

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ АККУМУЛЯТОРНОГО КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

Дубинкин Д.М.¹, Тургенев И.А.¹, Шахманов В.Н.²

¹*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Кемерово;*

²*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске, Прокопьевск*

Ключевые слова: горные машины, карьерный самосвал, роботизированный карьерный самосвал, аккумуляторный карьерный самосвал, литиевые аккумуляторные батареи, электрификация карьерных самосвалов.

Аннотация. В данной статье отмечается актуальность задачи полной электрификации карьерного самосвала. В работе были выделены пять особенностей создания аккумуляторного карьерного самосвала на электрической тяге. Первая – выбор одного из трех возможных подходов к созданию карьерного самосвала. Вторая – выбор типа химии и вида тяговой аккумуляторной батареи. Третья – подбор компании по производству тяговых аккумуляторных батарей с дополнительными компонентами в виде системы контроля устройств нижнего и верхнего уровня, общей системы охлаждения/нагрева аккумуляторной системы, герметичных соединительных выводах, герметичным корпусом, противовибрационными проставками и главными с промежуточными предохранителями. Четвертая – выбор параметров тяговой аккумуляторной батареи с помощью определенного приоритета состоящий из 10 пунктов. Пятая – подбор или создание зарядной станции и подбор зарядного процесса. С помощью выделенных особенностей можно производить предварительный подбор тяговых аккумуляторных батарей для карьерных самосвалов на электрической тяге. А также сформированы дальнейшие направления для изучения.

FEATURES OF CREATING A BATTERY MINING DUMP TRUCK ON ELECTRIC DRIVE

Dubinkin D.M.¹, Turgenev I.A.¹, Shahmanov V.N.²

¹*T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo;*

²*T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopyevsk branch, Prokopyevsk*

Keywords: mining machines, mining dump truck, robotic mining dump truck, battery mining dump truck, lithium batteries, electrification of mining dump trucks.

Abstract. This article notes the relevance of the task of full electrification of a mining dump truck. Five features of the creation of a battery mining dump truck on electric traction were highlighted in the work. The first is the choice of one of three possible approaches to the creation of a mining truck. The second is the choice of the type of chemistry and the type of traction battery. The third is the selection of a company for the production of traction batteries with additional components in the form of a control system for devices of the lower and upper levels, a common cooling / heating system for the battery system, sealed connection terminals, a sealed housing, anti-vibration spacers and main fuses with intermediate fuses. Fourth – selection of traction battery parameters using a certain priority consisting of 10 points. Fifth – the selection or creation of a charging station and the selection of the charging process. With the help of the highlighted features, it is possible to make a preliminary selection of traction batteries for mining dump trucks on electric traction. And also formed further directions for study.

Введение

Благодаря концепции «Электричество 4.0» происходит процесс электрификации и цифровизации всех секторов деятельности человека [1]. В данную концепцию входит модернизации предприятий, осуществляющие добычу полезных ископаемых открытым способом. На открытых горных работах для транспортировки породы и полезного ископаемого (ПИ) в основном используют автотранспорт – карьерные самосвалы (КС).

В настоящее время при добыче полезного ископаемого открытым способом в основном применяются КС с электромеханической трансмиссией, которая работает по системе двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – генератор – электромотор. При работе ДВС

вращающий момент передается на генератор, который вырабатывает электрическую энергию для работы тяговых электродвигателей. Применение данной системы позволяет:

- увеличить диапазон бесступенчатого регулирования скорости движения;
- повысить производительность агрегатов путем оптимизации технологических и действительных скоростей;
- снизить удельный расход топлива за счет работы ДВС в экономичном режиме;
- повысить ресурс ДВС из-за отсутствия жесткой связи с ходовой системой (динамические нагрузки от колес не передаются к ДВС);
- снизить динамические нагрузки при изменении скорости КС;
- исключить влияние неравномерности крутящего момента ДВС на ходовую систему КС и, как следствие, снизить вибрации;
- снизить уровень вредных выбросов отработавших газов за счет работы в ограниченном частотном диапазоне с минимальным расходом топлива;
- повышение тягового КПД за счет меньшего буксования ведущих колес при отсутствии переменных нагрузок со стороны ДВС;
- повысить надежность и долговечность электрических машин в сравнении с механической передачей;
- уменьшить физические нагрузки водителя (оператора) при управлении КС [2-5].

Следующим витком развития электрификации и модернизации КС становится замена источника энергии с ДВС на тяговую аккумуляторную батарею (ТАБ). Поэтому создание аккумуляторных карьерных самосвалов является актуальной задачей.

