

Дубинкин Дмитрий Михайлович <sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, доцент, Карташов Александр Борисович <sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент, Арутюнян Георгий Артурович <sup>2</sup>, канд. техн. наук, Бузунов Николай Викторович <sup>2</sup>, канд. техн., Кирилл Павлович Сорокин <sup>2</sup>, электроник НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН», Ялышев Алексей Витальевич <sup>1</sup>, техник научного центра «Цифровые технологии»

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

\*E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

**Аннотация:** В статье приводится анализ современного состояния техники и технологии современного мирового уровня разработок в области создания карьерных самосвалов с накопителями энергии, выполнен по проекту «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий». Показаны основные производители карьерной техники ведущих производителей с накопителями энергии, предназначенной для добычи полезных ископаемых открытым способом. Для постановки цели и задач исследования обоснованы основные предпосылки к разработке и созданию роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией. Сделаны выводы о подтверждении необходимости в разработке и создании электросамосвалов.

**Ключевые слова:** карьерный самосвал, горнопромышленный транспорт, тяжелая платформа, горные машины, добыча полезных ископаемых, электросамосвал.

**Информация о статье:** принята 20 ноября 2020 г.  
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-6-31-42

Целью анализа современного состояния техники и технологии являлось выявление современного мирового уровня разработок в области создания карьерных самосвалов с накопителями энергии. Анализ проведен для выбора и конкретизации направлений дальнейших аналитических и экспериментальных исследований, выполняемых по проекту «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий». Задачами анализа являются:

- анализ современного уровня в области создания карьерных самосвалов с накопителями энергии;
- выявление тенденций и путей развития карьерных самосвалов с накопителями энергии.

Автомобильный транспорт для перевозки полезных ископаемых нашел широкое применение в сравнении с другими видами. Достоинством такого вида транспортировки является: высокая маневренность; преодоление больших уклонов и мобильность. Применение автотранспорта в горном деле подтверждает его высокие технико-экономические показатели при использовании в сложных условиях [1-4].

К настоящему времени не представлено информации, что какой-либо из карьерных самосвалов с грузоподъемностью более 30 тонн с аккумуляторными источниками энергии выпускается серийно. Рассматриваемые объекты представлены в единичных экземплярах или только находятся в разработке.

В настоящее время подавляющее большинство производителей карьерных самосвалов выполняют опытно-конструкторские работы в части разработки транспортных средств с бортовыми накопителями (тяговыми батареями) в качестве источников энергии для движения. Данное направление работ обуславливается возрастающими ценами на дизельное топливо, высокими затратами на удаление из карьеров или, что особенно актуально, шахт выхлопных газов, возможностью рекуперации энергии при торможении. Более того, для реализации роботизированных карьерных самосвалов применение тяговых батарей значительно упрощает автоматизацию процесса заряда по сравнению с заправкой топливных баков. Настоящий обзор основан на статьях [1-2], в которых рассматриваются следующие транспортные средства:

- аккумуляторный электромобиль-самосвал на базе карьерного автосамосвала Komatsu HD 605-7 (самосвал-электромобиль eDumper);



Рис. 1 Электромодиль-самосвал eDumper.  
Fig. 1. Electric dump truck eDumper.

Таблица 1. Основные параметры электросамосвала eDumper.  
Table 1. The main parameters of the eDumper electric dump truck.

Параметр	Значение
Грузоподъемность, т	60
Снаряженная масса, т	50
Расчетный уклон дорог, %	12-13
Максимальная скорость, км/ч	50
Номинальная мощность электродвигателей мотор-колес, кВт	590
Максимальный ток отдачи батареи, А	3000
Емкость аккумулятора, кВт·ч	700 (4 блока)
Тип аккумуляторов	Никель-марганец-кобальт
Количество ячеек аккумуляторов	1440

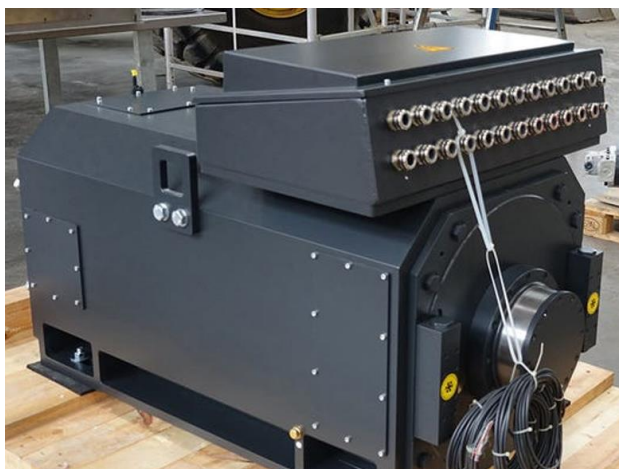


Рис. 2 Внешний вид тягового электродвигателя eDumper.

Fig. 2. Exterior view of the eDumper traction motor.



Рис. 3 Бортовой разъем зарядной станции  
Fig. 3. Onboard charging station connector

- самосвал-электромобиль BYD V60;
- аккумуляторный БелАЗ 7558Е;
- электрический грузовик Artisan Vehicles Z40/Z50;
- электросамосвал Minetrack MT42 Battery;
- роботизированный самосвал Volvo HX01/HX02.

