на стадии проектирования мобильных канатных комплексов, является оценка технических и технологических возможностей выпускаемых отечественной автомобильной промышленностью специальных самоходных колесных шасси высокой грузоподъемности и проходимости для их использования в качестве базовых концевых станций мобильных канатных дорог, а также обоснование необходимости и возможности модернизации существующих конструкций шасси. Результаты исследований, посвященных этой проблеме, представлены в [10, 34 - 36].

В [35] представлены результаты разработки трансмиссии специального колесного шасси повышенной грузоподъемности и

проходимости для обслуживания энергетических потребностей при эксплуатации основного технологического оборудования мобильных канатных дорог. Опыт создания и модернизации транспортно-технологических машин различного назначения показывает, что для эффективного выполнения ими производственных задач необходимо наличие отбора мощности от штатного ходового двигателя шасси как для привода механического навесного оборудования, так и привода насосов гидравлических приводов [37, 38]. При этом энергетический модуль должен быть оснащен рациональной и надежной системой отбора мощности от двигателя на привод навесного оборудования [38]. Проведенный анализ предложений на рынке показал, что от штатного ходового двигателя грузового автомобиля возможен отбор до 40% номинальной мощности, что не достаточно для тяжелых и сверхтяжелых мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Например, мощность привода канатной дороги производительностью 400 т/ч равна 220 кВт, что составляет 75% мощности двигателя грузового автомобиля КамАЗ-740, 95% – КамАЗ-43114 или 64% – шестиосного колесного шасси БА3-69099. Для решения этой проблемы необходимо устанавливать дополнительный двигатель. Однако условия компоновки [39] мачтового оборудования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов не предполагают размещение дополнительных двигателей. В этом случае требуется обеспечение большего отбора мощности от штатного ходового двигателя. Для решения этой технической задачи была разработана схема трансмиссии, обеспечивающая повышенный отбор мощности от штатного двигателя внутреннего сгорания самоходного шасси пожарно-спасательного автомобиля [40]. Данная трансмиссия также способно обеспечивать необходимые энергетические потребности основного технологического оборудования мобильных канатных дорог. Структурная схема трансмиссии показана на рис. 3. В [35] представлена математическая модель для исследования динамических рабочих процессов в данной трансмиссии.

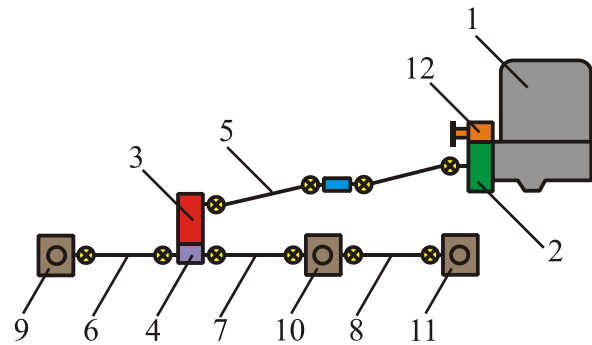


Рис. 3. Структурная схема трансмиссии [40]:
1 - двигатель; 2 - гидротрансформатор;
3 - коробка передач; 4 - раздаточная коробка;
5 - карданная передача с промежуточной опорой; 6, 7, 8 - карданные валы; 9 - редуктор переднего моста; 10, 11 - редукторы заднего моста; 12 - коробка отбора мощности

В ряде работ, сводное описание которых содержится в монографии [10], были проведены исследования напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженных и ответственных несущих металлоконструкций многоосных колесных самоходных шасси и буксируемых прицепов отечественного производства, перспективных для использования в качестве базовых концевых станций мобильных канатных дорог. Были выполнены исследования нагруженности, прочности и деформативности таких конструктивных элементов, как несущие рамы колесного многоосного шасси [34] и полуприцепа, узел крепления кабины водителя [36], водоотражающий щит плавающего колесного шасси, тягово-сцепное устройство для буксирования тяжелого прицепа, тягово-седельное устройство для буксирования полуприцепа. В этих исследованиях использовались вычислительные комплексы [41, 42], обеспечивающие проведение прочностных конечноэлементных расчетов с высокой степенью детализации особенностей конструктивного исполнения деталей и узлов. Для каждого расчетного конструктивного элемента на основе геометрической модели разрабатывались соответствующие расчетные конечноэлементные модели. Геометрия листовых тел аппроксимировалась плоскими оболочечными трех- и четырехузловыми конечными элементами, учитывающими толщину металла в каждом узле, твердых тел – объемными тет-

раздральными четырехузловыми конечными элементами. Соединение листовых элементов между собой выполнялось посредством специального инструмента моделирования «сшивка», при использовании которого грани «сшиваются» между собой в единое тело по совпадающим ребрам. При этом в дальнейшем образуется сплошная согласованная конечноэлементная сетка. Массы установленных узлов и агрегатов принимались согласно весовой ведомости на шасси и учитывались в конечноэлементной модели в виде точечных масс, расположенных в их центрах тяжести и связанных с местами крепления специальными интерполяционными конечными элементами распределения массовых нагрузок. Дополнительно для корректной передачи усилий между элементами конструкции в некоторых частях модели применялись специальные объекты моделирования типа «склейка», которые технически были реализованы в виде абсолютно жестких соединений. Соединение некоторых конструктивных элементов осуществлялось при помощи болтовых соединений. В связи с этим, в расчетных моделях были реализованы упрощенные модели болтовых соединений, представляющие собой набор одномерных элементов. Тело болта моделировалось балочным элементом, имеющим геометрические размеры и свойства материала болта, а взаимодействие шляпки/гайки к конструкцией – элементами связи, что обеспечивало корректную силовую схему в области болтового соединения. Построенные таким образом расчетные конечноэлементные модели имели большую размерность: количество узлов сетки конечных элементов достигало до 270 000 узлов, количество конечных элементов – до 330 000 [10].

