

УДК 621.226.5

Комплекс принципиальных схмотехнических решений для гидромеханических трансмиссий машин наземного транспорта

Анцев Виталий Юрьевич¹,

заведующий кафедрой, д-р техн. наук, профессор

anzev@yandex.ru

SPIN-код: 6712-2506

Плясов Алексей Валентинович²,

доцент кафедры, канд. техн. наук, доцент

plyasov-a@yandex.ru

SPIN-код: 8674-8404

Трушин Николай Николаевич³,

профессор кафедры, д-р техн. наук

trushin@tsu.tula.ru

SPIN-код: 4466-7036

¹ Кафедра «Транспортно-технологические машины и процессы»,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

² Кафедра «Проектирование механизмов и деталей машин»,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

³ Кафедра «Промышленная автоматика и робототехника»,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Аннотация. Актуальность работы обусловлена широким использованием гидродинамических трансформаторов в трансмиссиях самоходных машин благодаря своим положительным свойствам. Авторами предлагается ряд принципиальных проектных решений, направленных на повышение технического совершенства гидромеханических трансмиссий машин. Проектирование осуществлялось на основе результатов анализа широкого спектра конструкторских разработок в области гидродинамических передач и трансмиссий машин. Предлагаемые разработки направлены на использование потенциальных возможностей серийных и унифицированных гидротрансформаторов на тяговых и тормозных режимах при минимизации сопряженных с ним зубчатых передач. Новизна и оригинальность разработанных технических решений подтверждается документами Российской Федерации на интеллектуальную собственность.

Ключевые слова: самоходная машина, трансмиссия, гидродинамический трансформатор

A set of principle design solutions for hydromechanical transmissions in land transport vehicles

Antsev Vitaliy Yuryevich¹,
Head of the Department, Doctor of Technical Sciences,
Professor

anzev@yandex.ru
SPIN-code: 6712-2506

Plyasov Aleksey Valentinovich²,
Associate Professor of the Department,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

plyasov-a@yandex.ru
SPIN-code: 8674-8404

Trushin Nikolai Nikolaevich³,
Professor of the Department, Doctor of Technical Sciences

trushin@tsu.tula.ru
SPIN-code: 4466-7036

¹ *Department of Transport and Technological Machines and Processes, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Tula State University, Tula, Russia*

² *Department of Design of Mechanisms and Machine Parts, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Tula State University, Tula, Russia*

³ *Department of Industrial Automation and Robotics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Tula State University, Tula, Russia*

Abstract. The relevance of this work is due to the widespread use of hydromechanical transmissions in self-propelled machines because of their positive properties. The authors propose a number of fundamental design solutions aimed at improving the technical perfection of hydromechanical transmissions in machines. The design was based on the results of an analysis of a wide range of design developments in the field of hydrodynamic torque converters and machine transmissions. The proposed developments are aimed at utilizing the potential of serial and unified torque converters in traction and braking modes while minimizing the associated gear transmissions. The novelty and originality of the developed technical solutions are confirmed by patents of the Russian Federation.

Keywords: self-propelled vehicle, transmission, hydrodynamic torque converter

Введение. Одна из наиболее актуальных проблем современного транспортного машиностроения — упрощение и облегчение управления самоходным транспортным средством, которая не может быть решена без автоматизации управления трансмиссией. Как показывает многолетняя история создания автоматических трансмиссий для автомобилей и других самоходных машин, их совершенствование идет, в частности, по пути оснащения машин специализированными устройствами, обеспечивающими в той или иной степени наиболее простое, удобное и легкое управление трансмиссией и машиной в целом [1].

