

УДК 622.68:621-83

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.01.033

**Черепанов Владимир Александрович**

научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075 г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [transport@igduran.ru](mailto:transport@igduran.ru)

**Cherepanov Vladimir A.**

Researcher,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg,  
Mamina-Sibiryaka Str., 58  
e-mail: [transport@igduran.ru](mailto:transport@igduran.ru)

**Журавлев Артем Геннадиевич**

кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией,  
Институт горного дела УрО РАН

**Zhuravlev Artem G.**

Candidate of Science (Engineering),  
Head of Laboratory,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**Глебов Игорь Андреевич**

младший научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН

**Glebov Igor A.**

Junior Researcher,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**Чендырев Михаил Андреевич**

младший научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН

**Chendyrev Mikhail A.**

Junior Researcher,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

**ОБЗОР ТРАНСПОРТА  
С ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ В ФОКУСЕ  
РАЗВИТИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ\*****OVERVIEW OF TRANSPORT WITH  
ROWER SUPPLY IN FOCUS  
OF MINING INDUSTRY DEVELOPMENT***Аннотация:*

*В статье рассмотрены современные разработки в области электротранспорта на пневмоколесном ходу, уже эксплуатируемого на горных работах, а также некоторые достижения и разработки, которые могут быть использованы для горнопромышленного транспорта. Среди них дизель-троллейбусы, автосамосвалы с комбинированной энергосиловой установкой, электромобили.*

*Abstract:*

*The paper describes the modern developments in the field of wheel-mounted electric transport already operated at mining works, as well as some achievements and developments that can be used for mining transport. Among them are Diesel-trolley cars, dump trucks with combined power plant, electric cars.*

*Ключевые слова: технологический транспорт, карьерный автосамосвал, аккумулятор энергии, комбинированная энергосиловая установка, транспорт с электропитанием, дизель-троллейбус*

*Keywords: technological transport, mining dump truck, energy accumulator, combined power plant, electric transport, Diesel-trolley car*

**Введение**

В настоящее время актуальным остается вопрос энергосбережения на горнодобывающих предприятиях. Одним из вариантов увеличения энергоэффективности производства является снижение затрат на процесс транспортирования, составляющий до 50 % и более в общей себестоимости добычи полезных ископаемых за счет применения электротранспорта. При этом электротранспорт может иметь различные источники энергии, виды преобразователей и типы энергосиловых установок: контактную электрическую сеть, накопители энергии и др. В статье рассмотрены современные разработки в области электротранспорта на пневмоколесном ходу, уже эксплуатируемого на горных работах, а также некоторые достижения и проработки в области промышленного транспорта, опыт применения которых может быть использован и для горных транспортных машин.

\* Статья подготовлена с использованием результатов работ по государственному заданию № 075-00581-19-00 тема № 0405-2019-0005

*Изложение рассматриваемых вопросов*

## 1. Электротранспорт для открытых горных работ

## 1.1 Аккумуляторные карьерные самосвалы

Компания «E-Mining AG», основанная совместно с компаниями Kuhn Schweiz AG и Lithium Storage GmbH, в 2015 г. занялась разработкой аккумуляторного электромобиля-самосвала на базе карьерного автосамосвала Komatsu HD 605-7 для компании Ciments Vigier SA, которая эксплуатирует карьер нагорного типа по добыче сырья для изготовления цемента (уклон автодорог составляет до 12 %, перепад высот от забоев до площадки ДОФ 200 м). В отличие от дизельного варианта самосвала, eDumper не требуется заправка или стационарная подзарядка: батареи заряжаются энергией, рекуперированной при электродинамическом торможении на спусках во время работы автосамосвалов [1]. По расчетам разработчиков 20 рейсов обеспечивают дополнительную генерацию электроэнергии в размере 200 кВтч, которую самосвал сможет сбросить в собственную электрическую сеть. На разработку образца такого электросамосвала потребовалось 18 месяцев (рис. 1; табл. 1). Расчетная производительность автосамосвала на карьере Ciments Vigier SA порядка 300 000 т в год. Предполагаемый срок службы самосвала – 10 лет [2]. В 2019 г. планируется поставка еще одного автосамосвала на данный карьер.

Таблица 1

**Технические характеристики самосвала eDumper**

Параметр	Значение
Базовое шасси	Komatsu 605-7
Грузоподъемность	60 т
Масса порожнего автосамосвала	50 т
Расчетный уклон автодорог, %	12-13
Максимальная скорость	50 км/ч
Мощность электродвигателей мотор-колес - электродвигатель привода задних колес (Oswald Motoren GmbH); - колесные редукторы (Puls Getriebe GmbH); - управление тяговым электроприводом с инвертором (Aradex AG).	590 кВт (9500 Nm)
Максимальный ток	Max 3000 А
Энергоемкость аккумулятора энергии (Lithium Storage GmbH)	700кВтч (4 блока)
Тип аккумуляторов	Никель-марганцево-кобальтовые (NMC)
Количество ячеек аккумуляторов	1440
Масса аккумуляторов	4,5 т
Способы подзарядки	Рекуперация при спуске до 40 кВтч (1 спуск)
<b>Параметры энергопотребления в расчетном цикле работы самосвала</b>	
Потребление электроэнергии на подъем (порожняком)	30 кВтч
Избыток энергии рекуперации	10кВтч за спуск 200 кВтч в день / 77 МВтч в год
<b>Стоимостные показатели</b>	
Расчетная цена автосамосвала	2 млн швейцарских франков (~121 млн руб.)

В условиях автоперевозок из небольших карьеров (глубиной до 50 м) или малотоннажных перевозок от прикарьерных складов на обогатительные фабрики, где троллейбусы экономически нецелесообразны, могут найти применение аккумуляторные самосвалы-электромобили общестроительного класса. Подобные разработки уже имеются. Так, в сентябре 2015 г. концерн BYD представил трехосный карьерный самосвал грузоподъемностью 30 т для эксплуатации в плохо вентилируемых карьерах или на угольных разрезах (см. рис. 1). Снаряженная масса самосвала – 30 т, из которых на аккумулятор и тяговые электродвигатели приходится 10 т. Грузоподъемность 30 т, полезный объем кузова – 30 м<sup>3</sup>, габаритная ширина 3,2 м [3, 4].

При разработке роботизированной и автономной техники также используются современные инновации для создания машин, работающих только на электроприводе. Роботизированный самосвал Volvo HX1 не имеет кабины, приводится в движение от электродвигателя, питаемого от аккумуляторных батарей. Испытания опытного образца намечены в Швеции [5] (см. рис. 1).