3. Моделирование рабочих процессов при эксплуатации технологического оборудования и базовых самоходных шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов

Моделирование рабочих процессов являлось еще одним основным направлением деятельности ученых БГУ имени академика

И.Г. Петровского в 2021 году в области мобильных канатных транспортных систем.

Продолжались исследования, посвященные моделированию гидродинамических процессов в насосной гидросистеме механизмов движения и натяжения тягово-несущего каната, а также механизмов перевода из транспортного в рабочее положение, фиксации в рабочем положении и пространственной ориентации поддерживающих конструкций канатной системы мобильной канатной дороги [10, 20]. Учитывая, что в качестве приводного двигателя для работы объемных насосов гидросистемы удобно использовать штатные двигатели внутреннего сгорания самоходных шасси, ранее в [38, 43] была обоснована целесообразность применения комбинированного частотно-дроссельного способа регулирования скорости движения несущего-тягового каната. Этот способ предусматривает возможность изменения частоты вращения выходного вала нерегулируемого насоса путем изменения частоты вращения штатного двигателя самоходного шасси и гидродинамического воздействия на поток проходящей через гидромотор рабочей жидкости путем изменения проходного сечения регулируемых дросселей. Были исследованы возможные альтернативные варианты размещения регулируемых дросселей – установка одного дросселя параллельно гидромотору (рис. 4, а) и установка одного или двух дросселей последовательно с гидромотором (рис. 4, б) [20]. Моделирование гидродинамических процессов выполнялось на основе разработанного ранее в [44] подхода замены принципиальной гидравлической схемы гидропривода на структурно-функциональную схему с вычислением необходимых количественных параметров (давлений и расходов рабочей жидкости), определяющих протекание рабочих процессов в гидросистеме мобильных канатных дорог. Как показали тестовые расчеты конкретной мобильной канатной дороги, комбинированное частотно-дроссельное регулирование гидропривода позволяет достаточно эффективно и гибко управлять работой канатной системы, обеспечивая необходимые скоростные параметры движения несущего-тягового каната как на стадии разгона транс-

портируемого груза, так, что более важно, и на стадии торможения при подходе к конечной точке останова. Изменение частоты вращения выходного вала насоса нерегулируемого типа позволяет обеспечивать плавный останов даже без использования дополнительных внешних тормозных устройств. Для

возможности синтеза оптимального закона частотно-дрессельного регулирования гидропривода мобильных канатных комплексов была разработана и зарегистрирована в Роспатенте России вычислительная программа [37], правообладателем которой является БГУ имени академика И.Г. Петровского.

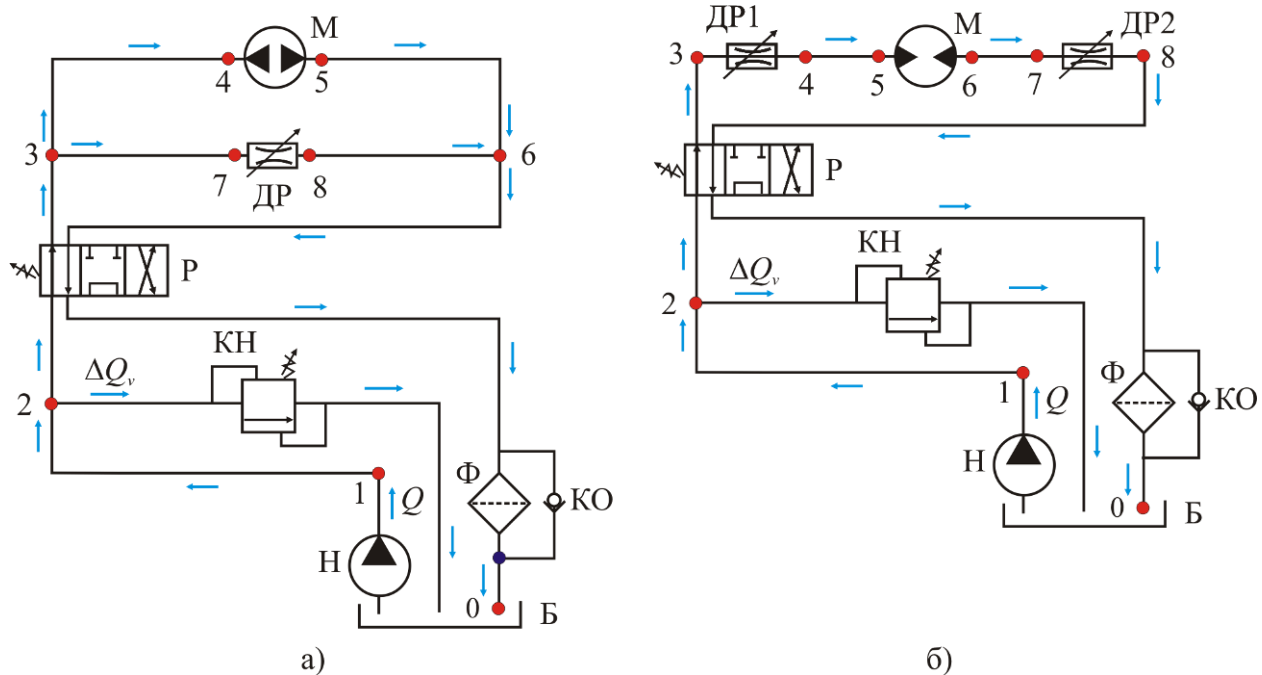


Рис. 4. Принципиальные гидравлические схемы механизма движения несущего каната: а – параллельная установка регулируемого дросселя; б – последовательная установка регулируемых дросселей

В 2021 году исследования были проведены в области компьютерного моделирования кинетики количественных показателей надежности основного технологического оборудования и канатной системы мобильных канатных дорог, формируемых с помощью двух сопряженных самоходных шасси [23], и разработки оптимальных стратегий их технического обслуживания и ремонта [19].