Основная часть

В данный момент нами проведен анализ существующих концептов, опытных и серийных образцов КС с использованием ТАБ как источника энергии. В результате проведенного анализа было выделено, что уже созданы опытные образцы КС с ТАБ производителями карьерной техники Komatsu – eDumper, Volvo – НХ01 и НХ02, BYD – V60, БелАЗ 7558Е, Еріос и другие [3].

Внешний вид КС Komatsu – eDumper, БелАЗ 7558Е представлен на рисунке 1 и 2 соответственно.



Рис. 1. Внешний вид Komatsu – eDumper



Рис. 2. Внешний вид БелАЗ 7558Е

При анализе материалов [6-10] по данным образцам КС было выделено, что существует 3 подхода к созданию КС с ТАБ.

1) Создание КС с основой на рекуперацию электроэнергии в ТАБ при спуске. Данный подход используется в опытном образце Komatsu – eDumper.

2) Создание КС с ТАБ большой ёмкости, более 600 кВт/ч и проведения редкого зарядного процесса в течение 30-40 минут за счет «быстрой» зарядки. Данный подход к созданию используется при создании БелАЗ 7558Е, СІНІС Т150.

3) Создание КС с ТАБ малой ёмкости, около 100 кВт/ч и осуществление частого зарядного процесса в течение 2-5 минут за счет «быстрой» зарядки или заменой батарейной системы. Данный подход используется при создании Volvo – НХ01 и НХ02.

Из этого следует, что первой особенностью создания КС с ТАБ является выбор подхода к созданию. У каждого из подходов есть свои преимущества и недостатки. Первый подход к созданию КС с основой на рекуперацию электроэнергии в ТАБ при спуске, обладает следующими преимуществами.

1) При данном подходе не требуется зарядный процесс, кроме случаев эксплуатации не по заданному маршруту.

2) От заданного маршрута зависит требуемая емкость ТАБ, то есть при малых плечах транспортировки емкость ТАБ может быть меньше, чем по сравнению с большими плечами транспортирования, что уменьшает общую стоимость ТАБ и машины в целом.

Недостатками данного подхода являются следующие.

1) Зависимость машины от заданного маршрута, то есть при изменении маршрута или использовании данной машины на другом карьере, она может не выполнять свои функции и требовать постоянной подзарядки.

2) Требуется постоянный контроль емкости и уровня заряда ТАБ, а также периодический частичный разряд ТАБ для избавления от «лишней» энергии.

3) Малый жизненный цикл ТАБ при таком использовании.

Второй подход при создании КС с ТАБ большой ёмкости, имеет следующие преимущества.

1) Использование КС с данным подходом более вариативно, то есть, КС может использоваться на различных маршрутах и это не должно приводить к аварийным ситуациям по типу критического разряда ТАБ.

2) Можно применять для создания КС с большой грузоподъемностью.

3) Более простая система контроля заряда ТАБ.

4) Требуется редкий зарядный процесс, который в идеальном варианте можно проводить в момент пересменки персонала.

Недостатки следующие.

1) Стоимость ТАБ напрямую зависит от емкости, следовательно, чем больше емкость, тем больше цена ТАБ и самого КС.

2) Большая масса и объем ТАБ.

3) Чем больше емкость ТАБ, тем больше потери.

4) Требуется зарядная станция большой мощности.

5) Использование «быстрой» зарядки уменьшает жизненный ресурс ТАБ.

Третий подход при создании КС с ТАБ малой емкости, имеет следующие преимущества:

1) Малая стоимость ТАБ по сравнению с первыми двумя подходами.

2) Малая масса и объем ТАБ.

Недостатки:

1) Частый зарядный процесс и частое использование «быстрой» зарядки. Это приводит к быстрому износу и исчерпанию жизненного ресурса ТАБ.

2) Малая дистанция транспортировки.

3) Данный подход, зачастую, используется для КС с «малой» грузоподъемностью до 40т.

4) Зависимость КС от расположения зарядных станций.

Второй особенностью при создании КС с ТАБ является выбор химии для ТАБ.

Существует два типа аккумуляторов, которые могут стать основой для тяговой аккумуляторной батареи:

1) на основе свинца [11];

2) на основе лития [12].

Есть несколько видов аккумуляторов на основе свинца, которые могли бы подойти для ТАБ:

1) свинцово–кислотный аккумуляторы;

2) гелевые свинцово–кислотный аккумуляторы;

3) карбоновые свинцово–кислотные аккумуляторы.

