

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

В. В. Конев, Н. Н. Карнаухов, Ш. М. Мерданов, Е. В. Половников  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## ELECTRIC DRIVE OF ROAD CONSTRUCTION MACHINES

Vitaly V. Konev, Nikolaj N. Karnaukhov, Shakhbuba M. Merdanov, Egor V. Polovnikov  
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы использования электропривода в конструкциях мобильных строительно-дорожных машин. Несмотря на то, что электропривод в машиностроении используется уже давно (пролетные, башенные краны, станки), данный вид привода не находит широкого применения на спецтехнике (одноковшовые экскаваторы, бульдозеры, одноковшовые фронтальные погрузчики и т. д.). При этом в последнее время электропривод все большее развитие с научным обоснованием и практическим применением получает в автомобилях. Очевидно, что использование электропривода на строительно-дорожных машинах исследовано недостаточно и поэтому ограничено. На это влияет множество факторов, связанных с особенностями данной техники (она имеет большую массу, изменяемые технологические процессы работы), условиями ее эксплуатации (природно-климатическими, дорожными). Это необходимо учитывать при разработке строительно-дорожных машин с электроприводом для повышения эффективности их использования. Проведен анализ характеристик машин с электроприводом и определены функциональные зависимости, на основе чего сделаны основные выводы.

**Abstract.** This article deals with the use of electric drive in the design of mobile road construction vehicles. Despite the fact that electric drive has been used in machine engineering for a long time (span type cranes, tower cranes, machines), this type of drive is not widely used in specialized equipment (single-bucket excavators, bulldozers, single-bucket loaders, etc.). At the same time, based on scientific evidence, the electric drive has been used more and more often in the car engineering. Clearly, the use of electric drives in road construction machines has not been sufficiently investigated and therefore it's limited. This is due to a number of factors associated with the features (a large mass, changes in technological processes of work) and operating conditions (natural, climatic, road) of this road machinery. This must be taken into account in the development of road construction vehicles with an electric drive to improve the efficiency of their use. The authors analyzed the characteristics of machines with electric drive, determined the functional dependences, and based on this made the main conclusions.

**Ключевые слова:** электропривод, строительно-дорожные машины, спецтехника, условия эксплуатации, факторы, характеристики машин

**Key words:** electric drive, road construction machines, specialized equipment, operating conditions, factors, characteristics of machines

**Для цитирования:** Электрический привод строительно-дорожных машин / В. В. Конев, Н. Н. Карнаухов, Ш. М. Мерданов, Е. В. Половников. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-3-65-73. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. № 3 (101). – С. 65–73.

**For citation:** Konev, V. V., Karnaukhov, N. N., Merdanov, Sh. M., & Polovnikov, E. V. (2022). Electric drive of road construction machines. *Architecture, Construction, Transport*, (3(101)), pp. 65-73. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2022-3-65-73.

### Введение

В последнее время широко распространено использование электроэнергии в приводах автомобилей. Данное направление развития техники было популярно в начале XX века, однако, ввиду энергоемкости процессов получения, преобразования и использования энергии, а также по технологическим причинам – уровню развития науки, материалов, – оно уступило место двигателям внутреннего сгорания.

В современных условиях применение электропривода становится все более актуальным, и совершенствование данного направления идет по пути улучшения технико-экономических показателей. Так, дальнейшее использование двигателей внутреннего сгорания строится на комбинировании традиционных конструкций с электроприводом, а также использовании последнего в качестве основного двигателя. Электроприводам, как альтернативе топливным двигателям, в последнее время уделяется все большее внимание в исследованиях с последующим их внедрением на спецтехнику.

В соответствии с жесткими требованиями евростандартов по выбросам отработавших газов двигателя внутреннего сгорания NO, CO, CH, дымности (для дизельных двигателей) автомобилей и строительно-дорожных машин, активно исследуются, разрабатываются и внедряются, особенно в последнее время, электроприводные машины (электромобили). Ухудшение экологической обстановки в мире привело к усилению политического регулирования вопросов использования

машин с высоким потенциалом выбросов вредных веществ в атмосферу и загрязнения природной среды. Особую актуальность эти проблемы имеют в странах и городах с высокой плотностью населения [1, 2].