Грузоподъемность указанных электромобилей составляет от 11 т (для Volvo HX01/02) до 60 т (eDumper и RHINO 5536), а ниже представлено детальное описание указанных электрических самосвалов с приведением основных параметров и особенностей их эксплуатации.

### 1. Обзор карьерного самосвала Komatsu HD 605-7 (eDumper)

Компания «Е-Mining AG», основанная совместно с компаниями Kuhn Schweiz AG и Lithium Storage GmbH, в 2015 г. занялась разработкой аккумуляторного электромобиля-самосвала (рис. 1) 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). Самосвалу eDumper не требуется заправка или стационарная подзарядка: батареи заряжаются энергией, рекуперированной при электродинамическом торможении на спусках во время работы автосамосвалов. Предполагаемый срок службы самосвала – 10



Рис. 4 Внешний вид электросамосвала BYD V60.  
Fig. 4. External view of BYD V60 electric dump truck.

Таблица 2. Основные параметры электросамосвала BYD V60.  
Table 2. The main parameters of the BYD V60 electric dump truck.

Параметр	Значение
Грузоподъемность, т	30
Полная масса, т	62,1 т
Максимальный уклон дороги, %	38
Максимальная скорость, км/ч	50
Запас хода, км	80,47
Энергоемкость аккумулятора, кВт·ч	394
Способ зарядки	От трехфазной сети переменного тока

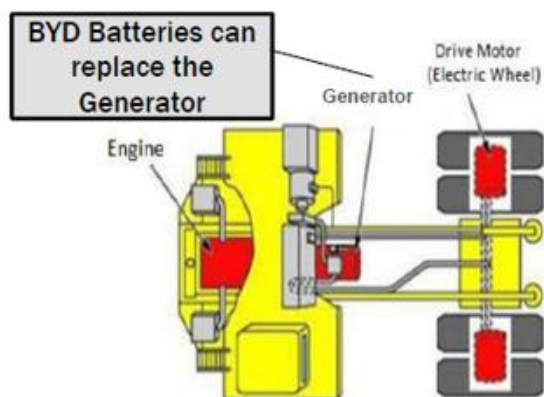


Рис. 5 Расположение тяговых батарей электросамосвала BYD V60.  
Fig. 5. Location of traction batteries of the BYD V60 electric dump truck.

лет. Батареи поставляются китайской фирмой Shenzhen Westart.

В качестве базового шасси применяется самосвал Komatsu 605-7, грузоподъемность электрической версии составляет 60 т, снаряженная масса – 50 т, масса применяемых тяговых батарей составляет 4,5 т. Остальные параметры электросамосвала представлены в таблице 1.

Производители транспортного средства отмечают, что исходя из планируемых условий эксплуатации при движении порожнего самосвала в гору будет затрачиваться порядка 30 кВт·ч энергии за один цикл, а за обратный ход (нагруженным с горы) за счет рекуперации выработается 40 кВт·ч энергии. Таким образом, за один рабочий день сформируется избыток энергии 200 кВт·ч, а за год – 77 МВт·ч.

В качестве батарей выступают литий-ионные батареи с типом «химии» NMC (никель-марганец-кобальт). Данный тип «химии»

характеризуется высокими показателями удельной энергоемкости (до 220 Вт·ч/кг) и высоким номинальным напряжением отдельной ячейки (3,6-3,7 В). Представленные показатели позволяют уменьшить общую массу тяговой батареи (по сравнению с другими типами литий-ионных батарей – при общей емкости батареи 700 кВт·ч суммарная масса составила 4,5 т) и объем, занимаемый батареями в составе самосвала. В качестве одного из недостатков батареи данного типа является температура теплового пробоя (порядка 210 °С), что требует особого внимания при разработке системы термостабилизации батарей и алгоритмов управления. Отдельные ячейки размещаются в индивидуальных пластиковых корпусах, из которых формируются батарейные модули (или субпаки). Каждый батарейный модуль снабжается блоком управления системы BMS (battery management system), которая отвечает за



## Chemistry Maturity Curves

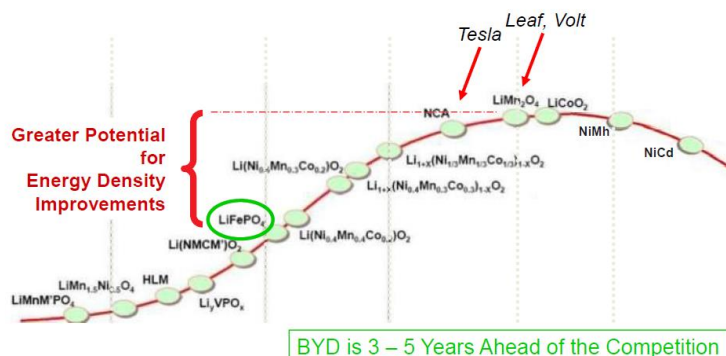


Рис. 6 Сравнении типов «химий» тяговых батарей по версии BYD.

Fig. 6. Comparison of the types of "chemistry" of traction batteries according to BYD.

