

Стационарные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи.

Руководство по эксплуатации.

Часть 1: Основные понятия, конструкция, режимы работы и области применения

Предисловие ко второй редакции, август 2006

В дополнении к первой редакции (сентябрь 2005) глава «Тепловыделение и теплоотвод» была расширена и получила название «Тепловые эффекты».

Также были доработаны и другие главы. В них вошли следующие темы:

- Газовыделение и рекомбинация,
- Активные материалы,
- Сплавы и конструкция пластин,
- Связывание электролита,
- Сульфат и сульфатация,
- Глубокий разряд,
- Коррозия
- Аварийное освещение

Основной целью перечисленных дополнений было сделать изложение предельно понятным и практически полезным.

Бюдинген, Август 2006.

Содержание

1.	Принцип действия свинцово-кислотных аккумуляторных батарей	7
1.1	Химические реакции	7
1.2	Номинальное напряжение U_N	8
1.3	Активные материалы	8
1.3.1	Производство свинцового порошка	8
1.3.2	Активный материал положительной пластины (PbO_2)	8
1.3.2.1	Активный материал положительных пластин Плантэ	8
1.3.2.2	Активный материал положительных намазных пластин	9
1.3.2.3	Активный материал трубчатых положительных пластин	9
1.3.3	Активный материал отрицательной пластины (Pb)	9
1.3.4	Формовка	9
1.3.5	Характеристики положительного и отрицательного активных материалов	10
1.4	Образование сульфата свинца	13
1.4.1	Сульфат свинца в разряженном состоянии	13
1.4.2	Условия появления дендритов сульфата свинца	13
1.5	Газовыделение и рекомбинация	15
1.5.1	Газовыделение батарей с электролитом в свободном состоянии	15
1.5.2	Величина газовыделения аккумуляторных батарей с электролитом в свободном состоянии	16
1.5.3	Рекомбинация газа в батареях с клапанным регулированием и электролитом в связанном состоянии	16
1.5.4	Объем газовыделения батарей с клапанным регулированием	19
1.6	Тепловые эффекты	20
1.6.1	Теплоемкость	21
1.6.2	Рост температуры	21
1.6.3	Тепловые эффекты во время разряда	21
1.6.4	Тепловые эффекты во время заряда	23
1.6.5	Температура батареи	24
1.7	Терморазгон	25
1.8	Эквивалентная электрическая схема. Импеданс и проводимость	26
2.	Конструкция и материалы	28
2.1	Конструкция и сплав пластин	28
2.1.1	Положительные пластины	28
2.1.1.1	Пластины Плантэ	28
2.1.1.2	Трубчатые пластины	29
2.1.1.3	Намазные пластины	31
2.1.2	Коррозия как определяющий фактор окончания срока службы батарей	31
2.1.2.1	Межкристаллитная коррозия	32
2.1.2.2	Послойная коррозия	32
2.1.2.3	Адгезия активной массы за счет коррозии	32
2.1.3	Отрицательные пластины	33
2.1.3.1	Намазные пластины	33
2.1.3.2	Пластины с решеткой из тянутой меди	34

2.2	Сепараторы	34
2.2.1	Батареи с жидким и гель-электролитом	34
2.2.2	AGM-батареи	35
2.3	Электролит	36
2.3.1	Основные понятия	36
2.3.2	Свободный (жидкий) электролит	37
2.3.3	Электролит в связанном состоянии	37
2.3.3.1	Фиксация электролита в геле	37
2.3.3.2	Фиксация электролита в AGM	37
2.4	Корпуса аккумуляторов (баки и крышки)	38
2.4.1	Корпуса аккумуляторов с жидким электролитом	38
2.4.2	Корпуса герметизированных аккумуляторов	39
2.4.2.1	Корпуса аккумуляторов с гель-электролитом	39
2.4.2.2	Деформация гель-батарей	40
2.4.2.3	Корпуса AGM-батарей	41
2.5	Конструкция и герметизация вывода	42
2.5.1	GroE, OCSM, OPzS-блоки и A600-блоки (OPzV-блоки)	42
2.5.2	OPzS и A600 (OPzV)	43
2.5.3	OGi, Powerfit S500, Marathon L и Sprinter P	44
2.5.4	A400, A700 и A500	46
2.5.5	Количество полюсных пар	47
2.6	Конструкции пробок и клапанов избыточного давления	47
2.6.1	Пробки для батарей с жидким электролитом	47
2.6.1.1	Лабиринтные пробки	47
2.6.1.2	Керамические фильтр-пробки	48
2.6.1.3	Керамическая фильтр-пробка с воронкой для доливки воды	49
2.6.2	Клапаны герметизированных батарей	50
2.6.2.1	Клапаны для батарей с гель-электролитом	50
2.6.2.2	Клапаны для AGM-батарей	53
2.6.2.2.1	Конструкция клапана для батарей серий Marathon L, Sprinter P, Powerfit S	53
2.6.2.2.2	Конструкция клапана для 2-вольтовых элементов серии Marathon L	53
2.6.2.2.3	Конструкция клапана для батарей серий Marathon M и Sprinter S	54
2.7	Соединители и соединения	54
2.7.1	Гибкие соединители	54
2.7.2	Жесткие соединители	54
2.7.3	Падение напряжения на соединителях	54
2.7.4	Предельные токи для батарейных соединителей	55
2.7.5	Поперечные сечения соединителей	56
2.7.6	Разогрев соединителей в режимах заряда и разряда	57
2.7.7	Учет режима короткого замыкания	57
2.7.8	Предельные рабочие напряжения кабелей	58
3.	Режимы эксплуатации батарей	59
3.1	Параллельно-резервный режим	59
3.2	Буферный режим	59
3.3	Режим работы с переключением	60
3.4	Циклический режим	60
3.5	Фотоэлектричество (особый циклический режим)	61

4.	Разрядные характеристики свинцово-кислотных аккумуляторов	63
4.1	Понятие номинальной емкости	63
4.2	Относительная емкость	63
4.3	Глубокий разряд	63
4.4	Сульфатация	64
4.5	Кривая напряжения разряда (понятие «Coupe de Fouet»)	65
4.6	Саморазряд	68
5.	Заряд свинцово-кислотных аккумуляторов	69
5.1	Определения	69
5.2	Режимы заряда	70
5.2.1	Обозначение режимов заряда в соответствии с DIN 41772	70
5.2.2	Режим заряда IU, IUOI (постоянный ток / постоянное напряжение)	71
5.2.3	Режим заряда W (режим управляемого сопротивления)	72
5.2.4	Режим заряда I (постоянный ток)	72
5.2.5	Режим заряда IUI (постоянный ток / постоянное напряжение)	73
5.3	Коэффициент заряда и расслоение электролита	73
5.4	Остаточный зарядный ток	75
5.5	Недозаряд	77
5.6	Перезаряд	79

6.	Области применения	80
6.1	Телекоммуникации	80
6.1.1	Фиксированная связь	80
6.1.2	Мобильная связь	80
6.2	Источники бесперебойного питания (UPS)	81
6.3	Производство и распределение электроэнергии	85
6.3.1	Производство электроэнергии	85
6.3.1	Распределение электроэнергии	85
6.4	Системы безопасности	85
6.4.1	Системы аварийной и пожарной сигнализации	85
6.4.2	Аварийное освещение	86
6.4.2.1	Определения	86
6.4.2.2	DIN EN 50171 как основание для выбора емкости батареи	87
6.4.2.3	Инструкции производителя аккумуляторов по расчету времени тестирования	88
6.4.2.4	Условия заряда – необходимые зарядные токи	89
6.4.2.5	Дополнительное гарантированное электроснабжение в медицинских учреждениях	89
6.5	Железнодорожный транспорт	90
6.5.1	Централизованные посты и оборудование сигнализации	90
6.5.2	Железнодорожные переезды	90
6.5.3	Системы связи	90
6.5.4	Поезда	91
6.6	Фотоэлектричество	91
6.7	Медицинские применения	92
7.	Литература	93

1. Принцип действия свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

1.1. Химические реакции

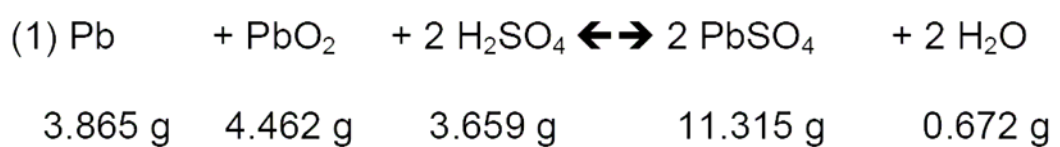
Вещества, участвующие в химической реакции:

Положительная пластина: PbO_2 (двуокись свинца)

Отрицательная пластина: Pb (свинец)

Электролит: H_2SO_4 (водный раствор серной кислоты)

Приведенное ниже равенство выражает полную химическую реакцию процессов заряда и разряда свинцово-кислотного аккумулятора с указанием количества реагентов на один ампер-час электричества:



Во время разряда (уравнение химической реакции читается слева направо) чистый свинец (Pb), как активный материал отрицательного электрода, и двуокись свинца (PbO_2), как активный материал положительного электрода, превращаются в сульфат свинца (PbSO_4). Серная кислота (H_2SO_4) участвует в реакции в виде отрицательно заряженного кислотного остатка (SO_4^{2-}) и основания - положительно заряженных ионов водорода (2H^+) - с образованием сульфата свинца и воды. Во время заряда (уравнение реакции читается справа налево) эти процессы протекают в обратном направлении.

Тот факт, что электролит в свинцовом элементе участвует в реакции заряда-разряда, указывает на принадлежность к типу аккумуляторов. В других химических источниках тока электролит играет пассивную роль, которая выражается в поставке ионов, необходимых для протекания химической реакции, но без непосредственного участия в реакциях на электродах.

Как следует из приведенного выше равенства (1), оба электрода в разряженном состоянии в основном состоят из сульфата свинца. Тот факт, что с химической точки зрения обе пластины содержат одинаковый материал (PbSO_4) означает, что свинцово-кислотный элемент может переполюсоваться, что является особенностью данного типа аккумуляторов. Переполюсовка выражается в том, что элемент действительно химически меняет свою полярность. При заряде в переполюсованном состоянии он нагревается и способен получить только часть своей емкости, так как активные материалы положительной и отрицательной пластин хотя и идентичны химически, но имеют разную физическую структуру.

1.2. Номинальное напряжение U_N

Номинальное напряжение элемента – это характерное приближенное значение напряжения, позволяющее идентифицировать электрохимическую систему элемента или батареи [1].

Напряжение на элемент определяется как:

- 2.0 Вольта для свинцово-кислотного аккумулятора,
- 1.2 Вольта для никель-кадмиевого аккумулятора.

Номинальное напряжение батареи определяется как произведение количества последовательно включенных элементов на номинальное напряжение одного элемента.

1.3 Активные материалы

1.3.1. Производство свинцового порошка

Производство свинцового порошка осуществляется в основном двумя различными способами. В обоих процессах используется чистый свинец (с содержанием более 99,9%).

В так называемом мельничном процессе как мелкие свинцовые гранулы и нарезанные пластинками свинцовые бруски с характерным размером около 20 мм, так и целые слитки размалываются в шаровой мельнице до получения свинцового порошка. Поверхность частиц свинцового порошка окисляется в потоке воздуха и восстанавливается при трении друг об друга.

В так называемом процессе Бартона чистый расплавленный свинец распыляется в потоке воздуха. Таким образом, получается наиболее равномерно окисленный свинцовый порошок.

1.3.2. Активный материал положительной пластины (PbO_2)

Изготавливается из оксида свинца за исключением случая пластин Плантэ.

1.3.2.1. Активный материал положительных пластин Плантэ

Активный материал формируется посредством последовательного преобразования в перхлорированном электролите поверхности пластины из чистого свинца сначала в отрицательный активный материал, что является первым этапом формовки (так называемой «серой» формовкой). Затем вторым этапом поверхность пластины преобразуется в положительный активный материал (PbO_2) в процессе так называемой «коричневой формовки» (см. п. 2.1.1.1).

1.3.2.2. Активный материал положительных намазных пластин

Активный материал положительных намазных пластин изготавливается из оксида свинца, серной кислоты, воды и некоторых присадок, так что при смешивании образуется паста из сульфата свинца. Затем эта паста наносится на решетку положительной пластины (см. п. 2.1.1.3)

1.3.2.3 Активный материал трубчатых положительных пластин

Здесь применяют как непосредственно смесь оксида свинца ($PbO + Pb$) со свинцовым суриком (или «красным свинцом» Pb_3O_4), так и жидкую суспензию сульфата свинца, получаемую из оксида свинца и серной кислоты.

В процессе так называемой «сухой набивки» трубки положительных пластин заполняются активной массой под действием вибрации (см. п. 2.1.1.2). Для так называемой «влажная набивки» применяется суспензия, которая заливается в трубки положительной пластины.

По окончании процесса набивки трубки снизу запечатываются пластиковой заглушкой.

1.3.3 Активный материал отрицательной пластины (Pb)

Производство активного материала отрицательных намазных пластин похоже на производство активного материала положительных намазных пластин (см. 1.3.2.2). В основе также лежит оксид свинца (см. 1.3.1).

Однако здесь в материал активной массы добавляются расширители и другие дополнительные присадки.

Расширители, такие как деревянная пудра (лигнин), обеспечивают сохранение пористости активной массы в процессе работы.

Такие присадки, как сажа, обеспечивают проводимость активного материала отрицательной намазной пластины в фазе разряда.

1.3.4 Формовка

Пастированные намазные пластины, как и заполненные активным веществом трубчатые пластины, нуждаются в формовке (первоначальном заряде). Существует два вида формовки: формовка в специальных резервуарах, или танках, когда большое количество положительных и отрицательных пластин соединяются между собой электрически, погружаются в резервуары с электролитом и заряжаются. Другой возможный вид формовки - так называемая прямая формовка, при которой неформованные положительные и отрицательные пластины устанавливаются непосредственно в корпуса будущих аккумуляторов, заливаются электролитом и заряжаются.

1.3.5 Характеристики положительного и отрицательного активных материалов

Под большим увеличением (см. рисунок 1) видно, что поверхность полностью заряженной положительной пластины имеет бугристую структуру и обладает высокой пористостью.

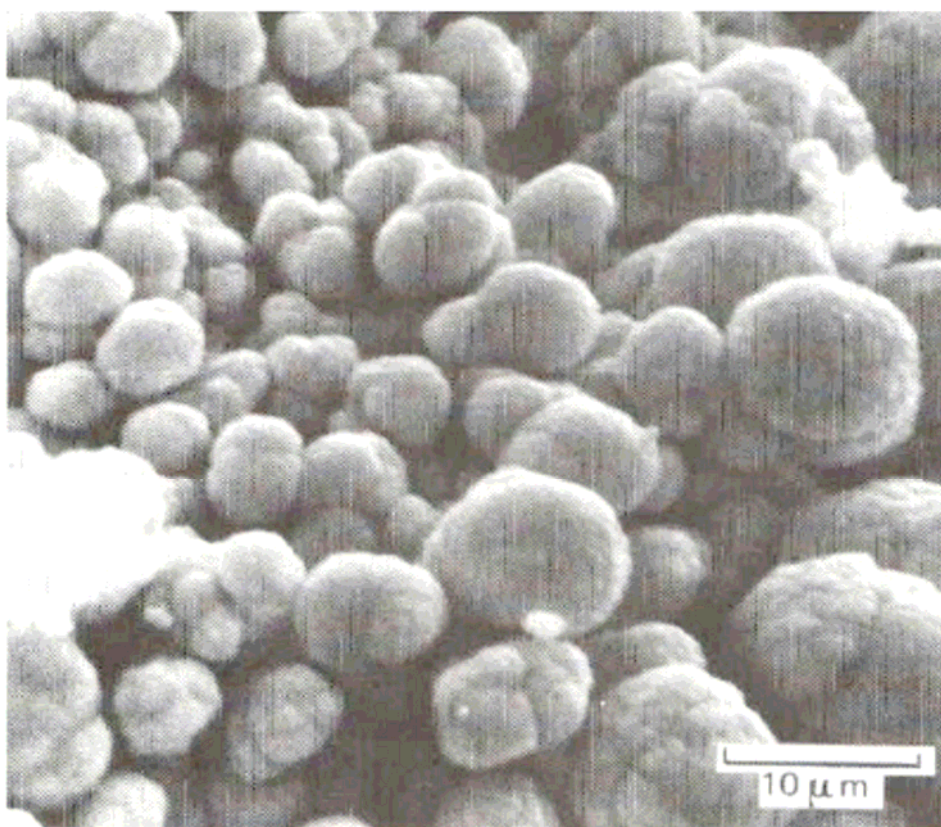


Рис. 1: Выраженная бугристая структура поверхности активной массы двуокиси свинца (PbO_2) [2].

Под еще бóльшим увеличением становится заметна игольчатая структура каждого бугорка (см. рис. 2), которая обеспечивает очень значительную площадь поверхности активной массы, участвующей в реакции, ее оценивают примерно на уровне $2 \text{ м}^2/\text{гр}$. Наличие пор делает возможным проникновение и удаление кислоты в объем и из объема активной массы. Однако, двуокись свинца, превращаясь в процессе разряда в сульфат, увеличивается в объеме вдвое, что соответственно сказывается на размерах пор и, следовательно, проницаемости поверхности активного материала для электролита.

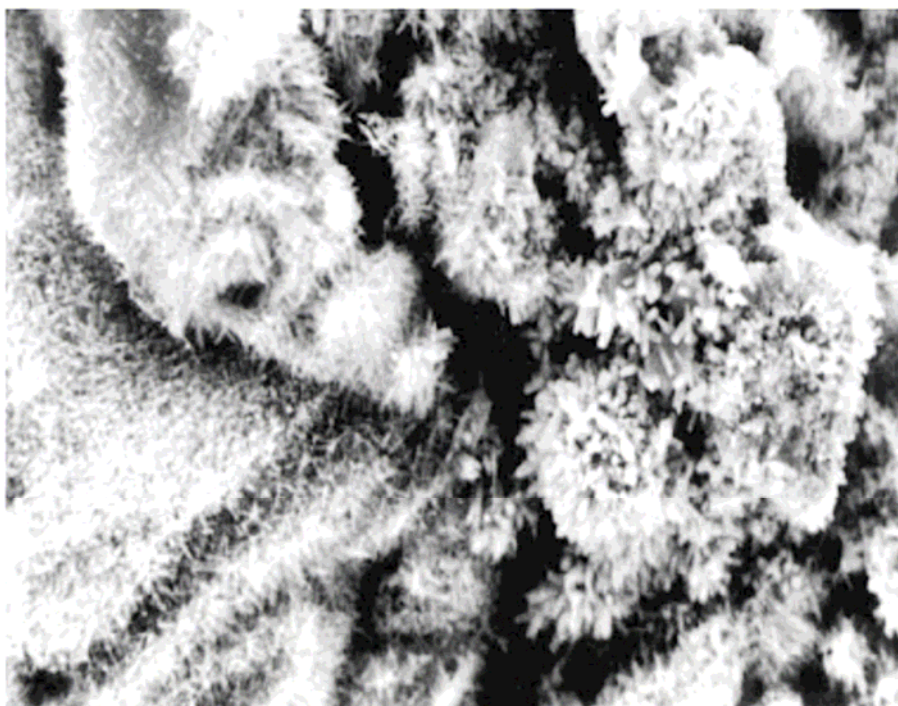


Рис. 2: Поверхность активной массы положительной пластины под увеличением 5000:1 [3].

На следующем рисунке (см. рис. 3) изображена поверхность материала отрицательной пластины.

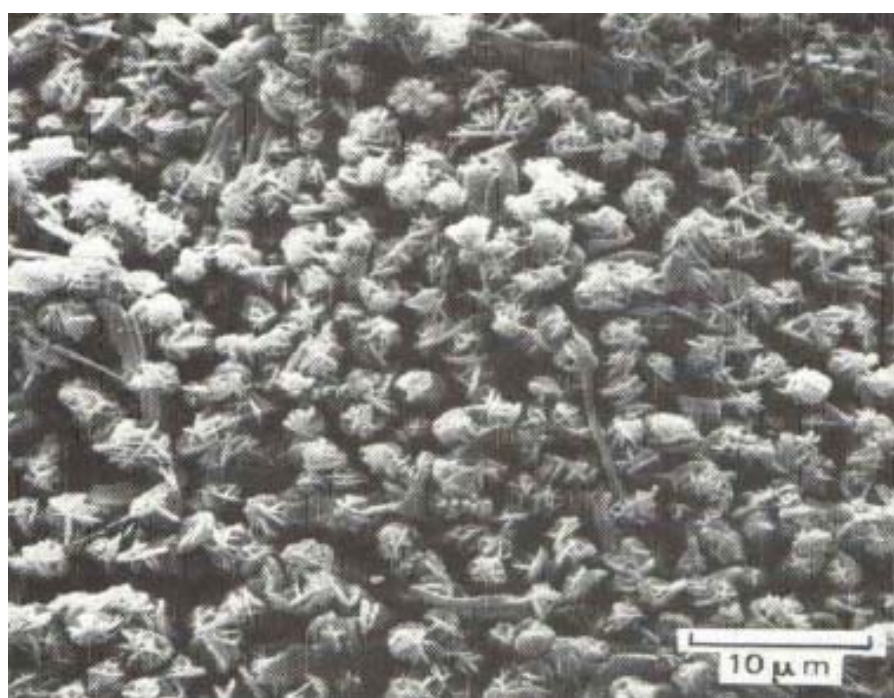


Рис. 3: Выраженная кристаллическая структура металлического свинца (Pb) [2].

На рисунке 4 просматривается ярко выраженная разветвленная структура активной массы отрицательной пластины, форма которой обеспечивает большую поверхность токообразующей реакции – порядка $0,5 \text{ м}^2/\text{гр}$. Расширители, такие как лигнин (древесная пудра), обеспечивают необходимую степень пористости активного материала в заряженном состоянии. Видимые под увеличением пустоты не только облегчают доступ серной кислоты к месту реакции, но и играют очень важную роль в фазе разряда пластины, когда объем материала при превращении чистого свинца в сульфат увеличивается в 2,7 раза. Сажа улучшает проводимость активной массы в разряженном состоянии, а добавка сульфата бария обеспечивает мелкозернистую структуру сульфата свинца, что в последствии облегчает заряд, поскольку сохраняется достаточная площадь поверхности пластины.

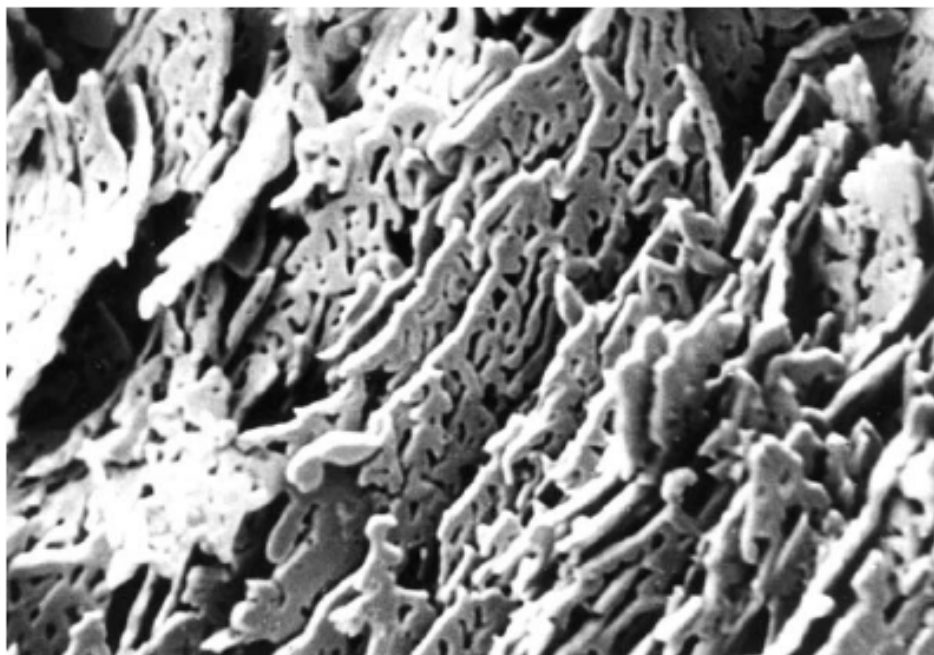


Рис. 4: Активная масса отрицательной пластины под увеличением 2000:1 [3].