В крупных городах Европы формируются зоны с нулевым выхлопом, где движение автомобилей с ДВС запрещено. Скоро запрет коснется и машин коммунальных служб. Это привело к резкому росту количества электромобилей (продажи в 2020 году в мире превысили 3 млн единиц, из них 1,4 – в Европе, 1,34 – в Китае, 0,3 – США). Таким образом, статистика говорит о развитии внедрения электропривода. Международное энергетическое агентство прогнозирует к 2030 году производство 130 млн электромобилей [3].

### Объект и методы исследования

При строительстве городов и содержании инфраструктуры используется большой парк строительных и коммунальных машин (после автомобилей это второй загрязнитель воздуха в городах).

Электроприводы машин широко применяются в промышленности: приводы станков, кранов, экскаваторов, транспортеров и т. п. [4]. Использование электропитания обосновывается экономической эффективностью и возможностью его подачи от линий электропередач [5, 6].

Электрические приводы мобильных машин имеют ряд преимуществ перед другими первичными источниками энергии и трансмиссиями: надежность, экономичность, высокий КПД, низ-

кие эксплуатационные затраты, компактность, удобство в управлении, малый уровень шума, легкость автоматизации и роботизации. Они используют меньше материалов и жидкостей, требующих регулярной замены, а применение индивидуального привода для исполнительных элементов машин значительно упрощает их конструкцию и обеспечивает высокий уровень готовности к работе [7]. При этом, рассматривая строительно-дорожные машины, следует учитывать, что это многосистемные устройства, включающие гидро- и электросистему, трансмиссии на движитель, рабочий орган, режимы работы которых изменяются в зависимости от условий эксплуатации (природных, дорожных). Это влияет на энергопотребление и, как следствие, необходимо научное обоснование использования электропривода в рамках решаемых задач.

Таким образом, объектом исследования является система «двигатель – рабочий орган – обрабатываемая среда». У машин для земляных работ под обрабатываемой средой понимается разрабатываемый грунт, у снегоуборочных – снежная масса, у грузоподъемных и машин непрерывного транспорта – груз. Предметом исследования являются протекающие в указанной системе гидромеханические, тепловые и механические процессы. Для их изучения необходимо провести теоретические исследования, включающие построение математических моделей и определение закономерностей процессов с проверкой и уточнением результатов экспериментальными исследованиями на физических моделях.

### Результаты

В условиях автономного функционирования использование электромобилей рассматривается как альтернатива автомобилям с двигателями внутреннего сгорания. Основными задачами развития данного направления являются поиск, конструирование и использование аккумуляторных батарей повышенной емкости, способных запасать большой объем электроэнергии за меньший период времени, сохранять его и передавать на приводы машины, а также уменьшение массы и размеров аккумуляторов и их утилизация после

выработки ресурса [8]. Важным моментом является и снижение их стоимости.

Аналогичные вопросы возникают и при автономном функционировании энергонасыщенной технологической спецтехники. Это очевидно, поскольку данная техника имеет большую массу базовой машины и рабочих органов, трансмиссию на рабочие органы и различные типы движителей.

Опыт производства спецтехники с электроприводом есть у компаний Caterpillar, Komatsu, Белаз. На рис. 1 представлены элементы электропривода карьерного самосвала 795F AC (Caterpillar), обеспечивающие эффективность его работы. На рис. 2 показана структурная схема электропривода.

Очевидно, что эффективность использования электроприводов в строительно-дорожных машинах (одноковшовых экскаваторах, бульдозерах и т. п.) зависит от работы каждого из элементов и их взаимодействия [9, 10]. В сравнении с автомобилями спецтехника сложнее в структуре входящих в нее элементов (механическая часть, рабочий орган). Рабочий орган в основ-

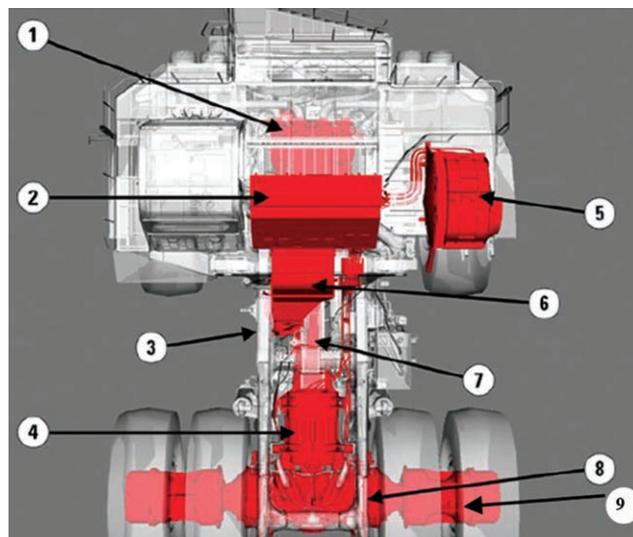


Рис. 1. Элементы электропривода карьерного самосвала: 1) двигатель; 2) отсек инверторов управления питанием; 3) вентилятор с регулируемой частотой вращения; 4) генератор; 5) радиальный блок резисторов; 6) охлаждающий воздуховод; 7) приводной вал; 8) электродвигатели колес; 9) бортовой двухступенчатый редуктор