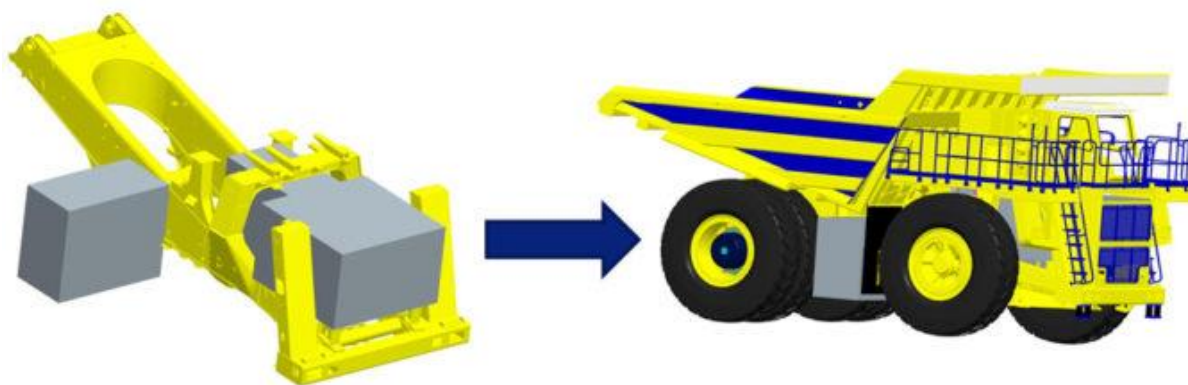


Рис. 7 Расположение тяговых батарей электросамосвала БелАЗ 7558Е.

Fig. 7. Location of traction batteries of electric dump truck BelAZ 7558E.

безопасность работы батареи и оценивает текущие параметры каждой ячейки. Отдельные батарейные модули собираются в блоки, в рамках которых осуществляется подключение токовых выводов к выводам батареи посредством плюсовых и минусовых шин.

Тяговый электродвигатель производства Oswald Motoren GmbH (рис. 2) с номинальным крутящим моментом 9500 Нм располагается вдоль продольной оси карьерного самосвала и приводит во вращение задний ведущий мост, от которого посредством колесных редукторов (производства Pulse Getriebe GmbH) крутящий момент передается на ведущие колеса. Управление моментом и частотой вращения тягового электродвигателя осуществляется при помощи инверторов напряжения (производства Aradex AG). Коммутация высоковольтных цепей между тяговыми батареями и инверторами напряжения тягового электродвигателя осуществляется посредством силового высоковольтного блока коммутации, расположенного в передней части самосвала правее кабины оператора.

## 2. Обзор электрического самосвала BYD V60

В качестве следующего объекта исследования среди автосамосвалов с тяговыми батареями является электросамосвал китайского производителя BYD V60. Заявленная грузоподъемность данного транспортного средства составляет 30 т при аналогичной снаряженной массе. Суммарная масса тягового привода вместе с батареями в данном случае составляет 10 т, что обусловлено применением другого типа литий-ионных – литий-железо-фосфат. Внешний вид самосвала BYD V60 представлен на рис. 4, а основные характеристики – в таблице 2.

Тяговые батареи в данной компоновочной схеме занимают пространство двигателя и генератора, а также топливных баков (рис. 5).

Значительный объем батарей при достаточно низком запасе хода в данном случае определяется выбранным типом химии – литий-железо-фосфат (LFP). По сравнению с рассмотренным ранее типом тяговой батареи (NMC) ячейка «химии» LFP обладает практически в два раза меньшей удельной энергоемкостью (не более 120 кВт·ч/кг) и меньшим номинальным напряжением (3,2-3,3 В). Однако, данный тип «химии» характеризуется большей безопасностью (тепловой

Таблица 3. Основные параметры электросамосвала БелАЗ 7558Е.

Table 3. Main parameters of the BelAZ 7558E electric dump truck.

Параметр	Значение
Грузоподъемность, т	90
Номинальная мощность тягового двигателя, кВт	750
Тип тяговой батареи	Никель-марганец-кобальт
Емкость аккумулятора, кВт·ч	765

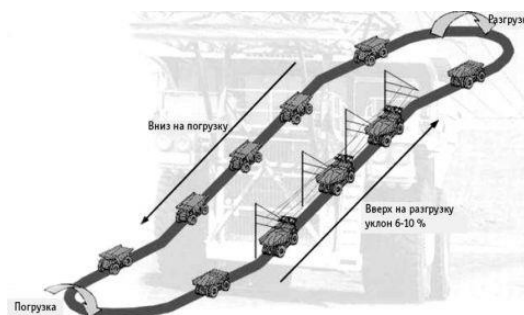


Рис. 8. Дизель-троллейвоз БелАЗ и планируемая зарядка от контактной сети по маршруту.

Fig. 8. Diesel trolley car BelAZ and the planned charging from the contact network along the route

пробой наступает при 270 °С) и меньшим выделением тепла в процессах заряда и разряда. В своих исследованиях представители BYD приводят следующую характеристику на рис. 6 (Chemistry Maturity Curves) – отражающую сравнительный анализ различных типов «химий» тяговых батарей и выделяя именно батареи типа «LFP» как одни из перспективных с точки зрения увеличения плотности энергии.