1.4. Образование сульфата свинца

1.4.1. Сульфат свинца в разряженном состоянии

Типичная структура сульфата свинца (PbSO_4) показана на рисунке 5.

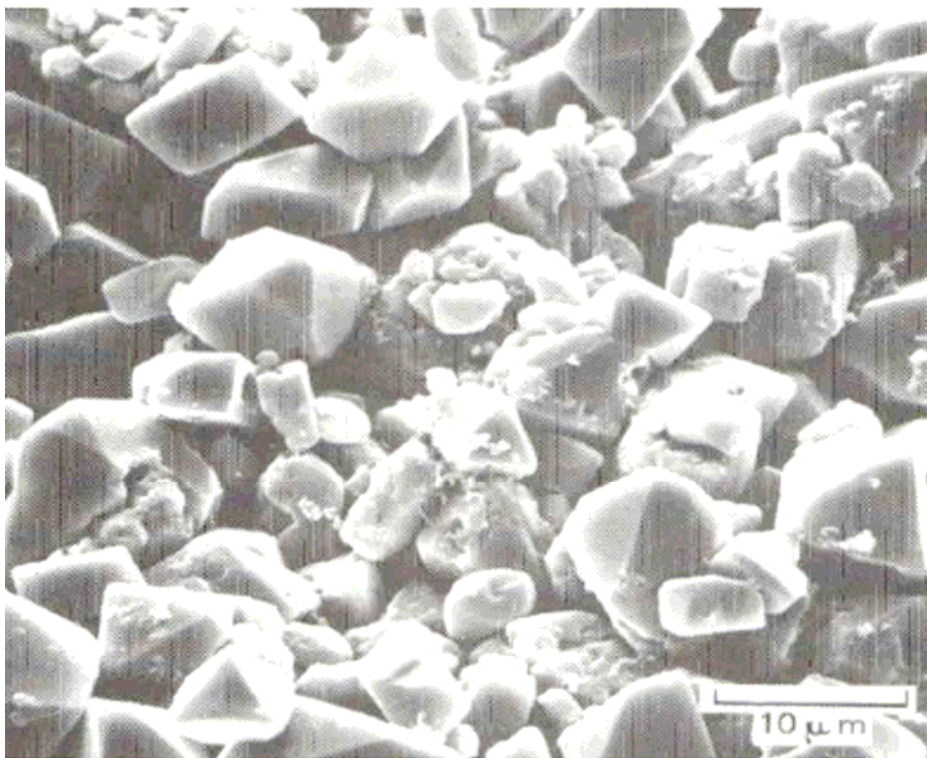


Рис. 5: Крупнозернистая структура поверхности разряженной пластины (отрицательной или положительной) [2]

1.4.2 Условия появления дендритов сульфата свинца

Если аккумулятор оставить разряженным – не зарядить после разряда, то на поверхности пластин могут образовываться так называемые дендриты, форма которых полказана на рисунке 6. Особенно велика опасность роста дендритов в случае глубоких разрядов. Под глубоким разрядом понимается разряд со снятием емкости более номинальной, а также длительный разряд очень малым током порядка $< 1/100 \cdot I_{10}$.

Дополнительную информацию, касающуюся явления глубокого разряда, можно найти в главе 4.3.

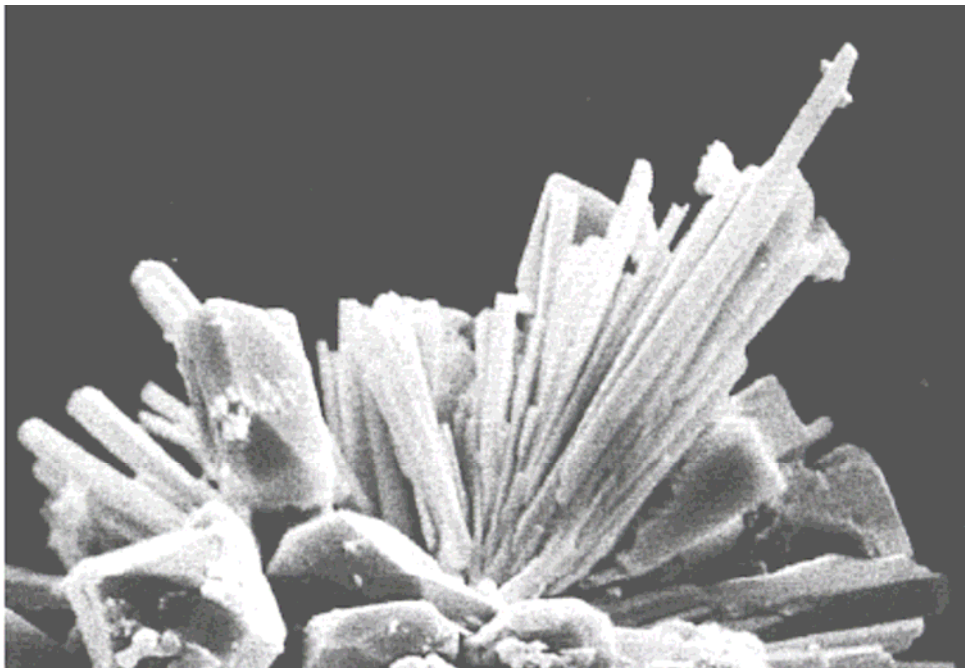


Рис. 6: Сульфатные дендриты (несколько миллиметров длиной) [3]

На рис. 7 показана форма поверхности положительной пластины, подвергшейся сульфатации и последующему заряду. Несмотря на химическое превращение сульфата свинца в двуокись, в структуре активного материала явно просматриваются крупнокристаллические образования, свойственные сульфату.

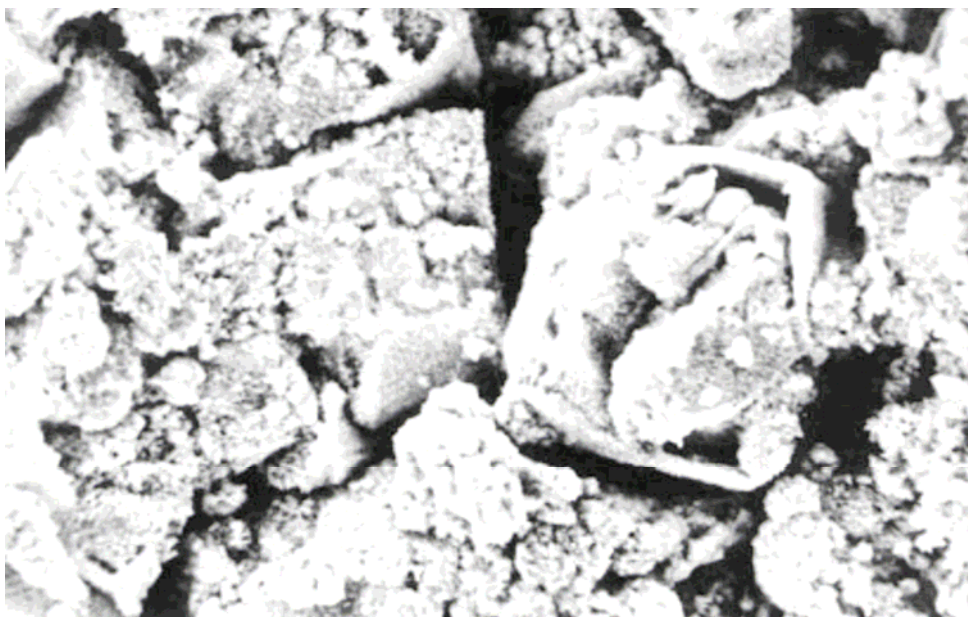


Рис. 7: Активный материал положительной пластины, подвергшейся сульфатации и заряду, под увеличением 2000:1 [3].

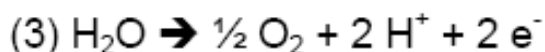
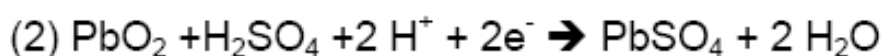
1.5 Газовыделение и рекомбинация

1.5.1 Газовыделение батарей с электролитом в свободном состоянии

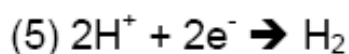
Характерной чертой батарей с жидким электролитом является потеря воды при их эксплуатации. За счет эффекта электролиза в процессе заряда аккумулятора на его пластинах выделяются газообразный кислород O_2 (на положительном электроде) и водород H_2 (на отрицательном электроде) в стехиометрическом соотношении 1:2. Так как оба газа плохо растворимы в электролите, они поднимаются на поверхность в виде пузырьков и выходят в окружающую среду через фильтр-пробку.

Таким образом, параллельно с основными химическими реакциями на электродах, обсуждаемыми в главе 1.1 (см. уравнения (2) и (4)), протекают побочные (паразитные) реакции, связанные с разложением воды под действием электрического тока (уравнения (3), (5) и (6)).

Положительный электрод:



Отрицательный электрод:



Итоговая формула разложения воды выглядит следующим образом:



Потеря воды из-за эффекта электролиза должна компенсироваться ее периодической доливкой в батарею. Интенсивность разложения воды зависит от ряда факторов: режима заряда батареи, конструкции аккумуляторных элементов, состава сплава решеток и чистоты применяемых материалов, в особенности от чистоты свинца и электролита.

Благодаря использованию сплавов с низким содержанием сурьмы (менее 3%) интервалы между доливками воды составляют на сегодняшний день от 3 до 5 лет, в зависимости от технологического запаса электролита в аккумуляторе, то есть резервного объема между указателями максимального и минимально допустимого уровней.

1.5.2 Величина газовыделения аккумуляторных батарей с электролитом в свободном состоянии

Уровень газовыделения батарей с жидким электролитом зависит от величины остаточного зарядного тока (см. п. 5.4), протекающего через батарею.

На 1 Ампер-час электричества разлагается

0,336 гр воды (H₂O) с образованием

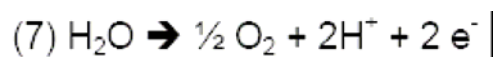
0,45 литра водорода (H₂) и

0,22 литра кислорода (O₂).

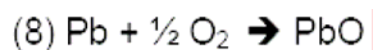
Таким образом, выделяется всего 0,67 литра смеси водорода и кислорода при температуре 20 градусов Цельсия и атмосферном давлении 1013 кПа в течение одного часа при протекании через аккумуляторный элемент тока силой 1Ампер.

1.5.3 Рекомбинация газа в батареях с клапанным регулированием и электролитом в связанном состоянии

Отличительной чертой свинцово-кислотных батарей с клапанным регулированием (**Valve Regulated Lead-Acid batteries - VRLA**) является рекомбинация кислорода в процессе заряда. Во время заряда цикл взаимных превращений химических веществ начинается на положительном электроде:



Вода (H₂O) разлагается с выделением газообразного кислорода (O₂). Ионы водорода (H⁺) остаются в электролите в растворенном состоянии и не преобразуются в газ. Высвободившиеся электроны (2 e⁻) поступают через замкнутую внешнюю электрическую цепь к отрицательному электроду. В отличие от открытых систем, в элементах с клапанным регулированием кислород не может сразу покинуть объем аккумуляторного элемента. Он продвигается за счет диффузии к отрицательной пластине, где вступает в реакцию с атомами свинца, образуя оксид свинца (PbO):



В батареях с клапанным регулированием электролит пребывает в связанном состоянии – в виде геля, либо впитан в стекловолокнистый сепаратор. За счет этого пузырьки кислорода, образовавшегося на поверхности положительной пластины, не могут свободно всплывать к поверхности электролита, а удерживаются внутри его объема и дрейфуют к противоположной пластине через поры активной среды: либо микротрещины в геле (см. 2.3.3.1) либо каналы, образуемые микроскопическими волокнами сепаратора (см. 2.3.3.2). В вентилируемых свинцово-кислотных батареях со свободным (жидким) электролитом миграция кислорода к отрицательному электроду практически невозможна из-за крайне низкой растворимости кислорода в электролите. Пузырьки образовавшегося газа всплывают вверх непосредственно от положительного электрода и выходят в окружающую среду через фильтр-пробку аккумуляторного элемента.

На рисунке 8 показано различие между батареей с жидким электролитом и батареей с клапаном избыточного давления

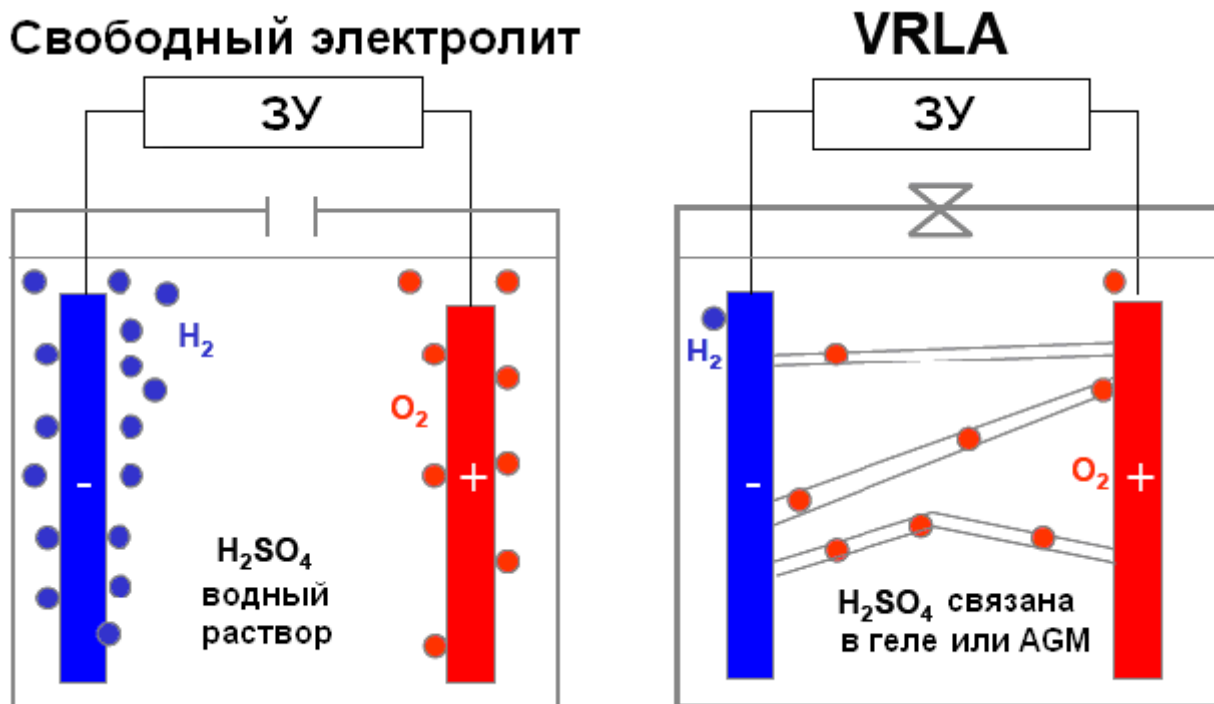
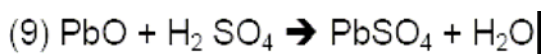


Рис. 8: Газовыделение и рекомбинация батарей с жидким электролитом (слева) и батарей с электролитом в связанном состоянии и клапаном избыточного давления (справа).

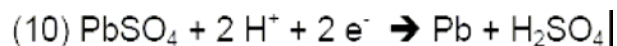
Окисленный свинец нестабилен в среде серной кислоты и под ее воздействием преобразуется в сульфат. При этом в качестве побочного продукта образуется вода:



Это означает, что в герметизированных батареях отрицательный электрод во время заряда частично разряжается. Такая частичная разряженность отрицательного электрода во время заряда необходима и объяснима, так как она препятствует образованию молекулярного водорода.

Частичная разряженность отрицательного электрода компенсируется избытком активного вещества, относительно количества, необходимого для разряда положительной пластины.

Ток подзаряда снова превращает образовавшийся в процессе рекомбинации воды сульфат свинца в металлический свинец, при этом ионы водорода (7) переходят в молекулу серной кислоты:



Химические реакции, соответствующие уравнениям с (7) по (10) предпочтительнее рассматривать с энергетической точки зрения, а не с точки зрения образования водорода на отрицательном электроде, так как данный процесс уравнивается процессом рекомбинации внутри батареи с клапанным регулированием.

Так как реакция рекомбинации является экзотермической (протекает с образованием теплоты), то можно сделать вывод о том, что батареи с клапанным регулированием (VRLA) подвергаются определенному риску так называемого «термического разгона» (см. п. 1.7).

Типичные значения коэффициентов рекомбинации герметизированных батарей составляют: 98% для батарей с электролитом в виде геля и 99% для батарей с электролитом, впитанным в сепаратор (или **AGM**-батарей **Absorbent Glass Mat**). Высвобождающиеся 1-2% кислорода могут приводить к образованию соответствующего количества свободного водорода на отрицательной пластине и накоплению его в свободном пространстве под крышкой аккумуляторного элемента. Когда давление газа внутри корпуса аккумулятора достигает заданного значения, клапан избыточного давления на короткое время приоткрывается и выпускает накопившийся газ.

Благодаря применению для отливки решеток пластин VRLA-батарей свинцовых сплавов, не содержащих сурьмы, расход воды удается снизить на 75% по сравнению с батареями с жидким электролитом и пониженным содержанием сурьмы **LA** (**L**ow **A**ntimony). За счет рекомбинации потери воды дополнительно снижаются до 98-99%, что означает всего лишь двухпроцентный ее расход в ходе эксплуатации батарей с клапанным регулированием. По этой причине доливка воды в VRLA аккумуляторы не требуется в течение всего срока службы. Такую конструкцию свинцово-кислотных аккумуляторных батарей часто называют «герметизированной», хотя, строго говоря, аккумулятор VRLA-технологии не является абсолютно герметичным, так как у него остается связь с окружающей средой на выпуск малого количества газа через клапан избыточного давления.

1.5.4 Объем газовыделения батарей с клапанным регулированием

В таблице 1 приведены значения объемов выделенного газа, измеренных на батареях с электролитом в виде геля.

Условия заряда	Результаты измерений [мл]	Максимально допустимое значение [мл]
A400		
Напряжение подзаряда 2,3 Вольт/элемент	21,5	30
Напряжение перезаряда 2,48 Вольт/элемент	94	300
A500		
Напряжение подзаряда 2,3 Вольт/элемент	5	30
Напряжение перезаряда 2,48 Вольт/элемент	90	300
A600		
Напряжение подзаряда 2,3 Вольт/элемент	19	30
Напряжение подзаряда 2,25 Вольт/элемент	18,5	30
Напряжение перезаряда 2,41 Вольт/элемент	300	300
A700		
Напряжение подзаряда 2,3 Вольт/элемент	< 20	30
Напряжение перезаряда 2,46 Вольт/элемент	< 30	300

Таблица 1: Газовыделение в соответствии с DIN EN 60896-2 [4]. Измеренные величины соответствуют объему выделенного газа в течение 30 суток, в расчете на Ач на элемент. В объеме выделенного газа 2/3 занимает водород. Значение напряжения перезаряда было выбрано только для проведения испытаний.

В таблице 2 приведены значения объемов выделенного газа, измеренных на батареях типа AGM.

Условия заряда	Результаты измерений [мл]	Максимально допустимое значение [мл]
Marathon L; Powerfit S300; Powerfit S500		
Напряжение подзаряда 2,27 Вольт/элемент	25	30
Напряжение перезаряда 2,4 Вольт/элемент	193	300
Sprinter P		
Напряжение подзаряда 2,27 Вольт/элемент	15	30
Напряжение перезаряда 2,4 Вольт/элемент	65	300

Таблица 2: Газовыделение в соответствии с DIN EN 60896-21 [5]. Измеренные величины соответствуют объему выделенного газа в течение 30 суток, в расчете на Ач на элемент. В объеме выделенного газа 2/3 занимает водород. Значение напряжения перезаряда было выбрано только для проведения испытаний.

1.6 Тепловые эффекты

В процессе эксплуатации батарей (как во время заряда, так и при разряде) имеют место незначительные тепловые эффекты. Они являются следствием переноса электрической энергии и превращения веществ в ходе химических реакций.

Выразим следующие тепловые эффекты в виде тепловой мощности в Ватт на ячейку:

- Тепловыделение за счет эффекта Джоуля-Томсона (рассеяние электрической мощности на активном сопротивлении) - Q_{Joule}
- Теплота обратимых химических реакций (заряд-разряд) - Q_{chem}
- Теплота реакции разложения воды - Q_{Gassing}
- Теплота реакции рекомбинации - Q_{Recom}

Суммарный тепловой эффект Q_{total} зависит от:

- типа батареи (например, OPzS, OPzV, OGi, OGiV),
- технологии, т.е. герметизированная гель- или AGM- батарея или батарея со свободным электролитом,
- сила и плотность тока заряда и разряда,
- метод заряда.

Сочетание различных факторов может приводить как к заметному нагреву, так и в ряде случаев к охлаждению батареи.

1.6.1 Теплоемкость

Для того чтобы рассчитать, как изменится температура в ходе заряда или разряда батареи, необходимо знать ее теплоемкость (C_P) – элемента или блока. К сожалению, материалов по измерению теплоемкости свинцово-кислотных батарей существует крайне мало и, соответственно, очень мало связанных с этим публикаций.

Тем не менее, тепловая емкость геля батареи (12 Вольт, 100 Ач) была определена экспериментально. На основании этих данных удалось вычислить также теплоемкость батарей с жидким электролитом и герметизированных AGM-аккумуляторов. В результате были получены удельные значения для трех технологий:

Свободный электролит:	$C_P = 1.1 \text{ W}\cdot\text{s}/(\text{g}\cdot\text{K}) = 0.3 \text{ W}\cdot\text{h}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Гель-электролит:	$C_P = 0.9 \text{ W}\cdot\text{s}/(\text{g}\cdot\text{K}) = 0.25 \text{ W}\cdot\text{h}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Электролит в сепараторе:	$C_P = 0.8 \text{ W}\cdot\text{s}/(\text{g}\cdot\text{K}) = 0.22 \text{ W}\cdot\text{h}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

1.6.2 Рост температуры

Разогрев аккумулятора (элемента или блока) может быть вычислен, исходя из его массы, теплоты внутренних реакций и характерной теплоемкости, в соответствии с выражением:

$$(11) T = Q_{\text{total}} / (m \cdot C_P), \text{ где}$$

T – рост температуры в градусах Кельвина

Q_{total} – суммарная теплота в Ватт-часах (см. выражения (12), (13), (14) в пп. 1.6.3, 1.6.4)

m – масса аккумулятора в килограммах

C_P – характерная теплоемкость элемента или блока в Ватт-час на килограмм на Кельвин

1.6.3 Тепловые эффекты во время разряда

Суммарное количество теплоты, выделяемое во время заряда, складывается из эффекта Джоуля-Томсона Q_{Joule} и теплоты обратимых реакций Q_{chem} :

$$(12) Q_{\text{total}} = Q_{\text{Joule}} + Q_{\text{chem}}$$

со следующим действием:

Эффект Джоуля-Томсона = > экзотермическое, зависит от тока и времени

Обратимые химические реакции = > эндотермическое, зависит от емкости разряда.