Принципиальная схема свинцово-кислотного аккумулятора представлена на рисунке 3.

У данного типа аккумуляторов можно выделить общие преимущества и недостатки по сравнению с аккумуляторными батареями на основе лития.

Преимущества следующие.

1) Недорогие и простые в изготовлении – с точки зрения затрат на Вт·ч.

2) Зрелая, надежная и хорошо освоенная технология – при правильном использовании.

3) Способность к токоотдаче, до 15С, аккумулятор отдает большой пусковой ток в нагрузку, при этом не просаживая напряжение питания.

4) Большой срок службы – 10-12 лет.

Недостатки следующие.

1) Не могут храниться в разряженном состоянии.

2) Высокая чувствительность к изменению температуры – влияет и на продолжительность работы, и на срок жизни аккумулятора.

3) Низкая плотность энергии – слабая весо-энергетическая плотность аккумулятора ограничивает область применения стационарной и колесной техники, позволяет работать только ограниченное количество полных циклов разряда поэтому они хорошо подходит для резервной техники, в которых происходят только случайные глубокие разряды, низкий ток зарядки, следовательно, большое время заряда аккумулятора.

4) Сильная потеря емкости при работе в отрицательных температурах.

5) Экологически вредные – электролит и содержание свинца делают их небезопасными для окружающей среды.

6) Транспортные ограничения для заливных свинцово-кислотных батарей – в случае аварии может произойти утечка кислоты.

Данная основа может подойти для ТАБ только для карьерных самосвалов малой грузоподъемностью, с применением 3 подхода к созданию КС с заменой ТАБ уже на заранее заряженный.

В настоящее время одними из самых емких и подходящих аккумуляторов являются аккумуляторы на основе лития [12].

1. Литий-ионные (Li-Ion).

2. Литий-ферро-фосфатные (LiFePO₄, LFP).

3. Литий-никель-марганец-кобальт-оксидные (Li-NMC, NMC).

Внешний вид модуля Akasol AKR PRC и системы из моделей представлены на рисунке 4.



Рис. 4. Аккумуляторный модуль и система производства компании Akasol

Как правило, ТАБ на основе лития состоит из элементов в типоразмере 18650 (18 мм диаметр, 65 мм длина, 0 цилиндрическая форма) или 21700. Из них создают несколько тысячную сборку элементов в один блок и через специальную плату средства контроля и

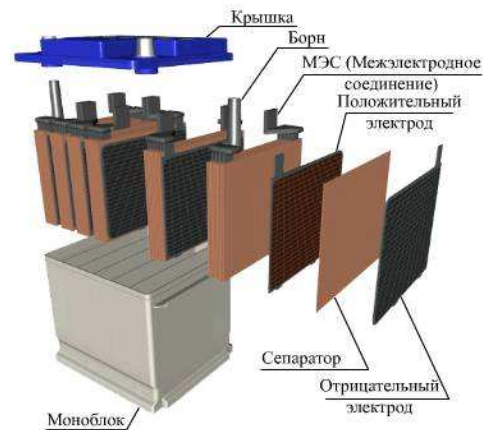


Рис. 3. Принципиальная схема свинцово-кислотного аккумулятора

управления (СКУ), иногда через несколько подобных плат, применяют как тяговую аккумуляторную батарею. ТАБ с такой основой комплектования имеет следующие преимущества.

1. Большая токоотдача.
2. Химическая стабильность.
3. Высокая энергоёмкость.
4. Не требуют обслуживания.
5. Имеют низкий саморазряд и малый эффект старения.
6. Морозоустойчивы.
7. Стабильно работают при температуре от -30°C до $+55^{\circ}\text{C}$.
8. Не имеют выраженного эффекта памяти.
9. Допускают быструю зарядку высокими токами.
10. Большое напряжение на элементе.

11. Габариты и вес элемента оптимальные для создания модулей по сравнению с другими представителями семейства.

Недостатки следующие.

1. Малое количество циклов.
2. Цена, некоторые виды литиевых аккумуляторов не производятся в РФ, а также это относительно молодая технология, поэтому они высокую стоимость.
3. Для соблюдения режима работы требуется установка средства контроля и управления (СКУ).
4. Сложность при самостоятельной сборке.
5. Имеют большое внутреннее сопротивление на элемент.
6. Требуют балансировки при использовании в сборке.
7. Имеют определенный алгоритм зарядки.
8. Зарядка аккумулятора возможна только при температуре от 0°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

При рассмотрении всех преимуществ и недостатков литий-никель-марганец-кобальт-оксидных аккумуляторов можно сделать вывод, что они являются перспективными для использования в карьерных самосвалах по первым двум принципам хранения энергии в ТАБ, несмотря их высокую стоимость.

