ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИКА. 2007. Т. 7, № 1. С.42–46

УДК 541.136

НЕОБСЛУЖИВАЕМАЯ АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ ДЛЯ ПАССАЖИРСКИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ

М. Б. Шапот, Б. И. Ужинов

ООО «Элеконт», Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 21.12.06 г.

Показана возможность создания герметичных никель-кадмиевых аккумуляторных батарей большой емкости с давлением внутри блока не более 0.2 ати, пригодных для использования в железнодорожных вагонах.

The possibility to design hermetically-sealed nickel-cadmium high-capacity batteries with a pressure inside not higher than 0.2 atmex for carriages is shown.

С начала 90-х гг. пошлого века парк подвижного состава российских железных дорог в основном состоит из пассажирских вагонов, укомплектованных силовыми электронными устройствами (статическими преобразователями и блоками управления и т. п.), необходимыми для повышения уровня комфорта. Это привело к явному несоответствию между энергетическими и эксплуатационными характеристиками оставшихся практически неизменными аккумуляторных батарей и энергопотребляющим оборудованием вагонов. Современная политика ОАО «РЖД» в сфере перевозок продолжает быть направленной на повышение безопасности и комфорта пассажиров, а также обеспечение максимальной сохранности скоропортящихся грузов. Практическая реализация этой политики прямо зависит от энерговооруженности подвижного состава.

Энергоснабжение вагонов осуществляется от подвагонного генератора переменного тока с номинальным напряжением 110 В и аккумуляторной батареи, работающей в буферном режиме. Аккумуляторная батарея — одно из важнейших устройств энергетической системы железнодорожных вагонов. При скорости движения железнодорожного состава менее 40 км/ч и на остановках только аккумуляторная батарея обеспечивает питание всех энергопотребителей вагонов, включая кондиционеры и вентиляторы пассажирских вагонов и морозильные установки вагонов-рефрижераторов. В идеальном случае аккумуляторная батарея должна гарантированно соответствовать предъявляемым к ней требованиям в интервале температур от минус 40 до плюс 40°С и не нуждаться в дополнительном обслуживании, кроме обеспечения своевременного заряда. При эксплуатации батареи не должно образовываться взрывоопасных или горючих газов, а саморазряд батареи должен быть минимальным. Все аккумуляторные батареи, эксплуатирующиеся в настоящее время на подвижном составе железных дорог, не соотвтствуют в полной мере вышеперечисленным требованиям.

Сеть российских железных дорог простирается с севера на юг от 45 до 70 градусов северной широты и с запада на восток от 20 до 140 градусов восточной долготы. Поэтому перепад температур окружающего воздуха в пути следования железнодорожного состава может составлять в осенне-зимний период 45–55°С. Вышеизложенные обстоятельства были учтены при разработке технического задания на аккумуляторную батарею для пассажирских железнодорожных вагонов [1].

В настоящее время завершена разработка герметизированной никель-кадмиевой вагонной батареи, отвечающей всей совокупности предъявляемых требований. Вагонная батарея представляет собой набор секций моноблочной конструкции, состоящих из 5 герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов, монтируемых в батарейных отсеках железнодорожных вагонов. Такая конструкция позволяет не только снизить внутреннее сопротивление батареи и вес, но и сократить расход материалов.

В качестве материала для моноблока и крышки использован блок-сополимер полипропилена с полиэтиленом. Аккумуляторы в моноблоке соединены между собой непосредственно через стенку. На наружных плоскостях секции нет ни одной металлической детали кроме двух токовыводов, что должно свести до минимума токи утечки и обеспечить стабильно высокое сопротивление изоляции батареи. На рис. 1 показан внешний вид унифицированной секции 5КМ-250 никель-кадмиевой батареи для пассажирских вагонов.