В режиме длительных разрядов эндотермический эффект от протекания токообразующих реакций (обратимых химических реакций) оказывается более существенным, чем экзотермический эффект Джоуля-Томсона, то есть складывается отрицательный тепловой баланс, что означает охлаждение батареи. В режиме коротких разрядов преобладающее действие оказывает экзотермический эффект Джоуля-Томсона. Результаты, представленные в следующей таблице, отражают суммарную удельную теплоту процесса разряда емкостью 100Ач для аккумуляторов со свободным электролитом и электролитом в связанном состоянии [6].

Время разряда	Свободный электролит	VRLA-батарея	Характерное удельное тепловыделение, размерность
20 часов	-1.5	-4	Ватт·час/(элемент 100Ач)
10 часов	1.5	-1	Ватт·час/(элемент 100Ач)
5 часов	4	1	Ватт·час/(элемент 100Ач)
1 час	10	5	Ватт·час/(элемент 100Ач)
30 минут	13	7	Ватт·час/(элемент 100Ач)
10 минут	18	Нет данных	Ватт·час/(элемент 100Ач)
7 минут	Нет данных	9	Ватт·час/(элемент 100Ач)

Таблица 3: Характерное значение удельной теплоты в зависимости от времени разряда и технологии аккумулятора. Отрицательные значения показывают эндотермический характер процесса, т.е. потери тепла.

Из представленной таблицы можно сделать вывод о том, что батареи с жидким электролитом при разрядах короче 12 часов и батареи с клапаном избыточного давления при разрядах короче 6 часов испытывают нагрев.

Результирующий тепловой эффект может быть вычислен в соответствии со следующим соотношением:

$$(13) Q_{\text{total}} = \text{Удельное тепловыделение} \times \text{кол-во элементов} \times \text{емкость разряда} / 100$$

Рассмотрим пример:

Возьмем герметизированный элемент 7OPzV490 весом 42 кг и вычислим температуру его перегрева при разряде.

Параметры разряда: продолжительность 1 час, конечное напряжение 1,85 Вольт/элемент, снимаемая емкость - 247 Ач.

В соответствии с таблицей 3 удельное тепловыделение составит 5 Вт·час/(элемент 100).

Пользуясь равенством (13), находим: $Q_{\text{total}} = 5 \times 1(\text{элемент}) \times 247 / 100 [\text{Ач}] = 12,35 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$.

Тепловая мощность: 12,35 Вт.

Согласно пункту 1.6.1: теплоемкость $C_P = 0,25 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/(\text{кг} \cdot \text{K})$.

Воспользовавшись равенством (11), находим максимально возможный перегрев аккумулятора (без учета теплообмена с окружающей средой, см. 1.6.5)

$$T = Q_{\text{total}} / (m \times C_P) = 12,35 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (42 \text{ кг} \times 0,25 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/(\text{кг} \cdot \text{K})) \approx 1,2 \text{ K}$$

1.6.4 Тепловые эффекты во время заряда

Для расчета тепловыделения во время заряда кроме ранее описанных эффектов, эффекта Джоуля-Томсона и теплоты обратимых химических реакций, следует учитывать также следующее:

- в батареях с жидким электролитом - тепловой эффект электролиза воды Q_{Gassing} ,
- в герметизированных батареях - тепловыделение реакции рекомбинации Q_{Recom} за вычетом незначительных тепловых потерь на разложение воды.

Q_{Joule} зависит от тока и напряжения заряда и лежит в диапазоне значений от 10 до 20 Вт·ч на каждые 100 Ач разряда при напряжении заряда от 2,25 до 2,4 Вольт на элемент.

Q_{chem} составляет порядка 3,5% энергии заряда с учетом поправочного коэффициента (фактора перезаряда) 1,0, т.е. 5,3 Вт·ч на каждые 100Ач емкости разряда.

Q_{Gassing} составляет порядка 18 Вт·ч на каждые 100 Ач емкости разряда при заряде батарей с жидким электролитом с коэффициентом перезаряда 1,2 (см. п. 5.3).

Q_{Recom} находится в диапазоне от 11 до 48 Вт·ч на каждые 100 Ач емкости разряда с учетом коэффициента перезаряда от 1,05 до 1,2 при заряде VRLA-батарей напряжением от 2,25 до 2,4 В/эл соответственно.

Типичные значения тепловыделения при заряде на каждые 100Ач емкости разряда приведены в таблице 4.

Тип аккумулятора	VRLA			Свободный электролит		Размерность
	Гель	Гель, AGM	Гель, AGM	Режим содержания	Режим ускоренного заряда	
Напряжение	2.25	2.27	2.40	2.23	2.40	В/эл
Коэффициент перезаряда	1.05	1.1	1.2	1.05	1.2	безразмерный
Характерное значение тепловыделения	27	41	73	19	44	Вт·ч на 100Ач емкости разряда

Таблица 4: Типичные значения удельного тепловыделения во время заряда (рассматривается режим содержания и режим ускоренного заряда)

Средняя тепловая мощность P рассчитывается по следующей формуле:

$$(14) P = Q_{\text{total}} / \text{время заряда в часах}$$

Рассмотрим пример:

Возьмем элемент с жидким электролитом 6OPzS600 весом около 44 кг и вычислим его перегрев в процессе заряда для восстановления емкости 400 Ач (после разряда).

Пусть заряд проводится напряжением 2,4 В/эл, коэффициент перезаряда равен 1,2.

Обращаясь к таблице 4, найдем типичное значение удельного тепловыделения, которое составит порядка 44 Вт·ч/100Ач.

Применив равенство (13) получим: $Q_{total} = 44 \text{ [Вт·ч]} \times 400 \text{ [Ач]} / 100 \text{ [Ач]} = 176 \text{ Вт·ч}$.

Далее обратимся к выражению (14): Средняя тепловая мощность (без учета теплообмена, см. 1.6.5) в течение 8-часового заряда составит: $176 \text{ [Вт·ч]} / 8 \text{ [ч]} = 22 \text{ Вт}$.

Из равенства (11) вычислим максимально возможный перегрев аккумулятора (без учета теплообмена с окружающей средой, см. 1.6.5):

$$T = Q_{total} / (m \times C_P) = 176 \text{ [Вт·ч]} / (44 \text{ [кг]} \times 0,3 \text{ [Вт·ч/(кг·K)]}) \approx 13 \text{ K}$$

В режиме содержания при комнатной температуре тепловыделение и результирующая тепловая мощность батареи настолько мала, что ее можно не принимать в расчет и считать, что перегрева аккумулятора в данном режиме не происходит.

Например:

Рассмотрим VRLA-батарею с рекомбинацией 100%, напряжением заряда 2,27 В/Эл и с остаточным зарядным током 100 мА на 100 Ач номинальной емкости.

Тогда тепловую мощность определяем как: $0,1 \text{ [A]} \times 2,27 \text{ [В]} = 0,227 \text{ Вт}$ на 100 Ач номинальной емкости в расчете на элемент.

Очевидно, что в реальности не вся расчетная тепловая мощность уйдет на нагрев элемента, так как она получена без учета теплоотвода за счет конвекции (см. 1.6.5), то есть фактически температура батареи возрастет меньше, чем на 1 градус.

1.6.5 Температура батареи

Температура батареи будет повышаться в зависимости от полученной тепловой энергии и теплоемкости. В то же время тепло будет отводиться в окружающее пространство при наличии температурного градиента. Эффективность отвода тепла зависит от разницы температур, площади поверхности батареи и характера теплоотвода dQ/dt [6]:

- излучение (максимально): 5-6 Вт/(м²·K)
- принудительное охлаждение: 3-4 Вт/(м²·K)
- естественная конвекция: 2-3 Вт/(м²·K)

Тепло, отводимое через соединители можно не учитывать. Тепловые эффекты соединителей зависят от следующих факторов:

- ток заряда / разряда,
- время,
- геометрические размеры соединителя,
- тип батареи.

Действие этих эффектов существенно ниже, чем ранее упоминавшиеся величины dQ/dt .

Если образующаяся тепловая мощность меньше величины теплоотвода dQ/dt , то ее вклад можно не учитывать при определении нагревания или охлаждения батареи, как, например, во время поддерживающего заряда (режим содержания) см. 1.6.4.

При расчете более напряженных тепловых режимов максимально возможный перегрев батареи должен рассчитываться без учета теплоотвода $dQ/dt = 0$, так же как в разделе 1.6.4.

Конечно, теоретически возможно определить перегрев аккумулятора и с учетом эффекта теплоотвода dQ/dt , разумеется, зная тепловыделение и тепловую мощность (исходя из пп. 1.6.3 и 1.6.4). При этом должны быть также известны и другие характеристики батареи, такие как конструкция, ее вес и режим теплообмена с окружающей средой. То есть подобные вычисления потребовали бы очень тщательной детальной проработки.

1.7 Терморазгон

Определение терморазгона:

Критические условия, возникающие в режиме непрерывного подзаряда, когда тепловыделение батареи превосходит способность рассеяния тепла. Терморазгон выражается в неконтролируемом росте температуры, который может привести к потере батареей своих рабочих качеств и в своем крайнем проявлении даже к ее разрушению [1].

Стандарт DIN EN 60898-21 [5] описывает тест на терморазгон.

Вентилируемые свинцово-кислотные батареи практически не подвержены действию описанного эффекта по причине наличия большого объема электролита в аккумуляторе и, как следствие, хорошего теплоотвода. Подобным же образом ведут себя и гелевые батареи. Причина устойчивости к терморазгону та же, что и у батарей с жидким электролитом – большой его запас в корпусе аккумулятора. Что же касается AGM-батарей, то в них электролит занимает сравнительно небольшой объем, и обеспечивает соответственно худший теплоотвод, поэтому в аккумуляторах AGM-технологии существует опасность терморазгона.

Кроме того, в AGM-батареях выше коэффициент рекомбинации из-за значительного количества каналов, образованных волокнами сепаратора. Как следствие, по сравнению с гелевыми батареями, удельное количество теплоты, выделяемое внутри AGM-батареи за счет эффекта рекомбинации, оказывается заметно выше. К тому же рассеяние тепла в AGM-конструкции затруднено не только по причине малого объема электролита, но и из-за плохой смачиваемости электролитом внутренней поверхности стенок баков. Таким образом, из всего выше перечисленного можно сделать вывод о том, что AGM-батареи, работающие в жестких условиях (таких как высокая температура окружающей среды, отсутствие системы кондиционирования воздуха и температурной компенсации напряжения заряда батареи), в значительной мере подвержены эффекту терморазгона.

Тем не менее, нужно заметить, что в основном тепловые эффекты не приводят к критическим ситуациям при условии, что в процессе инсталляции батарей были соблюдены требования к вентиляции в соответствии с DIN EN 50272-2 [13].

Монтаж герметизированных аккумуляторных батарей должен выполняться с соблюдением следующих инструкций: расстояние между соседними элементами (блоками) не менее 5 мм (рекомендуемое значение 10 мм). Батарея размещается таким образом, чтобы разница сложившихся под действием внешних факторов температур между любыми двумя элементами (блоками) аккумуляторной батареи не превышала 3 градуса.

Для правильной эксплуатации важным условием является поддержание определенного уровня напряжения заряда, зависящего от температуры окружающей среды.

Детальное обсуждение аспектов монтажа, условий эксплуатации и вентиляции представлено во второй части данного руководства по эксплуатации соответственно в разделах: «Классика», «Гель- и AGM-батареи».

1.8 Эквивалентная электрическая схема. Импеданс и проводимость

На рисунке 9 показана эквивалентная электрическая схема свинцово-кислотного аккумуляторного элемента и характер его полного активно-реактивного сопротивления в широком диапазоне частот от микро-Герц до 10 кГц и выше. Из графика полного внутреннего сопротивления следует, что аккумуляторная батарея, с точки зрения своих электрических свойств, проявляет себя весьма по-разному в зависимости от частоты приложенного к ней внешнего электрического поля.

Приведенная на графике кривая теоретически может быть применена и к другим электрохимическим системам.

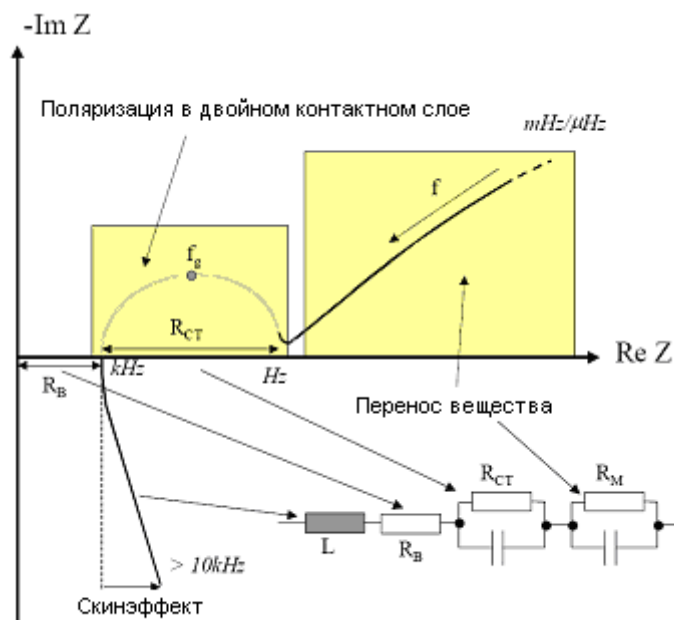


Рис. 9: Функция полного внутреннего сопротивления от частоты и эквивалентная электрическая схема аккумулятора [8].

Из графика на рисунке 9 следует, что в диапазоне частот от мкГц/мГц до единиц Герц преобладают достаточно инерционные процессы, связанные с превращением химических веществ. Они отображены на эквивалентной электрической схеме в виде электрохимической емкости (емкости заряда или разряда) и сопротивления утечки R_M (соответствующего току саморазряда). Полное сопротивление в указанном диапазоне частот имеет активно-емкостный характер.

В диапазоне частот свыше Гц и до кГц полярность внешнего электрического поля меняется настолько быстро, что перенос веществ и их химические превращения происходят не успевают. Здесь в действие вступают приграничные эффекты, связанные с поляризацией контактных слоев разнородных проводников. Это означает, что внешняя энергия (энергия внешнего электрического поля) не приводит к реакциям заряда или разряда аккумулятора, а только переориентирует диполи в двойном контактном слое на границе металл-электролит. На эквивалентной схеме это показано, как емкость двойного слоя и сопротивление утечки R_{CT} . Полное сопротивление в указанном диапазоне частот имеет активно-емкостный характер.

Следующий диапазон частот, простирающийся от кило Герц и до значений порядка 10кГц, характеризуется отсутствием реактивных составляющих в сопротивлении батареи. Сопротивление носит сугубо активный характер и определяется электрической проводимостью составляющих частей аккумулятора.

В диапазоне частот свыше 10 кГц батарея ведет себя как индуктивность (L).

Таким образом, рисунок 9 ярко иллюстрирует выраженную зависимость от частоты как импеданса батареи (Z), так и обратной ему величины – проводимости ($1/Z$). Данный факт следует принимать во внимание при проведении практических измерений величины емкости батареи.

2. Конструкция и материалы

2.1 Конструкция и сплав пластин

2.1.1 Положительные пластины

2.1.1.1 Пластины Плантэ

Положительная пластина типа Плантэ (или GroE по первым буквам немецкого названия «Grossoberflächenplatte Eng**e**inbau» - пластина большой поверхности) представляет собой электрод ламельного типа, изготовленный из химически чистого свинца (Pb). Чистый свинец обеспечивает высокую коррозионную стойкость и максимально возможный срок службы.



Рис. 10: Формованная положительная пластина Плантэ

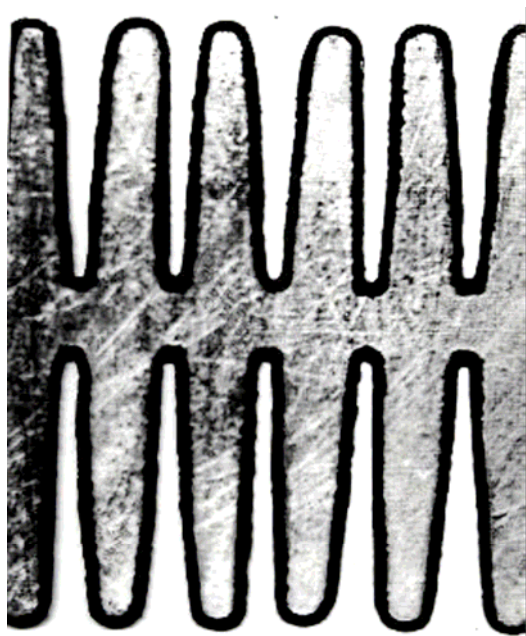


Рис. 11: Ламельная структура формованной положительной пластины Плантэ [3]

Активная масса представляет собой тонкий слой двуокиси свинца на поверхности ламельного электрода (рис. 11). Результатом такой структуры является минимально возможное расстояние до электролита и токоведущей части пластины, а также оптимальный морфологический контакт с решеткой. Преимущество описанной конструкции выражается в высочайших разрядных характеристиках и сверхдлительном сроке службы.

2.1.1.2 Трубчатые пластины

Положительные пластины класса OPzS (по первым буквам немецкого названия «Ortsfeste Panzerplatte Sonderseparation» - стационарная батарея с трубчатой пластиной) и OCSM (по первым буквам немецкого названия «Ortsfeste Kupfer (Cu)-Streck Metall» - стационарная батарея с пластиной из тянутой меди) представляют собой пластины трубчатого типа, механической основой и токоведущей частью которых служат стержни из сплава свинца и сурьмы (PbSb). На пониженное содержание сурьмы в сплаве решетки указывает аббревиатура LA (Low Antimony), количественно она означает, что содержание сурьмы (Sb) в сплаве не превышает 3%.

Сурьма обеспечивает хороший электрический контакт активной массы с проводником тока (свинцовой решеткой), механическую устойчивость пластин и высокие показатели в режиме циклирования.

Трубчатые пластины применяются также в классе аккумуляторов OPzV (по первым буквам немецкого названия «Ortsfeste Panzerplatte Verschlossen» - стационарная герметизированная батарея с трубчатой пластиной), но не содержат в своем составе сурьмы. Сплав решеток положительных пластин OPzV состоит из свинца, олова и кальция (PbSnCa).

Причина изменения состава сплава решеток пластин батарей с клапанным регулированием (к которым относится класс аккумуляторов OPzV) заключается в том, что сурьма, наряду с полезными свойствами, обладает особенностью, противоречащей концепции герметизированных аккумуляторов, а именно увеличивает газовыделение элемента. В сплаве свинца, олова и кальция олово выполняет функцию сурьмы в части адгезии активной массы к решетке пластины и устойчивости в циклических режимах эксплуатации. Кальций придает пластинам механическую прочность.

Легирование пластин оловом и желеобразный электролит лежат в основе конструкции герметизированных батарей для циклических применений. Добавление фосфорной кислоты (H_3PO_4) в желеобразный электролит батарей "Sonnenschein Solar" уравнивает их по возможному количеству циклов заряда-разряда с аккумуляторами, электролит которых находится в свободном состоянии.

При изготовлении решеток трубчатых пластин применяется метод литья под давлением. Такая технология обеспечивает мелкокристаллическую структуру несущих стержней и, как следствие, высокую коррозионную устойчивость.

Активный материал внутри трубок удерживается при помощи специального защитного чехла, поэтому пластины данной конструкции иногда также называют «панцирными» от немецкого «Panzerplatter». Трубчатый чехол изготавливается из синтетического нетканого материала.

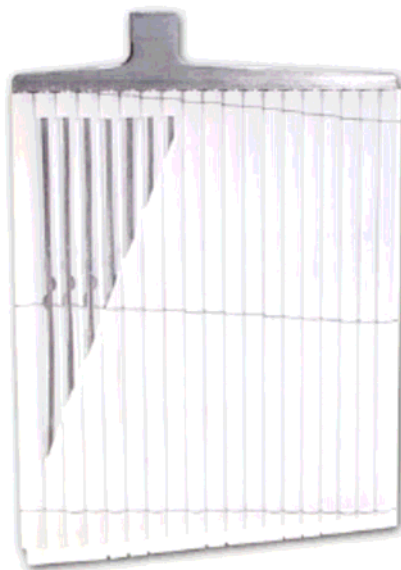


Рис. 12: Вид положительной трубчатой пластины аккумуляторов типа OPzS, OCSM и OPzV (демонстрируемая пластина не заполнена активной массой, часть поверхности чехла срезана).

2.1.1.3 Намазные пластины

Решетки положительных намазных пластин производятся методом гравитационного литья. Состав сплава зависит от назначения пластины:

- для батарей с жидким электролитом применяется сплав свинца и сурьмы (PbSb) с низким процентным содержанием сурьмы ($Sb < 3\%$). В качестве характерного примера можно привести положительную намазную пластину батарей типа OGi (по начальным буквам немецкого названия «Ortsfeste Gitterplatte» - стационарная батарея с намазной пластиной)
- для батарей с клапанным регулированием применяется сплав свинца, олова и кальция (PbSnCa) как для гель-батарей, так и в AGM- технологии. Типичным примером является батареи типа OGiV (по начальным буквам немецкого названия «Ortsfeste Gitterplatte Verschlossen» - стационарная батарея с намазной пластиной герметизированная)

Соотношение легирующих элементов (сурьмы, олова и кальция) такое же, как и в положительных трубчатых пластинах (п. 2.1.1.2).



**Рис. 13: Намазная положительная пластина
(в целях демонстрации активная масса частично удалена).**

2.1.2 Коррозия как определяющий фактор окончания срока службы батарей

Окончание жизненного цикла свинцово-кислотной аккумуляторной батареи определяется, как правило, либо коррозией решеток в буферном применении, либо старением активного материала в режиме циклических нагрузок (см. 3.4). В случае свинцово-кислотного аккумулятора коррозия проявляется как процесс медленного превращения свинца в его двуокись.

Таким образом, в течение всего срока службы электрическая связь пластины с проводником тока постепенно ухудшается, а к концу срока службы может даже превратиться в обрыв электрической цепи. Необходимо различать два типа процесса коррозии токоведущих частей аккумулятора: последовательная послойная коррозия и так называемая межкристаллитная коррозия, которая проникает глубоко в материал свинца по границам его гранул или кристаллов.

Реакции электрохимической коррозии в свинцово-кислотном аккумуляторе преимущественно подвержен положительный электрод, т.е. на положительном электроде захватываются атомы кислорода. Следовательно, соответствующее количество водорода, возникающего при разложении воды, будет выделяться на противоположном отрицательном электроде.

2.1.2.1 Межкристаллитная коррозия

Интергранулярная или межкристаллитная коррозия преобразует свинец в двуокись и развивается в основном на границах кристаллов свинца, что означает направленность процесса глубоко внутрь материала. Такой тип коррозии приводит к росту объема положительных пластин.

Предсказуемый рост пластин может быть компенсирован конструкцией и расположением в аккумуляторных элементах положительных трубчатых пластин и пластин Плантэ. Например, пластины Плантэ опираются своей верхней частью на специальные боковые выступы внутри бака аккумулятора, что позволяет им свободно расти вниз. Рост положительных намазных пластин приводит в основном к их разрушению, так как решетка платины, корродируя, теряет механическую прочность.