Так как карьерные самосвалы постоянно работают и не простаивают без веской причины поэтому к ТАБ необходимо выполнять следующие жесткие требования [13].

1) ТАБ должна обеспечивать машину электрической энергией максимально возможное время на 1 цикле заряда.

Чем больше будет время работы карьерного самосвала на одном цикле, тем больше будет срок эксплуатации ТАБ до потери емкости и до дальнейшей ее замены.

2) Время работы ТАБ должно рассчитываться с учетом зарядного процесса и процесса старения аккумуляторной батареи на конечных циклах эксплуатации.

При подборе времени работы ТАБ должно учитывать время зарядного процесса, так как в это время КС будет простаивать. Время старения ТАБ необходимо учитывать, потому что емкость ТАБ при старении будет снижаться, следовательно, время работы уменьшается.

3) ТАБ должна иметь «быструю» зарядку, обеспечивая время зарядки до 45 минут.

«Быстрая» зарядка позволяет снизить время вынужденного простоя карьерного самосвала для зарядного процесса.

4) ТАБ не должна иметь эффекта памяти.

Эффект памяти требует расходования всей доступной энергии, которая есть в аккумуляторной батарее, для начала зарядного процесса, при эксплуатации карьерных самосвалов это недопустимо, так как это может привести к потере управления КС и аварийным ситуациям.

5) ТАБ должна иметь систему термостатирования для обеспечения комфортного температурного режима работы ТАБ при температуре от $+50^{\circ}\text{C}$ до -40°C и ниже.

Выполнение данного требования необходимо для получения максимального возможного срока эксплуатации ТАБ.

6) ТАБ и все элементы, обеспечивающие ее работоспособность, должны иметь степень защиты оболочки не менее IP65.

Так как ТАБ в КС является важнейшей частью и единственным источником энергии для всех элементов КС на электрической тяге, поэтому необходима его безотказная работа, следовательно вводится такое требование к степени защиты оболочки.

7) ТАБ должна обладать как можно меньшими массово-габаритными характеристиками.

ТАБ устанавливается на раме КС, поэтому ее масса влияет на общую массу КС, следовательно, на электропотребление тяговых электродвигателей, для передвижения машины.

8) Глубина разряда ТАБ (DOD) не должна превышать 80%.

При эксплуатации КС всегда нужно оставлять остаточный заряд, для избежание непредвиденных ситуаций с полным разрядом ТАБ и потери управления КС, а также для увеличения возможных циклов зарядного процесса без потери емкости.

9) Напряжение ТАБ должно падать ниже номинального напряжения тяговых двигателей при любой глубине разряда батареи, так и под нагрузкой пикового тока разряда.

Напряжение ТАБ под пиковой токовой нагрузкой не должно падать ниже номинального, так как это приведет к срабатыванию защиты на ТАБ и это может привести к потере управления КС.

10) ТАБ должна иметь максимально возможное число циклов «заряд–разряд».

Один из важных показателей ТАБ является число циклов «заряд-разряд», ведь от этого числа зависит, сколько времени будет эксплуатироваться батарея и как скоро ее придется менять.

11) ТАБ должна иметь программу «разморозки» в условиях пониженных температур исполняемая при помощи зарядной станции и блока управления ТАБ.

При длительном хранении (более 10 суток) ТАБ в условиях низких температур, в аккумуляторных модулях часть электролита замерзает и из этого система термостатирования может не справиться с обеспечением оптимальной температуры ТАБ для начала их оптимальной работы без дальнейшей деградации аккумуляторной батареи.

Из выше представленного материала, можно сделать выводы, что для карьерных самосвалов средней (50 тонн) грузоподъемности лучше всего подойдут тяговые аккумуляторные батареи на основе лития, а именно литий-ферро-фосфатные и литий-никель-марганец-кобальт-оксидные аккумуляторные батареи, так как можно использовать любые аккумуляторы на основе лития, так они имеют высокую удельную и объемную плотность энергии, малое внутреннее сопротивление элементов, а также они имеют высокую токопередачу как на прием, так и на отдачу, что позволяет использовать «быстрый» зарядный процесс для снижения времени вынужденного простоя до минимума. Выбор между литий-ферро-фосфатные и литий-никель-марганец-кобальт-оксидные аккумуляторных батарей стоит если карьерный самосвал будет эксплуатироваться при крайне низких -40°C и ниже, при крайне высоких температурах $+50^{\circ}\text{C}$ и выше. Лучше выбрать литий-никель-марганец-кобальт-оксидные аккумуляторных батарей так как они имеют большую удельную и объемную плотность энергии, следовательно, ТАБ из них имеет меньшую массу, что способствует большему КПД потребление электроэнергии для карьерного самосвала.

