

УДК 541.136

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАГОННЫХ БАТАРЕЙ НА РОССИЙСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НИХ

М.Б. Шапот

ООО «Электонт», Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 20.06.05 г.

В статье проведен анализ условий, в которых эксплуатируются вагонные батареи на российских железных дорогах, сравниваются достоинства и недостатки свинцово-кислотных и никель-кадмиевых батарей, используемых для энергоснабжения железнодорожных вагонов. Сделан вывод о том, что надежное обеспечение вагонов электроэнергией в климатических условиях Российской Федерации может дать только щелочная никель-кадмиевая батарея. Приведены характеристики «безуходной вагонной никель-кадмиевой батареи», разрабатываемой специалистами ООО «Электонт» (Санкт-Петербург).

The paper analyzes the operation conditions of carriage batteries on Russian railways, the advantages and demerits of lead-acid and nickel-cadmium systems are compared. A conclusion is made that only the alkaline nickel-cadmium battery can reliably supply power to carriages in the climatic conditions of Russian Federation. The performance of a maintenance-free nickel-cadmium battery being designed by Elecont Ltd. (Saint-Petersburg) is described.

С начала 90-х годов прошлого века на российских железных дорогах стали преобладать пассажирские вагоны, укомплектованные силовыми электронными устройствами (статическими преобразователями и блоками управления и т.п.), необходимыми для повышения уровня комфорта, что привело к еще более значительному несоответствию между энергетическими и эксплуатационными характеристиками вагонных аккумуляторных батарей и энергопотребляющим оборудованием вагонов. Современная политика МПС РФ 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 вагона, включая кондиционеры и вентиляторы в пассажирских вагонах и морозильные установки в вагонах-рефрижераторах. В идеальном случае аккумуляторная батарея должна гарантированно обеспечивать предъявляемые к ней требования в интервале температур -40 – -40°C и не нуждаться ни в каком дополнительном обслуживании, кроме 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 отвечают в полной мере вышеперечисленным требованиям [1].

В настоящей статье приводится анализ основных условий, в которых эксплуатируется вагонная батарея, и рассматривается работоспособность в этих условиях двух традиционных электрохимических систем: свинцово-кислотной и щелочной никель-кадмиевой. А также приводятся основные параметры «безуходной» вагонной батареи, разрабатываемой ООО «Электонт».

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. В связи с чем перепад температур окружающего воздуха в пути следования железнодорожного состава может составлять в осенне-зимний период 45 – 55°C . В качестве примера на рис. 1 приведены среднестатистические данные по минимальным и максимальным температурам в трех климатических зонах, которые пересекаются железнодорожным составом, следующим с северо-запада европейской части России на юг [2]. При движении железнодорожного состава с запада на восток наблюдается еще больший перепад температур.

Рассматривая особенности поведения батарей из свинцово-кислотных и никель-кадмиевых аккумуляторов в реальных условиях эксплуатации, выделим четыре наиболее характерных эксплуатационных требования, влияющих при прочих равных условиях на практическое использование вагонных аккумуляторных батарей. К ним следует отнести:

1) использование унифицированного электролита, не замерзающего во всем интервале эксплуата-

Особенности эксплуатации вагонных батарей на российских железных дорогах и обоснование выбора электрохимической системы для них