Основное применение в автотранспортных средствах и транспортно-технологических машинах получили гидромеханические передачи (ГМП). В конструкцию ГМП входит какая-либо гидродинамическая передача — гидромуфта или гидротрансформатор. Обычно ГМП содержит одну гидродинамическую передачу, при этом такая ГМП называется одноциркуляционной

(т. е. имеет один круг циркуляции рабочей жидкости внутри гидромуфты или гидротрансформатора). Многоциркуляционные ГМП содержат от двух до четырех переключаемых гидромуфт и/или гидротрансформаторов; такие ГМП характеризуются высокой нагрузочной способностью, но обладают при этом высокой сложностью конструкции, большими габаритными размерами и массой. Поэтому многоциркуляционные ГМП имеют ограниченное применение в трансмиссиях тяжелых машин, в частности, в тепловозах, на речных и морских судах.

ГМП нашли широкое применение в трансмиссиях различных наземных самоходных транспортных и тяговых машин, на водном транспорте, в приводах стационарных машин, на рабочих органах которых существуют нагрузки, изменяющиеся в широких пределах. Положительные эффекты от применения гидротрансформаторов в трансмиссиях машин состоят в следующем [2]:

- гидротрансформаторы способны автоматически изменять передаточное отношение в зависимости от нагрузки на трансмиссию при непрерывной передаче вращающего момента двигателя (гидромуфты таким свойством не обладают);
- гидротрансформаторы и гидромуфты способны гасить крутильные колебания в трансмиссии, благодаря чему увеличивается ресурс и повышается плавность работы двигателя и агрегатов трансмиссии;
- гидротрансформаторы и гидромуфты характеризуются относительно малыми габаритными размерами и массой по сравнению с механическими передачами при передаче больших потоков мощности (сотни и тысячи кВт);
- улучшение проходимости самоходной машины при движении в неблагоприятных дорожных условиях и вне дорог;
- улучшение управляемости трансмиссией и машиной в целом, снижение утомляемости водителя за счет легкости и простоты управления.

Гидромуфты часто применяются в трансмиссиях стационарных машин, таких как мельницы, измельчители, дробилки, ленточные и цепные конвейеры, вентиляторы, воздуходувки, насосы и компрессоры, корабельные приводы, электрогенераторы. Например, регулируемые гидромуфты используются в приводах вентиляторов систем охлаждения дизельных двигателей. Гидромуфты также применяются в ГМП железнодорожных машин: тепловозов, мотовозов, дрезин.

При всех своих преимуществах ГМП с гидротрансформаторами и гидромуфтами имеют и существенные недостатки [3]:

- по сравнению с механическими передачами имеют более низкие значения коэффициента полезного действия (КПД) из-за отсутствия жесткой связи между ведущим и ведомым валами;
- для гидротрансформаторов — относительно узкий диапазон автоматического изменения вращающего момента двигателя (для наиболее распространенных в автомобильных ГМП одноступенчатых гидротрансформаторов коэффициент трансформации равен 2-3, что во многих случаях является недостаточным);

- для гидромуфт — сложность реализации и ограниченность диапазона регулирования вращающего момента и угловой скорости выходного вала;
- сложность изменения параметров лопаточной системы рабочих колес гидромуфт и гидротрансформаторов с целью оперативного регулирования рабочего процесса;
- необходимость использования в качестве рабочих жидкостей специальных марок гидравлических масел, способных длительное время работать при высоких температурах порядка 80-120 °С;
- необходимость эффективного отвода тепла от элементов ГМП при длительной интенсивной работе.

Конкурентами трансмиссий с гидротрансформаторами являются гидрообъемные (гидростатические) передачи, но по ряду объективных причин они пока не могут полностью вытеснить гидродинамические передачи из трансмиссий быстроходных транспортных и транспортно-технологических машин. Гидрообъемные передачи преимущественно применяются на тихоходных самоходных машинах, у которых максимальная скорость движения не превышает 25–40 км/ч — это тракторы, бульдозеры, подъемные краны, вилочные и ковшовые погрузчики, экскаваторы. Электрические трансмиссии также конкурируют с ГМП, но и они имеют известные существенные ограничения по своим технико-экономическим показателям. Фрикционные вариаторы, которые нашли широкое применение на мопедах, мотороллерах, мотоциклах и легковых автомобилях, в трансмиссиях тяжелых и мощных машин тоже не нашли применения по причине недостаточной энергоемкости.