Межкристаллитная коррозия может быть частично скомпенсирована составом сплава, методом отливки и конструкцией решеток.

2.1.2.2 Послойная коррозия

Послойная коррозия также превращает свинец в двуокись в сплаве решеток положительных пластин, только процесс протекает в основном на поверхности конструкций. Она не настолько разрушительна, как межгранулярная коррозия, так как не внедряется внутрь материала.

2.1.2.3 Адгезия активной массы за счет коррозии

Следующий рисунок (см. рис. 14) демонстрирует поперечный разрез трубки положительной трубчатой пластины. В структуре материалов хорошо различимы свинцовый стержень и активная масса с промежуточным слоем коррозии, обеспечивающим адгезию к решетке.

Сцепление активной массы с решеткой возможно только через переходный слой – слой коррозии на поверхности решетки пластины.

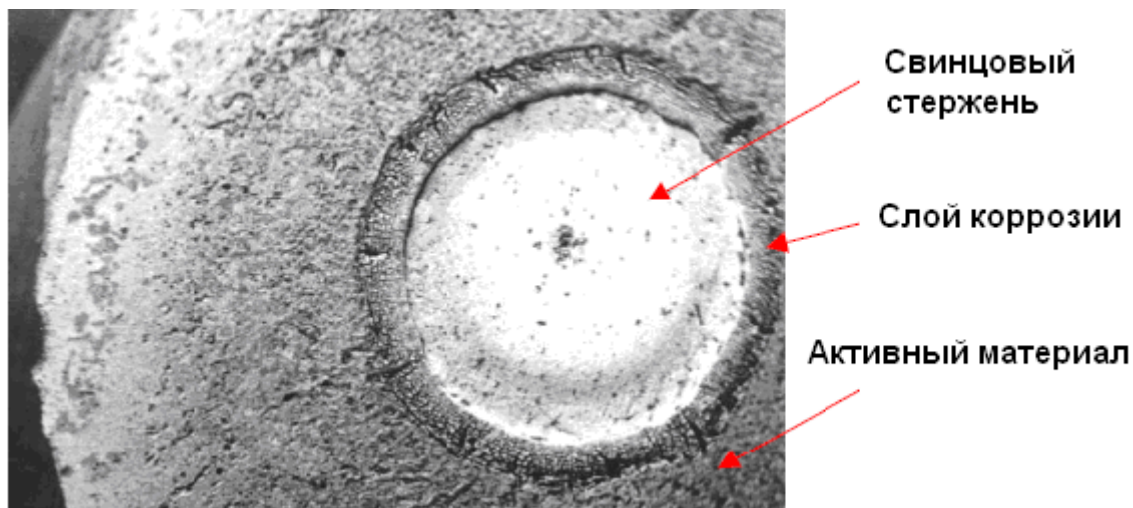


Рис. 14: Вид поперечного разреза трубки положительной трубчатой пластины.

То есть с одной стороны коррозия свинца – это необходимый процесс, обеспечивающий адгезию активной массы с материалом свинцовой решетки, а с другой стороны – это фактор, ограничивающий срок службы всех свинцовых батарей.

2.1.3 Отрицательные пластины

2.1.3.1 Намазные пластины

Решетки отрицательных намазных пластин производятся методом гравитационного литья, затем на них наносится активная масса (см. 2.1.1.3). При изготовлении пластин аккумуляторов с жидким электролитом применяются сплав свинца с добавлением сурьмы (PbSb), для герметизированных аккумуляторов – сплав свинца, олова и кальция (PbSnCa).

2.1.3.2 Пластины с решеткой из тянутой меди

Отрицательные пластины для батарей класса OCSM изготавливаются на основе медных решеток со свинцовым покрытием, которые затем заполняются отрицательной активной массой.

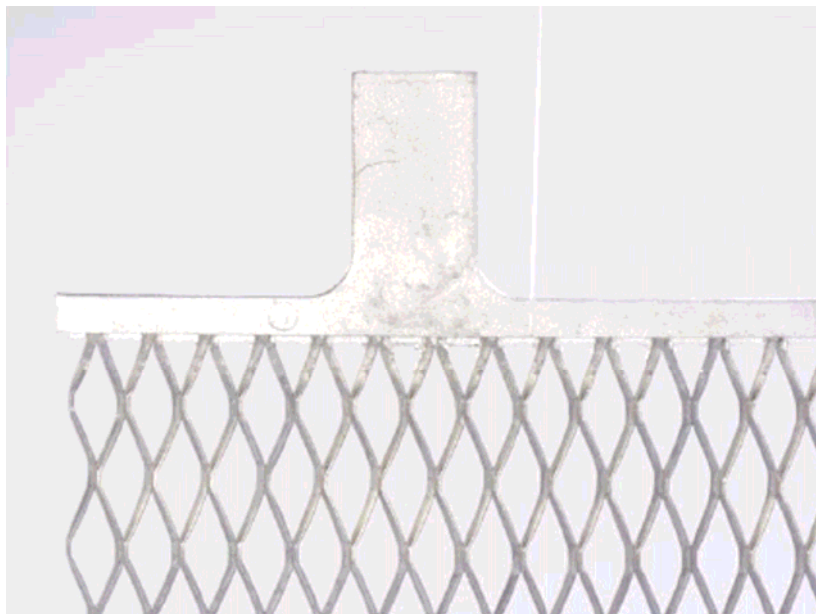


Рис. 15: Медная решетка со свинцовым покрытием

Преимущество медных решеток по сравнению со свинцовыми заключается в высокой проводимости меди (в 4 раза большей проводимости свинца). В результате падение напряжения, особенно в режиме разряда высокими токами, оказывается меньше, поэтому и суммарная энергия [3], снимаемая с аккумулятора до достижения конечного напряжения разряда, возрастает.

2.2 Сепараторы

2.2.1 Батареи с жидким и гель-электролитом

В качестве сепараторов используются листы из микропористого, не проводящего электричество, кислотостойкого и стойкого к окислению материала. Сепараторы имеют ребра с обеих сторон, как со стороны отрицательной, так и со стороны положительной пластин. Функция сепараторов заключается в электрической изоляции отрицательных и положительных пластин аккумулятора друг от друга, вместе с тем сепараторы не должны препятствовать миграции ионов электролита между пластинами. Ребра на поверхности сепараторов в вентилируемых аккумуляторах обеспечивают более легкий выход на поверхность пузырьков газа, выделяющего в режиме заряда.

Тип сепаратора зависит от конструкции, назначения батарей, а также от технологии их производства.

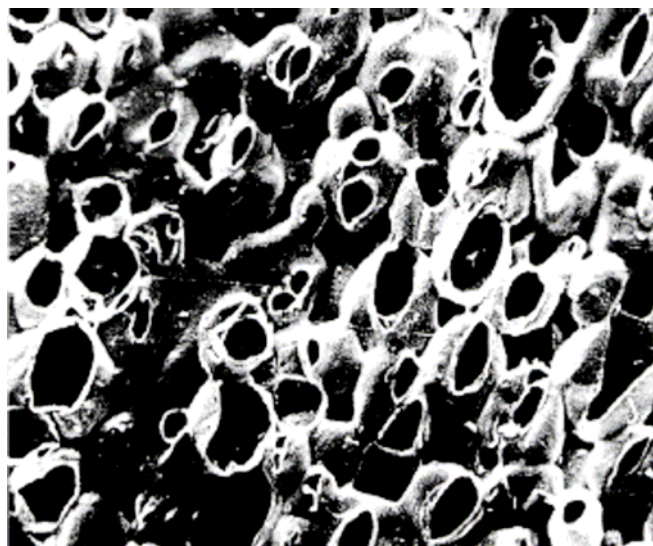


Рис. 16: Поверхность сепаратора, увеличенная в 500 раз [3]



Рис. 17: Поверхность сепаратора, увеличенная в 2500 раз [3]

Для изготовления сепараторов применяются следующие материалы:

- PE (ПолиЭтилен)
- Фенольная смола
- PVC (ПолиВинилХлорид)

2.2.2 AGM-батареи

Для батарей данного типа характерно применение сепараторов из микроволокна, которые выполняют не только функцию разделения пластин противоположного знака, но и сами служат резервуаром для электролита (см. 2.3.3.2). На рисунке 18 показан микроволокнистый сепаратор под увеличением.

Он состоит из тончайших стеклянных волокон различного диаметра и длины, для усиления могут применяться включения синтетического волокна.

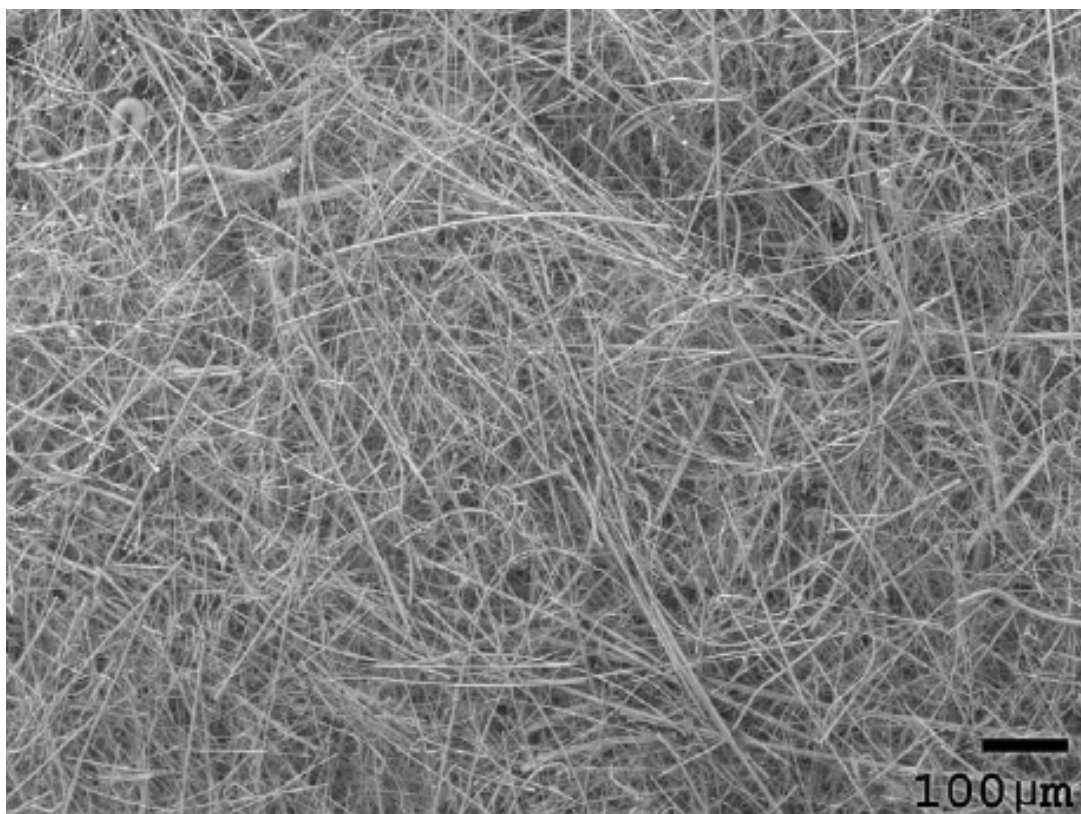


Рис. 18: Микроволокнистый сепаратор, состоящий из стеклянных волокон переменной длины и толщины

2.3 Электролит

2.3.1 Основные понятия

Электролит, применяемый в свинцово-кислотных аккумуляторах, представляет собой водный раствор серной кислоты H_2SO_4 . В противоположность другим электрохимическим системам электролит свинцово-кислотных аккумуляторов участвует в токообразующей реакции и меняет свою плотность – уменьшает при разряде за счет образования воды (см. 1.1). Это означает, что плотность электролита разряженной свинцово-кислотной батареи будет значительно ниже, чем тот же показатель в заряженном состоянии. Данный факт определяет основные отличия батарей свинцово-кислотной группы от других электрохимических систем и, в частности, характер их поведения при отрицательных температурах, особенно при температурах ниже $-5^{\circ}C$. Дело в том, что температура замерзания электролита при его разбавлении повышается, электролит при замерзании расширяется, и, следовательно, на морозе существует риск разрыва корпуса разряженного аккумулятора и/или разрушения активных масс.

В вентилируемых свинцово-кислотных аккумуляторах электролит пребывает в жидкой фазе (см. 2.3.2). В батареях VRLA электролит находится в связанном состоянии: либо загущен до консистенции геля в гель-батареях (см. 2.3.3.1) либо впитан в стекловолокнистый сепаратор в AGM-батареях (см. 2.3.3.2).

2.3.2 Свободный (жидкий) электролит

Жидкий электролит также называется свободным электролитом и применяется в вентилируемых батареях. Массовая доля серной кислоты, в зависимости от требуемой плотности раствора, может составлять от 30 до 40 процентов.

2.3.3 Электролит в связанном состоянии

2.3.3.1 Фиксация электролита в геле

Сначала разбавленная серная кислота смешивается с порошком аморфной двуокиси кремния SiO_2 . При интенсивном перемешивании твердая двуокись кремния и жидкий раствор серной кислоты образуют вязкое вещество. При помощи специального оборудования данной смесью заполняются аккумуляторные элементы. После нескольких часов покоя электролит приобретает еще большую вязкость и превращается в субстанцию молочного цвета – в Гель.

Такое поведение носит название тиксотропного эффекта (по аналогии с кетчупом) и означает фиксацию электролита в тиксотропном геле. Водородные связи и силы Ван Дер Ваальса удерживают электролит в устойчивой трехмерной структуре.

Гель заполняет весь доступный объем аккумуляторного элемента или блока, за исключением его верхней части непосредственно под крышкой.

В геле всегда существуют микротрещины, по которым осуществляется перемещение газообразного кислорода между положительной и отрицательной пластинами. Таким образом, обеспечиваются условия рекомбинации воды внутри аккумуляторного элемента.

2.3.3.2 Фиксация электролита в AGM

Аббревиатура AGM образуется по первым буквам слов Absorbent Glass Mat (абсорбирующий стеклянный мат / матрица). Сепаратор в AGM-технологии выполняет две функции – служит резервуаром электролита и электрически разделяет пластины разных знаков (см. 2.2.2). Стекловолоконный сепаратор является относительно крупнопористым в отличие от микропористого сепаратора гель-батарей.

Весь находящийся в аккумуляторе электролит впитан в сепаратор и отсутствует в свободном пространстве внутри бака.

Выделяющийся в процессе заряда кислород перемещается от положительного электрода к отрицательному через свободные поры, образованные стекловолокном, таким образом, обеспечиваются условия для реализации процесса внутренней рекомбинации газа (см. 1.5.3). Высокая пористость стекловолокна обеспечивает высокую впитываемость жидкости - до 95-97% объема сепаратора.

2.4 Корпуса аккумуляторов (баки и крышки)

Для изготовления баков и крышек свинцово-кислотных аккумуляторов применяются следующие материалы:

- SAN (Стирол Акрилонитрил)
- ABS (Акрилонитрил Бутадиен Стирол)
- ABS + PC (смесь ABS с поликарбонатом)
- PP (полипропилен)

В последующих главах перечисленные материалы будут рассмотрены с точки зрения их горючести и воспламеняемости в соответствии со стандартом UL 94 [9].

Баки аккумуляторных элементов имеют небольшую коничность для более легкого извлечения из литейных форм. Из-за этого при их установке на недостаточно ровной поверхности может возникнуть зрительное впечатление кривизны.

2.4.1 Корпуса аккумуляторов с жидким электролитом

Аккумуляторы с жидким электролитом имеют прозрачные корпуса. Одной из причин применения прозрачных корпусов является необходимость контроля уровня электролита. Материалы указаны в таблице 5.

Тип батарей	Материал	Классификация по UL
GroE, OPzS, OGi, OCSM	SAN	UL 94-HB

Таблица 5: Материалы баков и крышек батарей с жидким электролитом

2.4.2 Корпуса герметизированных аккумуляторов

2.4.2.1 Корпуса аккумуляторов с гель-электролитом

В таблицах 6-11 перечислены материалы корпусов различных типов аккумуляторов с классификацией по стандарту UL 94 [9].

Емкость	Материал	Классификация по UL
Стандартное исполнение		
≤ 12 Ач	ABS	UL 94-HB
> 12 Ач	PP	UL 94-HB
Опционально		
≤ 12 Ач	ABS	UL 94-V0
> 12 Ач	PP	UL 94-V2

Таблица 6: Материал баков и крышек батарей серии A400

Емкость	Материал	Классификация по UL
Стандартное исполнение		
≤ 16 Ач	ABS	UL 94-HB
> 16 Ач	PP	UL 94-HB
Опционально		
≤ 16 Ач	ABS	UL 94-V0
> 16 Ач	PP	UL 94-V2

Таблица 7: Материал баков и крышек батарей серии A500

	Материал	Классификация по UL
Стандартно	ABS	UL 94-HB
Опция	ABS	UL 94-V0

Таблица 8: Материал баков и крышек батарей серии A600 и A600 SOLAR

	Материал	Классификация по UL
Стандартно	ABS	UL 94-HB
Опция	ABS + PC	UL 94-V0

Таблица 9: Материал баков и крышек батарей серии A600 блок.

Материал	Классификация по UL
PP	UL 94-HB

Таблица 10: Материал баков и крышек батарей серии A700

Емкость	Материал	Классификация по UL
Стандартное исполнение		
≤ 17 Ач (только SOLAR)	ABS	UL 94-HB
> 17 Ач	PP	UL 94-HB
Опционально		
≤ 17 Ач (только SOLAR)	ABS	UL 94-V0
> 17 Ач	PP	UL 94-V2

Таблица 11: Материал баков и крышек батарей серий SOLAR и SOLAR BLOCK

2.4.2.2 Деформация гелевых батарей

Гелевые батареи работают с избыточным внутренним давлением около 0,1 – 0,15 бар (что соответствует давлению открытия клапана).

Внутреннее давление приводит к незначительному раздуванию корпуса аккумулятора.

Если батарея выведена из эксплуатации, то небольшой естественный саморазряд, охлаждение в состоянии покоя, диффузия газа через стенки и другие внутриэлементные химические реакции, могут вызвать обратный эффект – сдавливание корпуса, так как регулирующий клапан в ситуации, когда внутреннее давление аккумулятора ниже атмосферного, не открывается и выравнивание давления не происходит. Внешне это выражается во втягивании внутрь стенок контейнера и крышки.

Деформация особенно может быть заметна на блочных батареях большой емкости с большой площадью наружной поверхности бака.

Вздутие боковых стенок контейнера на 2-3 мм укладывается в норму; значение в 5 мм превышать не должно. Все батареи, деформированные сильнее допустимых пределов должны подвергаться проверке.

Повышенная температура также способствует раздуванию, особенно если она выше +55 град.С.

Некоторое раздутие корпуса указывает на нормальную работу аккумулятора. Втягивание стенок может сигнализировать о глубоком разряде батареи.

2.4.2.3 Корпуса AGM-батарей

В таблицах 12-16 представлены материалы корпусов различных типов аккумуляторов с классификацией по стандарту UL 94 [9].

Емкость	Материал	Классификация по UL
Стандартное исполнение		
Все емкости	PP	UL 94-HB
Опционально		
Все емкости	PP	UL 94-V0

Таблица 12: Материал баков и крышек батарей серии Marathon L и Sprinter P.

Емкость	Материал	Классификация по UL
Стандартное исполнение		
Все емкости (кроме 30 и 45Ач)	PP	UL 94-HB
Опционально		
Все емкости	PP	UL 94-V0
FT: 35, 50, 60 TT: 45	PP (галогено- несодержащие)	UL 94-V0

Таблица 13: Материал баков и крышек батарей серии Marathon M.

Материал	Классификация по UL
PP	UL 94-HB

Таблица 14: Материал баков и крышек батарей серии Sprinter P

Материал	Классификация по UL
PP	UL 94-HB

Таблица 15: Материал баков и крышек батарей серии Powerfit S 500

Материал	Классификация по UL
ABS	UL 94-V2

Таблица 16: Материал баков и крышек батарей серии Powerfit S 300

2.5 Конструкция и герметизация вывода

Конструкция вывода и способ герметизации полюса зависит от типа аккумуляторной батареи и размера элемента или блока.

2.5.1 GroE, OCSM, OPzS-блоки и A600-блоки (OPzV-блоки)

Элементы типа GroE и OCSM оборудуются так называемым «запатентованным полюсом HAGEN» (см. рис. 19 и 20), который абсолютно непроницаем для электролита. Такой дизайн не допускает вертикальное перемещение полюса, так как уплотнение организовано посредством горизонтального упорного кольца (O-ring). Данный тип конструкции вывода успешно применяется, начиная с 1984 года.

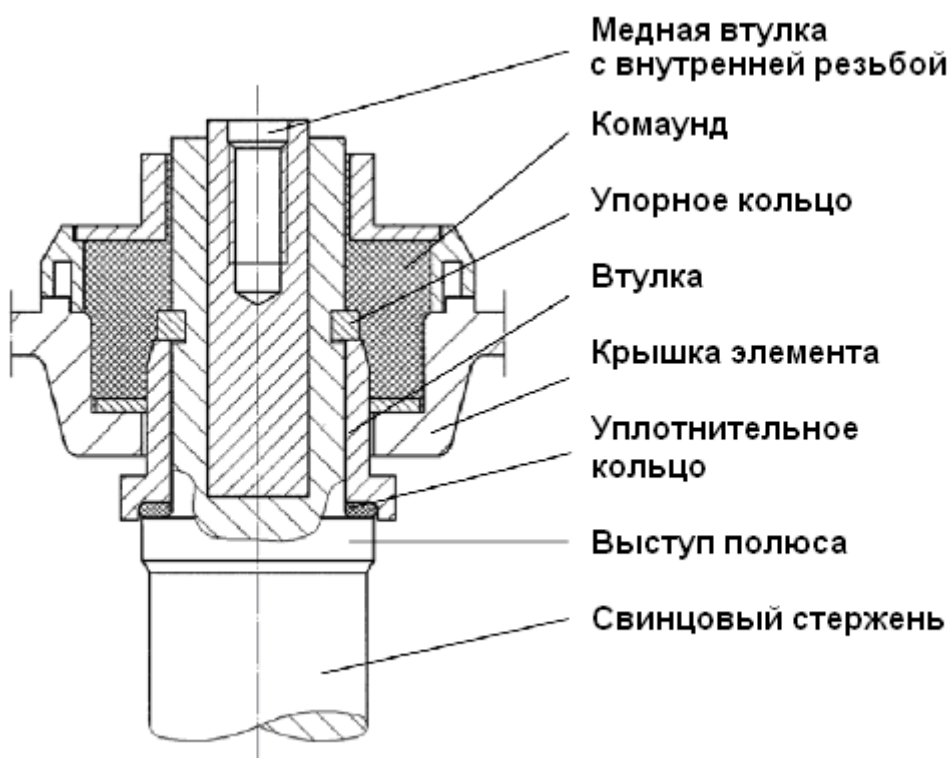


Рис. 19: Конструкция запатентованного полюса HAGEN

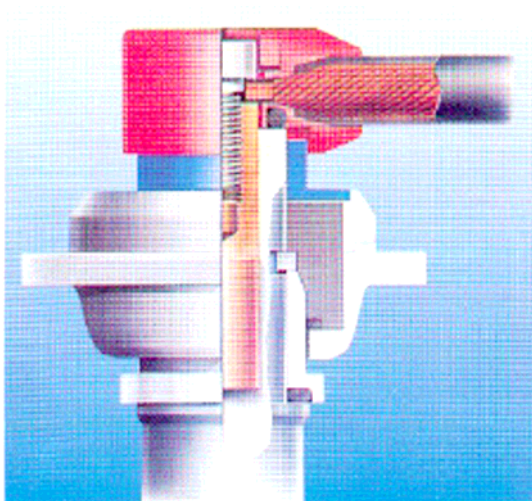


Рис. 20: Полюс HAGEN в разрезе

2.5.2 OPzS и A600 (OPzV)

Батареи серий OPzS и OPzV оснащаются выводом, называемом «запатентованный Sonnenschein полюс» (см. рис. 21 и 22), который играет особенно важную роль в конструкции OPzV (см. 2.1.2.1).