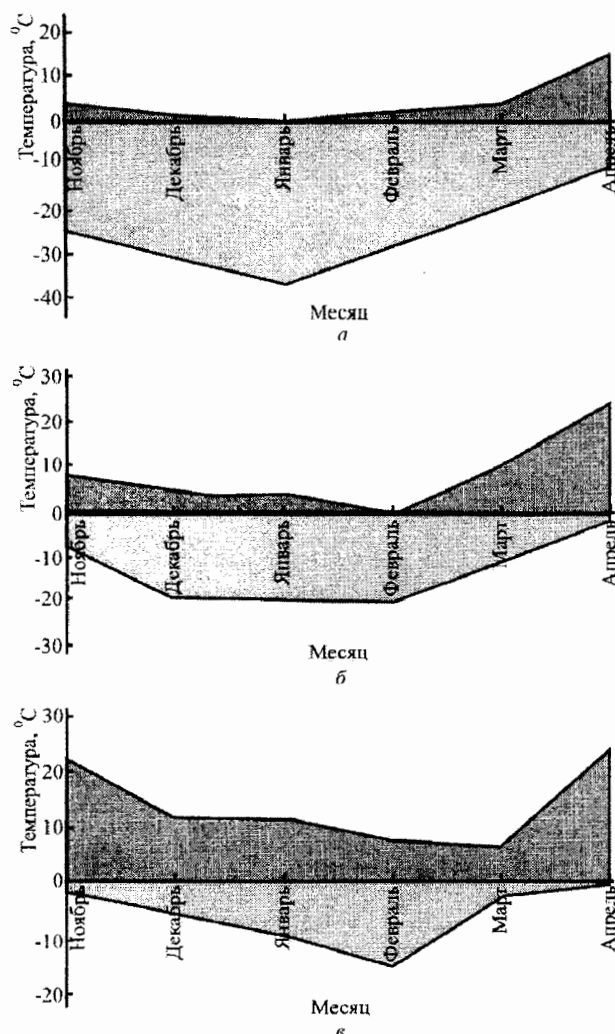


Рис. 1. Колебание температуры окружающей среды в зимний сезон в различных районах России: а – север Европейской части; б – Центрально-Черноземный, в – юг Европейской части

ционных температур, вне зависимости от степени разряженности батареи, и не требующего доливки воды и сезонной замены электролита;

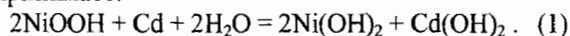
2) хороший коэффициент использования зарядного тока при движении вагона со скоростью большей, чем 40 км/ч, даже при отрицательных температурах, и отсутствие выделения при заряде взрывоопасных или горючих газов;

3) обеспечение электроэнергией систем, установленных в вагоне, при стоянках в пути следования во всем интервале температур;

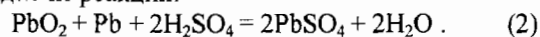
4) сохранение после трехмесячного отстоя вагона количества энергии, достаточной для начала активной эксплуатации вагона без дополнительных или лечебных циклов.

На рис.2 показана температура замерзания растворов серной кислоты и едкого кали в зависимости от концентрации [3, 4]. Как следует из приведенного материала, серная кислота и раствор едкого кали имеют практически одну и ту же температуру замерзания при одной и той же плотности.

Токообразующий процесс в щелочном никель-кадмиевом аккумуляторе в основном протекает по твердофазному механизму, и электролит, как это следует из реакции (1), практически участия в нем не принимает:



В свинцово-кислотном аккумуляторе, в отличие от щелочного никель-кадмиевого, электролит принимает участие в токообразующем процессе, как это видно из реакции:



Данное обстоятельство в основном определяет особенности поведения этих аккумуляторов при эксплуатации в различных температурных режимах. На рис. 3, 4 показано, как меняются концентрации электролита и температура замерзания при различной степени разряженности аккумуляторов [4–7].

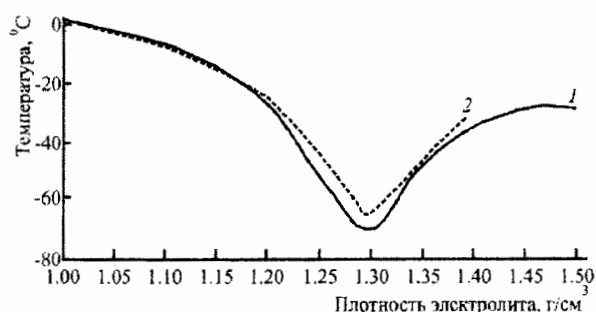


Рис. 2. Зависимость температуры замерзания растворов H_2SO_4 и KOH от плотности: 1 – кислота; 2 – щель