Для карьерных самосвалов высокой (более 90 тонн) грузоподъемности рекомендуется использовать литий-никель-марганец-кобальт-оксидные аккумуляторные батареи как основу для тяговой аккумуляторной батареи, так как они имеют наилучшую плотность энергии среди представителей своего семейства, и меньший вес, который сильно важен для такого класса транспорта. А в остальном они перенимают все преимущества и недостатки семейства аккумуляторных батарей на основе лития.

Третьей особенностью в создании КС с ТАБ, является подбор компании по производству ТАБ для КС. В данный момент есть множество компаний по производству

ТАБ. Например, Microvast (КНР), CATL(КНР), Akasol (Германия), СпецАвтоИнжиниринг (Россия), EnerZ (Россия) и многие другие.

Для работы ТАБ требуется следующее компоненты:

– аккумуляторная система, она является основой ТАБ и в ней находятся все аккумуляторные модули;

– система контроля устройств нижнего уровня, с помощью данной системы отслеживается состояние аккумуляторных ячеек;

– система контроля устройств верхнего уровня с помощью данной системы отслеживается общее состояние аккумуляторных систем и работы ТАБ в общем;

– общая система охлаждения/нагрева аккумуляторной системы, жидкостное, с помощью данной системы обеспечивается комфортный температурный режим работы ТАБ для обеспечения максимального жизненного ресурса ТАБ;

– герметичные соединительные выводы, нужны для предотвращения аварийных ситуаций с замыканием систем между собой и являются одними из устройств защиты ТАБ;

– герметичный корпус без возможности попадания влаги и пыли во внутрь, так как нарушение целостности ТАБ и наличие большого количества элементов системы приводит к дорогостоящим и долговременным ремонтам, из-за этого следует создать закрытую систему;

– иметь устойчивость к толчкам и тряске, дороги на открытых горных работах имеют низкое качество из-за чего КС имеет постоянные вибрации и толчки, что может негативно сказаться на работе ТАБ, поэтому ТАБ лучше оградить от сильных вибраций и толчков;

– главный и промежуточные плавкие предохранители, дополнительной степенью защиты ТАБ, они необходимы для защиты систем и их модулей от короткого замыкания между собой.

Зачастую производители ТАБ могут поставить весь список своего производства или же могут произвести элементы с привлечением сторонних организаций.

Четвертой особенностью при создании КС с ТАБ является выбор параметров ТАБ.

Для выбора максимально подходящего варианта ТАБ, был выделен следующий приоритет по характеристикам:

– тип химического основания;

– сухая масса ТАБ;

– доступная энергия;

– расчетный ресурс;

– минимальное напряжение;

– максимальное напряжение;

– пиковая мощность разряда;

– длительная мощность разряда;

– длительная мощность заряда;

– длительный ток заряда.

С помощью данного приоритета возможно выбрать максимально подходящую ТАБ под определенные заданные параметры и условия работы будущего КС.

Пятой особенностью при создании КС и ТАБ является подбор или создание зарядной станции и подбор зарядного процесса. Зачастую для осуществления «быстрого» зарядного процесса, используется алгоритм называемым CC/CV (constant current (постоянный ток)/constant voltage(постоянное напряжение)). Режим зарядки у каждого производителя аккумулятора может быть разный, режим нужно смотреть в datasheet для аккумулятора [14].

Зарядка происходит в 2 этапа, время этих этапов зависит от компонентов аккумуляторов и у каждого производителя разные.

1 этап. Постоянный ток и идет набор напряжение до пикового значения. При первом этапе идет набор до 80% емкости, на этом основана суперзарядка для электрокаров.

2 этап. На этом этапе уже набрано максимальное значение напряжения на ячейки (постоянным напряжением) и происходит так называемый отпуск аккумулятора, то есть снижается значение постоянного тока до C/40 и происходит добор емкости. График работы алгоритма CC/CV для ячейки Li-ion аккумулятора представлен на рисунке 5.