Применение двойного уплотнительного кольца (two O-ring) позволяет положительному полюсу несколько выдвигаться вверх в ходе эксплуатации, при этом элемент продолжает оставаться герметизированным для электролита и выделяемого газа. Данный тип герметизации вывода успешно применяется, начиная с 1984 года.

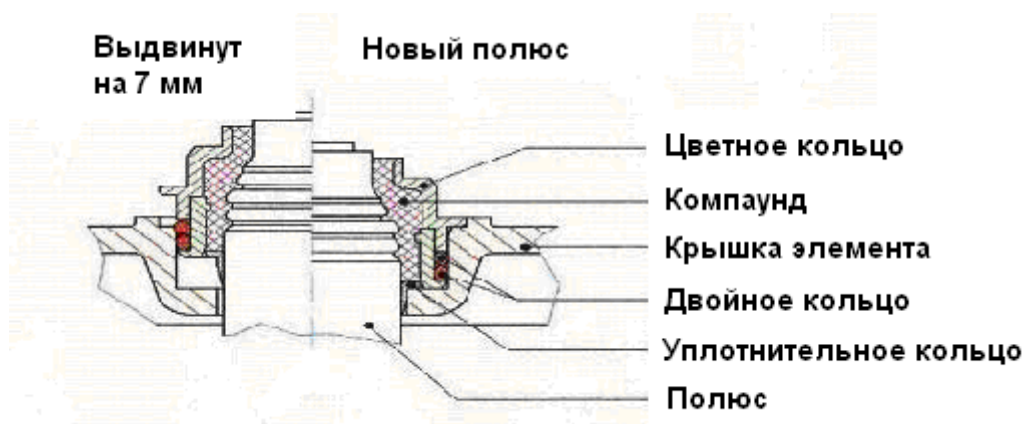


Рис. 21: Конструкция Sonnenschein-полюса. Справа – вид вывода нового аккумулятора. Слева – выдавливание полюса на 7 мм в результате роста пластин.



Рис. 22: Sonnenschein-полюс в разрезе

2.5.3 OGi, Powerfit S500, Marathon L и Sprinter P

Конструкция и герметизация выводов варьируется в зависимости от типа аккумуляторных батарей. Различные виды выводов представлены ниже на рисунках 23-28.

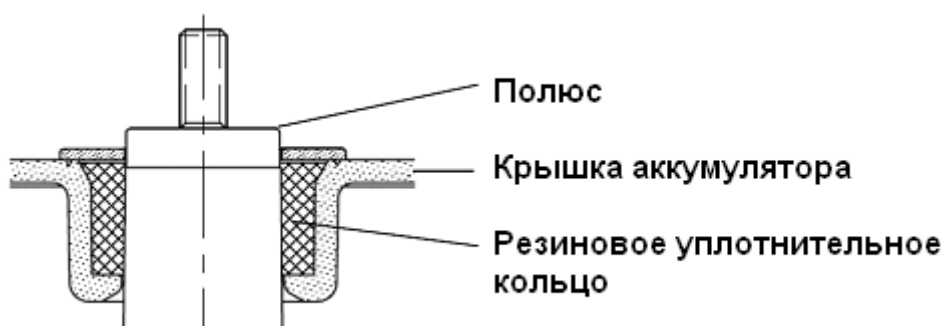


Рис. 23: Батареи серий Marathon L, Sprinter P, Powerfit S500 (15-80 Ач)

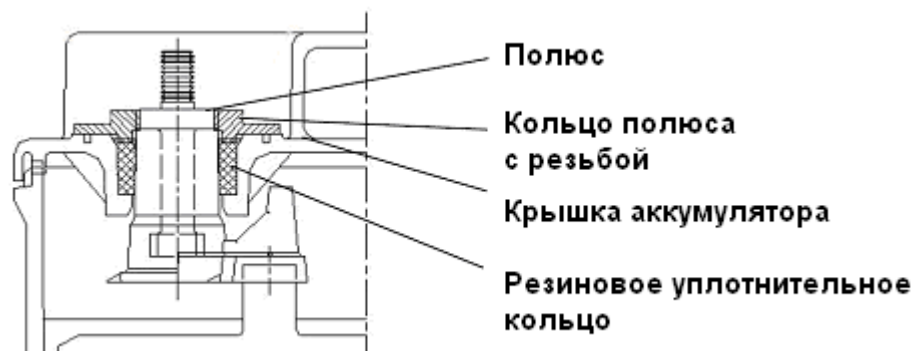


Рис. 24: Батареи серий Marathon L, Sprinter P, Powerfit S500 (110-160 Ач)

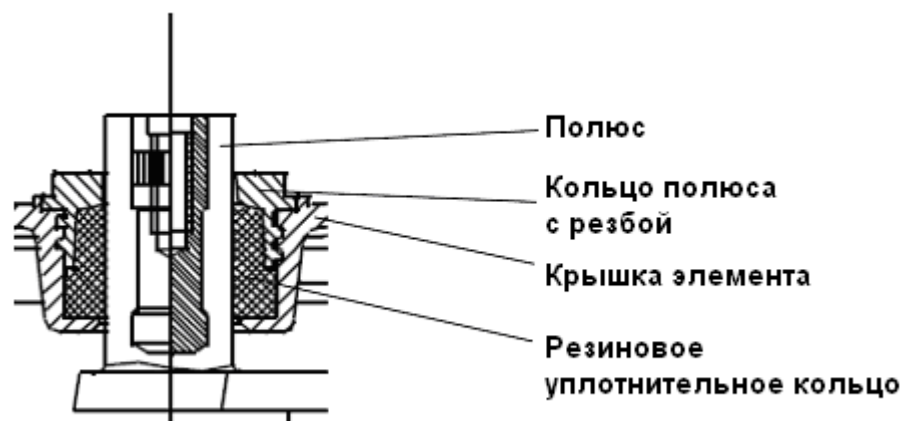


Рис. 25: Батареи серии Marathon L (220-575 Ач)

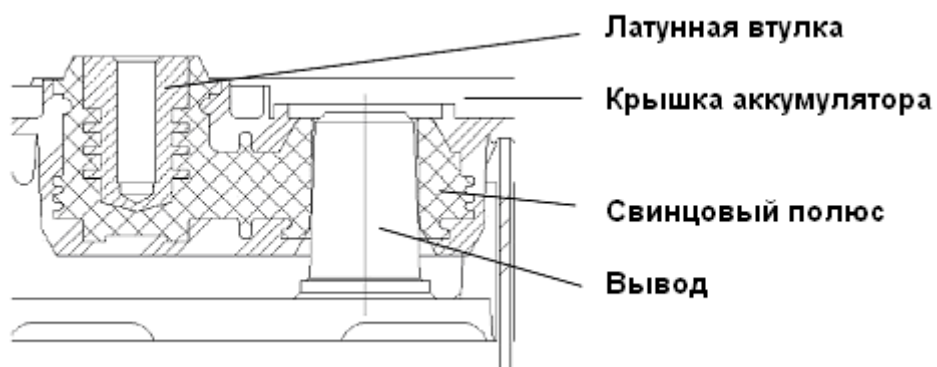


Рис. 26: Батареи серий Marathon M, Sprinter S (блочные батареи с верхним выводом)

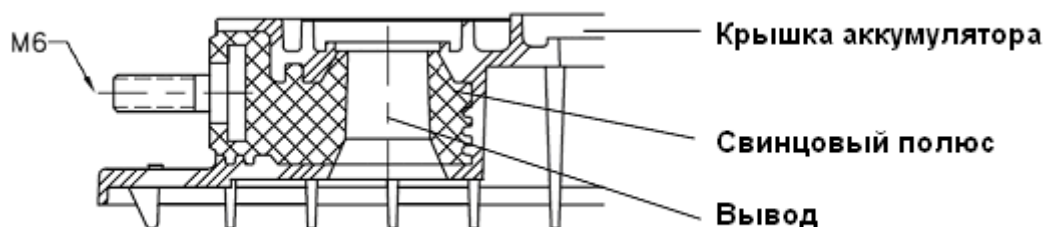


Рис. 27: Батареи серии Marathon M/FT (35, 50, 60 Ач)

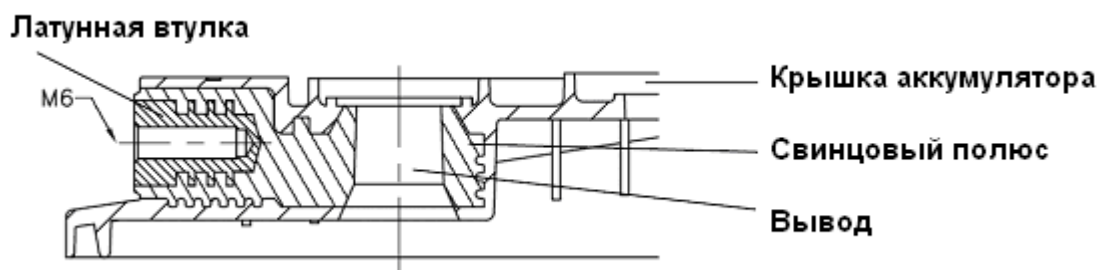


Рис. 28: Батареи серии Marathon M/FT (90, 105, 125, 155 Ач)

2.5.4 A400, A700 и A500

Конструкция вывода и способ герметизации зависят от типа и емкости батареи.

Рисунок 29 демонстрирует из видов вывода, характерных для блочных аккумуляторов с гель-электролитом. Герметизация вывода организована при помощи лабиринтного уплотнения с пластиковым покрытием.

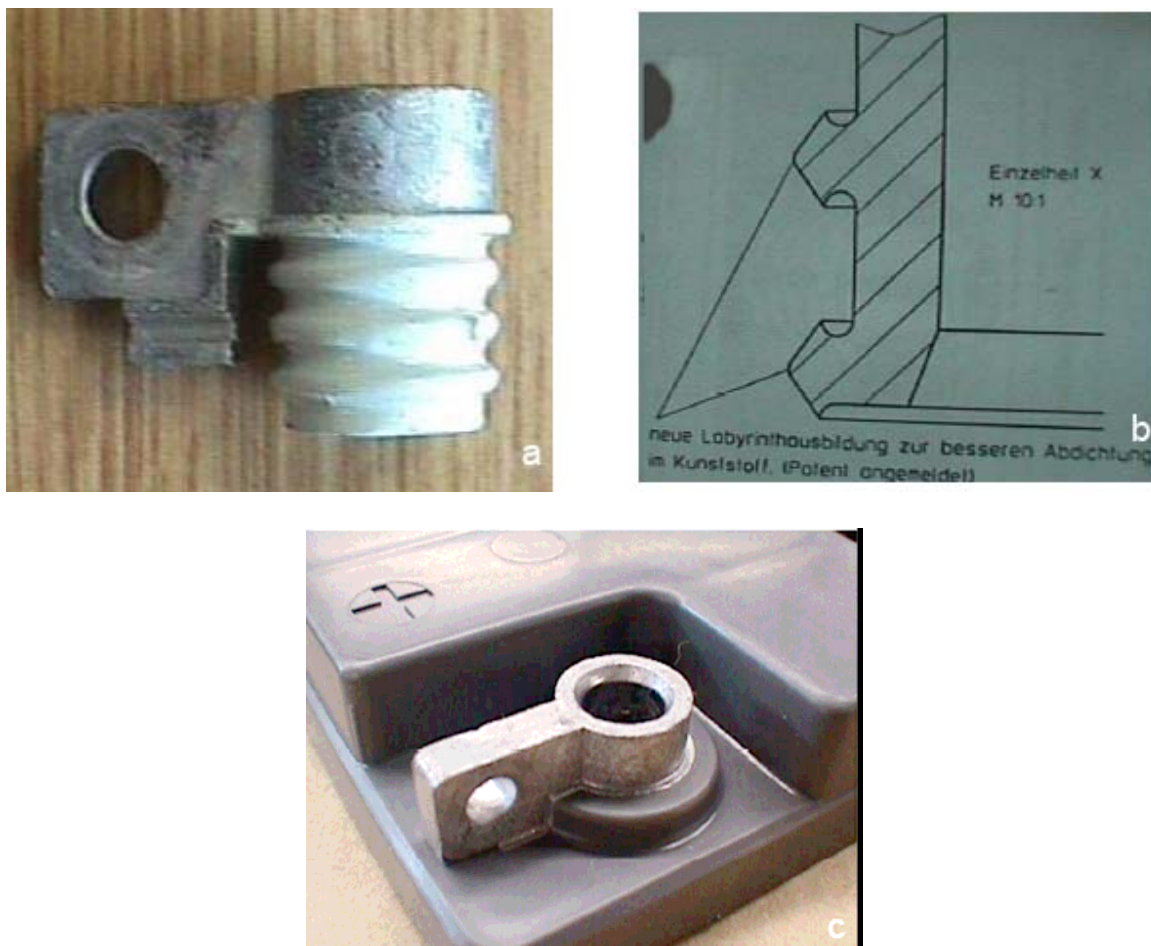


Рис. 29: Тип вывода батарей A400, A700 и A500.

29a: вид полюса с покрытием;

29b: форма лабиринта;

29c: крышка аккумулятора с установленным выводом (до сварки).

2.5.5 Количество полюсных пар

Конструкция аккумуляторов высокой емкости предусматривает наличие нескольких пар выводов (до 4-х). Данное решение обусловливается протеканием высоких разрядных токов, которые в случае наличия нескольких полюсных пар распределяются между параллельными выводами и соединителями.

2.6. Конструкции пробок и клапанов избыточного давления

2.6.1 Пробки для батарей с жидким электролитом

2.6.1.1 Лабиринтные пробки

Внешний вид лабиринтной пробки представлен на рисунке 30. Лабиринтные пробки служат для конденсации и возврата внутрь аккумулятора мельчайших капелек кислоты, которые выносятся из объема электролита вместе с пузырями газа.



Рис. 30: Пример лабиринтной пробки

2.6.1.2 Керамические фильтр-пробки

Керамическая фильтр пробка с одной стороны позволяет газу свободно вытекать через поры в керамике, с другой стороны она защищает аккумуляторный элемент от попадания внутрь него внешних искр и воспламенения (см. рис. 33).



Рис. 31: Керамическая фильтр-пробка

2.6.1.3 Керамическая фильтр-пробка с воронкой для доливки воды

Керамическая фильтр-пробка, показанная на рисунке 32, выполняет те же функции, что и рассмотренная в предыдущем разделе, но кроме этого она снабжена воронкой, что позволяет производить доливку дистиллированной воды в аккумуляторные элементы, измерение температуры и плотности электролита без демонтажа пробки.



Рис. 32: Керамическая фильтр-пробка с воронкой

На рисунке 33 схематически изображены процессы, происходящие в фильтр-пробке. Газ свободно проходит через материал керамики. Аэрозоли электролита конденсируются и поступают назад в аккумулятор. Защита от воспламенения реализуется за счет того, что внешняя искра не может проникнуть внутрь элемента ни через керамическую стенку пробки, ни через столб жидкости внутри воронки.

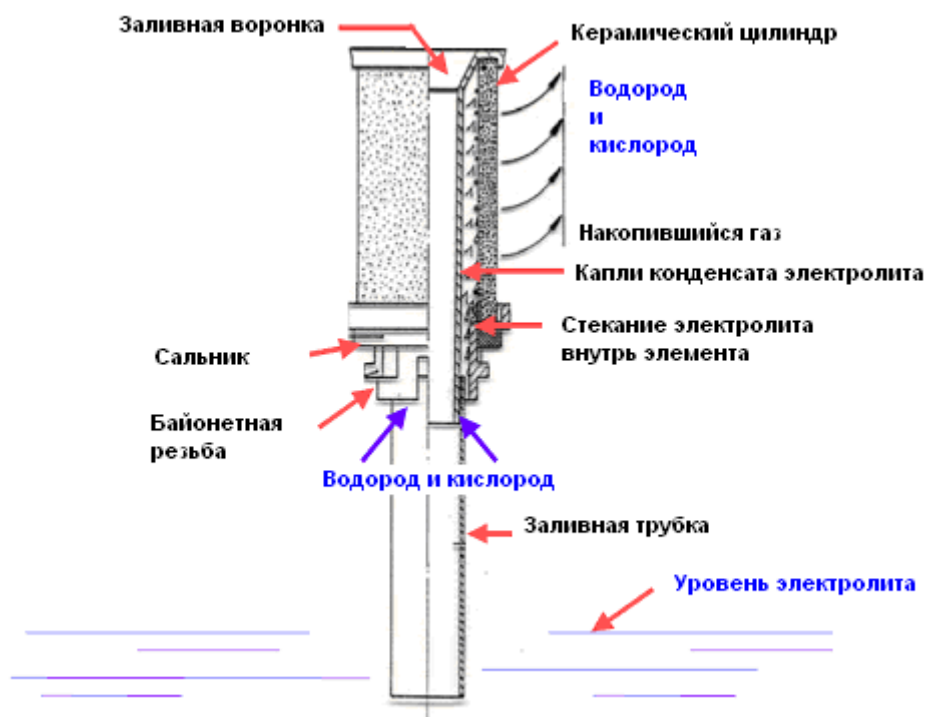


Рис. 33: Схема процессов, протекающих внутри фильтр-пробки.

2.6.2 Клапаны герметизированных батарей

Все герметизированные батареи оборудованы клапанами с самоуплотнением. В нормальном режиме работы клапан закрыт. Однако если внутреннее давление элемента нарастает, то клапан в некоторый момент открывается, и давление внутри элемента уравнивается с атмосферным. После этого клапан снова закрывается, и элемент опять становится изолированным от окружающего пространства. Внутреннее давление аккумулятора растет быстрее в жестких условиях эксплуатации, таких как повышенное напряжения заряда и температура окружающей среды, следовательно, открытие клапана в таких условиях происходит чаще.

2.6.2.1 Клапаны для батарей с гель-электролитом

Так называемый «Sonnenschein-клапан» наиболее часто применяется в конструкции аккумуляторов с гель-электролитом (см. рис. 34). По своему устройству клапан всегда применяется один и тот же, но он может сочетаться с различными адаптерами, зависящими от конструкции крышки, типа и емкости аккумулятора (см., например, рис. 35 и 36).

Клапан, применяющийся для всех гелевых батарей и некоторых типов AGM-аккумуляторов, представлен на рисунке 34.

Давления срабатывания (р) клапана следующие:

Открытие: $180 \geq p \geq 60$ мбар

Закрытие: $155 \geq p \geq 30$ мбар

Клапаны изготовлены из материала, не поддерживающего горение. Все вместе это означает (с учетом внутреннего устройства лабиринтного типа), что клапан избыточного внутреннего давления представляет собой надежную систему защиты от воспламенения и проникновения внешних искр в пространство под крышкой аккумулятора.

Клапан был классифицирован по стандарту UL ("Yellow card" MH 12546) в соответствии с UL 924 [10].

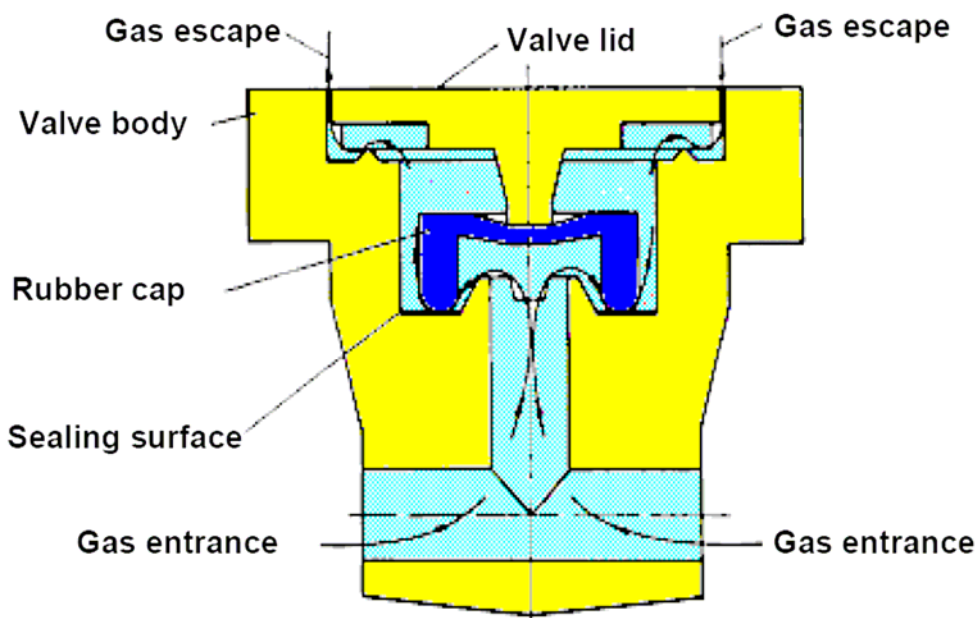


Рис. 34: Система регулирования внутреннего давления батарей Sonnenschein с электролитом в виде геля. Клапан без адаптера и защитной крышки.