Рис. 1 – Карьерные автосамосвалы с аккумуляторными батареями без дизельных двигателей:  
1 – самосвал-электромобиль eDumper (на шасси KOMATSU HD 605-7) [2, 6];  
2 – Китайский самосвал-электромобиль BYD V60 [3, 4];  
3 – роботизированный самосвал Volvo HX1 [5]

## 1.2 Автосамосвалы с комбинированной (гибридной) энергосиловой установкой

С увеличением глубины карьеров и средневзвешенного уклона автодорог, расстояния транспортирования возрастают нагрузки на энергосиловую установку и трансмиссию автосамосвала, но в то же время увеличивается время спуска автосамосвалов в карьер к месту погрузки, а значит, время «непроизводительной» работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на низких нагрузках. Затраты топлива на вспомогательных операциях транспортного цикла при 40 – 60 % времени рейса составляют 5 – 15 % от общего расхода топлива за транспортный цикл.

В то же время автосамосвал, поднимаясь к пункту разгрузки, запасает большое количество потенциальной энергии, которую можно аккумулировать во время спуска его к забою экскаватора и использовать для питания тягового электропривода автосамосвала. Исследования в данном вопросе позволили специалистам ИГД УрО РАН предложить карьерный автосамосвал с комбинированной энергосиловой установкой (КЭУ) [7]. При движении автосамосвала с грузом вверх к месту разгрузки работает ДВС. После подхода на разгрузку двигатель автосамосвала останавливается, а энергия подводится от аккумулятора энергии (АЭ), который подзарядается на спусках за счет энергии от электродинамического торможения мотор-колесами. Экспериментальные замеры, выполненные ИГД УрО РАН на действующих карьерных автосамосвалах, показали, что указанный режим рекуперации/тяги достижим на практике для реальных карьеров.

Выбор для конкретных условий эксплуатации того или иного варианта комбинированной энергосиловой установки необходимо проводить на основе сравнения эксплуатационных качеств. Из рис. 2 видно, что при средневзвешенных уклонах более 4 % объем рекуперлируемой энергии становится достаточен для отключения ДВС на протяжении всего порожнякового движения. Это позволяет экономить до 10 % дизельного топлива за каждый рейс. При меньших уклонах запасаемой в аккумуляторе энергии недостаточно для остановки ДВС, а потому экономии топлива практически нет.

Многие годы данный тип энергосиловой установки не был экономически привлекательным из-за длительных сроков окупаемости. Однако в последнее время ввиду существенного роста цен на дизельное топливо и совершенствования аккумуляторов энергии (рост их удельной мощности и энергоемкости) может найти применение на действующих карьерах.

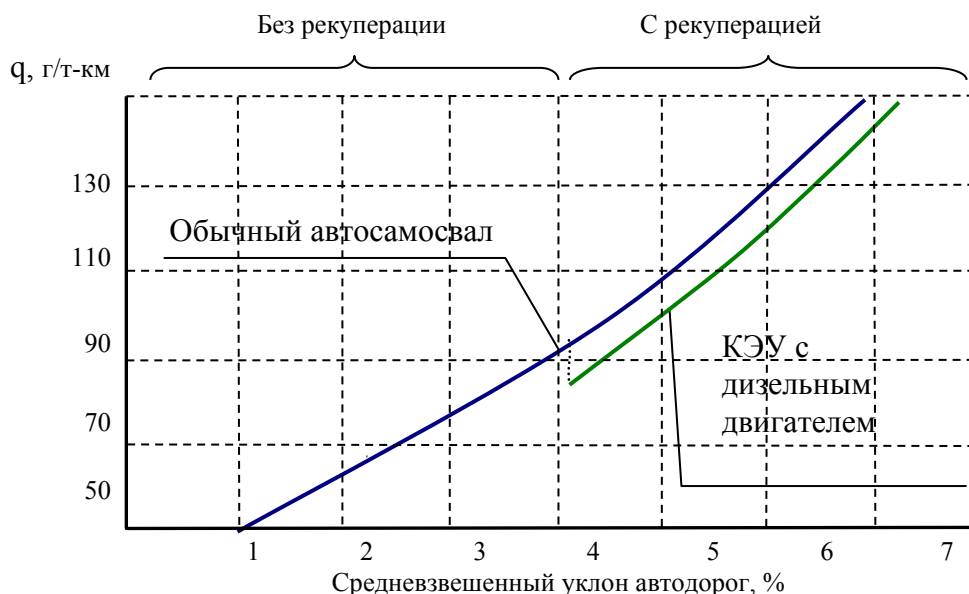


Рис. 2 – Удельный расход топлива карьерным автосамосвалом с КЭУ и традиционными автосамосвалами

Исследования в области гибридных силовых установок на карьерном транспорте проводятся и за рубежом. Так, в 2007 г. в штате Аризона (США) фирмой GeneralElectric при поддержке и софинансировании Департамента энергетики США был построен и испытан опытный образец карьерного автосамосвала с гибридной энергосиловой установкой (рис. 3) [8, 9]: грузоподъемность (ориентировочно) – 130 – 160 т, тип тягового аккумулятора энергии – электролитический, мощность аккумулятора – 441 кВт.



Рис. 3 – Карьерный автосамосвал с гибридной дизель-аккумуляторной электромеханической энергосиловой установкой, созданный на базе карьерного автосамосвала компанией GE [8, 9]