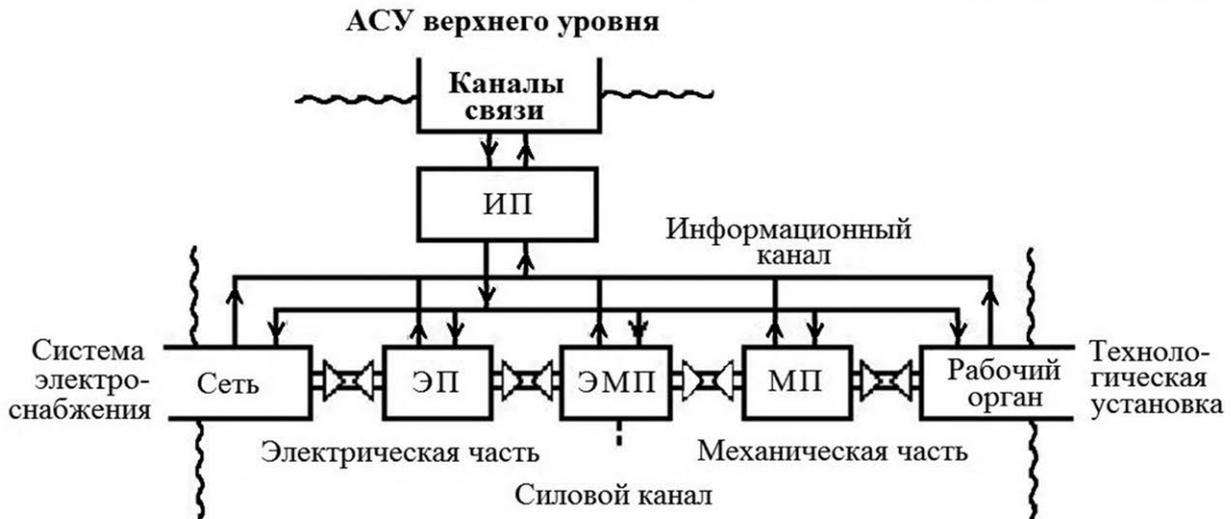


Рис. 2. Структурная схема электропривода

ном взаимодействует со средой (грунтом, снегом, грузом). Изменяются характеристики среды, режимы работы машины, и это влияет на работу электропривода. Возникают научные задачи для описания закономерностей процессов при работе систем машины, имеющих вероятностный характер. Эффективность использования электропривода машин оценивается по мощностному балансу. В соответствии с изложенным, структурную схему электропривода (рис. 2) преобразим в мощностной баланс (рис. 3).

На примере электропривода карьерного самосвала Cat AC можно выделить следующие варианты повышения эффективности применения данных приводов в спецтехнике:

- использование высокого напряжения, которое выделяет меньше тепла при относительно низкой силе тока;
  - использование энергии на холостых режимах работы для вспомогательных операций машины;
  - генерация энергии, в том числе рекуперация при торможении машины, рабочих органов. Электрические самосвалы производят известные фирмы Европы и США: Volvo, PACCAR, Volkswagen, Scania, Daimler. К производству данного вида техники (электрокаров) также активно подключаются производители из Китая.
- В связи с этим ведущие производители коммерческого транспорта активно развивают