По аналогии с электросамосвалом eDumper в BYD V60 предусмотрена зарядка от стационарных станций только через бортовую розетку, что не позволяет реализовывать так называемую «быструю зарядку» (ввиду ограничения максимальных токов зарядки возможностями электропроводников и кабелей, а также вызывает сложности в автоматизации данного процесса без участия человека. Бортовой разъем заряда располагается по левому борту автомобиля за кабиной.

Китайские производители отмечают, что карьерные троллейбусы лучше использовать только на долгосрочных разработках, поскольку содержание контактной сети троллейных линий требует ухода и обслуживания. Для малых карьеров троллейвоз оказывается не выгоден и предпочтительнее использовать самосвалы с питанием от тяговой батареи.

### 3. Обзор карьерного электросамосвала БелАЗ 7558Е

По мнению специалистов ОАО «БЕЛАЗ», вопрос о применении на открытых разработках полезных ископаемых электрических накопителей в качестве источника движения карьерного самосвала оказывается достаточно актуальным. Одна из основных проблем, решаемая при этом экология, что является особенно важным для глубоких карьеров. В связи с небольшой удельной емкостью конденсаторов наиболее предпочтительно

для наземного транспорта выглядит применение литиевых аккумуляторных батарей. Возможное количество используемых батарей ограничено объемами, где они могут быть установлены, их типом и массой. Чаще всего батареи устанавливаются на места расположения дизельного двигателя, его системы охлаждения, тягового генератора и топливного бака (рисунок Рис.).

Одним из актуальных вопросов для наземного электрического транспорта в горной промышленности является его производительность. Ввиду относительно небольшого объема для установки батарей и их емкости при перемещении груза снизу вверх после нескольких циклов «загрузка – транспортировка – разгрузка» требуется проведение зарядки в течение 20–25 минут. Это ведет к снижению производительности в зависимости от условий работы и способа зарядки: величины зарядного тока, времени подключения к зарядной станции и отключения от нее.

Как и в рассматриваемом выше автомобиле eDumper в самосвале БелАЗ 7558Е планируется применять тяговые батареи с типом «химии» никель-марганец-кобальт (NMC) общей емкостью 765 кВт·ч. Производителем батарей является южнокорейская компания Enertech International. Основные параметры самосвала представлены в таблице 3.

Еще одно перспективное направление по использованию альтернативных источников энергии в карьерной технике – дизель-троллейбусы (рис. 8). Применение карьерного транспорта такого класса является эффективным решением для горнотранспортных работ, так как увеличивает скорость движения самосвала на подъеме почти в два раза, что в свою очередь повышает производительность и наращивает объем перевозок. Попутно обеспечивается снижение расхода



Рис. 9 Внешний вид автосамосвала Artisan Vehicles Z40.  
Fig. 9. Appearance of the Artisan Vehicles Z40 dump truck.

Таблица 4. Основные параметры автосамосвала Artisan Vehicles Z40.  
Table 4. Basic parameters of the Artisan Vehicles Z40 dump truck.

Параметр	Значение
Грузоподъемность, т	40
Максимальный уклон дороги, %	20
Номинальная мощность тягового двигателя, кВт	441,3
Тип тяговой батареи	Литий-железо-фосфат
Емкость аккумулятора, кВт·ч	310

топлива, значительно сокращаются выбросы вредных веществ в окружающую среду и улучшается экологическая обстановка в карьере и прилегающих районах. Также переход на дизель-троллейбусы позволит применить дизельные двигатели меньшей мощности.

#### 4. Обзор автосамосвалов Artisan Vehicles Z40/Z50

Помимо обзора только карьерных самосвалов в настоящем исследовании представляют также модели транспортных средств для использования в закрытых шахтах, где вопросы снижения выброса вредных веществ от дизельных двигателей стоят достаточно остро.

Одними из представителей автосамосвалов на тяговых батареях являются шахтные самосвалы Artisan Vehicles Z40/Z50. В 2018 году компанией Artisan Vehicles (США, Калифорния) был представлен подземный аккумуляторный автосамосвал Z40 грузоподъемностью 40 т (рис. 9). Данный автосамосвал оборудован 4 электродвигателями и сменными аккумуляторными батареями (блоками) для их быстрой замены с целью

уменьшения времени транспортного цикла. Применены литиевые батареи (литий-железо-фосфат), 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 эксплуатируется на золоторудном месторождении Kirkland Lake (Онтарио, Канада). Тяговые батареи данного самосвала располагаются в передней части, слева от кабины оператора.

Номинальная мощность тягового привода (суммарная) составляет 600 л.с. (441,3 кВт), максимальный преодолеваемый подъем – 20%. Остальные параметры транспортного средства представлены в таблице 4.

Отличительной особенностью рассматриваемого объекта является «быстрая» зарядка батарей, которая заключается не в применении мощных зарядных станций с пантографами, а в





Рис. 10 Внешний вид объекта Artisan Vehicles Z50.

Fig. 10. Appearance of Artisan Vehicles Z50.