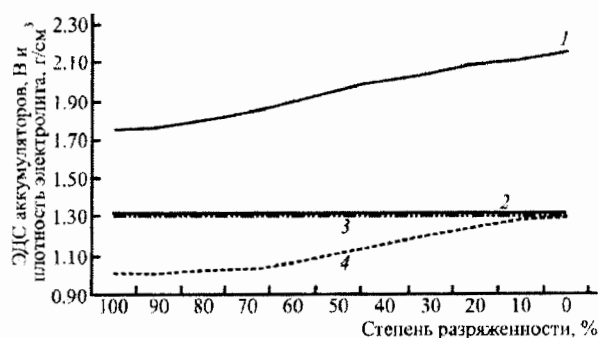


Рис. 3. Зависимость плотности электролита от степени разряженности батарей: 1 – ЭДС Pb/Pb ; 2 – ЭДС Ni/Cd ; 3 – плотность щелочи; 4 – плотность кислоты

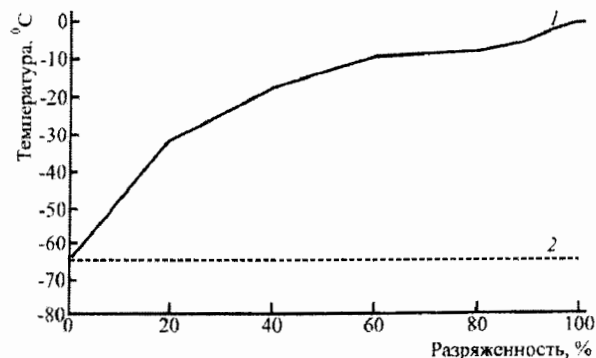


Рис. 4. Зависимость температуры замерзания электролита от степени разряженности аккумуляторов: 1 – Pd/Pb , 2 – Ni/Cd

Как видно из рис. 4, температура замерзания электролита в щелочном аккумуляторе остается -65°C вне зависимости от степени разряженности аккумулятора, в то время как в кислотном аккумуляторе при 50%-ной степени разряженности температура замерзания электролита повышается до $-15 - -20^{\circ}\text{C}$.

Снижение концентрации ведет не только к изменению температуры замерзания электролита, но и к изменению его плотности, вязкости и электропроводности, что существенно влияет на эксплуатационные характеристики аккумуляторов, особенно свинцово-кислотных. На рис. 5–7 показаны зависимости плотности, вязкости и электропроводности электролитов от температуры, из которых видно, что плотность электролитов меняется симбатно, а вязкость и электропроводность кислотного и щелочного электролитов практически не отличаются. [3]. Однако принципиальные отличия в механизмах токообразующих процессов в щелочном и кислотном аккумуляторах обуславливают невозможность использования свинцово-кислотных аккумуляторных батарей без надлежащего контроля при эксплуатации железнодорожных вагонов в условиях больших перепадов температур и длительных отстоев.

Для получения хороших разрядных характеристик при разрядах аккумуляторов в режимах L (long) и M (middle) активная масса их электродов должна работать на всю глубину электродов. Активная масса электродов свинцово-кислотного аккумулятора может разряжаться в глубине электрода только в том случае, если скорость протекания токообразующей реакции (2) меньше или равна скорости диффузии электролита из свободного объема в глубину пор, где происходит реакция. В связи с тем, что с понижением температуры и увеличением вязкости электролита коэффициент диффузии ионов кислоты уменьшается, концентрация кислоты в зоне реакции падает. Это сопровождается снижением напряжения аккумулятора (см. рис. 3). При этом разряд аккумулятора оканчивается не в результате израсходования химической энергии, накопленной в активной массе, а из-за недостатка серной кислоты для продолжения реакции с нужной скоростью.