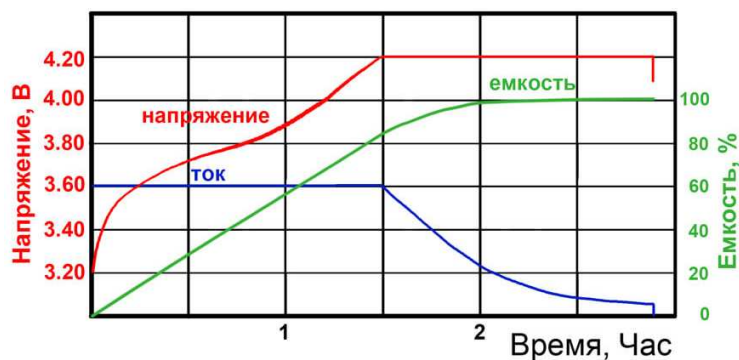


Рис. 5. График работы алгоритма CC/CV для ячейки Li-ion аккумулятора

Зарядный процесс зависит от 4 элементов:

- характеристик ТАБ;
- параметры работы СКУ;
- параметры коннектора;
- параметры зарядной станции.

Характеристики ТАБ являются одной из важнейших частей при подборе и расчете зарядного процесса. Ведь при превышении предельных значений ТАБ будет происходить быстрая деградация ТАБ и выход из строя.

СКУ – электронная система, которая управляет заряд/разрядным процессом аккумуляторной батареи, отвечает за безопасность её работы, проводит мониторинг состояния батареи, оценку вторичных данных работоспособности. Не является зарядным устройством.

СКУ устанавливается на ТАБ с целью контроля процесса её заряда/разряда, мониторинга состояния аккумулятора и его элементов, контроля температуры, количества циклов заряда/разряда, защиты в случаях аварийных ситуаций. Система управления и балансировки обеспечивает индивидуальный контроль напряжения и сопротивления каждого элемента аккумулятора, распределяет энергию между элементами ТАБ во время зарядного процесса, контролирует ток разряда, определяет потерю емкости от дисбаланса, гарантирует безопасное подключение/отключение нагрузки.

На основе получаемых данных СКУ выполняет балансировку заряда ячеек, защищает ТАБ от короткого замыкания, перегрузки по току, перезаряда, переразряда (высокого и чрезмерно низкого напряжения каждой ячейки), перегрева и переохлаждения. В разных системах могут отсутствовать некоторые функции.

Функциональность СКУ позволяет не только улучшить режим эксплуатации аккумуляторных батарей, но и максимально увеличить срок их службы.

При определении критического состояния ТАБ СКУ соответственно реагирует, выдавая запрет на использование аккумуляторной батареи в электросистеме – отключает её. В некоторых моделях СКУ предусмотрена возможность ведения реестра (записи данных) о работе аккумуляторной батареи и их последующей передаче на компьютер.

Третьим важным элементов в зарядном процессе является подбор коннектора для передачи электроэнергии от зарядной станции в ТАБ. В данный момент есть 3 вида подключения зарядных коннекторов к КС с ТАБ [15]:

- CCs Combo;
- CHAdEMO;
- пантограф.

С помощью CCs Combo и CHAdEMO осуществляется медленный заряд через ручную розетку постоянным током, с непосредственным участием водителя. Данные разъемы имеют сертификаты и являются общепринятым в промышленности электромобилей.

Пантограф является самым перспективным видом коннектора для зарядного процесса, так как имеет наибольший рабочий ток из данных коннекторов, а также пантограф имеет

механизированную подачу и соединение, что увеличивает безопасность водителя при зарядном процессе.

Четвертым важным элементом в зарядном процессе являются параметры зарядной станции. В данный момент есть несколько компаний, которые производят серийно мощные зарядные станции для различного транспорта. Например, АBB и Proterra.

Зарядная станция Terra HP компании АBB имеет следующие параметры [16]:

- зарядные кабели с жидкостным охлаждением;
- выходной ток мощность 350 – 500 А;
- широкий диапазон напряжений: 150 – 920 В постоянного тока;
- гибкие зарядные кабели, улучшенная система жидкостного охлаждения;
- доступны CCS и CHAdeMO;
- прочный всепогодный корпус для внутреннего и наружного использования;
- сертификация cUL и FCC.

Внешний вид зарядной станции Terra HP представлен на рисунке 7.

Компания Proterra так же имеет большую линейку зарядных станций мощностью 100-1500 кВт [17]. Proterra 1500 имеет следующие параметры, представленные в таблице 1.