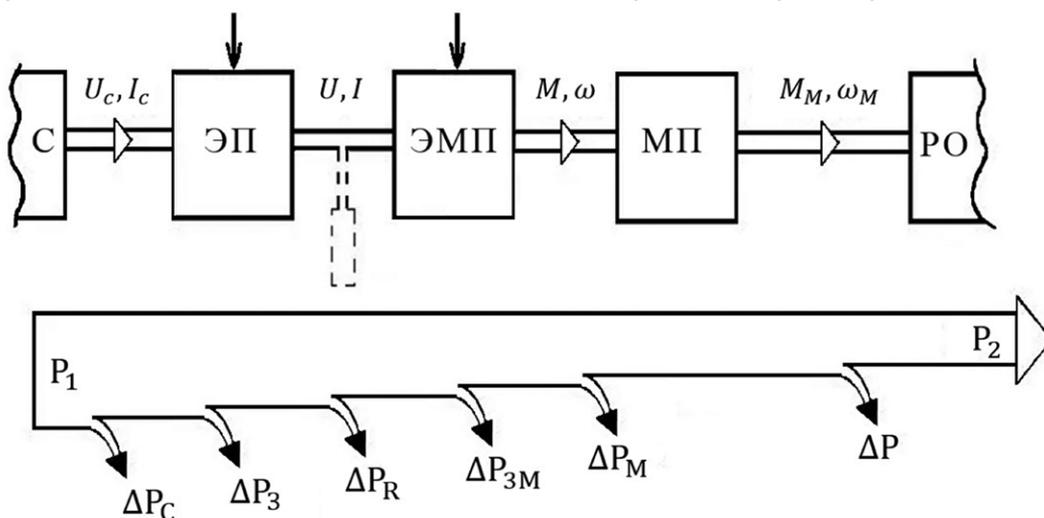


Рис. 3. Мощностной баланс

## Технические характеристики

Марка	Мощность ДВС, кВт	Максимальная скорость, км/час	Грузоподъемность, т	Емкость аккумулятора, кВт/час	Запас хода, км
<b>Грузовые авто</b>					
Volkswagen e-Crafter	100	90	1	36	170
Voltia XL	78	НД*	НД	75	280
Volvo FM Electric	250	НД	44	180–540	300
Газель Next Electro	98	100	2,5	70	200
<b>Электробус</b>					
ЛиАЗ-6274	130	80	НД	152	200
КАМАЗ-6282	250	75	НД	70	от 70
Volgabus CR12E	250	75	НД	300	300

рынок грузовых электромобилей [11], которые широко применяются в сфере логистики, коммунальном хозяйстве, строительстве и других отраслях. Эффективность использования машин определяется их техническими характеристиками (таблица 1).

Логистические компании Chronopost и AMAZON в 2022 году планируют увеличить парк электрических автомобилей до 1 500 и 1 800 единиц соответственно. Volvo активно работает над производством строительной техники с электроприводом и тяжелых грузовиков. В России компаниями КАМАЗ, ГАЗ, Volgabus разработаны и активно выпускаются электробусы. В 2020 году в Москве насчитывалось уже 600 единиц техники [12].

Естественно, у мобильного электропривода наряду с преимуществами имеются и недостатки, которые сдерживают его использование: ограниченная емкость батарей (особенно при низких температурах); длительное время зарядки; слабая сеть зарядных станций; старение и деградация литий-ионных батарей; высокая стоимость батарей и проблемы их утилизации.

Несмотря на существующие трудности в использовании электродвигателей, уже имеются и положительные результаты. Так, выросла емкость батарей, аккумуляторы позволяют преодо-

леть 200–250 км на одной зарядке с полным грузом. Это значительно больше, чем средний пробег автомобиля коммунальной службы. В Европе и в крупных городах России формируется инфраструктура станций для зарядки электромобилей (в Москве в 2020 году построено 50 станций). За последнее десятилетие стоимость аккумуляторных батарей снизилась почти в 8 раз и составила до 137 \$ за кВт·ч (по данным компании Bloomberg). Появились быстрозаряжаемые (от 3 часов и более) и морозоустойчивые литий-титанатные батареи (используются на авто от –25 до +40 °С) [13].

Созданы новые высокоэффективные электродвигатели вращательного и возвратно-поступательного движения.

### Обсуждение

Анализ тенденций развития электротранспорта свидетельствует о том, что сформировались технические и экономические условия для усовершенствования мобильной электроприводной строительной-дорожной и коммунальной техники. Однако, ввиду особенностей ее использования, опыта электромобилей недостаточно. Возникают сложности с зарядкой маломобильных энергонасыщенных, гусеничных строитель-

но-дорожных и коммунальных машин. Они, как правило, имеют большую массу, несколько рабочих органов, сложную кинематику, разветвленную трансмиссию и эксплуатируются в тяжелых условиях работы.