Таблица 5. Основные параметры автосамосвала Artisan Vehicles Z50

Table 5. Basic parameters of the Artisan Vehicles Z50 dump truck

Параметр	Значение
Грузоподъемность, т	50
Максимальная скорость, км/ч	20
Мощность тяговых двигателей, кВт (номинальная/пиковая)	980/1432
Момент тяговых двигателей, Нм (номинальная/пиковая)	6400/8400
Тип тяговой батареи	Литий-железо-фосфат
Энергоемкость тяговой батареи, кВт·ч	354
Номинальное напряжение тяговой батареи, В	615
Масса тяговой батареи, кг	8255
Энергоемкость вспомогательной батареи, кВт·ч	22
Масса вспомогательной батареи, кг	277

полной замене блока батарей (рис. 9). При этом оператор самостоятельно отключает все силовые высоковольтные цепи от блока батарей, а при помощи гидропривода батарея демонтируется с объекта для дальнейшего перемещения к зарядной станции. Данный процесс занимает не более 10 минут, что с учетом представленной емкости тяговой батареи действительно является быстрым способом зарядки, принимая во внимание ограничения по максимальному зарядному току батареи и кабельной сети. Помимо рассмотренного выше объекта Z40 производитель Artisan Vehicles выполнил разработку транспортного средства с грузоподъемностью 50 т (Z50). Компонентная схема и состав компонентов данного объекта схожи с объектом Z40 (рис. 10):

- сочлененная схема рулевого управления;
- четыре тяговых электродвигателя;
- сменный блок батарей располагается в передней части транспортного средства с правой стороны от кабины оператора, в составе которого применяются ячейки с типом «химии» литий-железо-фосфат; рассматриваемая батарейная системы является запатентованной технологией Artisan Vehicles;

- наличие дополнительной высоковольтной тяговой батареи для использования при замене батарейного модуля.

Основные характеристики электросамосвала Z50 представлены в таблице 5.

Как и любое транспортное средство, объект Z50 характеризуется возможностью рекуперации энергии при торможении. Время разгрузки составляет 10 секунд. По аналогии с объектом Z40 в данном случае предполагается, что на месте разработки будет размещено несколько стационарных зарядных станций. Самосвалы должны подъезжать к данным станциям, разгружать текущую батарею и забирать заряженную. При этом подключение разряженной батареи к стационарной зарядной станции осуществляется оператором вручную. Движение объекта в процессе замены батарей и питание компонентов гидропривода подъема батареи осуществляется за счет вспомогательной высоковольтной батареи емкостью 72 А·ч.

## 5. Обзор электросамосвала Minetrack MT42 Battery

Другим представителем электросамосвалов, работа которого возможна как в шахтах, так и на строительных работах, является объект Minetrack MT42 Battery производства Epiroc. Данный объект характеризуется сочлененной схемой рулевого управления, ведущими являются передний и задний мосты объекта, привод каждого из которых осуществляется от отдельного тягового электродвигателя. Тяговая батарея располагается в передней части объекта, справа от кабины оператора; работа и обеспечение необходимых тепловых режимов тяговой батареи обеспечиваются



Рис. 11 Внешний вид объекта Minetrack MT42 Battery.

Fig. 11. Appearance of the Minetrack MT42 Battery object.

Таблица 6. Основные параметры электросамосвала Minetrack MT42 Battery.

Table 6. Main parameters of the Minetrack MT42 Battery electric dump truck.

Параметр	Значение
Грузоподъемность, т	42
Объем грузовой платформы, м <sup>3</sup>	19
Максимальная скорость, км/ч	20
Номинальная мощность тяговых двигателей, кВт	400
Номинальный момент тяговых двигателей, Н·м	2200
Тип тяговой батареи	Никель-марганец-кобальт
Энергоемкость тяговой батареи, кВт·ч	425
Номинальное напряжение тяговой батареи, В	850
Масса тяговой батареи, кг	5100
Минимальное время заряда до 100 %, мин	120
Тип зарядки	CCS 2.0 тип 1 или тип 2

системами BMS и термостатирования (TMS). Время разгрузки составляет 13 с. Внешний вид объекта представлен на рис. 11. Рис. , основные характеристики приведены в таблице 6.

В отличие от рассмотренных выше объектов Z40/Z50 в составе электросамосвала Minetrack MT42 Battery применяется тяговые батареи на основе «химии» никель-марганец-кобальт (NMC). Данный тип батареи применяется в составе настоящего объекта, вероятно, по причине эксплуатации данного объекта в строительных работах. Указанный тип батареи позволил обеспечить значительную емкость при сравнительно небольшой массе самой батареи. Заряд тяговой батареи осуществляется посредством стационарных зарядных станций через зарядный порт, что и определяет значительное время зарядки (до 100 % порядка 2-х часов). Также производитель отмечает возможность замены разряженной тяговой батареи и установки заряженной.