С целью расширения диапазона регулирования трансмиссии гидротрансформатор используется совместно с многоступенчатыми коробками передач планетарного или непланетарного (вального) типа с ручным или автоматическим управлением. Количество ступеней в коробках передач, сопрягаемых с гидротрансформаторами, достигает 6–10 и имеет тенденцию к дальнейшему увеличению, о чем свидетельствуют многочисленные российские и зарубежные изобретения в области коробок передач для трансмиссий автомобилей и других самоходных машин. В то же время наличие в трансмиссии многоступенчатого зубчатого механизма усложняет конструкцию ГМП и алгоритмы управления ею, увеличивает массу, габаритные размеры и стоимость.

Поэтому с целью расширения диапазона регулирования вращающего момента в некоторых ГМП используются многоступенчатые и многотурбинные гидротрансформаторы, обладающие относительно одноступенчатых (с одной турбиной) гидротрансформаторов более высокими преобразующими свойствами — коэффициент трансформации для них достигает значений 4–6 и более [2]. По сравнению с одноступенчатыми гидротрансформаторами, многоступенчатые и многотурбинные гидротрансформаторы характеризуются более сложной конструкцией рабочих колес и поэтому в настоящее время применяются редко. Согласно международным маркетинговым исследованиям, доля многоступенчатых и многотурбинных гидротрансформаторов в мировом транспортном машиностроении составляет всего 2%, а оставшиеся

98% принадлежат более простым и технологичным одноступенчатым гидротрансформаторам [4]. При этом, несмотря на невысокое относительное распространение в трансмиссиях машин, многоступенчатые и многотурбинные гидротрансформаторы сохраняют потенциальные возможности для более широкого их использования в трансмиссиях самоходных машин: об этом свидетельствует, в частности, патентная активность инженеров КНР в этом направлении. Собственные патентные исследования авторов на ресурсе patents.google.com показали, что за последние 20 лет в КНР было выдано порядка 70–80 патентов на изобретения и полезные модели в области многотурбинных гидротрансформаторов и ГМП на их основе.

Другой существенный недостаток гидродинамических передач — относительно низкий коэффициент полезного действия (КПД) — обусловлен отсутствием жесткой механической связи между двигателем и рабочим органом машины. Максимальные значения КПД гидротрансформаторов на режиме трансформации момента достигают 85–87 %, а на режиме гидромукты — 98 %. Этот недостаток тем или иным образом частично устраняется путем совершенствования как конструкции гидродинамической передачи, так и механической части трансмиссии, например, за счет оптимизации параметров лопаточной системы гидротрансформатора, использования режима блокировки гидротрансформатора, подбора оптимального ряда передаточных отношений агрегатов трансмиссии и других конструкторских и технологических решений [2].

Материалы и методы. Главная цель данного исследования — преодоление недостатков гидротрансформаторов и ГМП на их основе, расширение их функциональных и эксплуатационных возможностей, повышение среднего КПД трансмиссии, использования одного и того же гидротрансформатора на тяговых и тормозных режимах, на режимах переднего и заднего хода трансмиссии машины. В качестве прототипов для проектирования использовались конструкции серийных и унифицированных автотракторных гидротрансформаторов комплексного типа, которые способны работать на режиме гидромукты. Поставленная цель была достигнута в результате решения ряда взаимосвязанных задач кинематического проектирования. Проектирование принципиальных кинематических схем ГМП осуществлялось на основе методов теории гидродинамических передач и прикладной механики. Проектированию кинематических структур ГМП предшествовали обширные патентные исследования, глубокий системный анализ широкого спектра конструкторских разработок, теоретических и экспериментальных исследований в области гидродинамических передач и трансмиссий машин. В ходе проектирования производился анализ режимов работы кинематических цепей, в которых поочередно останавливаются связанные между собой кинематические звенья, чтобы получить на выходе кинематической цепи требуемый кинематический параметр. Спроектированные ГМП ориентируются, главным образом, на применение в трансмиссиях колесных и гусеничных самоходных машин, оснащенных двигателями внутреннего сгорания.