Предложенный в [23] подход позволяет прогнозировать кинетику количественных показателей надежности мобильных канатных дорог и обеспечивать требуемый уровень надежности на основе упреждающей замены во время плановых ремонтов тех структурных элементов, которые достигли предельно допустимого значения вероятности критического отказа. Данный подход целесообразно использовать на стадии проектирования самоходных канатных установок с целью прогно-

зирования надежности и проведения риск-анализа эксплуатации мобильных канатных дорог, образованных с помощью указанных установок. Компьютерное прогнозирование кинетики показателей надежности [17] позволяет решить ряд важных технико-экономических задач, связанных с дальнейшей эксплуатацией спроектированных машин и мобильных канатных дорог: оценить максимальное снижение вероятности безотказной работы в течение нормативного срока службы самоходных канатных установок при заданном графике проведения их плановых ремонтов; оценить влияние периодичности плановых ремонтов на снижение показателей надежности самоходных канатных установок и их отдельных подсистем с целью обеспечения требуемого уровня вероятности безотказной работы; оценить эффективность операций по периодической замене или восстано-

лению структурных элементов мобильной канатной дороги в целом и отдельных самоходных канатных установок; определить для каждого планового ремонта объем необходимых восстановительных работ и перечень подлежащих восстановлению структурных элементов, приводящих к критическим отказам; получить исходные данные для расчета и оптимизации технического риска эксплуатации мобильных канатных дорог в соответствии с известными подходами [46, 47]. Для моделирования надежности гидрофицированной мобильной канатной дороги на базе самоходных шасси была разработана и зарегистрирована в Роспатенте России вычислительная программа [17], правообладателем которой является БГУ имени академика И.Г. Петровского.

В [19] рассматривается разработка метода формирования эффективной технико-экономической стратегии восстановления во время плановых ремонтов тех конструктивных элементов самоходных транспортных установок, которые могут приводить к критическим отказам канатной дороги. Метод включает прогнозирование кинетики вероятности безотказной работы канатной дороги в течение всего срока ее эксплуатации на основе прогнозирования безотказной работы ключевых структурных элементов транспортных установок, отказ которых приводит к аварийному нарушению работы канатной дороги. В процессе интегрирования системы дифференциальных уравнений Чепмена-Колмогорова выполняется периодическое ее переформирование в моменты времени проведения плановых ремонтов, что позволяет учесть необходимость дискретного изменения вероятности безотказной работы восстанавливаемых конструктивных элементов. В качестве технико-экономического критерия оптимальности стратегии плановых ремонтов канатной дороги используется условие получения минимальной суммарной стоимости ремонтов в течение всего срока ее эксплуатации при обеспечении среднего значения вероятности безотказной работы, которое устанавливается в техническом задании на проектирование. Формирование такой оптимальной стратегии включает планирова-

ние графиков проведения, числа, моментов времени, объемов и стоимости плановых ремонтно-восстановительных мероприятий самоходных транспортных установок. Также представлены результаты расчета показателей оптимальной стратегии плановых ремонтов применительно к мобильной грузовой канатной дороге, формируемой на основе самоходных транспортных установок с расположением концевой опоры для высотного размещения необходимого технологического оборудования в концевой части несущей рамы шасси.

4. Исследования в области проектирования и эксплуатации стационарных пассажирских и грузовых канатных дорог

Актуальность исследований в области проектирования и эксплуатации стационарных пассажирских и грузовых подвесных канатных дорог определяется тем фактом, что канатные транспортные технологии в ближайшем будущем станут эффективной альтернативой обеспечения устойчивой жизнедеятельности социально-экономической и производственно-транспортной инфраструктуры сильно урбанизированных территорий и будут способствовать практической реализации интенсивно развиваемой в последние годы концепции «Умного города» [48, 49]. Одним из шести ключевых показателей, характеризующих понятие «умный город», является показатель «Умная мобильность». Согласно данным социологических опросов, этот показатель как приоритетный отмечают более 80 % исследователей в сфере урбанистики будущего [49]. Ключевой проблемой для развития общественного транспорта сильно урбанизированных территорий является значительный дефицит земли для прокладки новых многополосных магистралей. В таких условиях подвесные канатные дороги, технологическое оборудование которых базируется на использовании мехатронных модулей движения, имеют объективные перспективы для использования, так как относятся к внеуличному виду интеллектуальных транспортных систем и реализует частичный

перенос транспортных потоков в надземное пространство. Основными техническими и социальными преимуществами подвесных канатных дорог по сравнению с традиционными видами наземного общественного транспорта являются [48]: высокая средняя скорость перемещения пассажиров и четкая прогнозируемость времени поездки; отсутствие потерь времени на вынужденные простои и ожидание в пробках; отсутствие дорожно-транспортных происшествий; сохранение сложившейся в городе дорожно-уличной сети и инженерной инфраструктуры; использование электрической тяги, не оказывающей негативного влияния на окружающую среду, низкий уровень шума и вибраций, отсутствие вредных выбросов; минимальное землеотведение, отсутствие необходимости выкупа или отчуждения дорогостоящих земельных участков, сноса имеющихся зданий и сооружений под прокладку наземной трассы.

В [11, 18] разработана математическая модель и процедура ускоренной оптимизационной оценки базовых технических характеристик стационарной подвесной канатной дороги (шага и высоты промежуточных опор, усилия натяжения несущих канатов) на основе минимизации суммарной стоимости опорных конструкций и канатной системы с учетом необходимых конструктивных и прочностных ограничений. Процедура имеет повышенную вычислительную эффективность, так как базируется на использовании более простых математических методов, требует меньшего времени и вычислительных ресурсов для проведения необходимых оптимизационных расчетов, чем это было необходимо при решении ранее разработанных задач оптимизации [50, 51]. Снижение трудоемкости вычислений основано на том, что положение точки минимума целевой функции требуется искать вдоль линии одного из этих ограничений – ограничения на минимальное усилие натяжения несущих канатов. Это позволило предложить два пути снижения трудоемкости вычислений [18]: 1) снижение размерности задачи оптимизации; 2) замена поиска минимума целевой функции на решение нелинейного алгебраического уравнения. При

этом он позволяет получить точно такие же оптимальные значения основных технических характеристик подвесной канатной дороги, что и при решении разработанной ранее общей задачи технико-экономической оптимизации [50, 51], но с применением более простых математических методов. Предложенный метод целесообразно использовать на начальных стадиях разработки проекта подвесной канатной дороги. Он позволяет с минимальными затратами времени выполнить оценку оптимальных значений основных технических характеристик проектируемой канатной дороги для большого числа возможных сочетаний конструкций промежуточных опор, типов и размеров несущих канатов, стоимости технологического оборудования. Сравнительный анализ результатов этих расчетов обеспечивает выработку оптимально обоснованного проектного решения для последующего проектирования.