### 1.3 Дизель-троллейвозы

Опыт применения самосвалов с троллейным питанием на открытых горных работах показал следующие преимущества [10, 11]: экономия дизельного топлива от 30 до 80 % по сравнению с автосамосвалами; увеличение скорости движения дизель-троллейвозов по сравнению с автосамосвалами на 20 %; повышение производительности на 10 – 20 %; увеличение уклонов автодорог, уменьшение разноса бортов в конечном контуре карьера; уменьшение загазованности внутрикарьерного пространства; возможность применения рекуперации электроэнергии при движении дизель-троллейвоза под уклон и более плавного электродинамического торможения; достаточная надежность и безопасность работы в зимних условиях, возможность безгаражного содержания, удобство организации электроподогрева двигателя и др. У дизель-троллейвозного транспорта по сравнению с автосамосвалами имеется ряд недостатков, накладывающих ограничения на область его применения: более сложная конструкция дизель-троллейвозов с дополнительным оборудованием из-за наличия двух источников энергии; необходимость строительства и обслуживания силовых подстанций и троллейной системы, включающей в себя троллейную линию с опорами (в ряде случаев требующую расширения транспортных коммуникаций) и тяговые (передвижные) подстанции; возрастание расходов на обслуживание двух силовых установок; повышенный износ шин, пропорциональный увеличению производительности; необходимость уширения автомобильных дорог и увеличения затрат на их содержание; необходимость устройства горизонтальных площадок; частичная утрата автономности, снижение маневренности работы дизель-троллейвозов; более сложная организация работы на пересеченных транспортных коммуникациях. Стремление использовать достоинства и устранить недостатки дизель-троллейвозного транспорта в отечественной практике привело к созданию машин с комбинированным энергопитанием: гиро-троллейвозов, ДВС-аккумуляторных и троллейно-кабельных машин [12]. Имелся также опыт эксплуатации троллейвозов (без дизельного двигателя) на некоторых горнодобывающих предприятиях в СССР и за рубежом, но ввиду ограниченной области их применения дальнейшего развития на практике они в последнее время не получили в отличие от дизель-троллейвозного транспорта, опыт применения которого приведен в табл. 2 и 3. Стоимость создания троллейной системы будет зависеть от конкретных условий эксплуатации (уклоны, протяженность контактной сети, необходимость уширения дорог и т.д.), а также от необходимого количества машин на линии (требуемая производительность транспорта и, соответственно, мощность всех подстанций), и ряда других факторов, в том числе принятой технологии ведения горных работ на конкретном месторождении. При этом увеличение стоимости самого дизель-троллейвоза БелАЗ в настоящее время, по сравнению с серийными самосвалами, может составлять 5 – 10 % [13].

К настоящему времени все основные производители карьерных самосвалов (Komatsu, Hitachi, Caterpillar) представили на рынок различные модели дизель-троллейвозов (рис. 5) грузоподъемностью до 313 т. А в 2012 г. на базе карьерных самосвалов Unit Rig Lectra Haul MT-3600, которые в 2000-х годах продавала компания Terex Mining, был создан китайский дизель-троллейвоз NHL NTE360AC грузоподъемностью 170 т. На машине установлено электрооборудование Davenport Electric. Самосвал рассчитан на работу на высоте до 4500 м над уровнем моря при температуре от – 50 °С до +50 °С; двигатель – Cummins QSK78 I (MTU 20V 4000 C23 Tier II), общая мощность (л.с./кВт) – 3500/2610; максимальная скорость (км/ч) – 59; минимальный радиус поворота – 16,2 м; общая длина/общая ширина/общая высота (мм) – 15350/9390/7820 [16, 27] (см. рис. 5).

Таблица 2

**Технические характеристики отечественных дизель-троллейбусов [10, 13, 14]**

Показатель	БелАЗ (1964 г.) (рис. 4)	БелАЗ (1985 г.)	БелАЗ (1986 г.) дизель-троллейбус для ССГОК	БелАЗ (2013, теоретическая модель), (рис. 4)
Грузоподъемность, т	65	75	110	220-240 / 340-360
Базовый автомобиль	Автопоезд-тягач БелАЗ-Э524 или полуприцеп БелАЗ-Э792	БелАЗ-549	БелАЗ-7519	БелАЗ серии 7530 / 7560
Напряжение контактной сети, В	1200	750/1500	750-825	–
Способ управления	реостатный			–
Мощность дизельного двигателя, кВт	382	773	957	1715 / 2800
Тяговый генератор, кВт	300	600	800	1600 / –
Тяговые двигатели, кВт	200	230	360	560 / –
Токоприемник	Троллейные штанги	Пантограф		
Масса дизель-троллейбуса, т	46	67	87	–



Рис. 4 – Дизель-троллейбусы БелАЗ:  
слева – 3-D модель дизель-троллейбуса грузоподъемностью 220 – 240 т [13];  
справа – дизель-троллейбус БелАЗ-Э524-792 [14]

Таблица 3

**Опыт применения машин с троллейным питанием за рубежом [11, 15-26]**

Месторождение, характеристика машин	Эксплуатационные показатели внедрения машин
<b>1938 - 1962:</b> Valtellina Dam Project, Италия. В общей сложности 20 грузовых автомобилей с вспомогательной троллейной системой.	Использовались для перевозки бетона, песка и оборудования для строительства плотины Valtellina в северной Италии.
<b>1956 - 1971:</b> Riverside Cement Company, Калифорния, США. 4 троллейбуса Kenworth, грузоподъемностью 30 т	Скорость движения на уклоне 10 % вдвое больше, чем у автосамосвала.
<b>1967 -</b> Kennecott Copper, Chino Mine, New Mexico. Unit Rig M85 ( грузоподъемность 85 т), M100, (100 т)	Увеличение скорости движения по уклону 7 % с 6 до 13,5 миль/ч Линия проработала 15 лет.
<b>1970-1977 –</b> Quebec Cartier Mine, Канада. KWDart 85, 10 Unit Rig M85 (85 т), и 7 Unit Rig M100 (100 т).	Повышение производительности на 23 % и снижение потребления топлива на подъеме на 87 % (размеры карьера: 2,5 км в ширину и 181 м в глубину, при 10 % уклоне).
<b>1983-1990-</b> Nchanga Mine, Замбия. 33 автосамосвала Haulpak120С и Wabco 170Диз 100 переделаны в дизель-троллейбусы.	–