Результаты. В результате схмотехнического проектирования был разработан комплекс принципиальных схмотехнических решений, направленных на преодоление указанных недостатков гидротрансформаторов и ГМП. Оригинальность и новизна разработок подтверждается патентами РФ. Описание разработок рассмотрено, в частности, в публикациях [4–25].

Характерными свойствами и конструктивными признаками разработанных принципиальных кинематических схем и структур ГМП являются следующие:

- комбинирование работы гидротрансформатора в однопоточном и двухпоточном режимах передачи мощности в трансмиссии;
- использование комбинированных многотурбинных и многоступенчатых гидротрансформаторов с изменяемой конфигурацией турбин и реакторов;
- гибкое изменение нагрузочных свойств гидротрансформатора при изменении нагрузок и условий эксплуатации;
- использование режима обратного вращения реактора гидротрансформатора при остановленной турбине для осуществления реверса трансмиссии;
- использование гидротрансформатора в качестве динамического тормоза-замедлителя;
- использование в трансмиссиях синфазных и асинфазных зубчатых планетарных передач с однопоточной и многопоточной передачей мощности.

Все разработанные устройства в зависимости от целей и задач проектирования, принятых конструктивных решений и режимов их работы можно сгруппировать на следующие группы:

- 1) направленные на повышение среднего КПД ГМП за счет рационального использования однопоточного и двухпоточного режимов передачи мощности [4];
- 2) направленные на упрощение механической части ГМП путем сокращения количества зубчатых передач и полного отказа от них за счет использования комбинированных и многофункциональных гидротрансформаторов с двумя или тремя турбинами [6, 7, 9, 10, 12, 15, 16, 17, 18];
- 3) направленные на повышение коэффициента трансформации момента и расширение диапазона регулирования ГМП [13, 19, 20];
- 4) использование реверсируемых гидротрансформаторов без применения в трансмиссии специальных реверс-редукторов [11, 21];
- 5) регулирование нагрузочной способности гидротрансформатора [14, 15];
- 6) повышение гидравлического КПД гидротрансформатора [5, 8];
- 7) оригинальные кинематические схемы планетарных коробок передач с двумя и тремя степенями свободы [22–25].

Заключение. Исходя из результатов патентного поиска, анализа теоретических исследований и конструкторских разработок в области трансмиссий самоходных и стационарных машин различного назначения, были сформулированы пути совершенствования гидродинамических передач и ГМП на их основе:

- обеспечение высоких значений КПД отдельных трансмиссионных агрегатов и трансмиссии в целом;

- расширение диапазона автоматического регулирования трансмиссии;
- обеспечение компактной конструкции агрегатов трансмиссии и трансмиссии в целом;
- оптимизация системы и алгоритмов управления трансмиссией;
- обеспечение работы одного и того же гидротрансформатора и на тяговых, и на тормозных режимах;
- обеспечение надежной и долговечной работы агрегатов трансмиссии в различных условиях эксплуатации;
- снижение себестоимости изготовления и эксплуатации агрегатов трансмиссии;
- использование отработанных и унифицированных технических решений.