5. Исследования в области проектирования и эксплуатации мобильных грузоподъемных машин

Исследования в области проектирования и эксплуатации мобильных грузоподъемных машин проводились, главным образом, применительно к моделированию динамических процессов [52] и потери общей устойчивости на слабых грунтах при работе мобильных колесных кранов-манипуляторов [21, 45]. Также рассматривались актуальные вопросы применения диагностических карт при экспертизе промышленной безопасности мостовых кранов [53].

Мобильные гидравлические краны-манипуляторы на самоходных шасси широко используются для выполнения разнообразных погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ, что объясняется важными техническими достоинствами таких кранов – высокой мобильностью, универсальностью применения, возможностью работы на заранее не обустроенных площадках. Однако для них характерен такой существенный недостаток, как риск опрокидывания вследствие нарушения общей устойчивости шасси при манипулировании грузами

недопустимо большого веса или вследствие проседания грунта под одним или несколькими аутригерами [54]. Подобные аварии составляют приблизительно 45 % общего числа аварий мобильных кранов-манипуляторов и поэтому обеспечение общей устойчивости мобильных кранов имеет важное значение для повышения надежности и безопасности их эксплуатации [55]. Для исключения подобных аварий и повышения запаса устойчивости мобильных кранов используются аутригеры, обеспечивающие передачу весовых нагрузок на грунт рабочей площадки. При работе на слабых грунтах наблюдается неравномерное проседание аутригеров вследствие уплотнения грунта под действием нестационарных опорных реакций, что приводит к раскачиванию как самого крана в горизонтальной плоскости, так и к опасному раскачиванию груза. Эффективным способом улучшения функциональных характеристик аутригеров при работе мобильных кранов на слабых грунтах является их дополнительная анкеровка с помощью устройств винтового или прокалывающего типа. Известные подходы [56] к оценке влияния анкерных аутригеров на устойчивость мобильных кранов основаны на статическом представлении грунта в течение всего времени работы. Это не позволяет исследовать процесс взаимодействия анкерного устройства с грунтом во времени, включая стадию потери устойчивости крана, что важно при создании новых эффективных конструкций анкерных аутригеров. Поэтому в работах [21, 45] для повышения достоверности прогнозирования работы крана на слабых грунтах было предложено рассматривать динамику системы «груз – манипулятор – шасси – анкерный аутригер – грунт» в целом с учетом реологи-

ческих свойств грунтов разных типов. Построенная в результате математическая динамическая модель раскачивания мобильного крана-манипулятора в процессе работы, учитывающая эффекты взаимодействия анкерных аутригеров со слабым грунтом опорного основания, позволяет моделировать экспериментально выявленное постепенное уплотнение грунта в районе внедрения рабочего элемента анкерного устройства аутригера. Тестовые расчеты показали, что с увеличением в грунте зазоров между рабочим органом анкерного устройства и опорной поверхностью грунта возрастает скорость изменения угла наклона шасси и период раскачивания мобильной машины при работе крана-манипулятора. Поэтому для грунтов, характеризующихся многократным уплотнением, параметры раскачивания в течение начальной стадии работы крана постепенно возрастают до достижения ими некоторых установившихся значений, определяемых жесткостью грунта.

6. Заключение

В результате фундаментальных и прикладных исследований, проведенных в 2021 году учеными Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского в области мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов и стационарных подвесных канатных дорог получен и научно обоснован ряд новых технических решений образцов технологического оборудования транспортных канатных систем, а также разработаны математические модели и вычислительные средства для моделирования протекающих во время их эксплуатации различных рабочих процессов.

Список литературы

1. Научный сайт БГУ имени академика И.Г. Петровского. Режим доступа: <https://nauka-brgu.ru/> (дата обращения 12.12.2021).
2. Научно-исследовательская лаборатория транспортно-логистических роботизированных технологий и комплексов безопасной урбанизированной среды. Режим

References

1. *Scientific site of the BSU named after Academician I.G. Petrovskii* [site]. Available at: <http://nauka-brgu.ru/> (In Russian)
2. *Research laboratory of transport and logistics robotic technologies and complexes of a safe urbanized environment* [site]. Available at: <https://brgu.ru/science/general-information/nauchnye-podrazdeleniya/nil->

доступа: <https://brgu.ru/science/general-information/nauchnye-podrazdeleniya/nit-transportno-logisticheskie-robotizirovannye-tehnologii/> (дата обращения 12.12.2021).

3. Короткий А.А., Лагереv А.В., Месхи Б.Ч., Лагереv И.А., Панфилов А.В., Таричко В.И. Транспортно-логистические технологии и машины для цифровой урбанизированной среды. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. 268 с. DOI: 10.5281/zenodo.3551132.

4. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Prospects for the use of mobile ropeways in the elimination of the consequences of natural and man-made disasters // Proceedings of the 8th Congress on Scientific Researches and Recent Trends. Zambales, Philippines, August 2-4, 2021. P. 58.

5. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2019 году в сфере транспортно-логистических технологий и машин для урбанизированной среды // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 1. С. 120-135. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-120-135.