На рис. 4 представлена зависимость крутящего момента (Н·м) от частоты вращения (об/мин) при сравнении характеристик электродвигателя и двигателя внутреннего сгорания [14]. Анализ данных показывает, что электродвигатели имеют «пологую» зависимость крутящего момента от частоты вращения. Эта зависимость крутящего момента прослеживается в большом диапазоне изменения частоты вращения, поэтому электродвигатели имеют постоянно высокие мощностные характеристики, в том числе на малых оборотах, по сравнению с двигателями внутреннего сгорания. На больших оборотах крутящий момент электродвигателя имеет отрицательную динамику, как и у двигателя внутреннего сгорания, хоть и с небольшим запозданием. Данный вывод подтверждает обоснованность использования электропривода на строительно-дорожных машинах, которые работают на больших крутящих моментах и с относительно небольшими угловыми скоростями.

Так, самосвал 795F AC, несмотря на большую массу (более 570 тонн), имеет номинальную полезную нагрузку более 310 тонн, а максимальную скорость с грузом до 64 км/ч. Компания Case

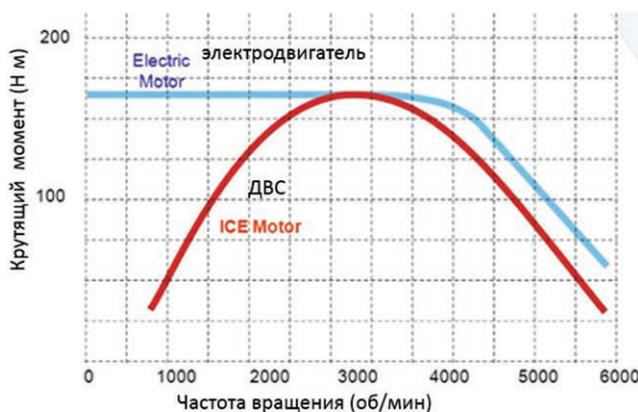


Рис. 4. Зависимость крутящего момента от частоты вращения

разработала экскаватор-погрузчик Case 580 EV с аккумуляторной батареей емкостью 90 кВт·ч на 8 часов работы. Это снижает уровень шума на 90%, эксплуатационные затраты, вредные выбросы в атмосферу. Экскаватор оснащен системой ProControl для обеспечения программируемой траектории движения стрелы [14]. В Швейцарии разработали электрическую подметально-вакуумную машину Bucher Citycat 2020 EV (масса 4,5 тонны, мощность двигателя 55 кВт). Литий-ионная батарея обеспечивает до 8 часов работы. Зарядка занимает 2-3 часа. Это позволило на 10 дБ уменьшить шумность, на 26 т/год выбросы CO<sub>2</sub>, а также на 75% сократить эксплуатационные затраты [15].

Рассматривая синтез электрической силовой установки и рабочего органа транспортно-технологических машин по структурной схеме электропривода (рис. 2), на первом этапе исследований следует определить количество энергии, необходимое для выполнения рабочих процессов машин и рекуперации. Возьмем для примера одноковшовый экскаватор. Использование сил гравитации, действующих на рабочий орган (стрелу, рукоять, ковш) при его движении вниз, и использование (накопление) энергии торможения, в т. ч. поворотной платформы экскаватора (противовес выполнить подвижным с откликом на вылет рабочего органа экскаватора), в рабочем цикле позволяет перераспределять энергию на силовую установку и систему управления машины, а также накапливать в электроаккумуляторах. Синтез электропривода и гидропривода используется в конструкциях машин, но в части управления рабочими процессами (управление аппаратурой регулирования). При этом целесообразно рассмотреть комбинированный привод на мобильных транспортно-технологических машинах, это позволит автоматизировать технологические операции, повысить качество выполнения работ.

### Выводы

Электропривод с питанием от аккумуляторных батарей в конструкции мобильных машин получает все большее развитие, т. к. его использование позволяет автоматизировать и

---

роботизировать мобильные машины, упростить кинематические схемы рабочих органов. Этого можно достичь за счет применения передвижных групповых и индивидуальных зарядных станций или быстросменных аккумуляторных батарей, инерционных аккумуляторов энергии с возможностью дополнительного ее накопления при выполнении торможения и при действии сил гравитации в рабочем цикле машины [16].