Разработанные принципиальные кинематические схемы ГМП по сравнению с прототипами обладают более широкими эксплуатационными возможностями. Проекты предназначены, главным образом, для трансмиссий самоходных машин большой единичной мощности на колесном и гусеничном ходу, имеющих напряженный режим эксплуатации в широком диапазоне нагрузок и климатических условий: это — тяжелые грузовые автомобили и тягачи, карьерный транспорт, подъемно-транспортные и строительно-дорожные машины, землеройная техника, городские автобусы, промышленные и сельскохозяйственные тракторы, колесные и гусеничные вездеходы, железнодорожные локомотивы и мотовозы. Независимая работа турбинных колес и реакторов гидротрансформаторов позволяет оптимальным образом спрофилировать их лопатки и тем самым обеспечить более высокие преобразующие свойства и значения КПД во всем диапазоне передаточных отношений ГМП. Свойства спроектированных кинематических схем позволяют их комбинировать между собой, что дает возможность получить новые свойства. На практике предлагаемые схмотехнические решения могут быть реализованы на основе конструкций рабочих колес серийно изготавливаемых гидротрансформаторов.

Список источников

- [1] Альгин В.Б., Поддубко С.Н. *Ресурсная механика трансмиссий мобильных машин*. Минск, Белорусская наука, 2019, 550 с.
- [2] Нарбут А.Н. *Гидромеханические передачи автомобилей*. Москва, ООО «Гринлайт+», 2010, 192 с.
- [3] Карцев Л.В. *Теория и расчеты гидродинамических трансформаторов и муфт*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 415 с.
- [4] Трушин Н.Н., Шадский Г.В. Комбинирование режимов работы в гидромеханических передачах самоходных машин. *Проблемы машиноведения. II Международ. науч.-техн. конф.: матер.* Омск, ОмГТУ, 2018, с. 122–129.
- [5] Анцев В.Ю., Трушин Н.Н. Снижение потерь энергии рабочей жидкости в автотракторном гидротрансформаторе. *Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Международ. науч.-техн. конф.: матер.* Тюмень, ТИУ, 2019, с. 17–21.

- [6] Плясов А.В., Трушин Н.Н. Кинематическая схема компактного многофункционального гидротрансформатора для тихоходных машин. Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки, 2020, № 2 (8), с. 13–16.
- [7] Трушин Н.Н. Двухступенчатые автотракторные гидротрансформаторы. *Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Междунар. науч.-техн. конф.: матер.* Тюмень, ТИУ, 2020, с. 260–264.
- [8] Анцев В.Ю., Плясов А.В., Трушин Н.Н. Методы повышения энергетической эффективности гидродинамических трансформаторов. *Проблемы машиноведения. IV Междунар. науч.-техн. конф.: матер.* Омск, Изд-во ОмГТУ, 2020, с. 17–26.
- [9] Анцев В.Ю., Трушин Н.Н. Кинематика гидродинамических трансформаторов с комбинированным насосным колесом. *Инновационное развитие подъемно-транспортной техники. Всерос. науч.-практ. конф.: матер.* Брянск, БГТУ, 2020, с. 5–13.
- [10] Анцев В.Ю., Трушин Н.Н. Кинематика компактной гидромеханической передачи с реверсируемым гидротрансформатором для транспортно-технологических машин. *Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Междунар. науч.-техн. конф.: матер.* Тюмень, ТИУ, 2021, с. 249–252.
- [11] Анцев В.Ю., Плясов А.В., Трушин Н.Н. Автоматизация управления планетарным демультипликатором в гидромеханической передаче с комплексным гидротрансформатором. *Теория и практика зубчатых передач и редукторостроения. Науч.-практ. конф.: сб. докл.* Ижевск, ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2021, с. 3–15.
- [12] Трушин Н.Н. Кинематическая модель гидромеханической передачи на основе гидротрансформатора с тремя турбинами. *Инновационное развитие подъемно-транспортной техники. Всерос. науч.-практ. конф.: матер.* Брянск, БГТУ, 2021, с. 141–147.
- [13] Трушин Н.Н. Проектные решения в области кинематических схем гидромеханических передач транспортных и технологических машин. *Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства. V Всерос. науч.-практ. конф.: матер.* Ижевск, ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2021, с. 413–418.
- [14] Анцев В.Ю., Трушин Н.Н. Регулирование коэффициента трансформации двухтурбинного гидротрансформатора. *Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. Междунар. науч.-практ. конф.: матер.* Белгород, БелГТУ им. В.Г. Шухова, 2021, с. 13–18.
- [15] Агуреев И.Е., Сергеев А.Л., Трушин Н.Н. Кинематика многоступенчатых согласующих редукторов для гидротрансформаторов. *Мир транспорта и технологических машин*, 2021, № 4 (75), с. 33–42.
- [16] Анцев В.Ю., Трушин Н.Н. О суммировании движений турбин в двухтурбинном гидротрансформаторе. *Инновационное развитие подъемно-транспортной техники. Всерос. науч.-практ. конф.: матер.* Брянск, БГТУ, 2022, с. 5–11.
- [17] Анцев В.Ю., Трушин Н.Н. Кинематическая схема гидромеханической передачи с реверсируемым двухтурбинным гидротрансформатором. *Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства. VI Всерос. науч.-практ. конф.: матер.* Ижевск, ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2022, с. 6–10.
- [18] Трушин Н.Н. Кинематическая схема силовой передачи для железнодорожных машин. *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*, 2023, № 1 (64), с. 24–34.
- [19] Анцев В.Ю., Трушин Н.Н. Расширение функциональных возможностей гидротрансформаторов типа ЛГ. *Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта. IV Всерос. науч.-практ. конф.: сб. ст.* Екатеринбург, УРФУ, 2023, с. 96–100.
- [20] Анцев В.Ю., Трушин Н.Н. Кинематическая схема гидромеханической передачи для тяжелой самоходной машины. *Инновационное развитие подъемно-транспортной техники. Всерос. науч.-практ. конф.: матер.* Брянск, БГТУ, 2023, с. 19–26.