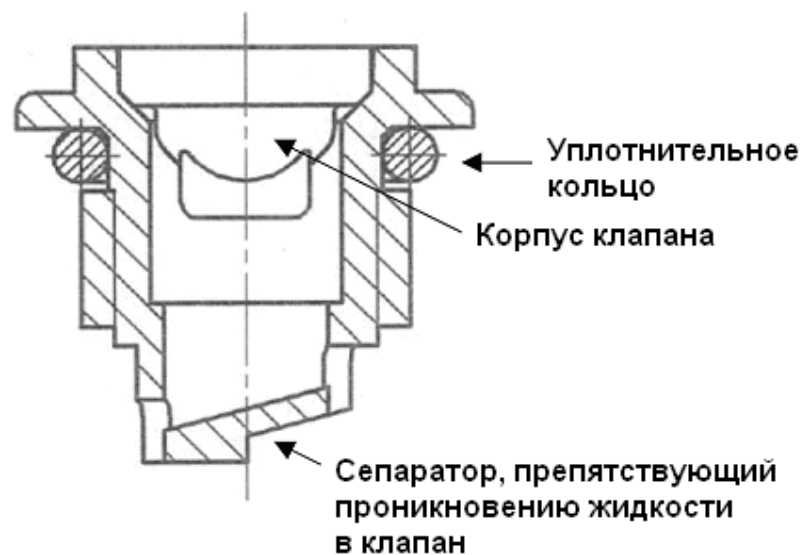


Рис. 35: Клапан Sonnenschein в адаптере M18

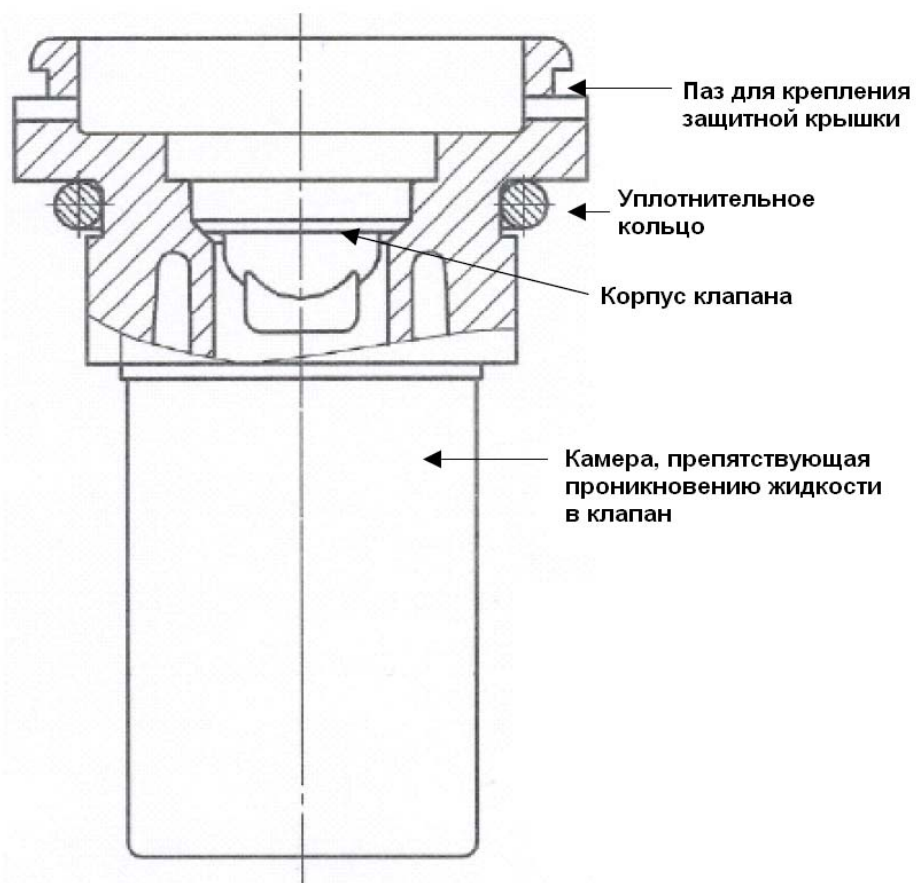


Рис. 36: Клапан Sonnenschein в адаптере M27 без защитной крышки (применяется в конструкции OPzV).

2.6.2.2 Клапаны для AGM-батарей

Конструкции клапанов для батарей AGM показаны на рисунках 37, 38 и 39.

Давления срабатывания (p) клапанов следующие:

Marathon L, Sprinter P, Powerfit S:	180 mbar
Marathon L-элементы:	от 60 до 180 mbar
Marathon M, Sprinter S:	от 175 до 350 mbar

Клапаны батарей Marathon M и Sprinter S изготавливаются из материала, не поддерживающего горение. Это означает, что конструкция клапана в сочетании с конструкцией крышки препятствует проникновению пламени внутрь аккумулятора и возгоранию находящейся там газовой смеси.

2.6.2.2.1 Конструкция клапана для батарей серий Marathon L, Sprinter P, Powerfit S

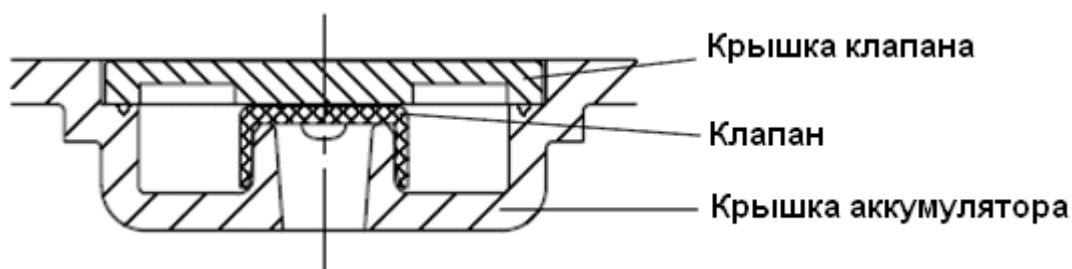


Рис. 37: Конструкция клапана Marathon L, Sprinter P и Powerfit S

2.6.2.2.2 Конструкция клапана для 2-вольтовых элементов серии Marathon L

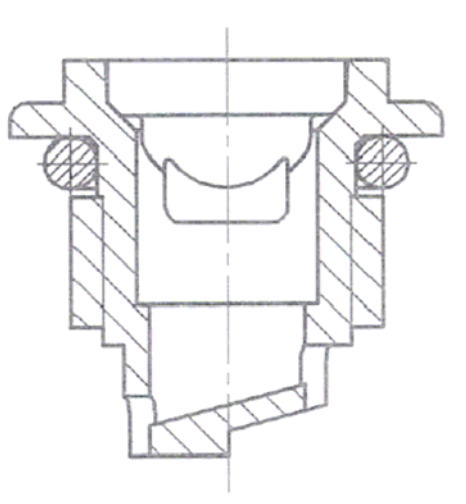


Рис.38: Конструкция клапана элементов Marathon L (см. также рис. 35)

2.6.2.2.3 Конструкция клапана для батарей серий Marathon M и Sprinter S

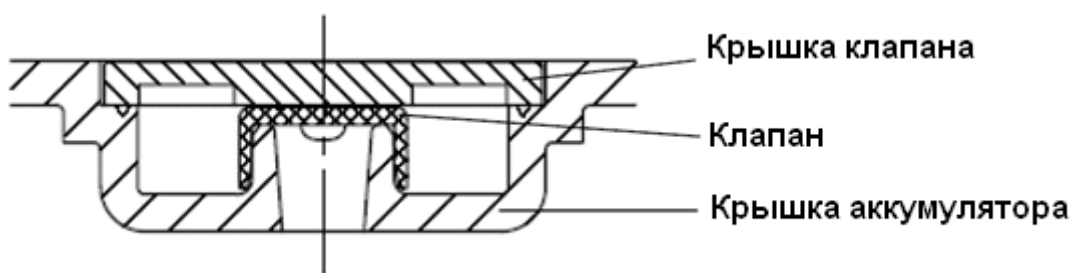


Рис. 39: Конструкция клапана Marathon M и Sprinter S

2.7 Соединители и соединения

2.7.1 Гибкие соединители

Батареи EXIDE Technologies как правило укомплектовываются межблочными и межэлементными соединителями, изготовленными из кабеля высокой гибкости. По сравнению со стандартной кабельной продукцией такие соединители способны выдерживать более высокие токи и, соответственно в равных условиях обеспечивают меньшие падения напряжения на данных вспомогательных проводниках.

К тому же гибкие соединители из-за собственной низкой упругости не дают механических нагрузок на выводы аккумуляторов в случае разноуровневого монтажа (как, например, между ступенями или полками стеллажей). Кроме того, за счет гибкости соединителей компенсируется их тепловое линейное расширение.

Для межэтажного и междурядного монтажа аккумуляторов применяются только гибкие соединители.

2.7.2 Жесткие соединители

Жесткие соединители по сравнению с гибкими значительно дешевле в производстве. Так как они обычно изготавливаются из медных шин, то с их помощью бывает очень просто организовывать соединения нестандартных поперечных сечений. Жесткие соединители применяются для межэлементного, реже межблочного, монтажа аккумуляторных батарей, и не применяются, как правило, для междурядных и межэтажных соединений.

2.7.3 Падение напряжения на соединителях

Все соединители, используемые с батареями EXIDE Technologies, имеют конструкцию, оптимизированную с точки зрения потерь по напряжению.

Падение напряжения на соединителях может быть рассчитано по следующей формуле:

$$\Delta U = \frac{L \cdot I}{\kappa \cdot A} \quad \left. \vphantom{\frac{L \cdot I}{\kappa \cdot A}} \right\} \text{ где}$$

ΔU : Падение напряжения в Вольтах

L : Длина соединителя в метрах

I : Ток разряда в Амперах

A : Площадь поперечного сечения соединителя в мм. квадратных

κ : проводимость меди

$$\kappa = 56 \frac{\text{м}}{\Omega \cdot \text{мм}^2}$$

2.7.4 Предельные токи для батарейных соединителей

Предельный ток определяется также как максимально допустимая токовая нагрузка. Применительно к батареям данный параметр относится к межэлементным либо межблочным, межэтажным и междурядным соединителям.

В стандарте DIN VDE 0298-4 [11] рассматриваются значения предельных токов для гибких кабелей.

В таблице «Предельные токи кабелей при номинальных напряжениях до 1000 Вольт» указанного стандарта приводятся величины максимально допустимых токовых нагрузок для одножильных кабелей в термостойкой резиновой или пластмассовой (ПВХ) изоляции при открытой прокладке и температуре окружающей среды 30°C. Соответствующие стандарту значения в зависимости от площади поперечного сечения проводника см. в таблице 17.

Площадь поперечного сечения, мм ²	Предельно допустимый ток, А
16	98
35	158
50	198
70	245
95	292
150	391

Таблица 17: Предельные токи кабелей в зависимости от площади поперечного сечения, в соответствии со стандартом DIN VDE 0298-4 [11]. Кабели одножильные, в термостойкой резиновой или ПВХ-изоляции, проложены в воздухе, температура окружающей среды +30°C.

При температурах окружающей среды, отличающихся от 30°C, для определения предельных токовых нагрузок на кабель, вводится коэффициент пересчета, в соответствии с DIN VDE 0298-4 [11]:

Температура, °C	Поправочный коэффициент
20	1.12
25	1.06
30	1.00
35	0.94
40	0.87
50	0.71
55	0.61

Таблица 18: Поправочный коэффициент для температуры окружающей среды, отличающейся от 30°C для кабелей с допустимой рабочей температурой +70°C, согласно DIN VDE 0298-4 [11].

Те значения предельных токов при соответствующих поперечных сечениях кабелей, которые упоминаются в стандарте VDE [11], рассчитаны исходя из условия работы в течение 30 лет при постоянной токовой нагрузке. Однако, подробные исследования, предпринятые в 2004 году в VDE Франкфурт автором книги «Введение в DIN 0100» Вильгельмом Рудольфом [12], показали, что соединители в случае периодических или эпизодических нагрузок могут выдерживать и значительно большие токи, чем предельно допустимые по DIN VDE 0298-4 [11]. Так как большинство применений стационарных батарей рассчитано на ограниченное число ограниченных по времени разрядов (от 400 до максимально 1200) в течение всего срока службы, который часто составляет от 10 до 20 лет, то фактические разрядные токи могут быть в 4-5 раз больше обсуждаемых ранее величин, если, например, длительность разряда ограничена одним часом.

2.7.5 Поперечные сечения соединителей

При производстве соединителей сечение кабеля выбирается из расчета, чтобы во всем рабочем диапазоне токов и длительностей разрядов, от 3 минут до нескольких часов, температура соединителя оставалась бы меньше 85°C. Если требуется минимизировать падение напряжения в проводниках, то такая ситуация должна рассматриваться каждый раз отдельно, и, соответственно, должен корректироваться стандартный набор поставки для монтажа батареи EXIDE Technologies.

2.7.6 Разогрев соединителей в режимах заряда и разряда

Максимальный перегрев соединителей в процессе разряда может быть оценен по следующей формуле:

$$\Delta T_{\max} = C_{\text{Connector}} \cdot \frac{L_{\text{Connector}} \cdot I_{\text{Discharge}}}{A_{\text{Connector}} \cdot t_{\text{Discharge}}}, \text{ где}$$

ΔT_{\max} – максимальный перегрев в К или °С

$C_{\text{Connector}}$ – константа из графика 40

$L_{\text{Connector}}$ – длина соединителя в мм

$I_{\text{Discharge}}$ – ток разряда в А

$A_{\text{Connector}}$ – площадь поперечного сечения соединителя в мм²

$T_{\text{Discharge}}$ – Время разряда в минутах

Величина $C_{\text{Connector}}$, участвующая в расчете и описываемая графиком 40 на следующей странице, представляет собой коэффициент, определенный экспериментально силами EXIDE Technologies.

При расчете всех разрядов длительностью более 3 часов может быть принят поправочный коэффициент для 180-минутного разряда, так как кривая на рисунке 40 имеет асимптотический характер в области больших времен.

Что касается режима заряда аккумулятора, то с точки зрения перегрева проводников, его можно не учитывать, так как даже в первоначальный период после разряда зарядный ток аккумулятора не превышает 10% величины его допустимых токов разряда.

2.7.7 Учет режимов короткого замыкания

В конструкции межэлементных, межблочных, междурядных и межэтажных соединителей можно не учитывать режимы короткого замыкания батареи, так как если монтаж производится в соответствии с принятыми нормами, то все соединители согласуются с внутренней проводкой источников тока.

Все кабельные отводы батарей, которые соединяют смонтированные группы аккумуляторов друг с другом, с нагрузкой, с автоматическими выключателями или предохранителями, должны быть устойчивы к режимам короткого замыкания.

Для практических применений рекомендован стандарт DIN EN 50272-2 (VDE 0510, часть 2) [13].

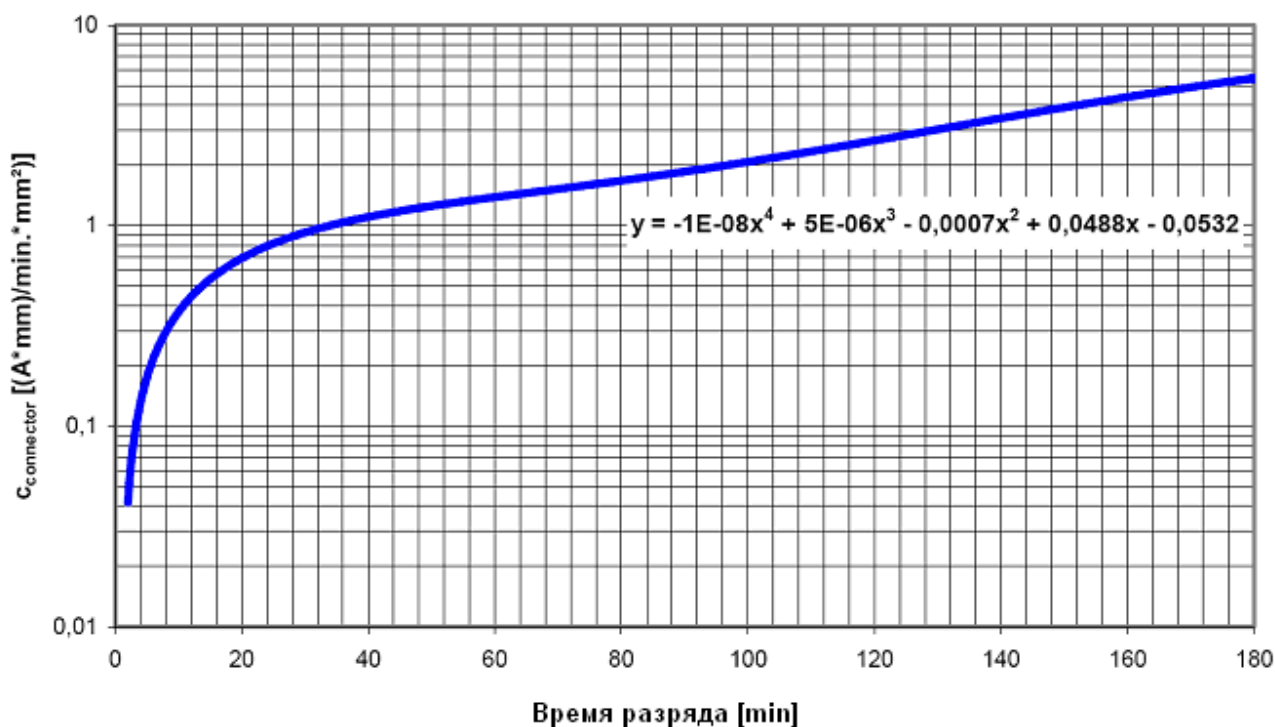


Рис. 40: Коэффициент $C_{\text{Connector}}$ для расчета перегрева соединителей в режиме разряда

2.7.8 Предельные рабочие напряжения кабелей

Стандарт DIN 57298-3 (VDE 0298, часть 3) [14], глава 3 для кабелей в резиновой изоляции допускает следующее:

...Данный кабель может эксплуатироваться при прокладке в трубах или непосредственно внутри установок (источников бесперебойного питания), а также для выводов электродвигателей, под напряжением относительно земли до 1000 V AC или до 750 V DC.

Таким образом, указанные кабели выдерживают постоянные напряжения выше 500 Вольт.

3. Режимы эксплуатации батарей

3.1 Параллельно-резервный режим

Данный режим характеризуется тем, что потребитель постоянно подключен к выходу источника питания. Батарея включена параллельно нагрузке. Источник питания в такой схеме должен обладать достаточным запасом мощности для обеспечения максимального тока нагрузки и заряда аккумуляторной батареи в любой момент времени. Напряжение на выходе выпрямителя, являющееся одновременно и напряжением питания цепей нагрузки, определяется величиной напряжения поддерживающего заряда аккумуляторной батареи. Очень часто система гарантированного электроснабжения с резервированием питания от аккумуляторной батареи состоит из выпрямителя, батареи и инвертора. Батарея в данной схеме всегда находится в режиме подзаряда.

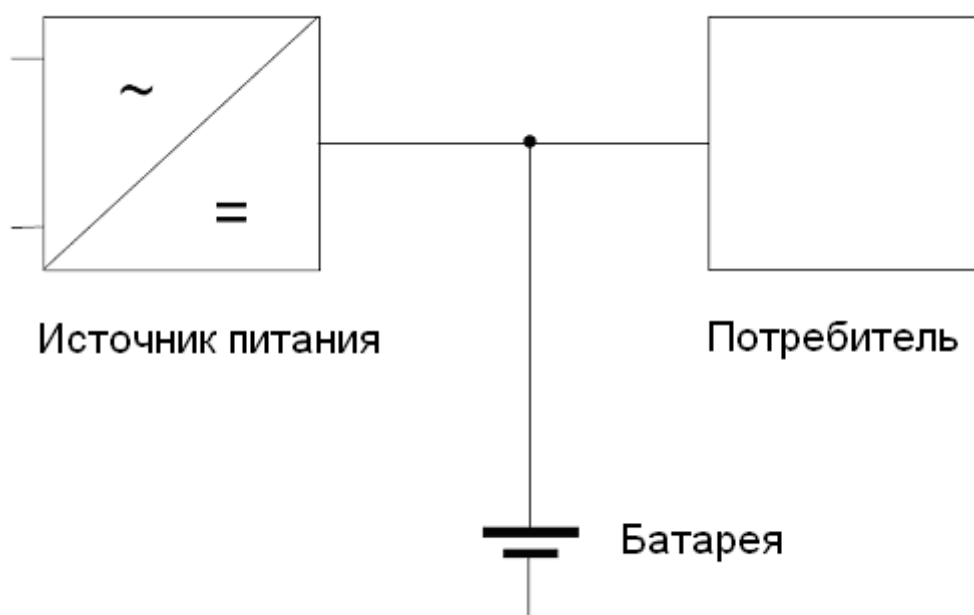


Рис. 41: Блок-схема параллельного включения батареи [15]

3.2 Буферный режим

Данный режим отличается от предыдущего тем, что в некоторые периоды времени ток потребления нагрузки может превышать предельное значения тока выпрямителя. Тогда недостаток мощности питающего устройства компенсируется за счет аккумуляторной батареи. Получается, что батарея время от времени оказывается частично разряжена. Для восполнения дефицита заряда в таких применениях рекомендуется регулярно проводить выравнивающие заряды или устанавливать напряжение выше, чем требуется для режима содержания. Следует помнить, что буферный режим работы аккумуляторов является неоптимальным с точки зрения их жизненного цикла. Он приводит к сокращению интервалов между обслуживанием батареи и к уменьшению фактического срока эксплуатации относительно ожидаемого расчетного значения.

Простейшая блок-схема буферной работы батареи соответствует схеме ее параллельного включения, приведенной на рис. 41.

3.3 Режим работы с переключением

При эксплуатации в режиме с переключением батарея большую часть времени отсоединена от потребителя и заряжается при помощи выделенного зарядного устройства. Потребитель подключен к выходу преобразователя электрической энергии. В случае возникновения аварии в сетях электроснабжения происходит быстрое переключение нагрузки между выходом преобразователя и аккумуляторной батареи. Такая схема работы применяется в основном в системах аварийного освещения (см. п. 6.4.2), где относительно короткий перерыв в питании во время переключения является допустимым.

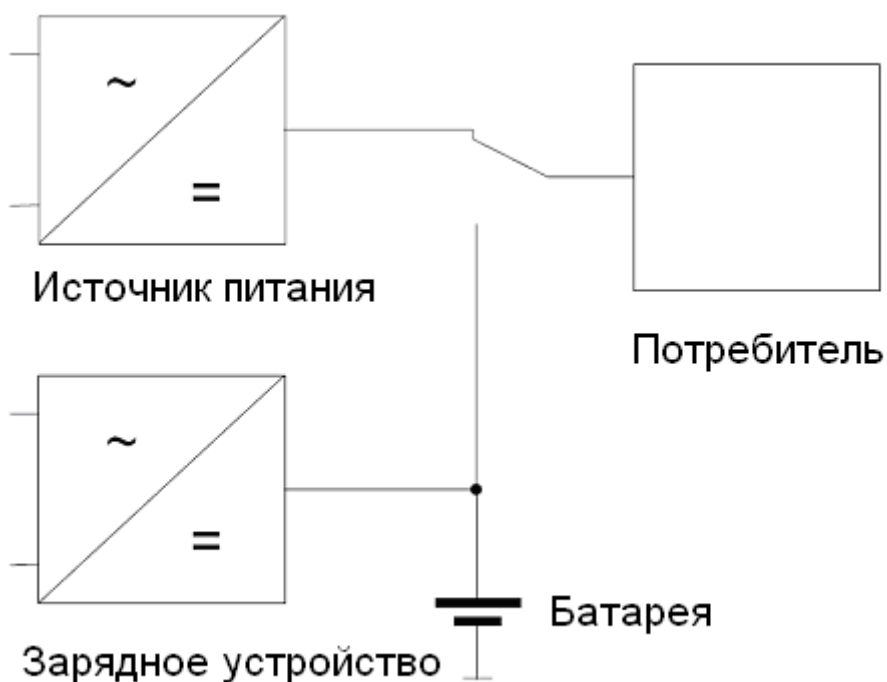


Рис. 42: Блок-схема режима работы с переключением [15]

3.4 Циклический режим

Циклический режим эксплуатации батарей подразумевает регулярно чередующиеся заряды и разряды, при этом питание потребителя осуществляется только от аккумуляторов. В каждом цикле после разряда батареи она отсоединяется от потребителя и подключается к соответствующему зарядному устройству для восстановления запаса емкости. Зарядное напряжения при циклической эксплуатации сознательно завышается, так как требуется подготовить батарею к фазе последующего разряда за минимально возможное время.