© М. Б. ШАПОТ, Б. И. УЖИНОВ, 2007

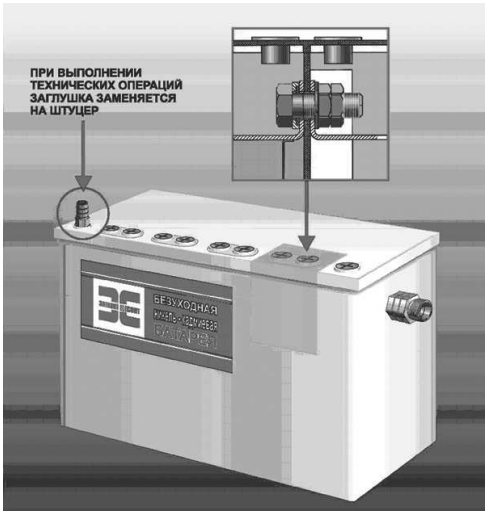


Рис. 1. Внешний вид секции необслуживаемой никель-кадмиевой батареи из 5 аккумуляторов

Секция имеет централизованную систему заливки, что позволит иметь гарантированный уровень электролита, одинаковый во всех аккумуляторах. Положительный электрод — оксидноникелевый, модифицированный кобальтом, отрицательный электрод — кадмиевый. Использование таких электродов улучшит работу батареи при отрицательных температурах и позволит поднять удельные характеристики секций до 50 Вт·ч/кг и 100 Вт·ч/дм^3. Микропористый сепаратор позволяет исключить шламовое пространство. Благодаря использованию газового электрода давление внутри моноблока не превысит 0.05–0.20 ати. В качестве электролита используется раствор едкого кали плотностью 1.25 г/см^3 с добавкой гидроксида лития. Температура замерзания такого электролита — минус 60°С. В процессе эксплуатации смены электролита или доливки дистиллированной воды в аккумуляторы не требуется.

Разрабатывается три типоразмера унифицированных секций.

1. Секции аккумуляторов с номинальной емкостью 180 А·ч для пассажирских вагонов с приточной вентиляцией при электроснабжении 50 В и перспективных вагонов с системой электроснабжения 110 В (без питания установок кондиционирования от аккумуляторной батареи).

2. Секции аккумуляторов с номинальной емкостью 250–300 А·ч, предназначенных для комфортабельных пассажирских вагонов с системой электроснабжения 110 В и установками кондиционирования, а также специальных вагонов с системой электроснабжения 50 В с питанием установок системы кондиционирования от аккумуляторной батареи.

3. Секции аккумуляторов с номинальной емкостью 450 А·ч, предназначенных для вагонов-рефрижераторов с мощными морозильными установками.

В качестве базовой модели была принята батарейная секция 5КМ-250. Внутреннее устройство секции батареи показано на рис. 2. Зарядные и разрядные кривые аккумуляторов секции и потенциалы электродов, измеренные относительно оксиднортутного электрода сравнения, показаны на рис. 3 и 4.

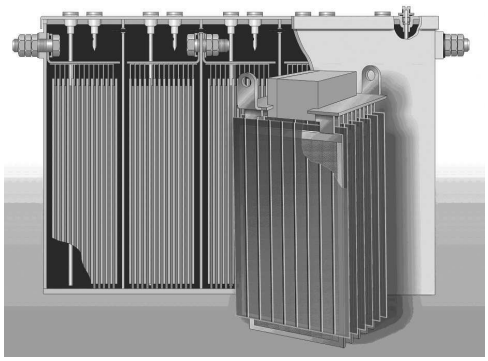


Рис. 2. Внутреннее устройство секции необслуживаемой никель-кадмиевой батареи из 5 аккумуляторов

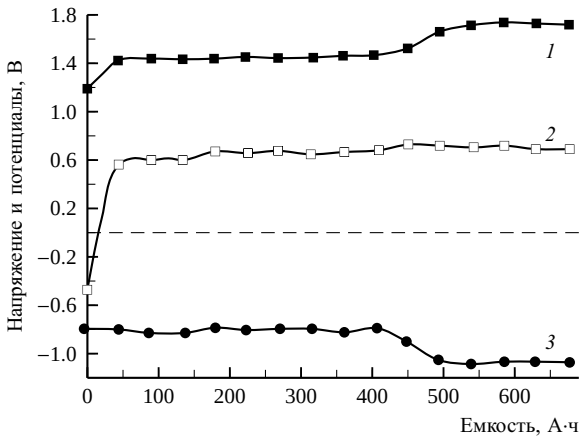


Рис. 3. Зависимость среднего напряжения на аккумуляторах АКБ (кривая *1*) и потенциалов положительных (кривая *2*) и отрицательных (кривая *3*) электродов при заряде от сообщенной емкости. (Ток заряда 0.2 *C*)