-
- [21] Трушин Н.Н. Трансмиссия с реверсируемым гидротрансформатором для роботизированной мобильной машины. Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта. VI Всерос. науч.-практ. конф., посв. 95-летию юбилею кафедры подъемно-транспортных машин и роботов: сб. ст. Екатеринбург, УРФУ, 2025, с. 287–290.
- [22] Анцев В.Ю., Трушин Н.Н., Плясов А.В. Схемотехника планетарных коробок передач на основе механизма с парными сателлитами. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2024, вып. 9, с. 45–50.
<https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-9-45-46>
- [23] Агуреев И.Е., Трушин Н.Н., Плясов А.В. Варианты синтеза бесконтурных кинематических схем планетарных коробок передач с двумя степенями свободы. Мир транспорта и технологических машин, 2025, № 1–2 (88), с. 43–53.
- [24] Трушин Н.Н., Плясов А.В. Варианты синтеза кинематических схем планетарных коробок передач с двумя степенями свободы и минимизацией замкнутых контуров. Мир транспорта и технологических машин, 2025, № 3–2 (90), с. 59–67.
- [25] Курбатов С.Д., Трушин Н.Н. Планетарная коробка передач типа 6+2 на основе механизма с парными сателлитами. *Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства*. VII Всерос. науч.-практ. конф.: матер. Ижевск, ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2025, с. 247–250.