При заряде свинцово-кислотного аккумулятора в условиях пониженной температуры повышение вязкости электролита также играет негативную роль. При заряде в порах активной массы электродов концентрация кислоты быстро растет за счет восстановления сульфата свинца на отрицательном электроде и окисления на положительном. Поскольку скорость образования кислоты превышает скорость диффузии ее из пор в межэлектродное пространство, то довольно быстро концентрация кислоты в зоне реакции достигает величины, при которой основной ток заряда тратится не на заряд активной массы аккумулятора, а на разложение воды электролита, еще более увеличивая концентрацию кислоты

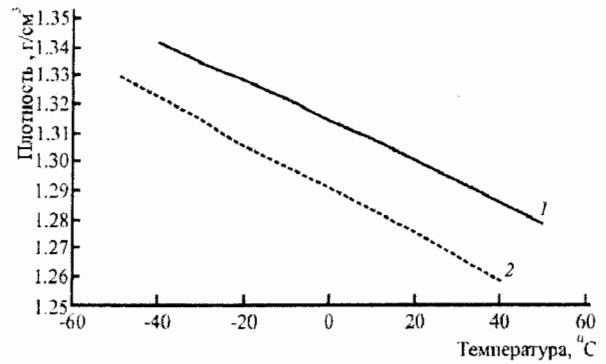


Рис. 5. Зависимость плотности электролитов от температуры: 1 — серная кислота; 2 — едкий кали

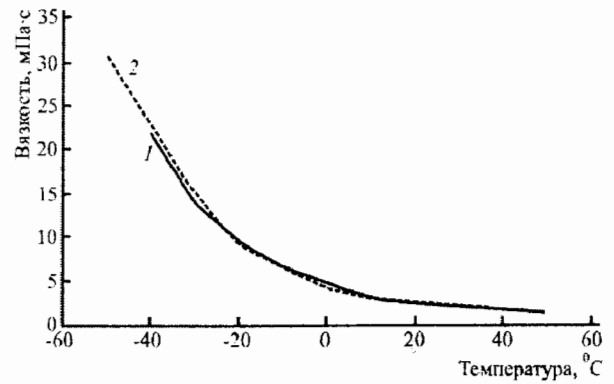


Рис. 6. Зависимость вязкости электролитов от температуры: 1 — серная кислота; 2 — едкий кали

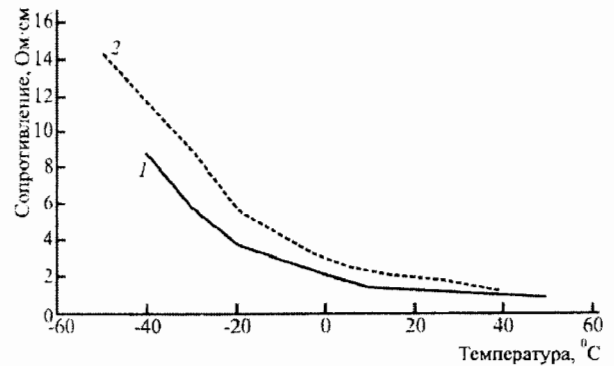


Рис. 7. Зависимость удельного сопротивления электролитов от температуры: 1 — серная кислота; 2 — едкий кали

в зоне реакции. В результате в заряжающемся аккумуляторе пропорционально величине зарядного тока идет выделение кислорода и водорода в стехиометрическом соотношении. В отличие от свинцово-кислотных в порах электродов никель-кадмиевых аккумуляторов концентрация электролита остается практически постоянной в течение всего разряда и заряда. С изменением температуры, при прочих равных условиях, изменяется только сопротивление электролита, вследствие чего электролит не замерзает вплоть до -65°C . Аккумулятор этого типа даже при температуре электролита -40°C в состоянии отдать до 60% номинальной емкости (рис. 8) [8, 9].