<p><b>1980-2001</b> – Palabora Mining, ЮАР. Одновременно использовалось более 70 дизель-троллейбусов Unit Rig МК36 грузоподъемностью 154 т и более 20 дизель-троллейбусов Unit Rig М100 грузоподъемностью 100 т. В 2002 г. в Palabora действовало 19 Euclid R190, 6 дизель-троллейбусов Unit Rig МК36. <b>на 2006</b> – 27 единиц (19 в производстве)</p>	Скорость транспортирования увеличилась с 12 до 22 км/ч; срок службы мотор-колес и дизельных двигателей увеличился на 16 и 20 %, соответственно; производительность транспорта возросла на 14 – 15 %, коэффициент готовности был более 90 %.
<p><b>1986-2006</b>– Rossing Uranium, Намибия. 11 дизель-троллейбусов Komatsu 730Es</p>	–
<p><b>1994-2001</b> – Barrick Goldstrike, Невада, Северная Америка (North America). Более 74 дизель-троллейбусов, в том числе 50 Komatsu 685E, грузоподъемностью 190 т <b>на 2006</b> – 22 единицы</p>	–
<p><b>1982-2001</b> – ISCOR Mining, месторождения Sishen и Grootegeluk, ЮАР. В феврале 2001 г. в Sishen mine использовался следующий парк дизель-троллейбусов: 32Komatsu 730Es и 9 Unit Rig M36s, а на месторождении Grootegeluk mine – 14 Komatsu 730Es, 11 Marathon-LeTourneau 2200s, и EuclidR 280 AC <b>на 2006</b> – 41 единица</p>	Скорость движения увеличилась на 46 %; потребление топлива снизилось на 20 %; увеличение производительности порядка 12 %; срок службы дизеля повысился на 45 %; срок службы двигателей мотор-колес повысился на 88 %
<p><b>2008</b> – дизель-троллейбус Komatsu 860E-1K продемонстрирован на MINExpо INTERNATIONAL 2008, (максимальная полезная нагрузка: 254 т). Электропривод Siemens, самосвал спроектирован и разработан Komatsu America Corp. и изготовлен на производственной линии Peoria Manufacturing в штате Иллинойс, США [15].</p>	Основные технические характеристики Komatsu 860E-1K: двигатель, мощность: 2014 кВт / 1900 об / мин; максимальная скорость: 64,5 км / ч, радиус поворота SAE: 31 м, общая длина: 15,02 м, общая ширина: 8,37 м, общая высота: 7,27 м [15].
<p><b>2012</b> – Китайская компания China North Industries Group Corp., входящая в концерн Norinco Group, выпустила дизель-троллейбусы NHL NTE360AC полной массой 330 т для уранового карьера Шушан (Hushan) в Намибии [16].</p>	Запасы разреза составляют 170 млн т, а срок разработки может превышать 20 лет. Система рекуперации при спуске в карьер позволяет вернуть в сеть электричество, от которого в забое также работают экскаваторы, погрузчики, буровые машины и т.д. [16].
<p><b>2013</b> – рудник Kisladag, Турция. 7 дизель-троллейбусов Hitachi EH 4000AC-3 (грузоподъемность 221 т) [17].</p>	–
<p><b>2012</b> – Kansanshi, Замбия. Проект разработки медного месторождения. 23 дизель-троллейбуса Hitachi EH 3500 ACII [18, 19] <b>2016</b> - Kansanshi, Замбия. 3 обновленных модели дизель-троллейбуса EH3500AC-3 (грузоподъемность 181 т) [20, 21] <b>2018</b> - В Токио компания Hitachi объявила о запуске дизель-троллейбусов EH 5000 AC-3 ( грузоподъемность 296 т) с приводом переменного тока [22].</p>	Меньше расход топлива, увеличение срока службы оборудования, снижение выбросов, времени простоя, уменьшение шума. Планируемое увеличение мощности по производству меди с 230 до 400 тыс. т в год.
<p><b>2018</b> – Aitik, Швеция (ежегодно перевозится 70 млн т руды). Запуск 4 дизель-троллейбусов Caterpillar 795F (грузоподъемность 313 т). Осень 2018 г. [23]. Пилотный проект реализуется при поддержке шведского энергетического агентства с рядом партнеров: ABB и Eitech (электротехническая инфраструктура), а также Caterpillar и Pon Equipment (переоборудование грузовиков) [24].</p>	Ожидается сокращение выбросов углекислых газов до 80 % (на транспорте), повышение производительности транспорта. Опытно-промышленный участок сетей – 700 м, ожидаемая экономия дизельного топлива в год: ~830 м <sup>3</sup> . Электрическая инфраструктура спроектирована таким образом, чтобы одновременно под контактной сетью находилось два самосвала, каждому из которых необходимо до 4,75 МВт [25]. Максимальная мощность участка принята 10 МВт [26].



Рис. 5 - Современные дизель-троллейвозы:

1 – на базе карьерных самосвалов Caterpillar 795F [24];  
2 – Komatsu 860E-1K [28]; 3 – Hitachi EH5000AC-3 [22]; 4 – NHL NTE360AC [27]

## 2. Электротранспорт для подземных горных работ

В последние десятилетия за рубежом разработаны и эксплуатируются дизель-троллейвозы (фирма «Кируна Трак», а позднее AtlasCorso: EMT-35 и EMT-50 (рис. 6 – 7), которые снабжены дизельным и электрическим приводами, что позволяет снизить себестоимость добычи. По результатам испытаний были выявлены их преимущества перед другими транспортными средствами [29]: высокая скорость, высокая производительность, отсутствие выбросов вредных веществ в атмосферу, невысокий уровень шума, меньшее потребное количество самосвалов (приблизительно в два раза); больший срок эксплуатации; эксплуатационные затраты ниже (примерно в два раза: требуется меньше операторов, уменьшаются энергозатраты, меньше стоимость техобслуживания).



Рис. 6 – Подземный самосвал с электрическим питанием KirunaElectrictruck K635E и K1050E





Рис. 7 – Подземный дизель-троллейвоз EMT-50 [30]

#### Подземные гибридные машины

В 2008 г. Канадскими компаниями R&D и компанией MTI была разработана гибридная дизель-электрическая погрузочно-доставочная машина на базе модели LT-270 вместимостью ковша 1,2 м<sup>3</sup>. Тяговая сеть гибридной ПДМ состояла из дизельного двигателя, генератора, аккумуляторной батареи (55 Ач, 300 В), электрических двигателей постоянного тока. По результатам испытаний в 2010 г. расход топлива сократился всего на 10 % по сравнению с расчетным в 40 %, кроме этого возникали проблемы, связанные с долгим временем заряда аккумуляторных батарей, а также работой гидравлической системы [31, 32].

#### Подземные аккумуляторные машины

В 2013 г. на месторождении Kirkland Lake (Онтарио, Канада) эксплуатировались 4 погрузчика Muckmaster 300EB LHD (вместимость ковша 2 м<sup>3</sup>) и один подземный самосвал Haulmaster 800-20EB Канадской компании RDH Mining Equipment, получающих питание от аккумуляторных LFP-батарей. Однако эти машины имели высокий коэффициент тары и быстрое время разрядки аккумуляторов [33].

В 2018 г. компанией Artisan Vehicles (США, Калифорния) был представлен подземный аккумуляторный автосамосвал Z40 грузоподъемностью 40 т (рис. 8). Z40 оборудован 4 электродвигателями и сменными аккумуляторными батареями (блоками) для их быстрой замены с целью уменьшения времени транспортного цикла. Применены литиевые батареи (LiFePO<sub>4</sub>), безопасные для эксплуатации в подземных условиях. Конструкция самосвала была специально спроектирована заново для уменьшения габаритов по сравнению с аналогичными подземными самосвалами грузоподъемностью 40 т с дизельным двигателем. При этом отсутствуют выбросы вредных веществ и на 85 % сокращается выделение тепла. Z40 будет эксплуатироваться на золоторудном месторождении Kirkland Lake (Онтарио, Канада) [34, 35].