Данное направление имеет научное обоснование и широкое практическое применение в автомобилях. Однако по ряду причин его использование в составе строительно-дорожных и коммунальных машин сдерживается. На это влияет множество факторов, связанных с конструкцией машин, возможностями промышленности и условиями эксплуатации данной техники. Для проверки повышения эффективности использования электроприводов в строительно-дорож-

ных машинах необходима оценка мощностного баланса машины с учетом всех ее элементов при определении факторов влияния, основными из которых являются: температура окружающей среды и гидросистемы; сопротивления, возникающие на рабочем органе при работе машины. При этом оптимизация энергопотребления определяется режимом работы машины (гидромеханическими и тепловыми процессами), кинематикой механических процессов, которыми следует управлять и регулировать.

В ходе дальнейших исследований будет проведено математическое и физическое моделирование процессов в работе транспортно-технологических машин в синтезе электрической и силовой установки и рабочего органа с учетом влияния указанных выше факторов на выходной параметр, которым принимаются энергозатраты.

#### **Библиографический список**

1. Конев, В. В. Совершенствование системы предпусковой тепловой подготовки двигателя внутреннего сгорания землеройной машины / В. В. Конев, Н. Н. Карнаухов, Ш. М. Мерданов. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. – 144 с. – ISBN 978-5-9961-2138-0. – Текст : непосредственный.
2. Мерданов, Ш. М. Гидроприводы строительно-дорожных машин для эксплуатации при низких температурах : монография / Ш. М. Мерданов, В. В. Конев, Г. Г. Закирзаков. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2016. – 160 с. – ISBN 978-5-9961-1356-9. – Текст : непосредственный.
3. Сколько электромобилей в мире: сводная аналитика на конец 2020 года. – Текст : электронный // E-CARS.TECH : официальный сайт. – URL: [e-cars.tech/elektromobili/skolko-elektromobiley-v-mire-svodnaya-analitika-na-konets-2020-goda](http://e-cars.tech/elektromobili/skolko-elektromobiley-v-mire-svodnaya-analitika-na-konets-2020-goda) (дата обращения: 14.04.2022).
4. Фролов, Ю. М. Проектирование электропривода промышленных механизмов / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. – Текст : непосредственный. – Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2014. – 448 с.
5. Гордеев-Бургвиц, М. А. Системы автоматического управления взаимосвязанными электроприводами мощных экскаваторов : монография / М. А. Гордеев-Бургвиц. – Москва : Московский государственный строительный университет (ЭБС АСВ), 2014. – 208 с. – ISBN 978-5-7264-0892-7. – Текст : непосредственный.
6. Янковенко, В. С. Расчет и конструирование элементов электропривода : учебник для техникумов / В. С. Янковенко, С. С. Арсенюк, В. М. Царик. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 317 с. – Текст : непосредственный.
7. Электродвигатель или ДВС. Плюсы и минусы двух технологий. – Текст : электронный // E<sup>2</sup>nergy: официальный сайт. – 2018. – 20 августа. – URL: [eenergy.media/2018/08/20/elektrovdigatel-ili-dvs-plyusy-i-minusy-dvuh-tehnologij](http://eenergy.media/2018/08/20/elektrovdigatel-ili-dvs-plyusy-i-minusy-dvuh-tehnologij) (дата обращения: 02.04.2022).
8. Дюбей, Г. К. Основные принципы устройства электроприводов / Г. К. Дюбей. – Москва: Техносфера, 2009. – 480 с. – Текст : непосредственный.