Особенности эксплуатации вагонных батарей на российских железных дорогах и обоснование выбора электрохимической системы для них

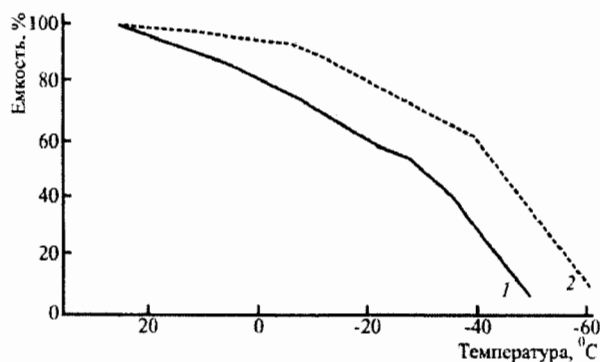


Рис. 8. Зависимость разрядной емкости от температуры разряда: 1 – емкость PbO_2/Pb ; 2 – емкость Ni/Cd

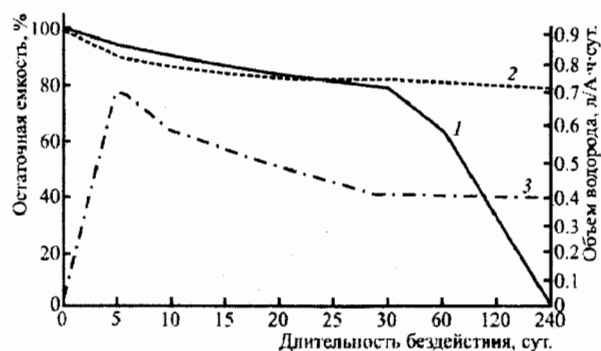


Рис. 9. Зависимость скорости саморазряда и выделения водорода от длительности бездействия аккумуляторов: 1 – остаточная емкость Pb/Pb ; 2 – остаточная емкость Ni/Cd ; 3 – объем водорода Pb/Pb

При заряде никель-кадмиевого аккумулятора, вследствие высокого перенапряжения водорода на кадмиевом электроде, выделения водорода не происходит вплоть до полного его заряда.

Возможность ввода вагона в эксплуатацию после длительного отстоя без дополнительного обслуживания вагонной батареи определяется ее саморазрядом. Поскольку механизмы токообразующих реакций у свинцово-кислотных и щелочных никель-кадмиевых аккумуляторов различны, саморазряд их также значительно отличается.

Саморазряд свинцово-кислотной батареи колеблется в пределах 20–30% в месяц и прекращается только при полной потере емкости аккумуляторами. Скорость саморазряда меняется примерно в 1.1–1.5 раза при изменении температуры электролита на каждые $10^{\circ}C$. При саморазряде образуется водород в количестве примерно 0.25–0.40 л/А·ч·сут [7, 10]. Батарея из щелочных никель-кадмиевых аккумуляторов также имеет саморазряд, который достигает 12–15% в первый месяц, затем скорость его падает. В целом за год его величина не превышает 20–25%. При саморазряде никель-кадмиевого аккумулятора идет раскисление активной массы положительного

электрода с выделением кислорода [4]. Кадмиевый электрод в связи с высоким перенапряжением выделения на нем водорода в щелочи не растворяется и водород не выделяет. На рис. 9 показаны сравнительные данные по саморазряду для обоих типов аккумуляторов при температуре $20\text{--}25^{\circ}C$.

Натурные и стендовые испытания подтверждают данные исследовательских работ, опубликованных в печати, обобщенные материалы которых использованы автором в настоящей статье. Наиболее полно и планомерно изучались эксплуатационные характеристики вагонных батарей в Научно-исследовательском аккумуляторном институте (Санкт-Петербург). Для иллюстрации работоспособности вагонной свинцово-кислотной батареи ниже приводятся материалы обследования поведения вагонных батарей 26ВНЦ-400 на двух маршрутах Ленинград – Печенга – Ленинград, выполненный в зимнее время (январь-февраль) и Ленинград – Адлер – Ленинград в летнее время [7]. Один из маршрутов проходит через три климатических пояса, а другой – локализован в северо-западной зоне Российской Федерации (рис. 10).

В таблице приведены основные результаты, полученные при обследовании.