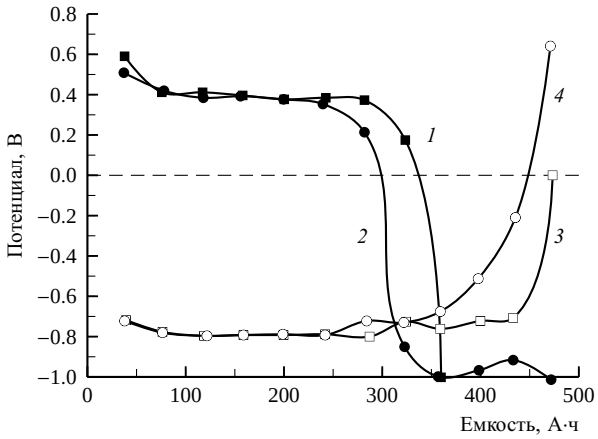


Рис. 4. Зависимость потенциалов положительных (кривые *1*, *2*) и отрицательных (кривые *3*, *4*) электродов от величины снятой емкости. (Ток разряда 0.2 *C*). Кривые *1*, *3* — акк. № 1; кривые *2*, *4* — акк. № 2

Необслуживаемость вагонной аккумуляторной батареи фактически обеспечивается исключением:

- контроля уровня электролита, его доливки или смены;
- контроля степени заряженности батареи при отстое вагона по различным причинам и восстановления уровня заряженности перед вводом вагона в эксплуатацию;
- очистки вентиляционных отверстий от карбонатов для обеспечения удаления водорода и кислорода из газового пространства аккумуляторов.

Одним из технических решений, обеспечивающих необслуживаемость аккумуляторной батареи большой емкости в полимерном корпусе, является герметизация аккумуляторов, при которой давление внутри моноблока не превышает 0.2 ати. Это условие является решающим, так как даже при таком давлении усилие на стенку аккумулятора емкостью 250 А·ч. составляет около 150 кг. Необходимыми условиями, при которых давление газа внутри аккумулятора может быть относительно низким, являются:

- потенциал отрицательного электрода не должен достигать потенциала выделения водорода;
- скорость регенерации кислорода, образующегося на оксидноникелевом электроде, должна превышать или быть не менее скорости его генерации.

Оба эти условия реализованы в разработанной нами необслуживаемой аккумуляторной батарее 5КМ-250.

Для обеспечения постоянной работы кадмиевого электрода при потенциале более положительном, чем потенциал выделения на нем водорода, фактическая емкость отрицательного электрода превышает номинальную емкость аккумулятора. Таким образом, кадмиевый электрод при заряде аккумулятора всегда остается не полностью заряженным, что исключает достижение на нем потенциала выделения водорода.

При циклировании герметизированного аккумулятора сохранение состояния постоянного недозаряда кадмиевого электрода достигается уменьшением емкости кадмиевого электрода на количество электричества, затраченного на образование кислорода на оксидноникелевом электроде. Образовавшийся во время заряда кислород восстанавливается на газовом электроде и частично — непосредственно на кадмиевом электроде. Таким образом, отсутствие выделения водорода обеспечивается постоянным разрядом блока кадмиевых электродов каждого аккумулятора на величину емкости, истраченной при заряде на выделение кислорода на положительном электроде. Конструктивно это обеспечивается тем, что газовый электрод, регенерирующий кислород, накапливающийся в газовом пространстве при заряде, замкнут накоротко с отрицательным блоком, а использование пористого сепаратора обеспечивает возможность части кислорода восстановиться непосредственно на кадмиевом электроде. На рис.5 схематично показана последовательность основных реакций, протекающих на электродах герметизированных аккумуляторов при заряде. Жирным шрифтом отмечены токообразующие реакции.

Для проверки работоспособности необслуживаемой батареи, сконструированной в соответствии с вышеизложенными принципами, произведены стендовые испытания опытных образцов батарей 5КМ-250.