## 6. Обзор роботизированных самосвалов Volvo HX01/HX02

Автосамосвал HX01 (рис.12) представляет собой автономное транспортное средство, разработка которого началась в 2015 году, и является

двухосной платформой. Вся верхняя часть скрыта под опрокидываемым назад кузовом прямоугольного сечения. Привод осуществляется от электродвигателя, питаемого аккумуляторной батареей. Роботизированный самосвал создавался в рамках проекта Volvo Construction Equipment, направленного на электрификацию рабочих площадок. Данный проект предполагает снижение выбросов углеродных соединений на 95% и уменьшение совокупной стоимости владения на 25%. Конечная цель проекта – электрификация транспортировки при проведении карьерных работ от участка выемки материала до установки первичного дробления, а затем – до установки вторичного дробления. Данная технология также предполагает управление парком транспортных средств и логистические решения для задействованной в карьере электрифицированной техники. Предполагается, что снижение стоимости перевозки тонны груза будет достигаться не только за счет меньшей стоимости электроэнергии, но и благодаря снижению массы машины из-за отсутствия кабины, климатической системы, системы подрессоривания. Данный факт, в свою очередь, также позволяет снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание.





Рис. 12 Внешний вид объекта Volvo HX01.  
Fig. 12. Exterior view of the Volvo HX01 object.



Рис. 13 Внешний вид объекта Volvo HX02.  
Fig. 13. Exterior view of the Volvo HX02.

Таблица 7. Основные параметры роботизированного самосвала Volvo HX02  
Table 7. Basic parameters of the robotic dump truck Volvo HX02

Параметр	Значение
Грузоподъемность, т	15
Номинальная мощность тяговых двигателей, кВт	200
Тип тяговой батареи	Никель-марганец-кобальт (предположительно)
Энергоемкость тяговой батареи, кВт·ч	18
Минимальное время заряда, мин	1
Тип зарядки	Пантограф

Опытная эксплуатация объекта HX01 осуществлялась с конца 2018 года компанией Skanska Sweden в карьере под Гетеборгом в течении 10 недель. По результатам испытаний подтвердилась возможность предложенных концепций и был осуществлен переход к работе над объектом HX02 (рис. 13). В данном объекте обновилась конструкция, тяговые батареи и тяговый электропривод. Также в HX02 выполнена модернизация системы кругового обзора, которая позволяет различать людей и препятствия на пути следования. В исследовании прототипа HX02 будут использованы 8 единиц указанных карьерных самосвалов.

Помимо значительного сокращения выбросов CO<sub>2</sub> и загазованности карьеров, для которых проблема проветривания остается весьма актуальной, а также уменьшения стоимости перевозки тонны породы, рассматриваемые транспортные средства позволят значительно снизить уровень шума в местах добычи и размельчения. Основные параметры объекта HX02 представлены в таблице 7.

В соответствии с представленными данными видно, что в составе роботизированного

самосвала Volvo HX02 применяется достаточно маленькая батарея с типом «химии» никель-марганец-кобальт (предположительно). Выбор производителей в данном случае, вероятнее всего, определяет массой и габаритами тяговой батареи, чтобы увеличить скорость движения объекта и грузоподъемность. При этом заряд батареи осуществляется в процессе каждого рабочего цикла роботизированного самосвала, а реализация заряда посредством пантографа в совокупности с батареей малой емкости обеспечивает малое время заряда (порядка 1 минуты). Таким образом, значительно сокращаются простои самосвалов и увеличивается время полезной работы за цикл. В качестве отрицательных сторон данного решения можно рассматривать достаточно малую периодичность замены тяговых батарей ввиду ограниченного числа циклов заряда/разряда, что может повысить стоимость эксплуатации рассматриваемого роботизированного самосвала. Реализация заряда объекта Volvo HX02 посредством пантографа представлена на рис. 14.



Рис. 14 Реализация зарядки роботизированного самосвала Volvo HX02 посредством пантографа.  
Fig. 14. Implementation of charging the Volvo HX02 robotic dump truck using a pantograph.

Применение пантографа для подключения электрического самосвала к зарядной станции позволяет полностью автоматизировать процесс зарядки, что является существенным преимуществом при создании полностью автономных карьеров. Рассмотренные выше электросамосвалы других автопроизводителей применяют в качестве интерфейса подключения к зарядной станции только бортовые разъемы или прибегают к способу замены батарей. Данные подходы невозможно осуществлять без участия человека, что не только делает невозможной реализацию автономной добычи, но и приводит к достаточным временным потерям: подключение и отключения зарядного порта влечет за собой достаточное количество подготовительных операций, а при замене батарей оператор должен подключить разряженную батарею к зарядной станции и отключить ее после завершения процесса зарядки. Компания Volvo исключает подобные подходы при разработке собственной программы Volvo Construction Equipment (электрификация рабочих площадок), структурная схема которой представлена на рис. 15.

Электрификация предполагает постепенный отказ от использования в местах добычи техники с ДВС, что является необходимым условием для перехода к полностью автономным карьерам. На текущий момент в линейке карьерной техники предполагается реализация, помимо самосвалов Volvo HX02, электрического экскаватора и ленточного конвейера (с питанием от кабеля), гибридного фронтального погрузчика. Тяжелые карьерные самосвалы (грузоподъемностью 50 т и более) будут заменяться несколькими платформами на базе HX02. В соответствии с представленной схемой зарядки автономных самосвалов предполагается в середине пути рабочего цикла, что позволит освободить пространство в местах разгрузки и погрузки.