Маршрут следования	Расстояние, км	Средняя скорость, км/ч	Время, ч		Зарядное напряжение на 1 аккумулятор, В	Заряженность батарей			
			в пути	стоянки		перед рейсом		после рейса	
						А·ч	%	А·ч	%
Ленинград – Архан- гельск – Ленинград	3342	40	60	5.5	2,7	406	101.5	199	49.75
Ленинград – Адлер – Ленинград	4754	60	55	9	2,7	406	101,5	390	97.5

Из таблицы следует, что:

во-первых, несмотря на то, что обе батареи ушли в рейс полностью заряженными, батарея, эксплуатировавшаяся зимой, имела степень заряженности после рейса около 50%, а электролит не замерз только потому, что температура его не опускалась ниже $20^{\circ}C$ (рис. 11);

во-вторых, в летнее время свинцово-кислотная батарея эксплуатируется нормально.

При аналогичных испытаниях в марте 2003 г. улучшенной свинцово-кислотной вагонной батареи $Pz(S)M-350P$ производства завода «Энергия» (Болгария), в депо железнодорожной станции Орехово Московской области при отстое вагона электролит батареи замерз [11]. Замерзший электролит, расширяясь, разрывает активную массу электродов, отделяя ее от токоотвода. В результате срок службы размороженных аккумуляторов сокращается до 3–5 ме-