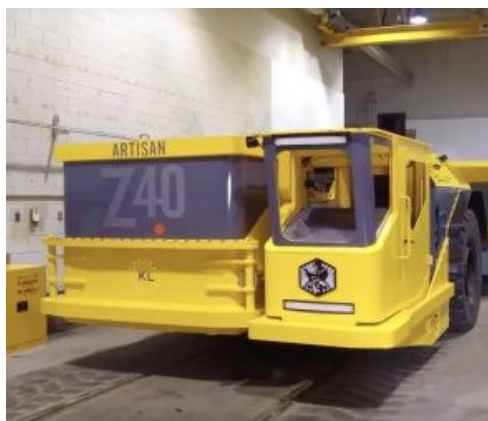


Рис. 8 – Подземный аккумуляторный самосвал Z40 компании ArtisanVehicles [34, 35]

Золотодобывающая «Goldcorp» в партнерстве с «Sandvik Mining» и «Rock Technology» в 2017 г. анонсировала проект Borden Lake в Канаде по созданию шахты, использующей только электрическое оборудование. Предполагается, что самоходное оборудование будет оснащено интегрированными аккумуляторными батареями, ресурс которых будет сопоставим со сроком службы машин. Отказ от дизельной техники позволит снизить затраты на проветривание подземного рудника, улучшить параметры рудничной атмосферы.

Таблица 4

**Опыт применения машин с троллейным и аккумуляторным питанием  
на подземных горных работах**

Год	Краткое описание
<b>Отечественные:</b>	
1978	Опытный образец троллейно-аккумуляторного подземного электросамосвала СПТА-5 грузоподъемностью 6 т, на базе МАЗ-205 и грузоподъемностью 15-17 т, на базе МоАЗ-6401-9585. (Новомосковский гипсовый комбинат) [37].
<b>Зарубежные [11]:</b>	
1939 – 1964	International Salt Company at River Rouge, Мичиган. Euclid, грузоподъемность 20 т, троллейно-аккумуляторные грузовики в подземном руднике.
1980	Foxmine, Канада, SherrittGordonMinesLtd. Введены в эксплуатацию электрические ПДМ с кабельным барабаном и вспомогательной троллейной линией JarvisClarkJ500-E
1980	Laisvallmine и Uddenmine, BolidenMineral'sHorntrask, Швеция. Электрические ПДМ с кабельным барабаном GHHLF 7.1E, WAGNEREST-5B
1981-2012	Разработан, а в 1989 г. введен в эксплуатацию на руднике Zinkgruvan Lead and Silver Mine, Швеция подземный дизель-троллейвоз Kiruna Electric truck K1050E, грузоподъемностью 50 т, а в 1995 г. парк горнотранспортного оборудования расширен Kiruna Electrictruck K635E, грузоподъемностью 35 т [38, 39]. Подача электроэнергии к самосвалам осуществляется через троллейные контактные сети длиной 5 км, проложенные в горизонтальных и наклонных (уклон до 12 %) выработках для доставки руды из рудоспусков, расположенных ниже горизонта 800 м, до дробилки. Энергетическое хозяйство для электросамосвалов изготовлено фирмой АВВ [39]. При уходе из-под контактной сети начинает работать маломощный дизельный двигатель (мощностью около 80 кВт, который используется в основном, когда нет доступа к троллейной линии на станциях погрузки и разгрузки. Самосвалы Kiruna Electric поставлялись на горные предприятия Австралии, Канады, Китая, Казахстана, Испании, США, Швеции [40] (рис. 6).
2008-2010	Канадскими компаниями R&D и компанией МТИ была разработана гибридная дизель-электрическая погрузочно-доставочная машина на базе модели LT-270 вместимостью ковша 1,2 м <sup>3</sup> [31, 32].
2012	Представлены дизель-троллейвозы AtlasCopco ЕМТ-35 и ЕМТ-50 грузоподъемностью 35 и 50 т [30], в троллейном режиме питаются от 3-фазной переменной сети напряжением 690 В, расположенной в кровле выработки и состоящей из трех медных труб диаметром 50 мм и двух квадратных направляющих рельс. В расчете на одну перевозимую тонну использование дизель-троллейвоза может почти удвоить производительность, снизив при этом общие эксплуатационные затраты до 50 % по сравнению с аналогичными подземными самосвалами. Машину оснастили двумя трехфазными электродвигателями производства АВВ на 50-60 Гц, каждый из которых приводит свой мост. Для передвижения без контактной сети используется дизельный двигатель Mercedes-Benz OM 904 мощностью 146 л.с. Дизель-троллейвоз ЕМТ-50 имеет высоту 3,2 м (с поднятым токоприемником – 4,2 м), радиус поворота 9,3 м, собственную массу 45 т, объем кузова от 17 до 28 м <sup>3</sup> . Разгрузка на угол до 55° [30, 41]. Стоимость троллейной инфраструктуры составляет приблизительно 75 % от цены дизель-троллейвоза [33].
2013	Месторождение Kirkland Lake (Онтарио, Канада) 4 погрузчика Muckmaster 300EB LHD (вместимость ковша 2 м <sup>3</sup> ) и 1 подземный самосвал Haulmaster 800-20EB (Канадской компании RDH Mining Equipment), получающих питание от аккумуляторных LFP-батарей [33].
2018	Artisan Vehicles (США, Калифорния) подземный аккумуляторный автосамосвал Z40 грузоподъемностью 40 т (4-мя электродвигателями и сменными аккумуляторными батареями) на золоторудном месторождении Kirkland Lake [34, 35].

Одной из машин, уже заказанных для этого проекта, является буровой станок Sandvik DD422iE, источником энергии для которого является бортовой аккумулятор. Зарядка аккумулятора осуществляется от шахтной электросети, а также частично за счет рекуперированной при движении на спуск энергии [36]. По расчетам производителя срок службы батареи будет соответствовать сроку службы бурового станка.

Опыт применения машин с троллейным и аккумуляторным питанием на подземных горных работах приведен в табл. 4.

### 3. Электрифицированный автотранспорт общего назначения

Исследования ИГД УрО РАН показывают, что для магистральных перевозок руды на значительные расстояния более 10 – 15 км при относительно небольших объемах (5 – 10 млн т/год) наиболее экономичным транспортом могут быть автопоезда на базе самосвалов общего назначения [12]. Перевод их на электрическую тягу также может обеспечить дополнительную экономию и улучшение экологических показателей.

Обзор показывает, что в сфере общественного грузового автотранспорта также проводится большой объем НИОКР по электромобилям: погрузочное оборудование на промышленных площадках, коммунальный транспорт, электробусы [42, 43], грузовики и самосвалы (грузовики) для магистральных перевозок грузов. Ниже приведены некоторые зарубежные разработки.