Табл. 1. Технические характеристики зарядной станции Proterra 1500

Параметр	Значение
Постоянная выходная мощность зарядного устройства постоянного тока	1500 кВт
Выходное напряжение	150÷1000 В
Постоянный выходной ток постоянного тока на шлейф CCS	300 А
Постоянный выходной ток постоянного тока на Пантограф	1000 А
Максимальное количество одновременных выходов постоянного тока	20
Постоянная выходная мощность постоянного тока на Пантограф	Не более 750 кВт

Выводы

В данной работе выделены пять особенности при создании КС с ТАБ, такие как: выбор подхода к созданию КС, выбор типа химии ТАБ, подбор компании по производству ТАБ, выбор параметров ТАБ, подбор или создание зарядной станции и подбор зарядного процесса. Сформированные особенности при создании аккумуляторного КС на электрической тяге позволяют проводить: анализ параметров существующих ТАБ, формирование требований для вновь создаваемых ТАБ, разработку методики расчета параметров ТАБ, моделирование характеристик ТАБ и движения КС при использовании ТАБ как источник энергии.

Финансирование

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. Электричество 4.0: устойчивые интеллектуальные энергетические системы для питания всего мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.se.com/ru/ru/work/campaign/electricity-4-0/sustainable-energy-generation.jsp>.
2. Хомяков А.А. Тенденции развития трактора-комбайностроения на основе электромеханической трансмиссии // Бакалавр. – 2015. – № 9-10(10-11). – С. 3-5.
3. Aksenov V.V., Dubinkin D.M., Khoreshok A.A., Markov S.O., Efremkov A.B., Tyulenev M.A. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variations of their positioning // Journal of Physics: Conference Series. 2021, vol. 2052, pp. 012001. doi.org/10.1088/1742-6596/2052/1/012001.

4. Садовец В.Ю., Тарасюк И.А., Ушаков А.Е. Обзор схем рулевого управления карьерных самосвалов // Перспективы инновационного развития угольных регионов России // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск: филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2022. – С. 76-82.
5. Садовец В.Ю., Ушаков А.Е. Обзор типов передней подвески карьерных самосвалов // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 399-404.
6. Komatsu E-Dumper – фото и обзор характеристик // Розеточные авто [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ev-avto.ru/novosti/110-tonnyu-elektricheskiy-samosval-kotoryu-nu-nuzhno-zaryazhat-nikogda>.
7. Kartashov A., Kositsyn B., Kotiev G., Nazarenko S., Dubinkin D. Ensuring Energy Efficiency and Safety of the Cyclic Operation of the Mining Dump Truck // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 174, p. 03009. doi.org/10.1051/e3sconf/202017403009.
8. Пашков Д.А., Козлов Р.Д., Моисеев М.В. Варианты тормозных систем карьерных самосвалов грузоподъемностью от 218 до 255 т // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 2(17). – С. 37-52. – doi.org/10.26730/2618-7434-2022-2-37-52.
9. Ялышев А.В., Закрасовский Д.И. Поиск технических решений схем разгрузки автономных тяжелых платформ в зарубежных и Российском патентных фондах // Россия молодая: Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 41903.1-41903.3.
10. Карьерный самосвал БелАЗ-7558Е с аккумуляторной батареей вместо дизельного мотора / Автомалиновка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ao.by/news/news_3128.html.
11. Пашков Д.А., Тургенев И.А. Аккумуляторные батареи на основе свинца для карьерных самосвалов грузоподъемностью до 60 т // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 360-366.
12. Дубинкин Д.М., Пашков Д.А., Тургенев И.А. Аккумуляторные батареи для карьерных самосвалов на электрической тяге // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы X международной научно-практической конференции. – Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 1281-1289.
13. Тургенев И.А., Шевченко А.А. Разработка требований к тяговым аккумуляторным батареям на основе лития для карьерных самосвалов на электрической тяге // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и авто-транспорте: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 405-409.
14. Евстафьева М.В. Современные разработки зарядных станций для электрического транспорта // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ ИМ. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 930-940.
15. CCS, CHAdeMO, Type 2 стандарты зарядок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://insideevs.ru/features/521016/ev-charging-cables-standarts>.
16. HVC solutions portfolio [Электронный ресурс]. – URL: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A6983>.
17. Proterra energy fleet solutions [Электронный ресурс]. – URL: https://www.proterra.com/wp-content/uploads/2020/10/SPEC_CHG-SYS_1.5M_V8_10.26.20.pdf.