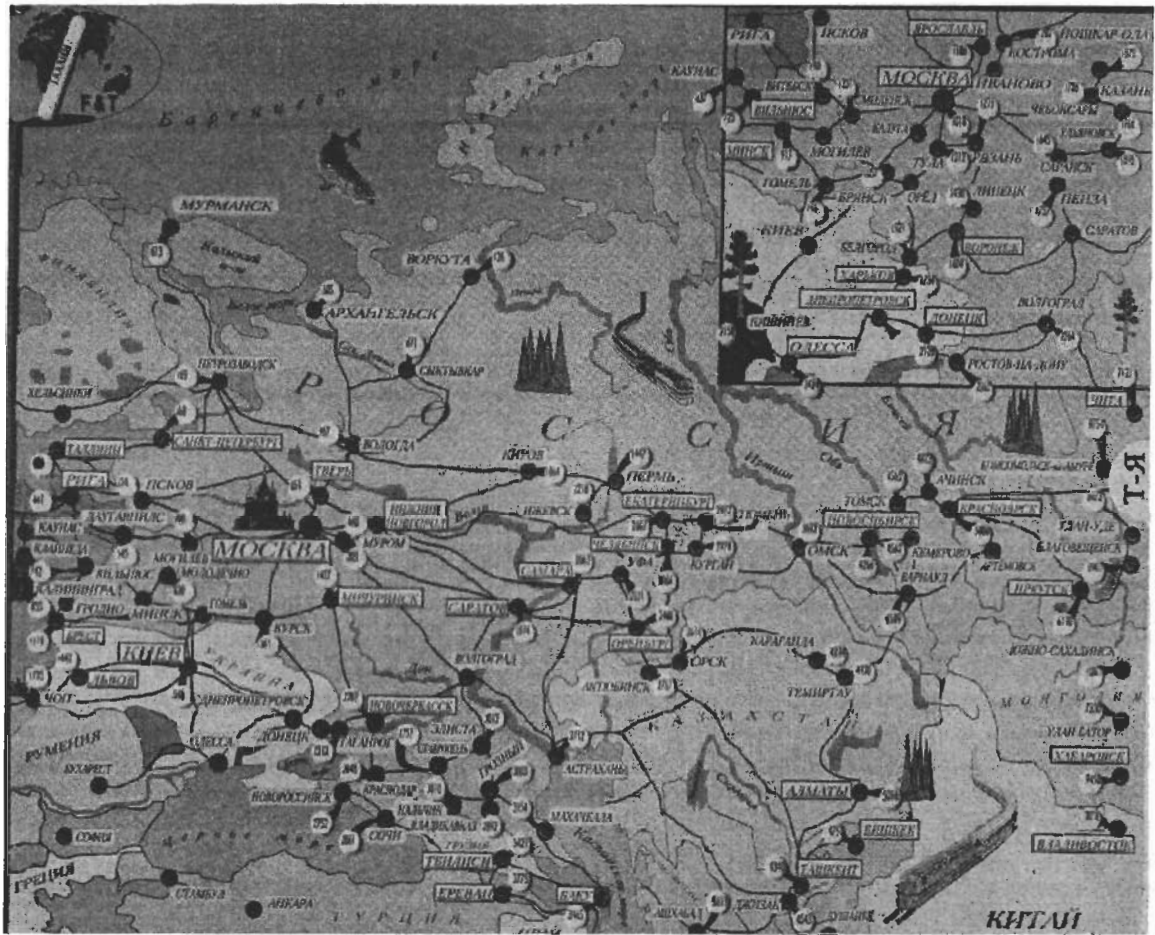


Рис. 10. Схема железных дорог России

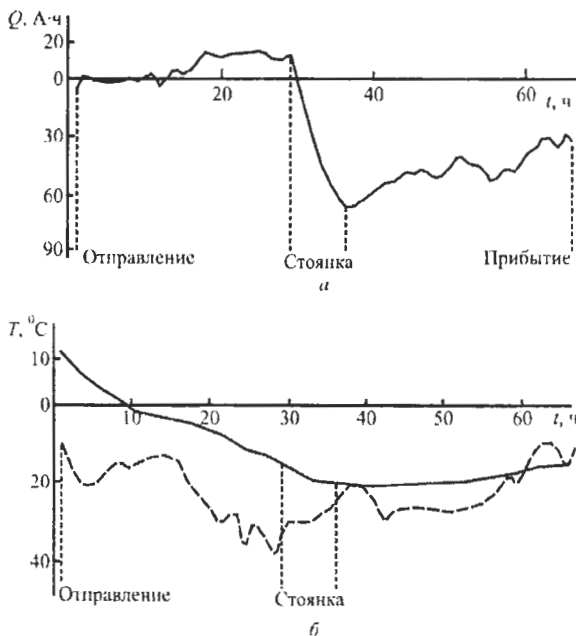


Рис. 11. Энергетический баланс (а) и температурный режим (б) работы батареи 26 ВНК-400 в рейсе Ленинград – Печенга – Ленинград: — температура электролита; --- температура окружающего воздуха

сяцев. При нарушении льдом герметичности корпусов аккумуляторов вытекающий электролит разрушает металлические конструкции вагона [4].

В дополнение к вышеизложенному следует обратить внимание на то, что батареи из щелочных никель-кадмиевых аккумуляторов вне зависимости от периодичности технического обслуживания сохраняют свою работоспособность в течение 10–12 лет, а герметизированные не требуют и технического обслуживания. Батареи из свинцово-кислотных аккумуляторов при нарушении сроков технического обслуживания, длительном бездействии или замерзании электролита теряют свою работоспособность, а если учесть, что срок службы их даже при нормальной эксплуатации не превышает 3–5 лет, то кажущаяся дешевизна этих батарей обманчива.

Итак, следует сделать однозначный вывод о том, что надежное электроснабжение железнодорожных вагонов при эксплуатации их в различное время года в климатических зонах Российской Федерации может обеспечить только щелочная никель-кадмиевая батарея. Основываясь на этом, специалисты ООО «Электонт» (Санкт-Петербург) в настоящее время разрабатывают так называемую «безуход-

ную» вагонную батарею из герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов. Внешний вид батареи показан на рис.12.

Вагонная батарея представляет собой набор секций моноблочной конструкции, состоящих из 5 герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов, монтируемых в батарейных отсеках. Такая конструкция позволяет не только снизить внутреннее сопротивление батареи и вес, но и сократить расход материалов. В качестве материала моноблока и крышки использован блок-сополимер полипропилена