Для обеспечения быстрой зарядки автономных самосвалов HX02 в карьере должны быть оборудованы стационарные зарядные станции мощностью не менее 200 кВт, при этом подобных станций (как и пантографов) должно быть несколько для обеспечения параллельной работы и одновременной зарядки нескольких самосвалов. Данный подход неизбежно приведет к увеличению нагрузки на электроподстанцию и кабельные сети.

Таким образом, учитывая все выше сказанное, видно, что:

- одним из актуальных вопросов для наземного электрического транспорта в горной промышленности является его производительность. Ввиду относительно небольшого объема для установки батарей и их емкости при перемещении груза снизу вверх после нескольких циклов «загрузка – транспортировка – разгрузка» требуется проведение зарядки в течение 20-25 минут. Это ведет к снижению производительности в зависимости от условий работы и способа зарядки: величины зарядного тока, времени подключения к зарядной станции и отключения от нее;
- карьерный электро-аккумуляторный самосвал способен заменить дизель и дизель-

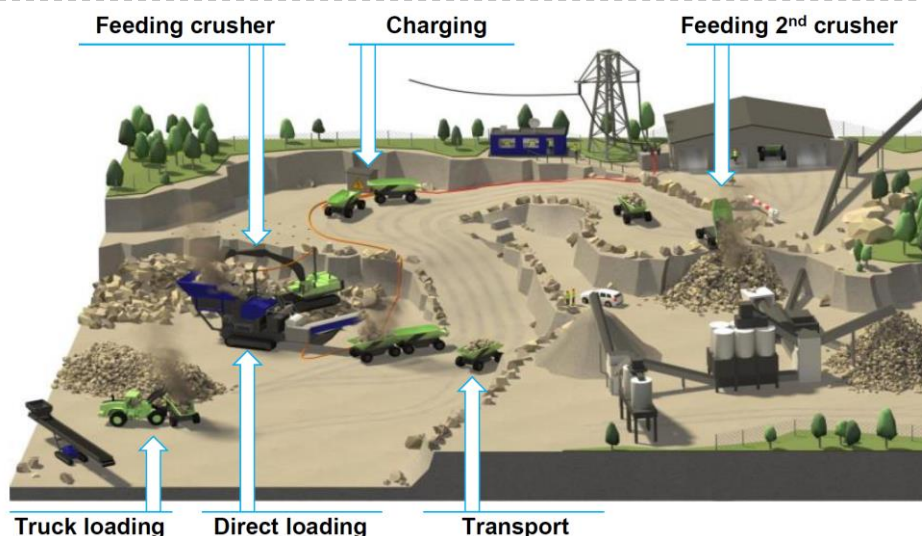


Рис. 15 Структура электрифицированного карьера с автономными самосвалами.  
Fig. 15. Electrified quarry structure with autonomous dump trucks.

электрические машины благодаря экономическим и экологическим показателям, в особенности там, где зона добычи находится выше уровня погрузки, а также в удаленных регионах, куда дизельное топливо довольно дорого доставлять. Полная электрификация самосвала позволит упростить автономное управление машиной.

- карьерный электро-аккумуляторный самосвал должен обладать конструкцией, обеспечивающей грузоподъемность до 90 т, электротяговой установкой, обеспечивающей его передвижения, а также батареей способной обеспечивать электротягу на протяжении определенного эксплуатационного периода между зарядками.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2020-031 от 14.12.2020г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. А. Кулешов, Проектирование и эксплуатация карьерного автотранспорта. Справочник. Ч. 1. / Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г. В. Плеханова, Санкт-Петербург, 1994. 235 с.: ил.
2. Дубинкин Д.М. Обоснование необходимости создания тяжелых платформ для открытых горных работ // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 4 (150). – С. 59-64.
3. Дубинкин Д.М. Современное состояние техники и технологий в области автономного управления движением транспортных средств угольных карьеров // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 6 (146). – С. 8-15.
4. Дубинкин Д.М., Садовец В.Ю., Котиев Г.О., Карташов А.Б. Исследование процесса транспортирования вскрышных пород и угля на разрезах // Техника и технология горного дела. – 2019. – № 4 (7). – С. 50-66.
5. Alexander Kartashov, Boris Kositsyn, George Kotiev, Sergey Nazarenko, and Dmitry Dubinkin. Ensuring Energy Efficiency and Safety of the Cyclic Operation of the Mining Dump Truck // Vth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences. **174**, 03009 (2020).
6. Обзор транспорта с электропитанием в фокусе развития горнодобывающих предприятий / В.А. Черепанов, А.Г. Журавлев, И.А. Глебов, М.А. Чендырев // Проблемы недропользования. – 2019. – №1. – С. 33 – 49.
7. Хазин М.Л. Электрифицированный автотранспорт для подземных и открытых горных работ / М.Л. Хазин // Известия Уральского государственного горного университета. – 2019. – №1(53). – С. 128 - 135.
8. <https://www.trucksplanet.com/ru/catalog/model.php?id=2098>
9. <https://auto.24tv.ua/ru/>
10. <https://topgearrussia.ru/news/40604-edumper++samyiy+bolshoy+elektromobil+v+mire>
11. <https://www.fluidpowerworld.com/volvo-unveils-next-generation-autonomous-hauler/>
12. <https://insideevs.com/news/335681/see-40-ton-electric-mining-truck-in-motion/>
13. <https://insideevs.com/news/362547/edumper-8-ton-battery-pack/>
14. <https://www.emining.ch/en/>
15. <https://www.wae.com/what-we-do/case-studies/anglo-american>
16. <https://www.red-dot.org/project/ta15-48206>
17. <https://rg.ru/2020/05/27/karernyj-gigant-na-elektricheskikh-batareiah-sozdaiut-na-belaze.html>