В декабре 2016 г. [44] американская компания NikolaMotor представила первый прототип электрического грузовика NikolaOne в Солт-Лейк-Сити, приводимый в движение электрическим приводом с аккумуляторной батареей емкостью 320 кВт·ч, заряжаемой блоком водородных топливных элементов. По информации производителя запас хода составляет порядка 1200 миль (2000 км) (рис. 9).

В 2016 г. компания Daimler представила электрический грузовик Mercedes-Benz Urbane eTruck с запасом хода 200 км при грузоподъемности 26 т, с двумя электромоторами в задних осях по 125 кВт и крутящим моментом 500 Нм каждый, питающиеся от трех блоков литий-ионных батарей суммарной емкостью 212 кВт·ч [45]. В 2018 г. Daimler представила два электрических грузовика: Freightlinere Cascadia (запас хода от одного заряда батареи 250 миль (~400 км)) и Freightliner eM2 (запас хода 230 миль (~370 км)). Серийный выпуск намечен на 2021 г. (см. рис. 9) [46].

Прототип электромобиля-тягача TeslaSemi грузоподъемностью 36 т был представлен в 2017 г. В базовой комплектации и с запасом хода 500 км машина будет стоить около 150 тыс. долл., с запасом хода 800 км – 180 тыс. долл. [47].



Рис. 9 – Аккумуляторные грузовики  
Слева направо: Freightlinere Cascadia [46]; Freightliner eM2 [46]; прототип электрического грузовика Nikola One [44]

Российские автопроизводители идут в ногу со временем: сейчас в совместной разработке НАМИ и КАМАЗ находится грузовой электромобиль с роботизированным управлением и бескабинной компоновкой (рис. 10) [48].



Рис. 10 – Беспилотный грузовик с электроприводом [48]

### Троллейная система «eHighway» для магистральных грузовых машин

Основная концепция «eHighway» заключается в создании универсальной платформы для построения транспортных систем, использующих электрическую энергию и иные альтернативные источники энергии с целью снижения себестоимости перевозок и улучшения экологической ситуации.

Структура энергосиловой установки в перспективе предполагает гибкость при построении транспортного средства:

- наличие/отсутствие ДВС (дизельный, биотопливо, водород, газ);
- наличие/отсутствие аккумулятора энергии (вариативная емкость в зависимости от расчетных условий);
- наличие системы троллейного электропитания (аналогично троллейбусам).

Следовательно, на данной платформе могут быть построены ДВС-троллейные и троллейно-аккумуляторные грузовые автомобили для городских и междугородных перевозок. При движении по электрифицированному участку пути автомобиль использует для движения электроэнергию контактной сети. При обгонах, поворотах, сходе с линии и т.п. автоматически запускается дизельный двигатель [49]. Конструкция пантографов обеспечивает надежный контакт при скорости движения до 90 км в час [50], а также автоматизированное подключение/отключение от контактной сети.

При обкатке системы eHighway на полигоне в Германии в 2012 г. применялись грузовики Mercedesactros 1841 [51]. В 2019 г. планируется завершить строительство 10-километрового участка eHighway автобана А5, который проходит недалеко от аэропорта Франкфурта и перегрузочной базы Дармштадт / Вайтерштадт [52].

Первые испытания eHighway на дорогах общего пользования прошли в Швеции на двухкилометровом участке трассы E16, расположенном между портом Gävle и Storvik [53]. Участниками проекта «Gävle Electric Roads» являются администрация области Gävleborg, Siemens, Scania, Boliden, SSAB, Sandvik, StoraEnso, ErnstExpress, MidrocElektro, Sandvikyn Energi, порт Gävle, GävleEnergi и Экономический университет Стокгольма. Партнеры проекта – Шведский национальный совет по электрической безопасности и Шведское агентство по транспорту. Проект имеет государственное финансирование около 77 млн шведских крон (8,2 млн евро) в сочетании с коммерческими инвестициями около 48 млн шведских крон (5,1 млн евро) [53, 54]. Согласно расчетам срок окупаемости инвестиций 1,2 млрд шведских крон в полную электрификацию всего маршрута от гавани Gävle до Borlänge и затем дороги в Avesta составит 4 – 7 лет [55]. В настоящее время готовится испытательный участок на дорогах общего пользования. Немецкий район Гессен построит участок eHighway, который будет обеспечивать энергией для электропривода гибридных грузовиков.

Другой участок eHighway (демонстрационный) работает в Калифорнии, недалеко от двух крупнейших портов США в Лос-Анджелесе и Лонг-Бич [56], и имеет длину в

1 милью в 2 направления. При положительных результатах испытаний правительство Калифорнии предполагает оснастить подъезды к порту на постоянной основе (рис. 11).



Scania G 360 4×2: вес 9,0 т; параллельная гибридная дизель-электрическая установка с дизельным двигателем объемом 13 литров, мощностью 360 л.с. (на биотопливе), Li-Ion батареей емкостью 5 кВт·ч (запас хода до 3 км) и электромотором мощностью 130 кВт и крутящим моментом 1050 Нм. Напряжение сети 700 В.

По данным Siemens на 2014 г. топливная экономия при использовании 40-тонных – 0,005 евро/т·км, а при использовании 60-тонных грузовиков – 0,00625 евро/т·км [58]

Опытно-промышленный участок троллейной сети в США Для испытания системы были использованы шасси Mack Granite и International RH [57].

По данным Siemens топливная экономия при использовании грузовиков 8 класса (классификация США, 15+ тонн) составит 20000 долларов на 100 000 миль пробега [53, 58]

Рис. 11 – Опытные образцы eHighway: слева – на полигоне в Швеции [60]; справа – в Калифорнии [56, 59]

#### Заключение (выводы)

1. Опережающий рост цен на дизельное топливо в сравнении с электроэнергией приводит ко все большему преимуществу применения электрифицированного транспорта для технологических перевозок, даже несмотря на значительные капитальные затраты на троллейные системы, аккумуляторы и зарядные станции.

2. В настоящее время уровень развития технологий позволяет внедрять различные энергосиловые установки и оборудование с электропитанием на мощной транспортной технике горнодобывающих предприятий. Имеется опыт применения дизель-троллейвозного транспорта в условиях действующих карьеров и шахт, а также опытно-промышленные образцы карьерных самосвалов с комбинированными (гибридными) энергосиловыми установками, карьерных и шахтных электромобилей (самоходных машин с питанием от аккумуляторов).