References

1. Electricity 4.0: Sustainable intelligent energy systems to power the whole world [Electronic resource]. URL: <https://www.se.com/ru/ru/work/campaign/electricity-4-0/sustainable-energy-generation.jsp>.
2. Khomyakov A.A. Trends in the development of tractor-combine-building based on electromechanical transmission // Bachelor. 2015, no. 9-10 (10-11), pp. 3-5.
3. Aksenov V.V., Dubinkin D.M., Khoreshok A.A., Markov S.O., Efremkov A.B., Tyulenev M.A. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variations of their positioning // Journal of Physics: Conference Series. 2021, vol. 2052, pp. 012001. doi.org/10.1088/1742-6596/2052/1/012001.
4. Sadovets V.Yu., Tarasyuk I.A., Ushakov A.E. Overview of steering schemes of mining dump trucks // Prospects of innovative development of coal regions of Russia // Prospects of innovative development of coal regions of Russia: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. – Prokopyevsk: KuzSTU branch in Prokopyevsk, 2022. – P. 76-82.
5. Sadovets V.Yu., Ushakov A.E. Overview of types of front suspension of dump trucks // Innovations in information technologies, mechanical engineering and motor transport: Collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference. – Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2021. – P. 399-404.

6. Komatsu E-Dumper - photo and overview of characteristics [Electronic resource] // Socket cars. URL: <https://ev-avto.ru/novosti/110-tonnyy-elektricheskiy-samosval-kotoryy-nu-nuzhno-zaryazhat-nikogda>.
7. Kartashov A., Kositsyn B., Kotiev G., Nazarenko S., Dubinkin D. Ensuring Energy Efficiency and Safety of the Cyclic Operation of the Mining Dump Truck // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 174, p. 03009. doi.org/10.1051/e3sconf/202017403009.
8. Pashkov D.A., Kozlov R.D., Moiseev M.V. Variants of brake systems of quarry dump trucks with a lifting capacity from 218 to 255 tons // Technique and technology of mining. 2022, no 2(17), pp. 37-52. doi.org/10.26730/2618-7434-2022-2-37-52.
9. Yalyshev A.V., Zakrasovsky D.I. Search for technical solutions for unloading schemes of autonomous heavy platforms in foreign and Russian patent funds // Young Russia: Collection of materials of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. – Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2021. – P. 41903.1-41903.3.
10. BelAZ-7558E mining dump truck with a rechargeable battery instead of a diesel engine / Automalinovka [Electronic resource]. – URL: https://www.ao.by/news/news_3128.html.
11. Pashkov D.A. , Turgenev I.A. Lead-based batteries for quarry dump trucks with a lifting capacity of up to 60 tons // Innovations in information technologies, mechanical engineering and motor transport // Innovations in information technologies, mechanical engineering and motor transport: Collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference. – Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2021. – P. 360-366.
12. Dubinkin D.M., Pashkov D.A., Turgenev I.A. Accumulator batteries for electric-powered dump trucks // Modern trends and innovations in science and production: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference. – Mezhdurechensk: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2021. – P. 1281-1289.
13. Turgenev I.A., Shevchenko A.A. Development of requirements for lithium-based traction batteries for electric-powered dump trucks // Innovations in information technologies, mechanical engineering and automobile transport: A collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference. – Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2021. – pp. 405-409.
14. Evstafyeva M.V. Modern developments of charging stations for electric transport // International Scientific and Technical Conference of Young scientists of V.G. Shukhov BSTU. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2021. – P. 930-940.
15. CCS, CHAdeMO, Type 2 charging standards/ [Electronic resource] // InsideEVs Russia. URL: <https://insideevs.ru/features/521016/ev-charging-cables-standarts>.
16. HVC solutions portfolio [Electronic resource]. URL: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A6983>.
17. Proterra energy fleet solutions [Electronic resource]. URL: https://www.proterra.com/wp-content/uploads/2020/10/SPEC_CHG-SYS_1.5M_V8_10.26.20.pdf.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Дубинкин Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов	Dubinkin Dmitry Mikhailovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of metal-cutting machines and tools
Тургенев Илья Александрович – студент, техник научного центра «Цифровые технологии»	Turgenev Ilya Alexandrovich – student, technician of the Research center "Digital Technologies"
Шахманов Виталий Николаевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии и комплексной механизации горных работ ddm.tm@kuzstu.ru	Shakhmanov Vitaly Nikolaevich – candidate of technical sciences, head of the Department of technology and integrated mechanization of mining operations

Получена 10.11.2022