6. Степченко Т.А., Бабич О.В. Результаты научных исследований Брянского государственного университета в сфере мобильных транспортно-перегрузочных канатных систем и комплексов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 1. С. 9-29. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-01-09-29

7. Лагереv И.А., Таричко В.И., Панфилов А.В. Методика создания и применения цифрового двойника мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Advanced Engineering Research. 2020. Т. 20. №3. С. 243-251. DOI: 10.23947/2687-1653-2020-20-3-243-251.

8. Химич А.В., Толкачев Е.Н. Создание и использование цифровых двойников канатных транспортных систем // Сб. мат. XXV Московской междунар. межвуз. научно-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы». М: РУТ, 2021. С. 120-123.

9. Перминова Д.И. Создание натуральных и

transportno-logisticheskie-robotizirovannye-tehnologii-/ (In Russian)

3. Korotkiy A.A., Lagerev A.V., Meskhi B.Ch., Lagerev I.A., Panfilov A.V., Tarichko V.I. *Transportno-logisticheskie tekhnologii i mashiny dlya tsifrovoy urbanizirovannoy sredy* [Transport and logistics technologies and machines for the digital urban environment]. Rostov-on-Don, Don State Technical University, 2019. 268 p. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3551132>. (In Russian)

4. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Prospects for the use of mobile ropeways in the elimination of the consequences of natural and man-made disasters. In: Proceedings of the 8th Congress on Scientific Researches and Recent Trends. Zambales, Philippines, August 2-4, 2021. P. 58.

5. Stepchenko T.A., Babich O.V. The results of scientific research of the Bryansk State University in 2019 in the field of transport and logistics technologies and machines for the urban environment. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.1, pp. 120-135. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-120-135. (In Russian)

6. Stepchenko T.A., Babich O.V. Results of scientific research of Bryansk State University in the sphere of mobile transportation and handling rope systems and ropeways. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.1, pp. 9-29. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-01-09-29. (In Russian)

7. Lagerev I.A., Tarichko V.I., Panfilov A.V. Methods of creating and using a digital twin of a mobile transport and transshipment rope complex. *Advanced Engineering Research*, 2020, Vol.20, No.3, pp. 243-251. DOI: 10.23947/2687-1653-2020-20-3-243-251. (In Russian)

8. Khimich A.V., Tolkachev E.N. Sozдание i ispolzovanie tsifrovyykh dvoynikov kanatnykh transportnykh system. In: *Sb. mat. XXV Moskovskoy mezhdunar. mezhvuz. nauchno-tekhn. konf. studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh «Podemno-transportnye, stroitelnye, dorozhnye, putevye*

виртуальных макетов подъемно-транспортных машин // Сб. мат. Междунар. научно-техн. конф. «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях». Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. С. 201-205.

10. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И. Моделирование рабочих процессов мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2021. 204 с. DOI: 10.5281/zenodo.6044972

11. Лагерев А.В., Лагерев И.А. Оптимальное проектирование подъемно-транспортных машин. Москва: Издательство Юрайт, 2021. 293 с.

12. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И. Конструкции и основы проектирования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИО БГУ, 2020. 207 с.

13. Компонировка и силовой анализ технологического оборудования мобильного канатного комплекса / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, И.А. Лагерев, Перминова Д.И. Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021614929. Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 31.03.21.

14. Компонировка и расчет комбинированного механизма подъема и фиксации концевой опоры мобильного канатного комплекса / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, И.А. Лагерев. Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021617351. Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 13.05.21.

15. Компонировка и анализ штангового механизма подъема и фиксации концевой опоры мобильного канатного комплекса / А.В. Лагерев, В.И. Таричко, И.А. Лагерев. Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021617498. Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 14.05.21.

16. Синтез оптимального закона частотно-дрессельного регулирования гидропривода мобильного канатного комплекса / Лагерев А.В., Таричко В.И., Лагерев И.А. Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021660927. Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 05.07.2021.

17. Моделирование надежности гидро-

mashiny i robototekhnicheskie komplekсы». Moscow, RUT, 2021, pp. 120-123. (In Russian)

9. Perminova D.I. Sozdanie naturnykh i virtualnykh maketov podemno-transportnykh mashin. In: *Sb. mat. Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. «Energo-resursosberegayushchie tekhnologii i oborudovanie v dorozhnoy i stroitelnoy otraslyakh»*. Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021, pp. 201-205. (In Russian)

10. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Modelirovanie rabochikh protsessov mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Modeling of working processes of mobile transporting and overloading rope facilities]. Bryansk, RISO BGU, 2021. 204 p. DOI: 10.5281/zenodo.6044972. (In Russian)

11. Lagerev A.V., Lagerev I.A. *Optimalnoe proektirovanie podemno-transportnykh mashin* [Optimal design of lifting and transport machines]. Moscow, Urayt, 2021. 293 p. ISBN 978-5-534-13646-3 (In Russian)

12. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Konstruksii i osnovy proektirovaniya mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Structures and design fundamentals of mobile transporting and overloading rope facilities]. Bryansk, RISO BGU, 2020. 207 p. (In Russian)

13. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. *Komponovka i silovoy analiz tekhnologicheskogo oborudovaniya mobilnogo kanatnogo kompleksa. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Layout and force analysis of the technological equipment of the mobile rope complex. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2021614929, 2021. (In Russian)

14. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. *Komponovka i raschet kombinirovannogo mekhanizma podema i fiksatsii kontsevoy opory mobilnogo kanatnogo kompleksa. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Layout and calculation of the combined mechanism for lifting and fixing the end tower of a mobile rope complex. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2021617351, 2021. (In Russian)

фицированной мобильной канатной дороги на базе самоходных шасси / Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021661113. Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 06.07.2021.