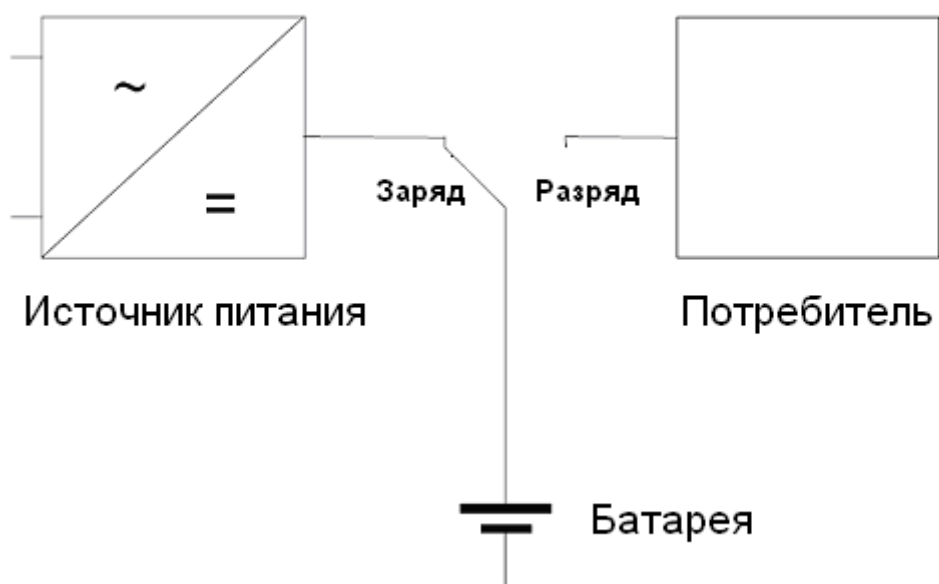


Рис. 43: Блок-схема циклического режима работы [15]

В указанных применениях срок службы аккумуляторных батарей исчисляется циклами заряда/разряда, а не годами.

3.5 Фотоэлектричество (особый циклический режим)

Работа аккумуляторов с солнечными панелями отличается от описанного выше циклического режима эксплуатации тем, что батарея не переключается периодически между нагрузкой и зарядным устройством, а режимы заряда и разряда регулируются контроллером.

Эксплуатация свинцово-кислотных аккумуляторных батарей в сфере фотоэлектричества является для них наиболее разрушительной по сравнению с любыми другими применениями. Это связано в основном с неопределенностью и непредсказуемостью этапов заряда, например, батарея месяцами может находиться в частично разряженном состоянии. Для исключения подобных ситуаций требуется тщательная, технически грамотная проработка проекта в каждом конкретном случае и с учетом местных климатических условий. Позиция производителя аккумуляторов имеет при этом сугубо рекомендательный характер.

Среди прочих можно выделить следующие факторы выбора:

- Погодные условия, в особенности число солнечных дней в году,
- Нагрузка на батарею, т.е. частота разрядов: ежедневно, еженедельно (суббота, воскресенье) или сезонно (зима, лето),
- Обоснованный выбор компонентов системы, согласованных друг с другом (т.е. конструкция солнечных модулей, простые или интеллектуальные управляющие элементы, устройства защиты от глубокого разряда, циклически устойчивые свинцово-кислотные батареи),
- Доступность для технического обслуживания,
- Оптимизированный с учетом конкретного применения режим заряда батареи (по напряжению, длительности, последовательности этапов заряда).

Аккумуляторы для работы с солнечными панелями выпускаются либо с электролитом в свободном состоянии, либо с электролитом в виде геля. Тип батарей выбирается исходя из требуемого ресурса в циклах. Для бытовых применений и применений с невысокой степенью ответственности (таких как мобильные дома, компактные стационарные электропитающие установки для собственных нужд, автоматы по продаже билетов на парковках) подходят батареи с намазной положительной пластиной:

Электролит в свободном состоянии:	EnerSol
Батареи с клапанным регулированием:	SOLAR и SOLAR BLOCK

В составе ответственного оборудования, где требуются высокие показатели по количеству циклов заряда/разряда, следует использовать аккумуляторные элементы с трубчатой положительной пластиной:

Электролит в свободном состоянии:	OPzS и OPzS SOLAR
Батареи с клапанным регулированием:	A600 и A600 SOLAR

4. Разрядные характеристики свинцово-кислотных аккумуляторов

4.1 Понятие номинальной емкости

Номинальная емкость C_N это емкость аккумуляторного элемента или батареи, которая вводится для их идентификации. Номинальной емкостью, в зависимости от класса батареи, может считаться емкость 10-, 20- или 100-часового разряда. Ее величина выражается в Ампер-часах (Ач).

4.2 Относительная емкость

Относительная емкость C_{rt} – это емкость, которую способен отдать аккумуляторный элемент или батарея в указанном режиме из полностью заряженного состояния. Так, например, различают емкость 0.25-, 1-, 3-, 5-часового разряда до заданного конечного напряжения. Величину относительной емкости выражают в Ампер-часах (Ач).

4.3 Глубокий разряд

Разряд ниже конечного напряжения, установленного для соответствующей нагрузки (тока) считается глубоким разрядом.

Глубокий разряд со снятием емкости свыше номинального значения или максимально возможной для специальных применений (“Classic OPzS Solar” и “Classic EnerSol T”: емкость 240-часового разряда) чрезвычайно опасен для батареи.

Опасность глубокого разряда также может быть связана с длительными разрядами малыми токами.

На микроскопическом уровне глубокий разряд выражается в укрупнении кристаллов сульфата свинца в объеме прореагировавшего активного вещества.

В процессе глубокого разряда события развиваются следующим образом:

- концентрация серной кислоты в растворе падает, что напрямую связано с преобразованием свинца в сульфат;
- образуется вода;
- плотность электролита стремится к плотности воды;
- растворимость сульфата свинца возрастает с уменьшением плотности электролита;
- водная растворимость приводит к выделению в электролит ионов свинца;

- ионы возвращаются на поверхность отрицательных пластин в процессе последующего заряда и восстанавливаются до чистого свинца;
- происходит перекристаллизация, сопровождающаяся ростом характерных дендритов;
- дендриты растут вдоль силовых линий электрического поля и могут приводить к образованию проводящих мостиков между пластинами противоположного знака, и соответственно к коротким замыканиям внутри аккумуляторного элемента – так называемым «мягким» коротким замыканиям.

Негативные последствия глубокого разряда далеко не всегда удается компенсировать последующим выравнивающим зарядом, особенно, если уже имеют место мягкие короткие замыкания. Результат глубокого разряда – это, как правило, необратимые потери емкости батареи.

Последствия глубокого разряда настолько губительны для кислотных аккумуляторов, что применяются даже специальные присадки к электролиту, уменьшающие растворимость сульфата свинца. Данная мера, конечно, снижает вероятность прорастания дендритов, но не исключает полностью риск мягких коротких замыканий.

Если рассматривать поведение герметизированных батарей с точки зрения их глубокого разряда, то следует заметить, что аккумуляторы с электролитом в виде геля в меньшей степени подвержены эффекту мягких коротких замыканий, чем батареи технологии AGM. Дело в том, что в гель-батареях в процессе глубокого разряда благодаря значительному запасу электролита не происходит настолько резкого снижения его плотности, как в AGM-аналогах. Кроме того, микропористый сепаратор гель-батарей препятствует прорастанию дендритов свинца между пластинами противоположного знака.

Испытания глубоким разрядом описаны в ряде стандартов, как, например, в DIN EN 60896-21 [5].

В процессе таких испытаний батарея нагружается на постоянное сопротивление и находится в указанном режиме от 7 до 30 суток до достижения состояния глубокого разряда. Затем батарею заряжают в течение 48 часов. Остаточная емкость после заряда должна быть не хуже, чем 75-95% номинального значения – точная величина определяется требованиями конкретного стандарта.

4.4 Сульфатация

Если батарея в течение длительного времени хранится в разряженном состоянии (днями или, что еще хуже, неделями), то происходит перекристаллизация образовавшегося при разряде сульфата свинца с образованием укрупненных структур.

Известно, что сульфат свинца не проводит электрический ток – фактически проявляет себя как изолятор – поэтому начальный заряд полностью разряженной батареи всегда сопровождается трудностями, особенно если уже успели сформироваться крупные кристаллы. Может сложиться и такая ситуация, когда преобразованный в сульфат свинца активный материал полностью изолирует токоведущие части пластин, тогда первоначальный заряд батареи оказывается крайне затрудненным или даже невозможным.

Если батарея, подвергшаяся сульфатации, в начальной фазе заряда пропускает только очень маленький ток, то есть фактически не заряжается, то можно повысить напряжение заряда до значения более 3 Вольт на элемент. Этой мерой достигается появление каналов проводимости в слое сульфата, критерием получения нужного эффекта является рост тока заряда батареи, после чего напряжение должно быть снижено до уровня менее 2,7 Вольт на ячейку.

4.5 Кривая напряжения разряда (понятие «Coup de Fouet»)

Определение «**Coup de Fouet**» пришло из французского языка и переводится как «удар кнута». Оно характеризует форму кривой напряжения на начальном этапе разряда (см. рис. 44).

В английской литературе применяется термин “voltage sack” – мешок (или провал) напряжения.

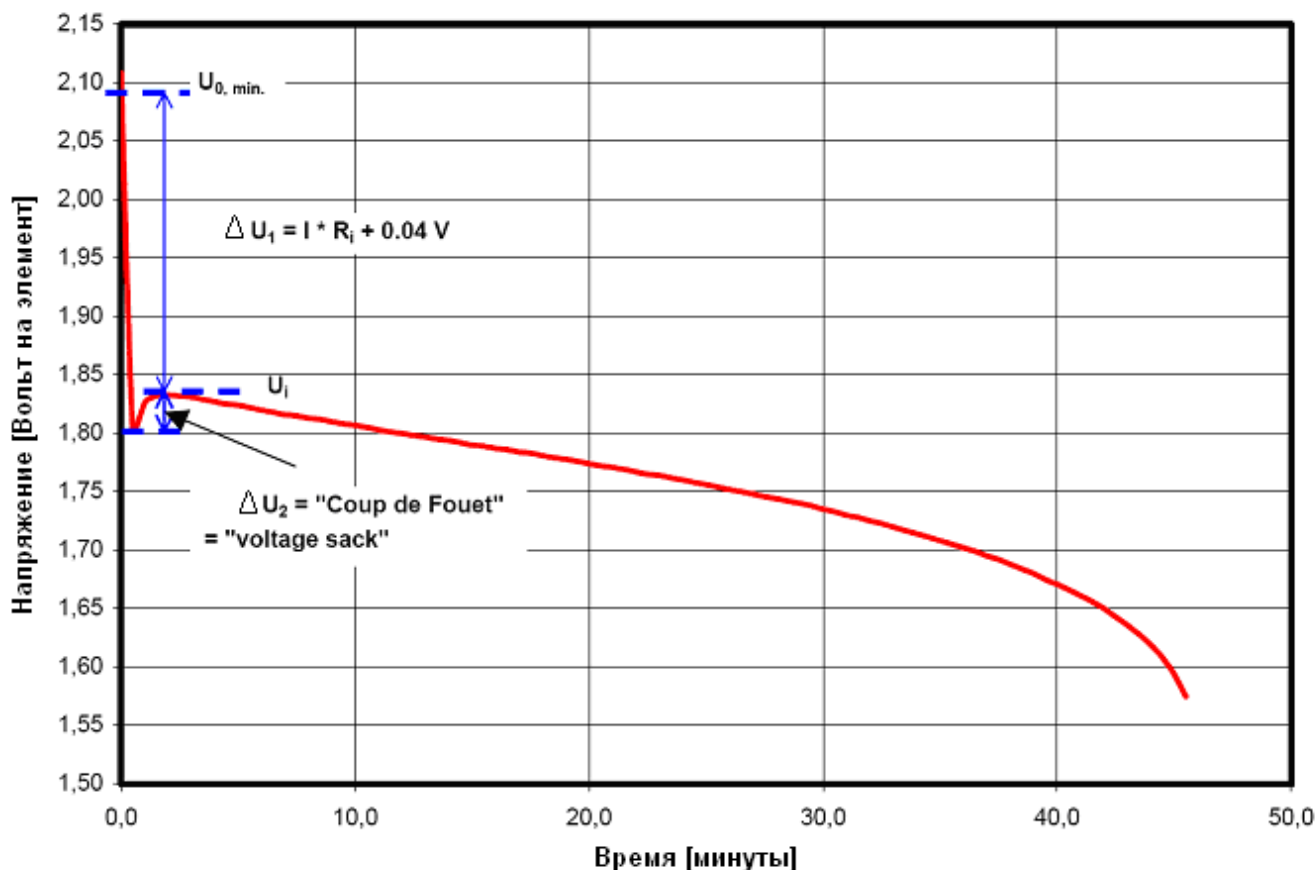


Рис. 44: Кривая зависимости напряжения от времени для элемента 8 OCSM 920 при разряде его током 736 А от напряжения покоя.

Разряд стационарных свинцово-кислотных батарей в основном начинается либо от напряжения содержания (в случае пропадания сетевого питания, когда преобразователь, батарея и нагрузка включены параллельно) либо от напряжения покоя (например, при проверке емкости). Однако точкой начала разряда считается напряжение U_i (от «initial» – начальный), установившийся уровень напряжения после завершения переходных процессов.

По сравнению с графиком на рисунке 44, кривая разряда из режима подзаряда батареи имеет дополнительный переход между уровнем напряжения содержания и напряжения покоя батареи. Однако для дальнейших процессов происходящих в аккумуляторе данное различие не играет никакой роли. Поэтому в качестве общего случая будем рассматривать разряд относительно напряжения покоя (равновесного напряжения) батареи, что, в частности, соответствует режиму работы с переключением.

Глубина провала напряжения в начале кривой разряда складывается из двух частей $\Delta U_1 + \Delta U_2$, как показано на рисунке 44.

$\Delta U_1 = I \cdot R_i + 0.04$ Вольт/элемент, где

I – ток разряда в Амперах [A]

R_i – внутреннее сопротивление элемента в Омах [Ω]

Для полностью заряженной свинцово-кислотной батареи также должен учитываться провал напряжения «voltage sack» ΔU_2 .

Величина провала напряжения может различаться в зависимости от типа батареи. Ее значения были определены экспериментально и составляют:

от 20 до 30 мВ на ячейку для аккумуляторов с жидким электролитом и AGM-батареи и от 0 до 30 мВ на ячейку для батарей с электролитом в виде геля.

Примечание: для грубых расчетов рекомендуется принимать глубину провала кривой напряжения, равной 40 мВ на элемент.

Наличие на графике характерного провала напряжения связано с задержкой начала формирования кристаллов сульфата свинца. Его также называют перенапряжением кристаллизации, имея в виду, что для появления первых центров кристаллизации требуется дополнительная энергия. В режимах разряда постоянным током или мощностью соответствующие энергозатраты выражаются в именно этом дополнительном падении напряжения на элементе.

Формирование сульфата свинца может начинаться не «с нуля», а от состояния существующей остаточной сульфатации пластин. В таких случаях провал напряжения наблюдается заметно меньший по глубине или не наблюдается совсем.

Структура геля в батареях с желеобразным электролитом приводит к тому, что время от времени эффект перенапряжения кристаллизации не проявляется.

Нет четкой взаимосвязи между глубиной провала напряжения и величиной тока разряда, но зато от силы тока зависит продолжительность переходного процесса. Допускают, что переходный процесс (время установления напряжения) занимает около 10% суммарного времени разряда батареи, соответствующего определенному току.

Кривые напряжения в различных режимах разряда показаны на рисунке 45.

На графиках видно, что кривая после провала стремится к значению U_i – напряжению начала разряда, затем наблюдается более или менее длительный, в зависимости от тока батареи, близкий к горизонтальному участок характеристики, после которого происходит достаточно быстрый спад напряжения.

Высокие токи разряда сопровождаются быстрым формированием сульфата свинца, особенно на поверхности электродов. В результате поры активного материала в поверхностном слое оказываются заметно сужеными либо закупоренными полностью (из-за расширения активной массы при превращении ее в сульфат), следовательно, затрудняется поступление новых порций электролита в глубь пластин за счет диффузии. Напряжение элемента стремительно падает, а доступная емкость разряда батареи может составлять всего лишь небольшую часть от номинального значения C_{10} . При сверхвысоких токах разряда фазы стабилизации на кривой напряжения не наблюдается.

Напротив, разряд малым током позволяет задействовать более глубокие слои активной массы благодаря медленному формированию кристаллов сульфата свинца и относительно свободному доступу электролита внутрь пластин. Именно по этой причине емкость 100-часового разряда C_{100} (которая считается номинальной для батарей типа Solar) оказывается примерно на 20% выше, чем емкость 10-часового разряда C_{10} .

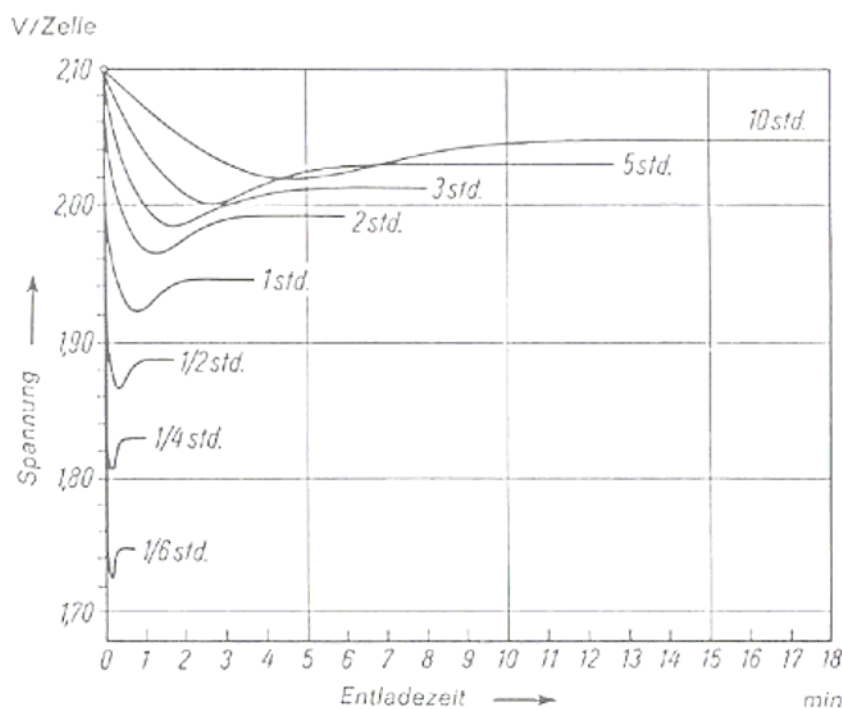


Рис. 45: Время переходного процесса в начале разряда, включая провал напряжения, для свинцово-кислотного элемента с намазными пластинами [17] (“V/Zelle – Вольт на элемент, “Spannung” – напряжение, “Entladezeit” – время разряда, “min” – минуты, “...std.” – ...часовой разряд, “10std. ...1/6std.” – ток, соответствующий емкости разряда, т.е. “1std.” – ток, соответствующий емкости 1-часового разряда C_1).

4.6 Саморазряд

Понятие саморазряда [1] взаимосвязано со способностью батареи удерживать электрический заряд:

Определения:

Саморазряд - явление, при котором аккумуляторная батарея или элемент теряет энергию при разомкнутой внешней электрической цепи.

Примечание: см. также способность удерживать заряд.

Способность удерживать заряд – способность аккумуляторной батареи или элемента удерживать заряд при разомкнутой внешней электрической цепи в определенных условиях.

Примечание: см. также саморазряд.

Чем ниже саморазряд, тем больше временной интервал, в течение которого батарея способна сохранять электрический заряд. Эффект саморазряда является естественным для свинцово-кислотных систем и определяется электрохимическими процессами, происходящими в аккумуляторе. Интенсивность саморазряда зависит от типа батареи, уровня заряда и температуры. Саморазряд увеличивается с ростом температуры и падает с уменьшением заряженности батареи.

Батарея с разомкнутой внешней электрической цепью медленно теряет накопленный заряд, и этот процесс не прекращается до тех пор, пока сохраняется разность потенциалов между положительным и отрицательным электродами аккумулятора.

Поэтому аккумуляторы, находящиеся в режиме хранения, необходимо периодически подзаряжать. Частота обслуживания зависит от интенсивности саморазряда батарей данного типа и температуры хранения.

5. Заряд свинцово-кислотных аккумуляторов

5.1 Определения

Ниже приводим некоторые определения из стандарта DIN 40729 [18] и международного электротехнического словаря, раздел 482 [1], с комментариями EXIDE Technologies. Параметры заряда аккумуляторов каждого типа, такие как напряжение, начальный ток и максимально допустимое время заряда, должны выбираться в соответствии с прилагаемыми инструкциями по эксплуатации.

Определения:

- Процесс заряда – это преобразование электрической энергии в химическую [18].
- Уровень заряда определяется степенью завершенности процесса заряда [18].
- Полный заряд – это заряд с преобразованием всего активного вещества [18].
- Частичный заряд – это заряд, при котором активное вещество преобразуется частично [18].
- Поддерживающий заряд – это неограниченный по времени заряд постоянным напряжением для сохранения уровня полного заряда элемента или батареи [18].

Примечание: он соответствует режиму заряда по характеристике IU в схеме параллельного включения батареи и зарядного устройства.

- Ускоренный заряд – это режим заряда батареи усиленным током или повышенным напряжениям для сокращения конечного времени заряда [1].
- Выравнивающий заряд – это заряд, который позволяет достичь полного преобразования активного материала во всех элементах батареи [18].

5.2 Режимы заряда

5.2.1 Обозначение режимов заряда в соответствии с DIN 41772

Приведенные ниже диаграммы демонстрируют происхождение обозначений режимов заряда с точки зрения соотношения тока и напряжения. Такой способ графического представления может показаться несколько необычным, тем не менее, рекомендуется сравнить данные диаграммы с графиками зависимости тока и напряжения от времени из разделов 5.2.2 – 5.2.5. данной главы.

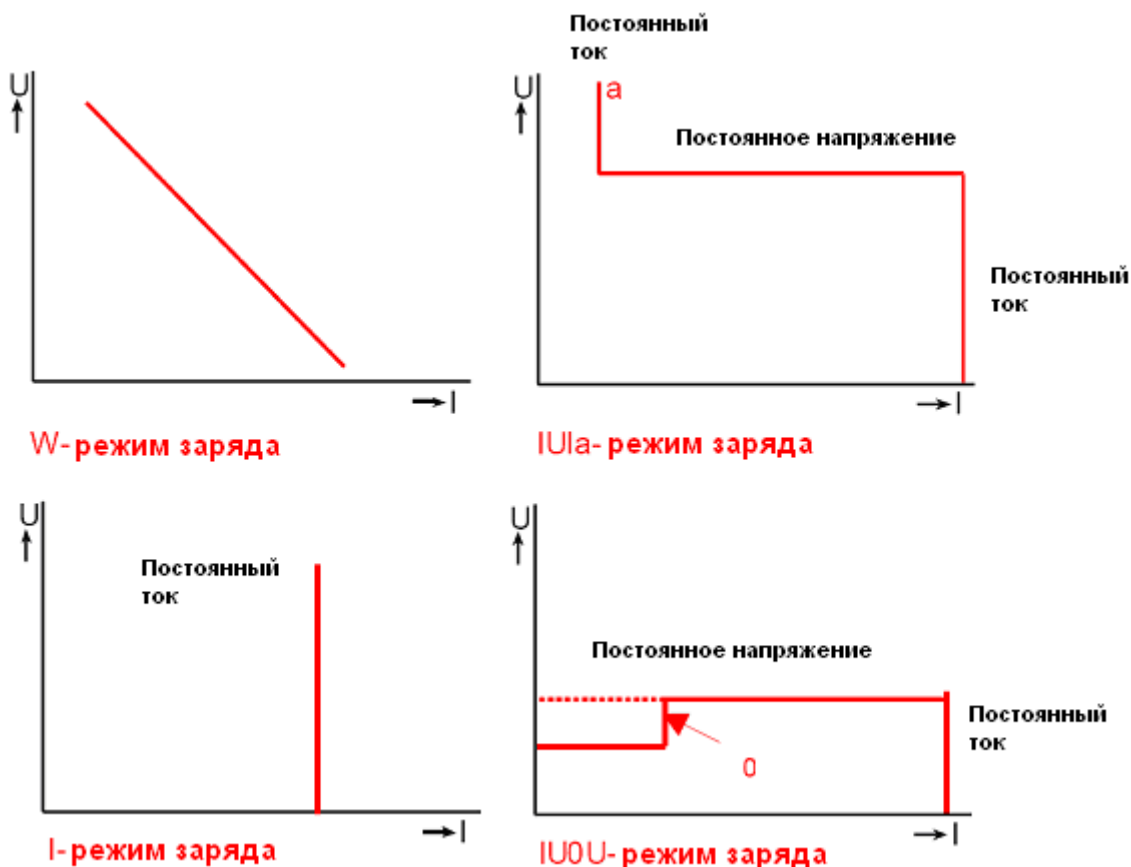


Рис. 46: Графическое представление и обозначение режимов разряда в соответствии с DIN 41772 [19].