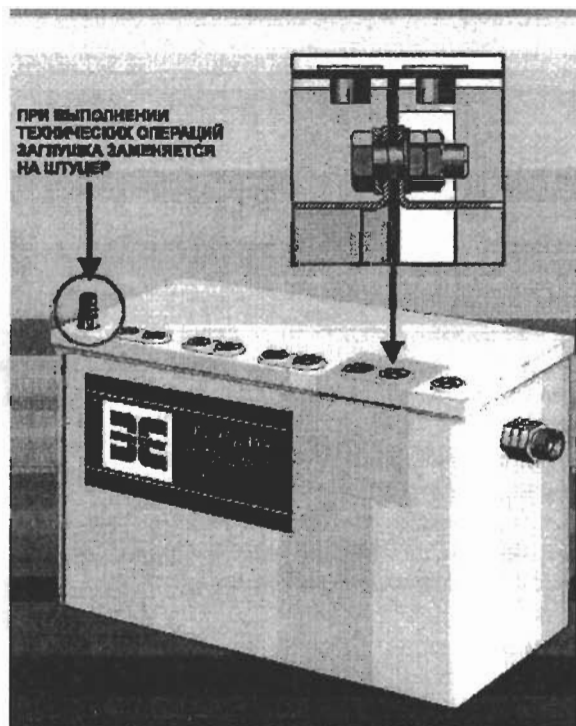


Рис.12. Безуходная никель-кадмиевая батарея для пассажирских вагонов, разрабатываемая ООО «Электонт»

с полиэтиленом. Аккумуляторы в моноблоке соединены между собой прямо через стенку. На наружных плоскостях секции нет ни одной металлической детали кроме двух борнов, что должно свести до минимума токи утечки и обеспечить стабильно высокое сопротивление изоляции батареи. Секция имеет централизованную систему заливки, что позволит иметь гарантированный уровень электролита, одинаковый во всех аккумуляторах. Положительный оксидно-никелевый электрод ламельной конструкции, модифицированный кобальтом, отрицательный — безламельный кадмиевый электрод.

Использование таких электродов улучшает работу батареи при отрицательных температурах и позволяет поднять удельные характеристики секций до 50 Вт·ч/кг и 100 Вт·ч/дм³. Микропористый сепаратор позволит исключить шламовое пространство. Благодаря газовому электроду давление внутри моноблока не должно превышать 0.2–0.3 атм. В качестве электролита используется раствор едкого кали плотностью 1.29 г/см³ с добавкой лития. Температура замерзания составного электролита –60°С. В процессе эксплуатации смены электролита или доливки дистиллированной воды не требуется.

Разрабатываются три типа 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 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин Е.И. // Вестн. ВНИИЖТ. 2002. №1.
2. Иллюстрированный атлас мира. Разд. Погода и климат. Лондон; Нью-Йорк; Монреаль; М.: Ридерз дайджест, 2002. С.18–19.
3. Свойства электролитов. Справочник / Под ред. И.Н. Максимова. М.: Металлургия, 1987.
4. Дасоян М.А. Химические источники тока. Л.: Энергия, 1969.
5. Химические источники тока: Справочник / Под ред. Н.В. Коровина. М.: Изд-во Моск. энерг. ин-та, 2003. С.284.
6. Курзуков Н.И., Ягнитинский В.М. Аккумуляторные батареи: Краткий справочник. М.: Изд-во «За рулем» 2003. С.29.
7. Falk S.U., Salkind A.J. Alkaline storage batteries. Chap. 4. New York, London, Sydney, Toronto: J. Wiley & sons Inc, 1969.
8. Дасоян М.А., Тюпрюмов С.О., Аранчук Е.С., Бирюк К.И. Эксплуатация и ремонт аккумуляторных батарей. М.: Транспорт, 1977. С.25.
9. Герасимов А.Г., Барковский В.И., Краснолобова З.И., Комарков М.Ю. // Исследования в области электрических аккумуляторов. Л.: Энергоатомиздат, 1988.
10. Драчев Г.Г., Мячин Ю.И., Прохоров Б.И. // Сб. работ по химическим источникам тока. Л.: Энергия, 1969.
11. Русин А.И., Хезай Л.Д. Свинцовые аккумуляторы и батареи. СПб., 2003. С.18.