18. Lagerev, A.V., Lagerev, I.A. Reducing labor intensity when computing optimal technical characteristics of aerial ropeways // *FME Transactions*. 2021. Vol. 49. No. 1. P. 72-77. DOI: 10.5937/fme2101072L

19. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal planning of the mobile cargo ropeway repair strategy // *ResearchSquare*. October 05th, 2021. DOI: 10.21203/rs.3.rs-936680/v1

20. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Modeling of hydrodynamic and kinematic processes during the operation of a mobile cargo rope complex // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol.1753. 012022. DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012022

21. Lagerev I.A., Lagerev A.V., Tarichko V.I. Modeling the swing of mobile loader cranes with anchor outriggers when operating on weak soils // *E3S Web of Conferences*, 2021, Vol. 326. 00011.

22. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Kinematic and force analysis of the end tower positioning mechanism at mobile ropeway // In: Radionov A.A., Gasiyarov V.R. (eds) *Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021)*. ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-85230-6_46

23. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Simulation of the change in the reliability of rope system motion mechanism in mobile ropeway complex. *Lecture Notes Mechanical Engineering*, 2021, Vol. II, pp. 745-754. DOI: 10.1007/978-3-030-54817-9_86.

24. Лагереv И.А. Особенности перевода научных статей в области мобильных канатных дорог для публикации в журналах Scopus // Сб. мат. Междунар. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы переводоведения и лингводидактики в контексте межкультурного взаимодействия». Брянск: БГУ, 2021. С. 22-29.

25. Пат. 204003 Рос. Федерация: МПК⁷

15. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. *Komponovka i analiz shtangovogo mekhanizma podema i fiksatsii koncevoy opory mobilnogo kanatnogo kompleksa. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Layout and analysis of the rod mechanism for lifting and fixing the end tower of a mobile rope complex. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2021617498, 2021. (In Russian)

16. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. *Sintez optimalnogo zakona chastotno-drosselnogo regulirovaniya gidroprivoda mobilnogo kanatnogo kompleksa. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Synthesis of the optimal law of frequency-throttle control of the hydraulic drive of a mobile rope complex. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2021660927, 2021. (In Russian)

17. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. *Modelirovanie nadezhnosti gidrofitsirovannoy mobilnoy kanatnoy dorogi na baze samokhodnykh shassi. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Modeling the reliability of a hydrofied mobile ropeway based on self-propelled chassis. The Certificate on official registration of the computer program]. No. 2021661113, 2021. (In Russian)

18. Lagerev, A.V., Lagerev, I.A. Reducing labor intensity when computing optimal technical characteristics of aerial ropeways. *FME Transactions*, 2021, Vol. 49, No. 1, pp. 72-77. DOI: 10.5937/fme2101072L

19. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal planning of the mobile cargo ropeway repair strategy. *ResearchSquare*. October 05th, 2021. DOI: 10.21203/rs.3.rs-936680/v1

20. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Modeling of hydrodynamic and kinematic processes during the operation of a mobile cargo rope complex. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, Vol.1753, 012022. DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012022

21. Lagerev I.A., Lagerev A.V., Tarichko V.I. Modeling the swing of mobile loader cranes with anchor outriggers when operating on weak soils. *E3S Web of Conferences*, 2021, Vol. 326, 00011.

B61D 7/00, B61D 7/06, B66C 23/16. 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. 08.12.2020. Оpubл. 04.05.2021. Бюл. № 13.

26. Пат. 204005 Рос. Федерация: МПК⁷ B61D 7/00, B61D 7/06, B66C 23/16. 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. 16.12.2020; опубл. 04.05.2021. Бюл. № 13.

27. Пат. 206299 Рос. Федерация: МПК⁷ B61D 7/00, B61D 7/06, B66C 23/16. 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. 27.04.2021; опубл. 03.09.2021. Бюл. № 25.

28. Лагерев И.А., Таричко В.И. Проектирование канатных дорог нового поколения // Сб. мат. XXI междунар. научно-практ. конф. «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов». Чита: ЗабГУ, 2021. С. 168-174.

29. Лагерев А.В., Лагерев И.А. Предварительная компоновка основного технологического оборудования самоходной машины мобильной канатной дороги со штанговым механизмом установки и фиксации концевой опоры // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. №4. С. 336-347. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-04-336-347

30. Лагерев И.А., Лагерев А.В., Таричко В.И. Варианты компоновки основного технологического оборудования на базовых шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов и их сравнительный анализ // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. №3. С. 236-250. DOI:10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250

31. Лагерев И.А., Таричко В.И. Компоновка оборудования мобильной канатной дороги на базе колесного шасси // Сб. мат.

22. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Kinematic and force analysis of the end tower positioning mechanism at mobile ropeway. In: Radionov A.A., Gasiyarov V.R. (eds) Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-85230-6_46

23. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Simulation of the change in the reliability of rope system motion mechanism in mobile ropeway complex. *Lecture Notes Mechanical Engineering*, 2021, Vol. II, pp. 745-754. DOI: 10.1007/978-3-030-54817-9_86.

24. Lagerev I.A. Features of translation of scientific articles in the field of mobile ropeways for publication in Scopus journals. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Actual problems of translation studies and linguodidactics in the context of intercultural interaction"*. Bryansk: BGU, 2021, pp. 22-29. (In Russian)

25. Patent RU 204003, B61B 7/00, B61B 7/06, B66C 23/16. *Samokhodnaya kontsevaya stantsiya mobilnoy kanatnoy dorogi* [Self-propelled terminal station of the mobile ropeway]. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Declared 08.12.2020. Published 04.05.2021. (In Russian)

26. Patent RU 204005, B61B 7/00, B61B 7/06, B66C 23/16. *Samokhodnaya kontsevaya stantsiya mobilnoy kanatnoy dorogi* [Self-propelled terminal station of the mobile ropeway]. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Declared 16.12.2020. Published 04.05.2021. (In Russian)

27. Patent RU 206299, B61B 7/00, B61B 7/06, B66C 23/16. *Samokhodnaya kontsevaya stantsiya mobilnoy kanatnoy dorogi* [Self-propelled terminal station of the mobile ropeway]. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Declared 27.04.2021. Published 03.09.2021. (In Russian)

28. Lagerev I.A., Tarichko V.I. Design of new generation ropeways. In: *Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference "Kulagin readings: techniques and technologies of production processes"*. Chita, ZabGU, 2021, pp. 168-174. (In Russian)

XXV Московской междунар. межвуз. научно-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы». М: РУТ, 2021. С. 73-75.

32. Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Обеспечение вертикального габарита самоходной машины со штанговым механизмом установки и фиксации концевой опоры для мобильной канатной дороги // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. №2. С. 141-152. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-02-141-152

33. Пат. 200827 Рос. Федерация: МПК⁷ В61В 7/06. Самоходная концевая станция / Лагереv А.В., Лагереv И.А., Таричко В.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ им. ак. И.Г. Петровского». – №2020117118; заявл. 12.05.2020; опубл. 12.11.2020, Бюл. № 32.

34. Таричко В.И., Лагереv И.А. Нагруженность несущей конструкции базовой станции мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Мат. Всеросс. научно-практ. конф. «Инновационное развитие подъемно-транспортной техники». Брянск: БГТУ, 2021. С. 137-140.

35. Таричко В.И., Перминова Д.И. Основные результаты разработки трансмиссии перспективного шасси для размещения мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. №1. С. 66-72. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-01-66-72

36. Шалупина П.И., Артемова А.А. Оценка прочности элементов крепления кабины колесного шасси высокой грузоподъемности // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. №4. С. 404-417. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-04-404-417

37. Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Моделирование режимов работы гидроприводов с частотно-дрессельным регулированием мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов // Научно-технический вестник Брянского госу-

† 29. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Preliminary layout of the main technological equipment of a self-propelled machine with a rod mechanism for installing and fixing the end tower for a mobile ropeway. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.4, pp. 336-347. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-04-336-347 (In Russian)

† 30. Lagerev I.A., Lagerev A.V., Tarichko V.I. Variants of the layout of the main technological equipment on the base chassis of mobile transport and reloading rope complexes and their comparative analysis. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.3, pp. 236-250. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250 (In Russian)

† 31. Lagerev I.A., Tarichko V.I. Layout of mobile ropeway equipment based on a wheeled chassis. In: *Proceedings of the XXV Moscow International Interuniversity Scientific and Technical Conference of students, undergraduates, postgraduates and young scientists "Lifting, transport, construction, road, track machines and robotic complexes"*. Moscow, RUT, 2021, pp. 73-75. (In Russian)

† 32. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Providing the vertical dimension of a self-propelled machine with a rod mechanism for installing and fixing the end tower for a mobile ropeway. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.2, pp. 141-152. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-07-02-141-152 (In Russian)

† 33. Patent RU 200827, B61B 7/06. *Samokhodnaya kontsevnaya stantsiya* [Self-propelled terminal station]. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Declared 12.05.2020. Published 12.11.2020. (In Russian)

† 34. Tarichko V.I., Lagerev I.A. Loading of the load-bearing structure of the base station of the mobile transport and reloading rope complex. In: *Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference "Innovative development of lifting and transport equipment"*. Bryansk, BGTU, 2021, pp. 137-140. (In Russian)

† 35. Tarichko V.I., Perminova D.I. The

дарственного университета. 2019. №4. С. 462-480. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-04-462-480

38. Котлобай А.Я., Коробкин В.А., Тамело В.Ф., Костко Ю.В., Кондратьев С.В. Проблемные вопросы диверсификации гражданской техники в технику военного назначения // Вестник БНТУ. 2009. №4. С. 54-60.

39. Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Компонировка технологического оборудования на базовом шасси мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №3. С. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403

40. Пат. 2738871 Рос. Федерация: МПК⁷ 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.

41. Лагереv И.А. Расчеты грузоподъемных машин методом конечных элементов. Брянск: БГТУ, 2013.

DOI:10.5281/zenodo.1202235

42. Вершинский А.В., Лагереv И.А., Шубин А.Н., Лагереv А.В. Расчет металлических конструкций подъемно-транспортных машин методом конечных элементов. Брянск: РИО БГУ, 2015. 210 с. DOI: 10.5281/zenodo.1202240

43. Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Работа гидроприводов с частотно-дрессельным регулированием мобильных канатных комплексов при последовательной установке дресселей // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №1. С. 73-92. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-73-92

44. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Моделирование рабочих процессов в дрессельно-регулируемом гидроприводе манипуляционных систем мобильных машин при раздельном движении звеньев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2018. №4. С. 355-379.

main results of the development of the transmission a promising chassis for the placement of a mobile transport and overloading rope complex. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.1, pp. 66-72. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-01-66-72 (In Russian)

36. Shalupina P.I., Artyemova A.A. Assessment of the strength of the cabin mounting elements of the high-capacity wheeled chassis. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.4, pp. 404-417. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-04-404-417 (In Russian)

37. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Modeling operation modes of hydraulic drives with frequency-throttle regulation of mobile transport and overloading ropes complexes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.4, pp. 462-480. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-04-462-480 (In Russian)

38. Kotlobay A.Ya., Korobkin V.A., Tamelo V.F., Kostko Yu.V., Kondratiev S.V. The issues of diversification of civil engineering in equipment for military use. *Vestnik BNTU*, 2009, No.4, pp. 54-60. (In Russian)

39. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Placement of technological equipment on the basic chassis of the mobile transportation and reloading rope complex. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.3, pp. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403 (In Russian)

40. Patent RU 2738871, В60К 17/34. *Transmissiya pozharno-spasatel'nogo avtomobilya* [Fire Rescue Vehicle Transmission]. Tarichko V.I., Levkovets N.R., Kiselev O.V., Polekhin D.E. 17.12.2020. (In Russian)

41. Lagerev I.A. *Raschetnyy metod konechnykh elementov* [Load-lifting machines calculations by finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2013. 116 p. DOI:10.5281/zenodo.1202235 (In Russian)

42. Vershinskii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Raschet metallicheskiykh konstruktsey pod'yemno-transportnykh mashin*

DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-04-355-379>

45. Лагереv И.А., Лагереv А.В., Таричко В.И. Моделирование раскачивания мобильных кранов-манипуляторов с анкерными ауригерами при работе на слабонесущих грунтах // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2021. Сб. тезисов VIII Междунар. научно-практ. конф. Санкт-Петербург, 2021. С. 213-217.