При испытаниях контролировались следующие параметры:

- НРЦ и напряжение батареи и каждого аккумулятора;

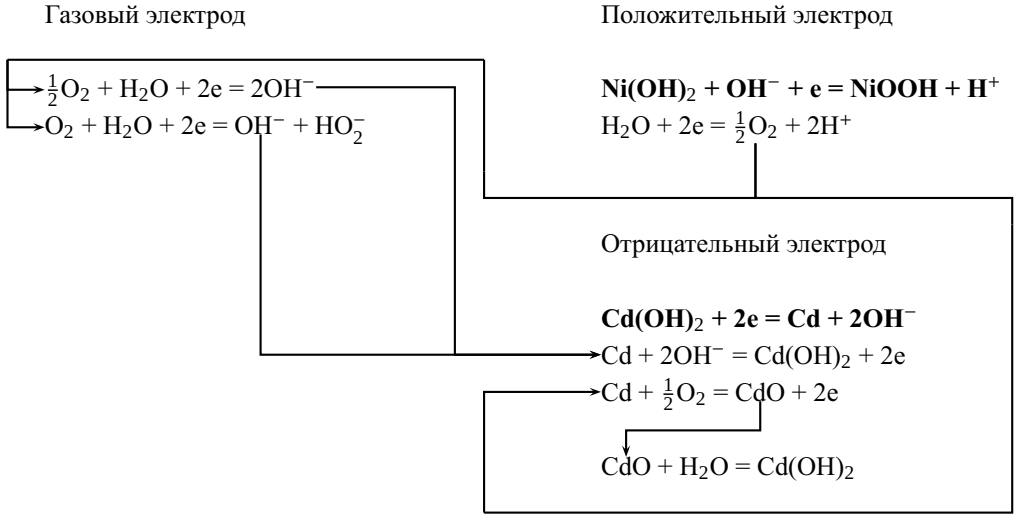


Рис. 5. Реакции, протекающие на электродах необслуживаемого никель-кадмиевого аккумулятора

- ток заряда и разряда;
- длительность заряда и разряда;
- потенциалы электродов при заряде и разряде;
- давление внутри аккумуляторов;
- ток регенерации кислорода;
- температура электролита.

На рис. 6–11 приведены данные по непрерывному заряду батареи начала постоянным током, равным 0.2 номинальной емкости, затем при постоянном напряжении 1.46–1.50 В и 1.55–1.60 В. Давление, ток регенерации кислорода и напряжение аккумуляторов помещены на одном графике, при этом, для большей наглядности, величина давления на рисунках показана на порядок больше фактической. Как следует из данных, приведенных на рис. 3, выделение водорода на отрицательном электроде при заряде аккумуляторов током 0.2 С в электролите d = 1.29 г/см^3 начинается при потенциале большем, чем 1 В, а выделение кислорода практически сразу после начала заряда. Однако в связи с высоким коэффициентом использования зарядного тока оксидноникелевым электродом в начале заряда и преимущественным транспортом выделившегося кислорода к отрицательному электроду ощутимое давление кислорода в газовом пространстве аккумуляторов появляется только после сообщения им около 70% зарядной емкости. Переход к заряду при постоянном напряжении, как следует из рис. 8, 10, стабилизирует значение давления внутри аккумуляторов, величина которого не превышает 0.15 ати.

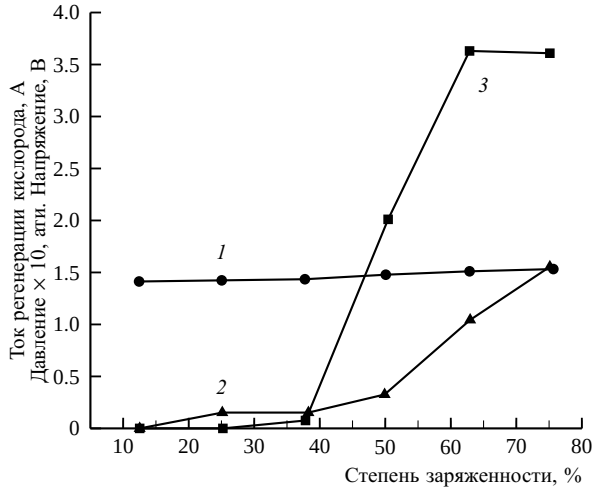


Рис. 6. Зависимость напряжения аккумулятора (кривая *1*), давления (кривая *2*) и тока регенерации кислорода (кривая *3*) от степени заряженности батареи. (При токе заряда 0.2 *C*)