3. Учитывая существенную долю горнодобывающего сектора в экономике России, необходимо организовать целевые НИОКР по разработке и внедрению на отечественных горнодобывающих предприятиях электрифицированного пневмоколесного транспорта. Из-за большого диапазона горнотехнических условий разработки месторождений в РФ это должна быть линейка оборудования с унифицированной гаммой энергосиловых установок разного типа (дизель-аккумуляторные, дизель-троллейвозные, троллейно-аккумуляторные, аккумуляторные и др.).

4. Внедрение электрифицированного транспорта позволит:

- снизить затраты на энергоресурсы (дизельное топливо);
- снизить выбросы вредных веществ с отработавшими газами;

- повысить надежность, коэффициент технической готовности транспортных средств, а следовательно, и затраты на обслуживание и ремонт;
- увеличить его производительность при питании от мощной электроконтактной сети;
- развивать мощности резервных аккумуляторных источников питания для энергетики за счет использования дешевых отработавших на транспорте накопителей (например, резервирование питания шахтных вентиляторов, насосных станций и др.).

### Литература

1. Weltweitgrösstes Elektrofahrzeug aus der Schweiz eingeweiht – der eDumper [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.carmart.ch/news/weltweit-groesstes-elektrofahrzeug-aus-der-schweiz-eingeweiht-der-edumper/> - (28.02.19).
2. eMining AG gewinnt den eMove360°- Innovationspreis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://press.lectura.de/de/article/emining-ag-gewinnt-den-emove360-innovationspreis/39399> - (28.02.19).
3. Электросамосвал BYD для угольных разрезов [электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.gruzovikpress.ru/article/2561-elektrosamosval-dlya-ugolnyh-razrezov/> - (28.02.19).
4. BYDV60 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://truck-splanet.com/ru/catalog/model.php?id=2098> - (28.02.19).
5. Volvo CE unveils futuristic innovations to drive sustainability and change [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.volvogroup.com/en/news/2016/sep/volvo-ce-unveils-futuristic-innovations.html>. – (28.02.19).
6. GALERIE eDumper: фотоматериал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.edumper.ch/index.php/de/galerie.html> - (28.02.19).
7. Журавлев А.Г. Оценка эксплуатационных свойств карьерных автосамосвалов с комбинированной энергосиловой установкой / А.Г. Журавлев // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 5. – С. 15 - 20.
8. Environment-friendly hybrid dump truck makes its debut [электронный ресурс]. – режим доступа: [http://www.miningweekly.com/article/environmentfriendly-hybrid-dump-truck-makes-its-debut-2008-05-30/rep\\_id:3650](http://www.miningweekly.com/article/environmentfriendly-hybrid-dump-truck-makes-its-debut-2008-05-30/rep_id:3650) - (28.02.2019).
9. GE Gets Into Hybrid Game With Giant Mining Truck [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jalopnik.com/396450/ge-gets-into-hybrid-game-with-giant-mining-truck> - (28.02.2019).
10. Дизель-Троллейвозный транспорт на карьерах / В.Л. Яковлев, В.П. Смирнов, Ю.И. Лель, Э.В. Горшков. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 104 с.
11. Тарасов П.И. Троллей-автопоезда – транспорт для комбинированной разработки месторождений полезных ископаемых / П.И. Тарасов, В.А. Черепанов // Горная промышленность. – 2008. – № 5. – С. 72 - 79.
12. Проблемы магистрального транспортирования руды от удаленных кимберлитовых месторождений / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, В.А. Черепанов, М.В. Исаков, В.Р. Баланчук, А.Н. Акишев, С.Л. Бабаскин // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 5. – С. 25 - 31.
13. Степук О.Г. Дизель-троллейвозный транспорт БЕЛАЗ: перспективы использования в горном производстве / О.Г. Степук, А.С. Зуёнок // Горный журнал. – 2013. – № 1. – С. 52 – 55.
14. Егоров А.Н. Дизель-троллейвоз: вчера, сегодня, завтра / А.Н. Егоров, Н.В. Бигель // Горный журнал. – 2010. – № 11. – С. 62 – 63.
15. Komatsu to Launch 860E Super-large Dump Truck Powered by Siemens' AC Motor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.komatsu.com/CompanyInfo/press/2008092415073207171.html> - (28.02.19).

16. Троллейвозы вернулись в карьер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gruzovikpress.ru/article/2536-trolleyvozy-vernulis-v-karer/> - (28.02.19).
17. Hitachi continues trolley assist project success with Kisladag deal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://im-mining.com/2012/11/02/hitachi-continues-trolley-assist-project-success-with-kisladag-deal/> - (28.02.19).
18. Hitachi trolley-assist system progress at Kansanshi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.im-mining.com/2012/08/30/hitachi-trolley-assist-system-progress-at-kansanshi/> - (28.02.19).
19. Hitachi's Zambian dump truck system deal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aggbusiness.com/sections/general/news/hitachis-zambian-dump-truck-system-deal/> - (28.02.19).
20. Hitachi dump truck trolley technology boosts productivity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.youtube.com/watch?v=oNTm-jd\\_4IE](https://www.youtube.com/watch?v=oNTm-jd_4IE) - (28.02.19).
21. First Quantum expanding trolley assist program to augment waste mining at Kansanshi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://im-mining.com/2018/05/01/first-quantum-expanding-trolley-assist-program-augment-waste-mining-kansanshi/> - (28.02.19).
22. Hitachi Construction Machinery Launches EH5000AC-3 Rigid Dump Truck with Trolley System to Contribute to Reducing Life Cycle Costs and Improving Productivity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hitachicm.com/global/news/all-press-releases/18-05-17e/> - (28.02.19).
23. Trolley assist in Europe – Boliden Aitik trial will utilise four Cat trucks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://im-mining.com/2018/02/22/trolley-assist-europe-boliden-aitik-trial-will-utilise-four-cat-trucks/> - (28.02.19).
24. A moment of truth for electrification at Aitik [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.boliden.com/news/el-trolley-aitik>. – (28.02.19).
25. Den sluker 400 literdiesel i timen. Nå skaldengå på strøm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.tu.no/artikler/den-sluker-400-liter-diesel-i-timen-na-skaldenga-pa-strom/431971?utm\\_source=newsletter-2018-03-06&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=newsletter](https://www.tu.no/artikler/den-sluker-400-liter-diesel-i-timen-na-skaldenga-pa-strom/431971?utm_source=newsletter-2018-03-06&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter) - (28.02.19).
26. Swedish Copper Mine Converting Monster Trucks To Run On Electricity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cleantechnica.com/2018/03/12/swedish-copper-mine-converting-monster-trucks-run-electricity/> - (28.02.19).
27. NHLNTE360AC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.chinahl.com/products\\_detail/productId=90.html](http://www.chinahl.com/products_detail/productId=90.html) – (28.02.19).
28. 860E-1K [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.komatsu.ru/catalog/stroitelnaya-i-gornaya-tekhnika/samosvaly-s-zhestkoy-ramoy/66e7ded4-c0b0-11e3-8cb8-005056980001/> - (28.02.19).
29. Kennedy Alan. The Kiruna Electric Truck – A New Concept in Ramp Haulage / Alan Kennedy // Mining Magazine. – 1985. - V.153. - №6. - P. 491 - 497.
30. Atlas Copco Goes 'Green' for Improved Underground Air Quality / JULY 2013. – VOL 214. – NUMBER 7. – E&MJ, pp. 72-74.
31. Oh Canada! Overview of innovative research projects from Canmet-MMSL / L. Laverdure, M. Laflamme, M. Grenier, and J-M. Fecteau // CIM Magazine. – 2008. - Vol.3. - No.1. - pp. 28-32.
32. Hybrid Underground Loader – 2010 Project Update: presentation given at the MDEC 2010 / M. Demers, D. Labelle, R. Wilson and O. Matikainen // Conference, October 5-8, 2010, Toronto, Ont., Canada.
33. Electrification of Loaders and Trucks – A Step Towards More Sustainable Underground Mining / Jacek Paraszczak, Erik Svedlund, Kostas Fytas, Marcel Laflamme. – International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'14). – RE&PQJ. – 2014. – April. - Vol.1. - No.12.