46. Težak S., Toš Z. Reliability analysis of operation for cableways by FTA (fault tree analysis) method. *Promet – Traffic&Transportation*, Vol. 22, 2010, No. 3, 163-173. DOI:10.7307/ptt.v22i3.272

47. Finkelstein M. Failure Rate Modelling for Reliability and Risk. Springer Series in Reliability Engineering. Springer-Verlag London Limited, 2008. 296 p. DOI 10.1007/978-1-84800-986-8. ISBN 978-1-84800-985-1

48. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Social advantages of using ropeway transport technologies in a modern urbanized environment // Proceedings of the 5th Middle East Int. Conf. on Contemporary Scientific Studies, Vol. II. P. 104-105. Ankara, Turkey, March 27-28, 2021.

49. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Aerial passenger cable cars as part of the smart city concept // Proceedings of the 2nd International Sciences and Innovation Congress. P. 103. Ankara, Turkey, May 22-23, 2021.

50. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Оптимизация шага установки промежуточных опорных конструкций вдоль линии канатного метро // Вестник Брянского государственного университета. 2014. №4. С. 22-31. DOI: 10.5281/zenodo.1302237

51. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Влияние параметров рельефа на выбор оптимального шага промежуточных опор вдоль линии канатного метро // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2017. № 3. С. 253-272. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-253-272

52. Химич А.В. Моделирование динамики стреловых кранов на колесных шасси // Сб. мат. Междунар. научно-техн. конф. «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной

методом конечных элементов [Calculation of metal constructions of lifting-transport machines by finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2015. 210 p. DOI: 10.5281/zenodo.1202240 (In Russian)

43. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. The operation of hydraulic drives with frequency-throttle regulation for mobile rope complexes with the consistent installation of throttles. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.1, pp. 73-92. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-04-73-92 (In Russian)

44. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Modeling of working processes in the throttle-adjustable hydraulic drive of manipulation systems with separate movement of links during operation of mobile machines. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.4, pp. 355-379. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-04-355-379 (In Russian)

45. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. Modeling of hydrodynamic and kinematic processes during the operation of a mobile cargo rope complex. In: *Sbornik materialov VII Mezhdunar. nauchno-prakt. conf. «Innovatsii i perspektivy razvitiya gornogo mashinostroeniya i elektromekhaniki: IPDME-2020»*, Saint-Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gornyy universitet, 2020, pp. 349-353. (In Russian)

46. Težak S., Toš Z. Reliability analysis of operation for cableways by FTA (fault tree analysis) method. *Promet–Traffic&Transportation*, 2010, Vol. 22, No. 3, pp. 163-173. DOI:10.7307/ptt.v22i3.272

47. Finkelstein M. Failure Rate Modelling for Reliability and Risk. Springer Series in Reliability Engineering. Springer-Verlag London Limited, 2008. 296 p. DOI 10.1007/978-1-84800-986-8. ISBN 978-1-84800-985-1

48. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Social advantages of using ropeway transport technologies in a modern urbanized environment. *Proceedings of the 5th Middle East Int. Conf. on Contemporary Scientific Studies*, 2021, Vol. II, pp. 104-105. Ankara, Turkey, March 27-28, 2021.

49. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Aerial pas-

отраслях». Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. С. 264-270.

53. Перминова Д.И. Применение диагностических карт при экспертизе промышленной безопасности мостовых кранов // Мат. Всеросс. научно-практ. конф. «Инновационное развитие подъемно-транспортной техники». Брянск: БГТУ, 2021. С. 115-120.

54. Duerr D. Mobile crane support handbook Duerr. Levare Press, Inc. 2019. 266 p.

55. Doci I., Lajqi N., Lajqi Sh. Crawler crane overturning analysis for the case of boom luffing motion // IREME. 2018. Vol. 12. №2.

56. Jeng S.-L., Yang C.-F., Chieng W.-H. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization // Mechanics Based Design of Structures and Machines. 2010. Vol. 38. №2. P. 145-170.

senger cable cars as part of the smart city concept. In: *Proceedings of the 2nd International Sciences and Innovation Congress*, 2021, pp. 103. Ankara, Turkey, May 22-23, 2021.

50. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimizing the step of installation of intermediate tower structures along the ropeway line. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, No.4, pp. 22-30. DOI: 10.5281/zenodo.1302237 (In Russian)

51. Lagerev A.V., Lagerev I.A. The effect of topography on the choice of optimal step intermediate supports along the line of the cable metro. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.3, pp. 253-272. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-253-272 (In Russian)

52. Khimich A.V. Simulation of the dynamics of jib cranes on wheeled chassis. In: *Sb. mat. Mezhdunar. nauchno-tekh. konf. «Energo-resursosberegayushchie tekhnologii i oborudovanie v dorozhnoy i stroitelnoy otraslyakh»*. Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021, pp. 264-270. (In Russian)

53. Perminova A.A. The use of diagnostic cards in the examination of industrial safety of overhead cranes. In: *Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference “Innovative development of lifting and transport equipment”*. Bryansk, BGTU, 2021, pp. 115-120. (In Russian)

54. Duerr D. Mobile crane support handbook Duerr. Levare Press, Inc. 2019. 266 p.

55. Doci I., Lajqi N., Lajqi Sh. Crawler crane overturning analysis for the case of boom luffing motion. *IREME*, 2018, Vol. 12, No. 2.

56. Jeng S.-L., Yang C.-F., Chieng W.-H. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 2010, Vol. 38, No. 2, pp. 145-170.