**Dmitry M. Dubinkin**<sup>1\*</sup>, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Alexander B. Kartashov**<sup>2</sup>, C. Sc. in Engineering, **George A. Arutyunyan**<sup>2</sup>, C. Sc. in Engineering, **Nikolai V. Buzunov**<sup>2</sup>, C. Sc. in Engineering, **Kirill P. Sorokin**<sup>2</sup>, electronics engineer of REC «KAMAZ-BAUMAN», **Alexey V. Yalyshev**<sup>1</sup>, technician of the Scientific Center «Digital Technologies»

<sup>1</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Russian Federation, Kemerovo, Vesenniyaya street, 28

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University, 105005, Russian Federation, Moscow, 2nd Bauman-skaya street, 5

#### CURRENT STATE OF THE ART AND TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF QUARRY DUMP TRUCKS WITH ENERGY STORAGE DEVICES



**Abstract:** In article the analysis of modern state of the art and technology of the modern world level of development in the field of creating mining trucks with energy storage, made by Pro-ject "Creating high-tech production of a family of robotic career self-Svalov capacity up to 90 t, with an Electromechanical transmission based on digital technology." The main manufacturers of quarry equipment of leading manufacturers with energy storage devices intended for open-pit mining are shown. To set the goal and task of the study, the main prerequisites for the development and creation of robotic mining dump trucks with a load capacity of up to 90 tons with an Electromechanical transmission are justified. Conclusions are drawn on the confirmation of the need for the development and creation of electric dump trucks.

**Keywords:** mining dump truck, mining transport, heavy platform, mining machine, mining, electric dump truck

**Article info:** received November 20, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-6-31-42

#### REFERENCES

1. A. A. Kuleshov, Design and operation of quarry vehicles. Handbook. Part 1. / St. Petersburg State Mining Institute named after G. V. Plekhanov, St. Petersburg, 1994. 235 p.: ill.
2. Dubinkin D.M. Justification of the need to create heavy platforms for open-pit mining. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.4 (150), pp. 59-64.
3. Dubinkin D.M. Current state of engineering and technology in the field of autonomous traffic control of coal mine vehicles // Mining equipment and electromechanics No. 6, 2019, p. 8-15.
4. Dubinkin D.M., Sadovets V.Yu., Kotiev G.O., Kartashov A.V. (2019) Overburden and coal transportation research at open pit mines, Journal of mining and geotechnical engineering, 4(7):50
5. Dmitry Dubinkin, Alexander Kulpin, and Dmitry Stenin. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a Lifting Capacity from 90 to 130 Tons // Vth International Innovative Mining Symposium: E3S Web of Conferences. 174, 03015 (2020).
6. Review of transport with power supply in the focus of development of mining enterprises / V. A. Cherepanov, A. G. Zhuravlev, I. A. Glebov, M. A. Chendyrev // Problems of subsoil use. - 2019. - No. 1. - P. 33-49

7. Khazin M. L. Electrified motor transport for underground and open-pit mining operations / / Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. - 2019. - №1(53). - Pp. 128-135.
8. <https://www.trucksplanet.com/ru/catalog/model.php?id=2098>
9. <https://auto.24tv.ua/ru/>
10. <https://topgearrussia.ru/news/40604-edumper++samyiy+bolshoy+elektromobil+v+mire>
11. <https://www.fluidpowerworld.com/volvo-unveils-next-generation-autonomous-hauler/>
12. <https://insideevs.com/news/335681/see-40-ton-electric-mining-truck-in-motion/>
13. <https://insideevs.com/news/362547/edumper-8-ton-battery-pack/>
14. <https://www.emining.ch/en/>
15. <https://www.wae.com/what-we-do/case-studies/anglo-american>
16. <https://www.red-dot.org/project/ta15-48206>
17. <https://rg.ru/2020/05/27/karernyj-gigant-na-elektricheskikh-batareiah-sozdaiut-na-belaze.html>

#### Библиографическое описание статьи

Дубинкин Д.М., Карташов А.Б., Арутюнян Г.А., Бузунов Н.В., Кирилл П.С., Ялышев А.В. Современное состояние техники и технологий в области карьерных самосвалов с накопителями энергии // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 6 (152). – С. 31-42.

#### Reference to article

Dubinkin D.M., Kartashov A.B., Arutyunyan G.A., Buzunov N.V., Sorokin K.P., Yalyshev A.V. Current state of the art and technologies in the field of quarry dump trucks with energy storage devices. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.6 (152), pp. 31-42.