9. Аксенов, М. И. Моделирование электропривода : учебное пособие / М. И. Аксенов. – Москва : Инфра-М, 2016. – 135 с. – Текст : непосредственный.
10. Неменко, А. В. Механические компоненты электропривода машин: расчет и проектирование : учебное пособие / А. В. Неменко. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Москва : ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – 376 с. – DOI 10.12737/textbook\_5b34dad47ee877.13125931. – Текст : непосредственный.
11. Грузовые электромобили в России и в мире: текущее состояние, экономический смысл, перспективы, проблемы. – Текст : электронный // E-CARS.TECH : официальный сайт. – 2022. – 01 февраля. – URL: [e-cars.tech/elektrogruzoviki/gruzovye-elektromobili-v-rossii-i-v-mire-tekuschee-sostoyanie-ekonomicheskii-smysl-perspektivy-problemy/](https://e-cars.tech/elektrogruzoviki/gruzovye-elektromobili-v-rossii-i-v-mire-tekuschee-sostoyanie-ekonomicheskii-smysl-perspektivy-problemy/) (дата обращения: 14.04.2022).
12. Электробусы, популярные модели в России. – Текст : электронный // Перевозка 24 : официальный сайт. – 2022. – URL: [perevozka24.ru/pages/elektrobusy-v-rossii-populyarnye-modeli](https://perevozka24.ru/pages/elektrobusy-v-rossii-populyarnye-modeli) (дата обращения: 14.04.2022).
13. Коммерческий электромобиль Газель NEXT ELECTRO. – Текст : электронный // Группа компаний «Электромобили» : официальный сайт. – 2022. – URL: [electromobili.ru/katalog/kommercheskie-elektromobili/kommercheskij-elektromobil-gazel-next-electro](https://electromobili.ru/katalog/kommercheskie-elektromobili/kommercheskij-elektromobil-gazel-next-electro) (дата обращения: 14.04.2022).
14. Vatanparvar, K. Battery-aware energy-optimal electric vehicle driving management / K. Vatanparvar, J. Wan, M. A. Faruqa. – Текст : электронный // 2015 IEEE/ACM International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED). – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7273539> (date of the application 14.04.2022).
15. Электрическая подметально-вакуумная машина BUCHER CITYCAT 2020 EV. – Текст : электронный // Меркатор Холдинг : официальный сайт. – URL: [merkatorgroup.ru/equipment/dorozhno-kommunalnaya-tekhnika/podmetalnye-mashiny-i-oborudovanie/elektricheskaya-podmetalno-vakuumnaya-mashina-bucher-citycat2020ev](https://merkatorgroup.ru/equipment/dorozhno-kommunalnaya-tekhnika/podmetalnye-mashiny-i-oborudovanie/elektricheskaya-podmetalno-vakuumnaya-mashina-bucher-citycat2020ev) (дата обращения: 14.04.2022).
16. Гулиа, Н. В. Инерционные аккумуляторы энергии / Н. В. Гулиа. – Изд. 2-е, стереотип. – Москва : Машиностроение, 2021. – 240 с. – Текст: непосредственный.

### References

1. Konev, V. V., Karnaukhov, N. N., & Merdanov, Sh. M. (2020). Sovershenstvovanie sistemy predpuskovoy teplovooy podgotovki dvigatelya vnutrennego sgoraniya zemleroynoy mashiny. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 144 p. (In Russian).
2. Merdanov, Sh. M., Konev, V. V., & Zakirzakov, G. G. (2016). Hidroprivody stroitel'no-dorozhnykh mashin dlya ekspluatatsii pri nizkikh temperaturakh. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 160 p. (In Russian).
3. Skol'ko elektromobiley v mire: svodnaya analitika na konets 2020 goda. E-CARS.TECH. (In Russian). Available at: [e-cars.tech/elektromobili/skolko-elektromobiley-v-mire-svodnaya-analitika-na-konets-2020-goda](https://e-cars.tech/elektromobili/skolko-elektromobiley-v-mire-svodnaya-analitika-na-konets-2020-goda) (accessed 14.04.2022).
4. Frolov, Yu. M. (2014). Proektirovanie elektroprivoda promyshlennykh mekhanizmov. Saint Petersburg, "Lan" Publ., 448 p. (In Russian).
5. Gordeev-Burgvits, M. A. (2014). Sistemy avtomaticheskogo upravleniya vzaimosvyazannymi elektroprivodami moshchnykh ekskavatorov. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 208 p. (In Russian).
6. Yankovenko, V. S., Arsenyuk, S. S., & Tsarik, V. M. (1987). Raschet i konstruirovaniye elementov elektroprivoda. Moscow, Energoatomizdat Publ., 317 p. (In Russian).
7. Elektrodvigatel' ili DVS. Plyusy i minusy dvukh tekhnologiy. E<sup>2</sup>nergy. (In Russian). Available at: [eenergy](https://eenergy.ru/).