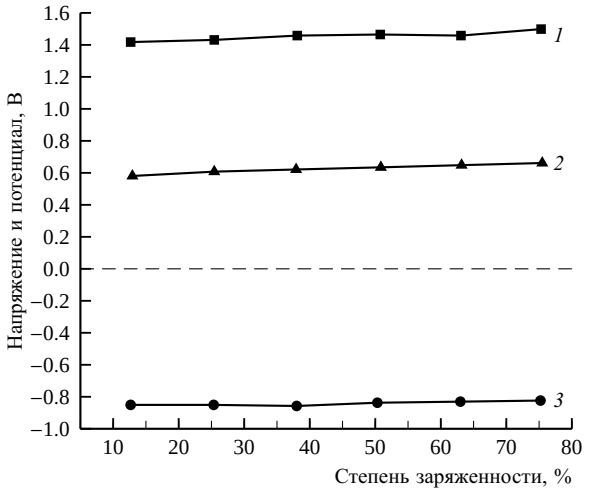


Рис. 7. Зависимость напряжения аккумулятора (кривая *1*) и потенциалов положительных (кривая *2*) и отрицательных (кривая *3*) электродов от степени заряженности. (При токе заряда 0.2 *C*)

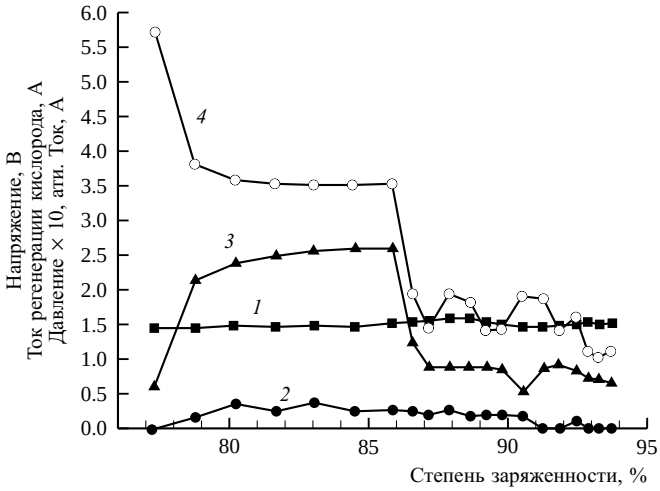


Рис. 8. Зависимость напряжения аккумулятора (кривая *1*), давления (кривая *2*), тока регенерации кислорода (кривая *3*) и тока заряда (кривая *4*) от степени заряженности при постоянном напряжении. (Напряжение ~ 1.46 В)

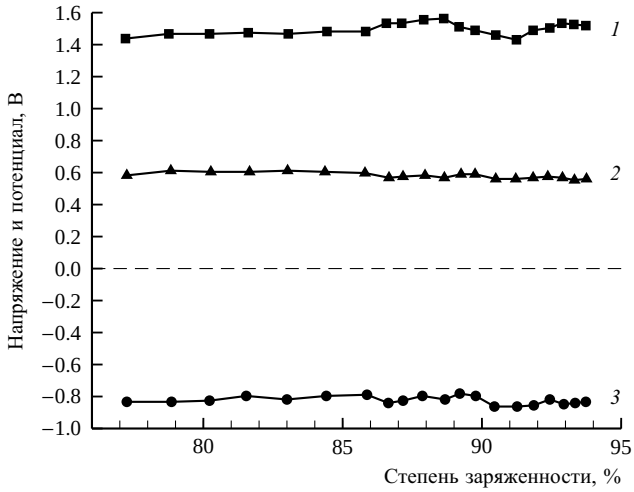


Рис. 9. Зависимость напряжения аккумулятора (кривая *1*) и потенциалов положительных (кривая *2*) и отрицательных (кривая *3*) электродов от степени заряженности при постоянном напряжении заряда. (Напряжение ~ 1.46 В)