34. A new all-electric 40-tonne truck unveiled for the mining industry [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://electrek.co/2018/03/16/all-electric-40-tonne-truck-mining-artisan-vehicles/#jp-carousel-63727> - (28.02.19).
35. Why We Use Lithium Iron Phosphate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.artisanvehicles.com/why-we-use-lithium-iron-phosphate/> - (28.02.19).
36. Goldcorp совместно с Sandvik создают полностью электрическую шахту [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gornoe-delo.ru/jgd/2016/2016\\_4.pdf](http://www.gornoe-delo.ru/jgd/2016/2016_4.pdf) – (28.02.19).
37. Кожухмедов Д.Б. Основы создания рудничных троллейно-аккумуляторных транспортных машин / Д.Б. Кожухмедов. - Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1978. – 216 с.
38. Potts A. Think Zink / A.Potts // World Mining Equipment. - 2001. - v. 25. - №8. - P. 52-56.
39. Chadwick J. Moving Ore Efficiently / J. Chadwick // International Mining. – 2008. - pp. 38-46.
40. GIA industri ab [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-technology.com/contractors/transportation/gia/> – (28.02.19)
41. Electric Underground Trucks Make for Safer Work Environments [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gas2.org/2013/07/21/electric-underground-truck-makes-safer-work-environments/> - (28.02.19)
42. Электробус КАМАЗ-6282 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kamaz.ru/upload/bus/6282.pdf> – (28.02.19)
43. Знакомимся с электробусом КАМАЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://autoreview.ru/articles/gruzoviki-i-avtobusy/kak-ya-pochti-doehal-do-skolkovo-na-ektrobuse-kamaz> – (28.02.19).
44. Nikola Motor unveils its plans to revolutionize trucking [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://electrek.co/2016/12/02/nikola-motor-truck-battery-hydrogen/> - (28.02.19).
45. Mercedes-Benz shows off the first fully electric heavy urban transport truck [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://techcrunch.com/2016/07/27/mercedes-benz-shows-off-the-first-fully-electric-heavy-urban-transport-truck/> - (28.02.19).
46. Daimler Adds Two Electric Trucks in Race [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-06-06/daimler-adds-two-electric-trucks-in-race-against-tesla-vw> - (28.02.19).
47. Фуры Tesla Semi произвели первую доставку груза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecotechnica.com.ua/transport/3225-fury-tesla-semi-proizveli-pervuu-dostavku-gruza-video.html> - (28.02.19).
48. Грузовой беспилотник без кабины с электроприводом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nami.ru/projects/cargo-drones>. – (28.02.19).
49. Sweden's Trolley System-Like eHighway Will Reduce Air Pollution [Электронный ресурс]: видеофайл – Режим доступа: [https://www.youtube.com/watch?v=SMdl\\_tkJCVs](https://www.youtube.com/watch?v=SMdl_tkJCVs) - (28.02.19).
50. Система «eHighway», разработанная корпорацией siemens... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20120714071536/http://www.designboom.com:80/weblog/cat/16/view/21140/ehighway-electric-lines-to-power-hybrid-trucks-in-la.html> - (28.02.19).
51. SiemenseHighwaydemo [Электронный ресурс]: видеофайл. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=XiOuBrFC8NM> - (28.02.19).
52. Siemens to construct first electric highway in Germany [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://smartcitiesworld.net/news/siemens-to-construct-first-electric-highway-in-germany-2001> - (28.02.19).



53. Scania и Siemens превратят грузовики в троллейбусы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://zele.ru/novosti/tehnologiya/elektricheskaya-doroga-scania-10723/> - (28.02.19).
54. Scania произвела тест грузовика на электричестве [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.atn-trans.com/blog/cat/gruzoviki/scania/> - (28.02.19).
55. Dagsförinvigning av E16 somelväg [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://teknikensvarld.se/dags-for-invigning-av-e16-som-elvag-310337/> - (28.02.19).
56. Siemens demonstrates first eHighway system in the U.S. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2017/mobility/pr2017110069moen.htm&content\[\]=МО](https://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2017/mobility/pr2017110069moen.htm&content[]=МО) - (28.02.19).
57. Siemens eHighway BRoll [Электронный ресурс]: видеофайл. - <http://siemensusa.synapticdigital.com/IMAGES-AND-VIDEOS/video/siemens-ehighway-broll/a/5a93d003-aba5-490b-88b0-66728d9e09f1> - (28.02.19).
58. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/mobility/road-solutions/electromobility/ehighway.html> - (28.02.19).
59. Siemens eHighway demonstration, the first U.S. electric highway, now running in California [Электронный ресурс] – Режим доступа: [siemensusa.synapticdigital.com/Featured-Multimedia-Stories/siemens-ehighway-roll-out/s/e9ff6e36-9c89-43b3-98e4-3a773420e98f\\_-](http://siemensusa.synapticdigital.com/Featured-Multimedia-Stories/siemens-ehighway-roll-out/s/e9ff6e36-9c89-43b3-98e4-3a773420e98f_-) (28.02.19).
60. World's First Electric Road (eHighway) For Electric Trucks Opens in Sweden [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://insideevs.com/worlds-first-electric-road-ehighway-for-electric-trucks-opens-in-sweden/> - (28.02.19).