Содержание

<i>Приветствия участникам форума «Подъемная сила»</i>	3
<i>Пленарное заседание. Подготовка специалистов подъемно-транспортного профиля, взаимодействие вузов и предприятий</i>	9
<i>Сладкова Л.А. Модель выделения ключевых моментов при преподавании специальных технических дисциплин</i>	11
<i>Секция 3. Методы расчета и проектирования транспортно-технологических средств. Секция 5. Математическое моделирование рабочих процессов транспортно-технологических средств</i>	17
<i>Крупенин Ф.Р., Куракина Е.В. Повышение безопасности самоподъемного технологического оборудования на основе анализа несинхронности работы гидропривода</i>	19
<i>Нургужин М.Р., Даненова Г.Т. Метод автоматизированного расчета крановых металлоконструкций с трещиноподобными дефектами</i>	26
<i>Тюремнов И.С. Проблемы повышения технического уровня отечественных вибрационных катков</i>	32
<i>Колесниченко Д.С., Пушкарев А.Е. Применение цифрового двойника при расчете параметров электрической силовой установки коммунальной машины</i>	40
<i>Секция 4. Экспериментальные исследования, испытания и техническая эксплуатация транспортно-технологических средств</i>	45
<i>Магдина Е.Р., Кожуховский А.О., Добромиров В.Н. Метод экспериментального определения гидродинамических характеристик транспортно-технологической машины</i>	47
<i>Мухсинов Б.М., Мухсинов Р.М., Ромашко А.М. Испытания антифрикционных материалов тяжело нагруженных подшипников скольжения</i>	55
<i>Андреева П.О., Степанов М.А. Повышение надежности лифтов за счет снижения динамических нагрузок гасителями колебаний</i>	62
<i>Стасюк А.В., Савельев А.Г., Пахомова Н.К. Анализ конвейеров и грузоподъемной техники, применяемых на подготовительном этапе автоматизированной сортировки твердых коммунальных отходов</i>	68
<i>Попов Е.В., Михайлузов А.К. Диагностирование обрыва фазы обмотки фазного ротора в частотно-регулируемом электроприводе</i>	74
<i>Гончаров К.А., Донсков И.С. Тепловое диагностирование ленточных конвейеров</i>	82
<i>Кириленков А.С., Филатчев В.В., Сладкова Л.А. Основные показатели состояния дорог и проходимость автомобильных средств</i>	86

<i>Старков А.В., Савельев А.Г., Пахомова Н.К.</i> Анализ оборудования и методов контроля степени уплотнения асфальтобетонной смеси применяемых при строительстве дорог	92
<i>Казаков О.Ю., Савельев А.Г.</i> Предложения к внедрению в дорожно-строительную отрасль комбинированного уплотняющего оборудования	99
<i>Щепалин Д.Е., Сладкова Л.А.</i> Экспериментальные исследований рабочего оборудования бульдозера с выдвижными секциями	105
Секция 6. Оптимизация конструкций транспортно-технологических средств и их отдельных функциональных узлов, механизмов и систем.	
Секция 7. «Ноу-хау» перевозки и установки в монтажное положение крупногабаритного тяжеловесного оборудования	111
<i>Анцев В.Ю., Афанасьева Г.И., Крестегло Г.А., Трушин Н.Н.</i> Унификация типоразмерного ряда приводов механизмов мостовых кранов	113
<i>Сафиуллин Р.Н., Ефремова В.А.</i> Методологический подход формирования интеллектуальных систем управления движением высокоавтоматизированных транспортно-технологических машин на предприятиях минерально-сырьевого комплекса	118
<i>Рахилин К.В.</i> Оптимизация в интралогистике с использованием возможностей искусственного интеллекта	125
<i>Александров Р.С., Иваишков Н.И.</i> Методы управления нормально-замкнутыми фрикционными тормозными устройствами	129
<i>Карагодин В.И., Шилимов М.В., Кубышев В.Л.</i> Эксплуатационные свойства автопоездов-тяжеловозов	136
<i>Анцев В.Ю., Плясов А.В., Трушин Н.Н.</i> Комплекс принципиальных схемотехнических решений для гидромеханических трансмиссий машин наземного транспорта	143

Научное издание

Инновационное развитие подъемно-транспортного машиностроения «Подъемная сила»

II Международный форум

(Москва, 14 ноября 2025 года)

Сборник материалов

Художник *Э.Ш. Мурадова*
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 27.03.2026. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 11,55. Тираж 100 экз.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
<https://press.bmstu.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.