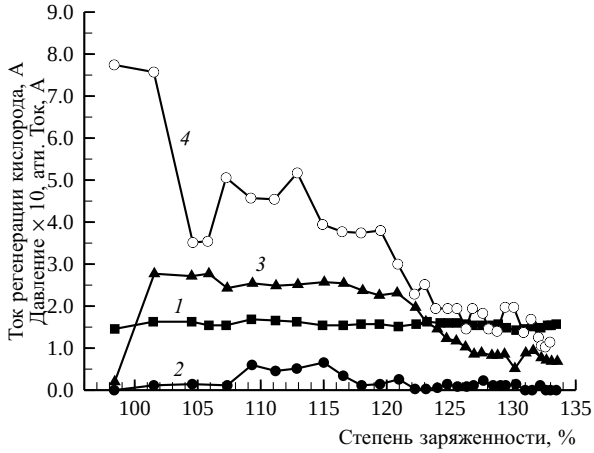


Рис. 10. Зависимость напряжения аккумулятора (кривая *1*), давления (кривая *2*), тока регенерации кислорода (кривая *3*) и тока заряда (кривая *4*) от степени заряженности при постоянном напряжении. (Напряжение ~ 1.55 В)

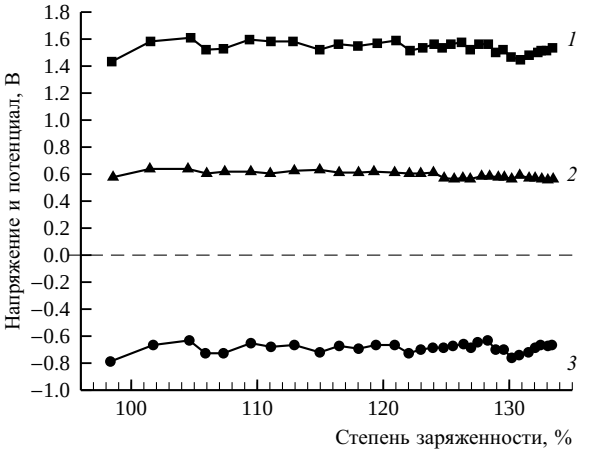


Рис. 11. Зависимость напряжения аккумулятора (кривая *1*) и потенциалов положительных (кривая *2*) и отрицательных (кривая *3*) электродов от степени заряженности при постоянном напряжении заряда. (Напряжение ~ 1.55 В)

На рис. 12 показана фотография опытных образцов батареи, изготовленных в натуральную величину, на которых проводились испытания.

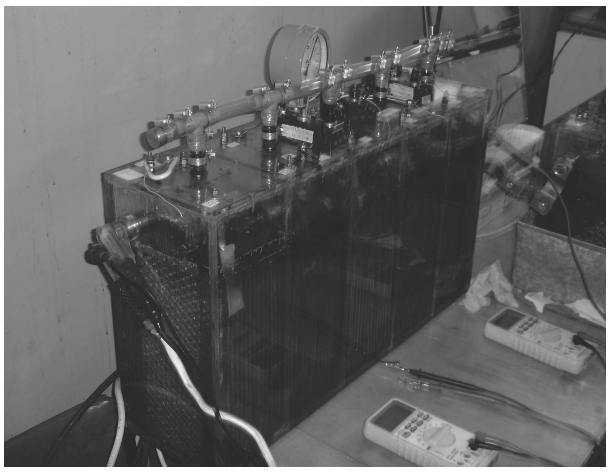


Рис. 12. Внешний вид опытного образца секции необслуживаемой аккумуляторной батареи из 5 аккумуляторов

ВЫВОДЫ

1. Одним из технических решений, обеспечивающих необслуживаемость аккумуляторной батареи большой емкости в полимерном корпусе, является герметизация аккумуляторов.

2. Показана реальная возможность создания герметичных аккумуляторных батарей большой емкости с давлением внутри моноблока, не превышающим 0.2 ати, пригодных для использования в железнодорожных вагонах.

3. Герметичная аккумуляторная батарея может иметь низкое внутреннее давление кислорода и отсутствие выделения водорода в случае, когда для регенерации кислорода и поддержания отрицательного электрода в частично разряженном состоянии используется газовый электрод, замкнутый накоротко с отрицательными блоками аккумуляторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Шапот М.Б. // Электрохимическая энергетика. 2005. Т.5, №3. С.222.