- 
- media/2018/08/20/elektrodivigatel-ili-dvs-plyusy-i-minusy-dvuh-tehnologij (accessed 02.04.2022).
8. Dubey, G. K. (1995). *Fundamentals of Electrical Drives*. 2<sup>nd</sup> edition. New Delhi, Publ. Narosa Publishing House, 394 p. (In English).
  9. Aksenov, M. I. (2016). *Modelirovanie elektroprivoda*. Moscow, Infra-M Publ., 135 p. (In Russian).
  10. Nemenko, A. V. (2019). *Mechanical components of the electric drive of machines: calculation and design*. 2<sup>nd</sup> edition, revised. Moscow, OOO "Nauchno-izdatel'skiy tsentr INFRA-M" Publ., 376 p. (In Russian). DOI 10.12737/textbook\_5b34dad47ee877.13125931.
  11. Gruzovye elektromobili v Rossii i v mire: tekushchee sostoyanie, ekonomicheskij smysl, perspektivy, problemy. E-CARS.TECH. (In Russian). Available at: [e-cars.tech/elektrogruzoviki/gruzovye-elektromobili-v-rossii-i-v-mire-tekushchee-sostoyanie-ekonomicheskij-smysl-perspektivy-problemy/](http://e-cars.tech/elektrogruzoviki/gruzovye-elektromobili-v-rossii-i-v-mire-tekushchee-sostoyanie-ekonomicheskij-smysl-perspektivy-problemy/) (accessed 14.04.2022).
  12. Elektrobussy, populyarnye modeli v Rossii. Perekovka 24. (In Russian). Available at: [perekovka24.ru/pages/elektrobussy-v-rossii-populyarnye-modeli](http://perekovka24.ru/pages/elektrobussy-v-rossii-populyarnye-modeli) (accessed 14.04.2022).
  13. Kommercheskiy elektromobil' Gazel' NEXT ELECTRO. Gruppy kompaniy "Elektromobili". (In Russian). Available at: [electromobili.ru/katalog/kommercheskie-elektromobili/kommercheskij-elektromobil-gazel-next-electro](http://electromobili.ru/katalog/kommercheskie-elektromobili/kommercheskij-elektromobil-gazel-next-electro) (accessed 14.04.2022).
  14. Vatanparvar, K., Wan, J., & Faruque, M. A. (2015). Battery-aware energy-optimal electric vehicle driving management. 2015 IEEE/ACM International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED). (In English). Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7273539> (accessed 14.04.2022).
  15. Elektricheskaya podmetal'no-vakuumnaya mashina BUCHER CITYCAT 2020 EV. Merkator Kholding. (In Russian). Available at: [merkatorgroup.ru/equipment/dorozhno-kommunalnaya-tehnika/podmetalnye-mashiny-i-oborudovanie/elektricheskaya-podmetalno-vakuumnaya-mashina-bucher-citycat2020ev](http://merkatorgroup.ru/equipment/dorozhno-kommunalnaya-tehnika/podmetalnye-mashiny-i-oborudovanie/elektricheskaya-podmetalno-vakuumnaya-mashina-bucher-citycat2020ev) (accessed 14.04.2022).
  16. Gulia, N. V. (2021). *Inertsionnye akkumulyatory energii*. 2<sup>nd</sup> edition. Moscow, Mashinostroenie Publ., 240 p. (In Russian).

#### **Сведения об авторах**

Конев Виталий Валерьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры транспортных и технологических систем, Тюменский индустриальный университет, e-mail: [konevvv@tyuiu.ru](mailto:konevvv@tyuiu.ru)

Карнаухов Николай Николаевич, д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры транспортных и технологических систем, Тюменский индустриальный университет, e-mail: [karnauhovnn@tyuiu.ru](mailto:karnauhovnn@tyuiu.ru)

Мерданов Шахбуба Магомедкеримович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой транспортных и технологических систем, Тюменский индустриальный университет, e-mail: [merdanovsm@tyuiu.ru](mailto:merdanovsm@tyuiu.ru)

Половников Егор Викторович, старший преподаватель кафедры транспортных и технологических систем, Тюменский индустриальный университет, e-mail: [polovnikovev@tyuiu.ru](mailto:polovnikovev@tyuiu.ru)

#### **Information about the authors**

Vitaly V. Konev, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Transport and Technological Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: [konevvv@tyuiu.ru](mailto:konevvv@tyuiu.ru)

Nikolaj N. Karnaukhov, Doctor of Engineering, Professor at the Department of Transport and Technological Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: [karnauhovnn@tyuiu.ru](mailto:karnauhovnn@tyuiu.ru)

Shakhbuba M. Merdanov, Doctor of Engineering, Professor, Head at the Department of Transport and Technological Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: [merdanovsm@tyuiu.ru](mailto:merdanovsm@tyuiu.ru)

Egor V. Polovnikov, Senior Lecturer at the Department of Transport and Technological Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: [polovnikovev@tyuiu.ru](mailto:polovnikovev@tyuiu.ru)