Расшифровка используемых обозначений:

- W – режим управляемого сопротивления (падающий режим)
- U – режим управления по напряжению (постоянное напряжение)
- I – режим управления по току (постоянный ток)
- 0 – точка переключения режима
- a – автоматическое отключение

5.2.2 Режим заряда IU, IUOI (постоянный ток / постоянное напряжение)

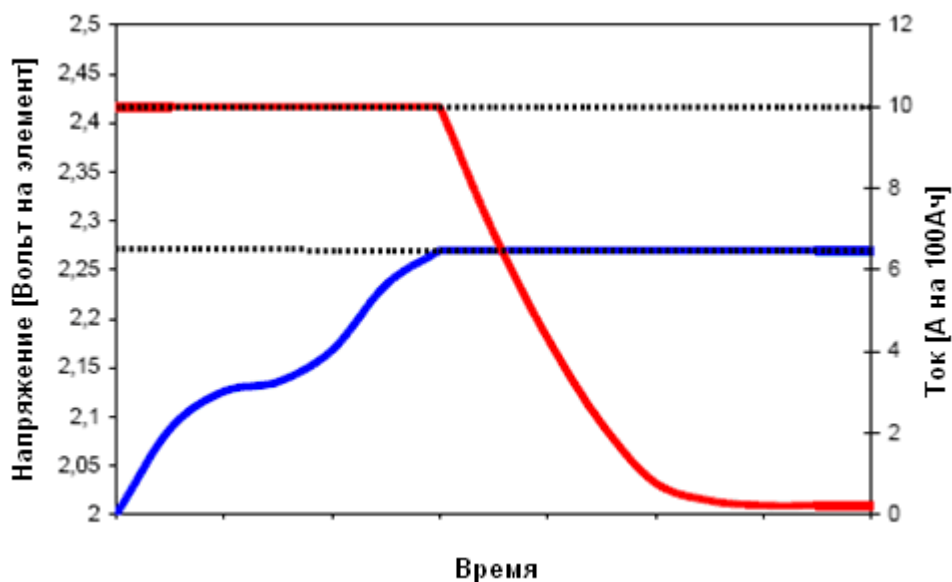


Рис. 47: Вид зависимости от времени **тока** и **напряжения** заряда в режиме IU без ступени ускоренного заряда. Значения тока и напряжения выбраны для примера.

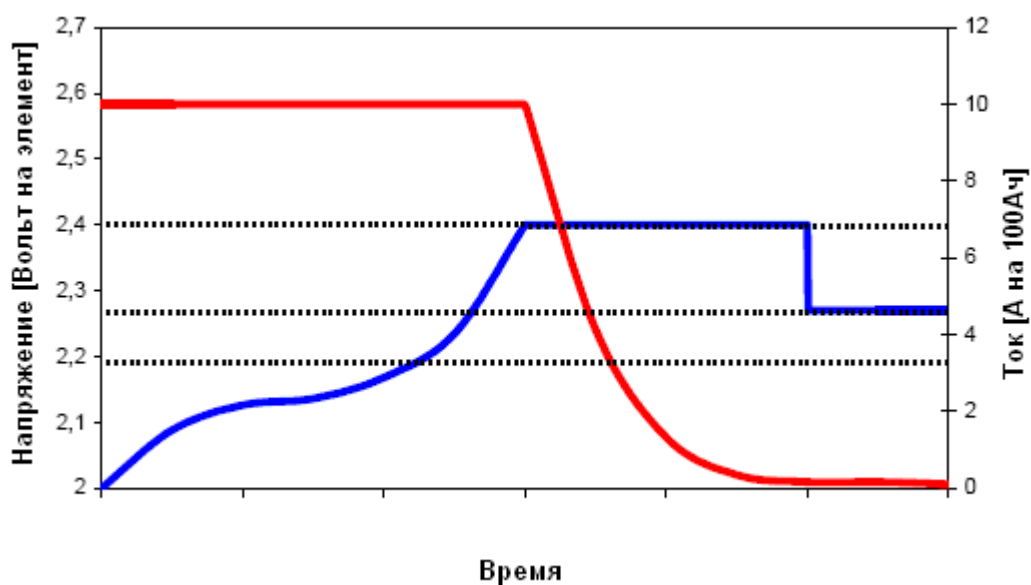


Рис. 48: Вид зависимости от времени **тока** и **напряжения** заряда в режиме IU, включая фазу ускоренного заряда (IUOU). Значения тока и напряжения выбраны для примера.

5.2.3 Режим заряда W (режим управляемого сопротивления)

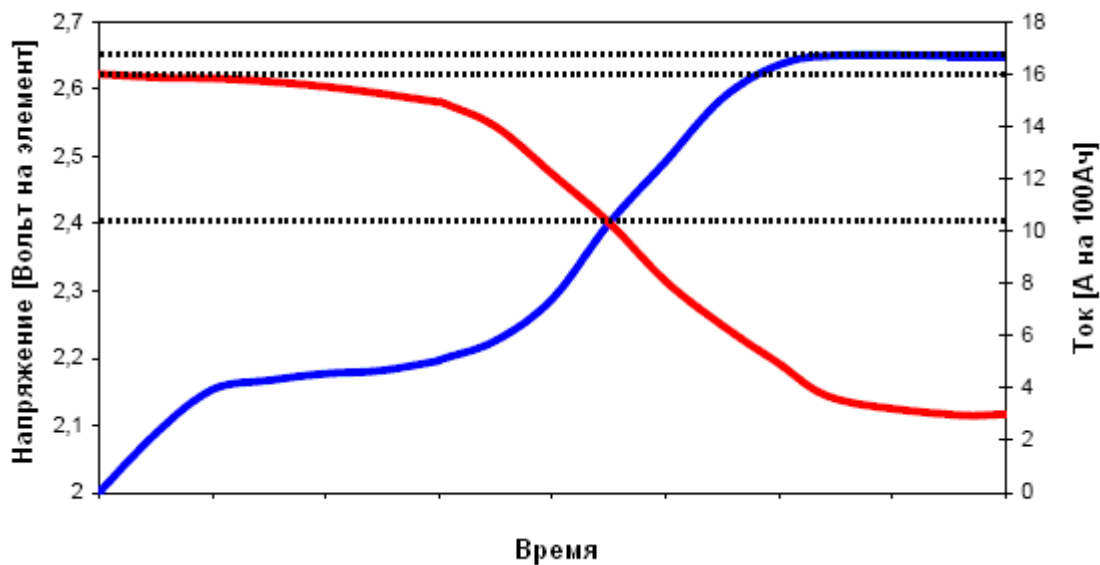


Рис. 49: Вид зависимости от времени **тока** и **напряжения** заряда в режиме W. Значения тока и напряжение выбраны для примера.

5.2.4 Режим заряда I (постоянный ток)

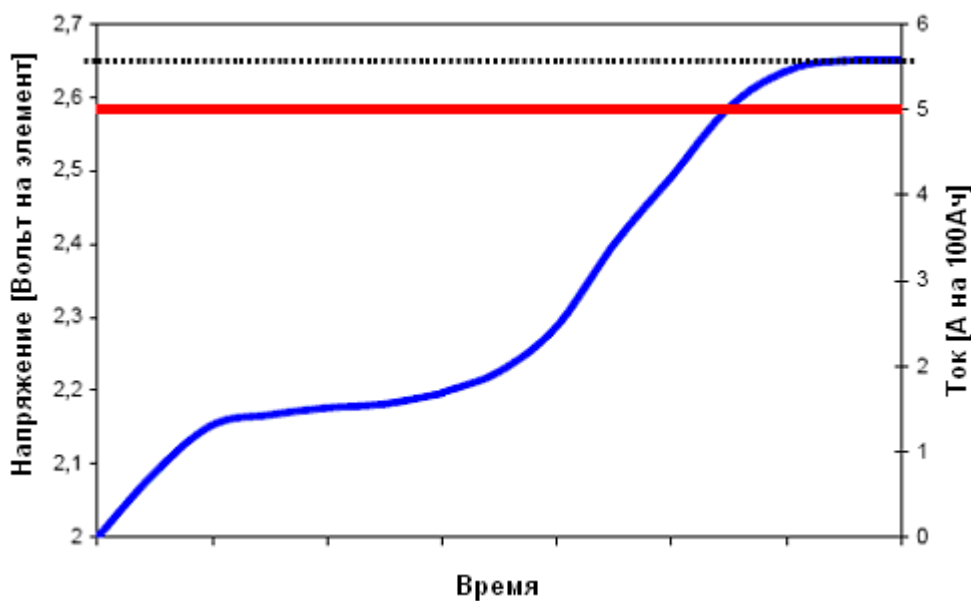


Рис. 50: Вид зависимости от времени **тока** и **напряжения** заряда в режиме I. Значения тока и напряжение выбраны для примера.

5.2.5 Режим заряда IU1 (постоянный ток / постоянное напряжение)

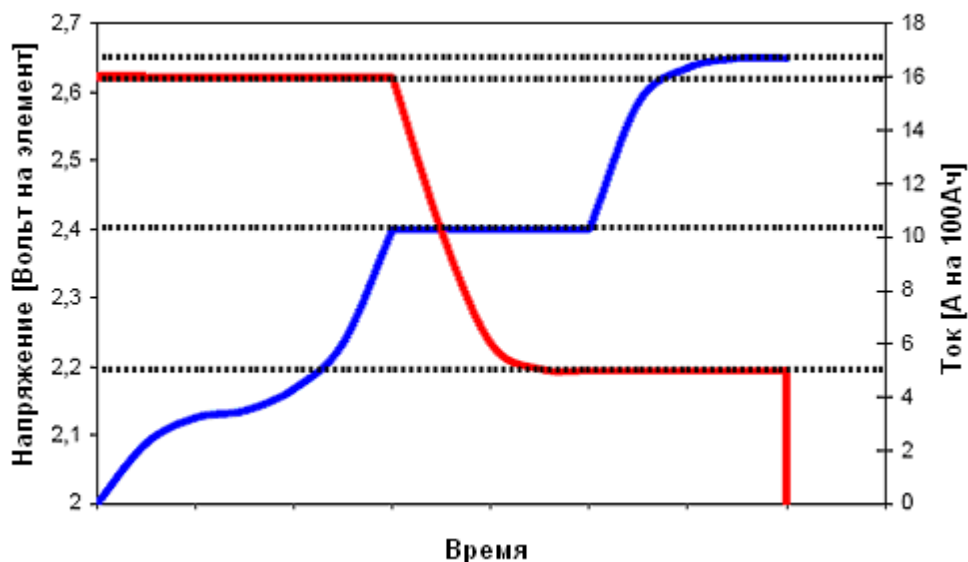


Рис. 51: Вид зависимости от времени тока и напряжения заряда в режиме IU1a. Значения тока и напряжения выбраны для примера.

5.3 Коэффициент заряда и расслоение электролита

Коэффициент заряда определяется как отношение величины заряда, который необходимо сообщить батарее для достижения исходного заряженного состояния, к емкости разряда. Коэффициент заряда всегда больше единицы.

Величина, обратная коэффициенту заряда, называется эффективностью заряда:

$\eta = 1/\text{коэффициент заряда}$, где

η - эффективность заряда

В среднем батарее требуется заряд на 3-4% больше снятой емкости для обратного преобразования всего прореагировавшего в процессе разряда активного вещества. Данный факт можно объяснить тем, что положительная и отрицательная пластины свинцово-кислотного элемента по разному воспринимают заряд.

Коэффициент заряда может при необходимости учитывать, в случае батарей с жидким электролитом, фазу «кипения» (перемешивания) электролита.

Понятие «расслоение электролита» описывает явление неоднородности концентрации серной кислоты по высоте элемента, возникающее в процессе эксплуатации.

Расслоение электролита наиболее остро проявляется в циклическом режиме эксплуатации аккумуляторов и отрицательно сказывается на их конечном сроке службы.

В процессе заряда свинцово-кислотного аккумулятора всегда выделяется концентрированная серная кислота. Удельный вес концентрированной серной кислоты больше веса ее водного раствора (электролита). Под действием силы тяжести выделившаяся из пор активного материала концентрированная серная кислота стремится опуститься на дно элемента, и, если этому не создано никаких специальных препятствий, т.е. электролит находится в несвязанном состоянии, то со временем происходит разделение плотности электролита по высоте вплоть до значений от 1,10 кг/л в верхних слоях до 1,35 кг/л вблизи дна аккумулятора.

Эффекту расслоения электролита в некоторой степени подвержены и батареи с клапанным регулированием (VRLA), однако, в отличие от аккумуляторов со свободным электролитом, данный эффект частично или полностью компенсируется прямой абсорбцией (быстрым поглощением) образующейся в процессе заряда серной кислоты. По этой причине в Гель-батареях расслоение электролита практически не наблюдается. Стекловолоконистый сепаратор абсорбирует кислоту несколько хуже, чем гель, поэтому в AGM-батареях небольшое разделение электролита по плотности все-таки присутствует.

Конечно, для батарей с жидким электролитом явление его расслоения представляет собой нечто неизбежное, но с другой стороны оно успешно компенсируется в фазе активного газовыделения («кипения»), которое наступает в конце заряда. Пузырьки газа, поднимаясь от пластин к поверхности, перемешивают электролит, и плотность его выравнивается. Того же результата можно достичь посредством принудительной продувки воздуха через аккумуляторные элементы (применяя систему перемешивания электролита).

Приведенные ниже коэффициенты соответствуют режиму заряда батареи после ее разряда в течение нескольких часов:

- от 1.05 до 1.20, типичное значение 1.05, для Gel-батарей,
- от 1.05 до 1.20, типичное значение 1.08, для AGM-батарей и
- от 1.20 до 1.30, типичное значение 1.20, для батарей с жидким электролитом.

Причины различной подверженности Gel-, AGM- и вентилируемых батарей явлению расслоения электролита также распространяются и на анализ значений коэффициента заряда аккумуляторов различных типов. Еще раз отметим, что в батареях с электролитом в виде геля разделение плотности электролита практически отсутствует.

Рисунок 52 наглядно демонстрирует различия между аккумуляторами свинцово-кислотных систем с точки зрения степени проявления эффекта расслоения электролита.



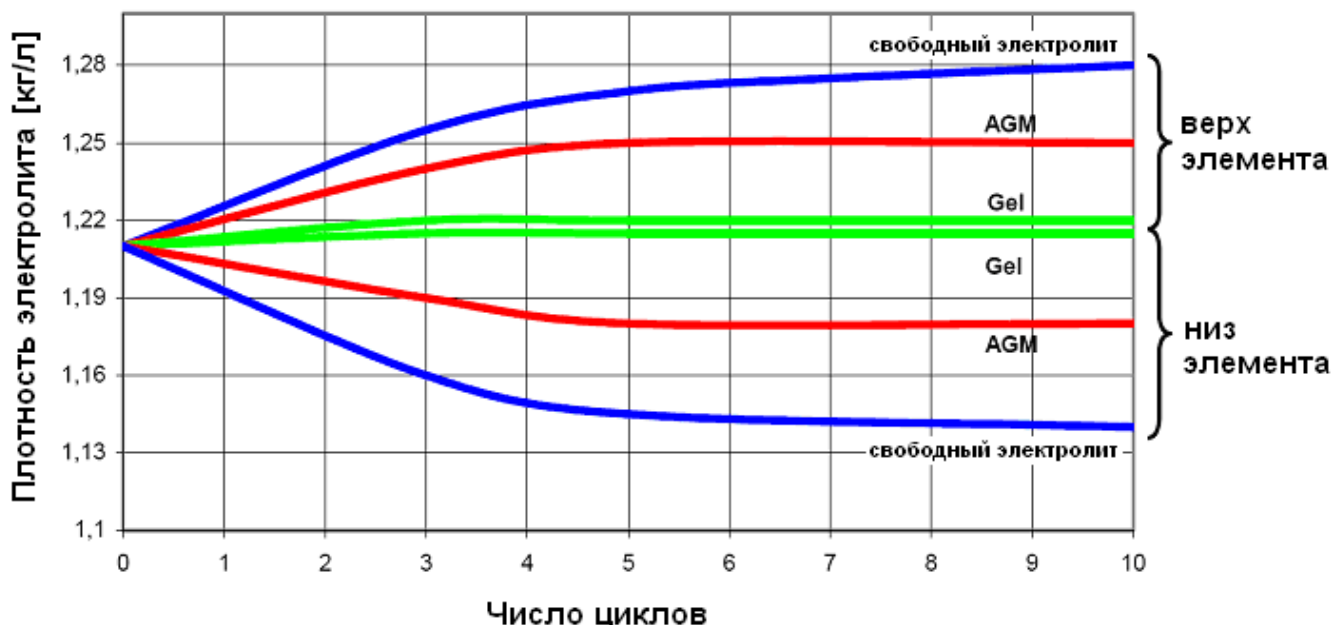


Рис. 52: Расслоение электролита в аккумуляторах свинцово-кислотной системы, измеренное на элементе PzS 350, заряжаемом при напряжении 2,4 Вольт на элемент.

5.4 Остаточный зарядный ток

Остаточный зарядный ток — это ток, протекающий через полностью заряженный аккумуляторный элемент в режиме поддерживающего заряда. Остаточный зарядный ток складывается в основном из:

- тока компенсации саморазряда
- тока коррозии положительных электродов
- тока рекомбинации (для VRLA-батарей)
- тока разложения воды
- тока компенсации мягких коротких замыканий

Очень сложно рассчитать вклад каждого из факторов в общий ток, можно лишь приблизительно оценить степень саморазряда батареи и величину тока рекомбинации.

Суммарный остаточный зарядный ток зависит от:

- типа батареи (свободный электролит или связанный)
- сплава решеток (особенно важен состав сплава решетки положительной пластины)

- разницы между напряжением покоя элемента, определяемым плотностью электролита, и напряжением содержания (поляризации)
- напряжения содержания
- температуры
- чистоты используемых материалов
- возраста и истории эксплуатации батареи

Типичные значения величины остаточного зарядного тока, измеренного на новых аккумуляторах, составляют:

- для батарей с жидким электролитом:
 - OGi, OPzS: (15-25) мА/100Ач при напряжении 2,23 В/эл и 20°C
 - GROE: (10-15) мА/100Ач при напряжении 2,23 В/эл и 20°C
- для герметизированных батарей:
 - Marathon M, Sprinter S: (25-35) мА/100Ач при напряжении 2,27 В/эл и 25°C
 - Marathon L: около 50 мА/100Ач при напряжении 2,23 В/эл и 20°C
 - OPzV: (15-25) мА/100Ач при напряжении 2,25 В/эл и 20°C

Реакция остаточного зарядного тока на изменение напряжения и температуры для батарей с электролитом в свободном состоянии может быть в некотором приближении представлена следующим образом:

- при повышении температуры на каждые 10 градусов величина остаточного зарядного тока удваивается (соответствует закону Аррениуса)
- рост напряжения на каждые 0,1 Вольта на элемент сопровождается троекратным увеличением остаточного зарядного тока

Для герметизированных батарей аналогичные зависимости выглядят следующим образом:

- кривая роста тока от температуры даже более крутая, чем соответствующая закону Аррениуса. Ток может увеличиваться до трех раз при повышении температуры на каждые 10 градусов.
- при увеличении напряжения на каждые 0,1 Вольта на элемент остаточный зарядный ток возрастает в 7-10 раз (определяется током рекомбинации и зависит от типа аккумулятора).

5.5 Недозаряд

Если батарея периодически не получает достаточный электрический заряд либо никогда не заряжается полностью, то говорят о состоянии недозаряда. Такая ситуация может сложиться с одной стороны при циклической эксплуатации, когда время заряда жестко ограничено, или с другой стороны, если неправильно выбрано напряжение заряда – занижено. Не исключено также влияние обоих факторов. В таких случаях аккумуляторный элемент подвергается медленной сульфатации, то есть от цикла к циклу прореагировавший активный материал в процессе заряда частично не восстанавливается до состояния свинца и двуокиси свинца. Это означает, что емкость элемента постепенно падает, а остаточный зарядный ток с каждым циклом заряда-разряда становится все выше и выше по сравнению с характерным значением для конца заряда элемента данного типа. Тем не менее, если батарею, находившуюся какое-то время в состоянии недозаряда, несколько раз полноценно зарядить и разрядить, то можно восстановить некоторую часть потерянной емкости. Обычно в результате такой тренировки фактически отдаваемая емкость батареи с каждым циклом растет, но полностью восстановить ее исходное значение, как правило, никогда не удается.

В режиме параллельной работы явление недозаряда может наблюдаться при заниженном напряжении содержания, а это возможно, например, тогда, когда не соблюдаются условия температурной компенсации напряжения заряда батареи. При недостаточном внешнем приложенном напряжении поляризация электродов, что особенно критично для отрицательного электрода, недостаточна, и в свою очередь это приводит к необратимым потерям емкости элемента.

Если батарея недозаряжалась по напряжению в течение не более 6 месяцев, то необратимая потеря емкости за этот период могла еще не наступить. Сразу же после обнаружения несоответствующего режима заряда следует скорректировать напряжение, и по истечении нескольких недель батарея, скорее всего, восстановит свою номинальную емкость.

Герметизированные батареи гораздо более чувствительны к пониженному напряжению заряда, чем батареи с жидким электролитом, потому что поляризация их отрицательных пластин во всех случаях меньше (сравните рис.53 и рис.54).

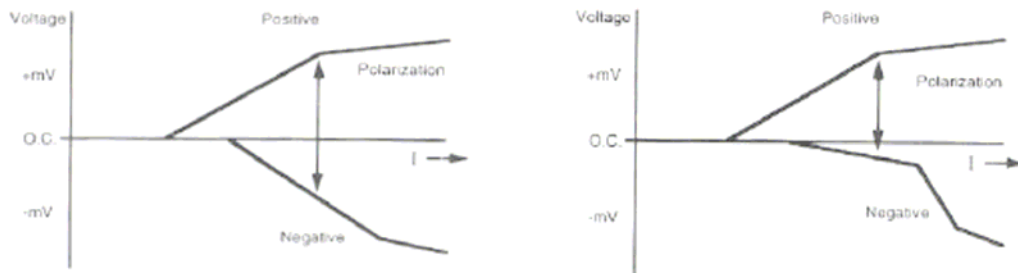


Рис. 53: Характерный вид линий Тэйфеля для поляризации отрицательных и положительных пластин в батареях с жидким электролитом (слева) и VRLA-батареях (справа) в зависимости от тока [20].

Влияние рекомбинации кислорода на положительную и отрицательную поляризацию и напряжение элемента

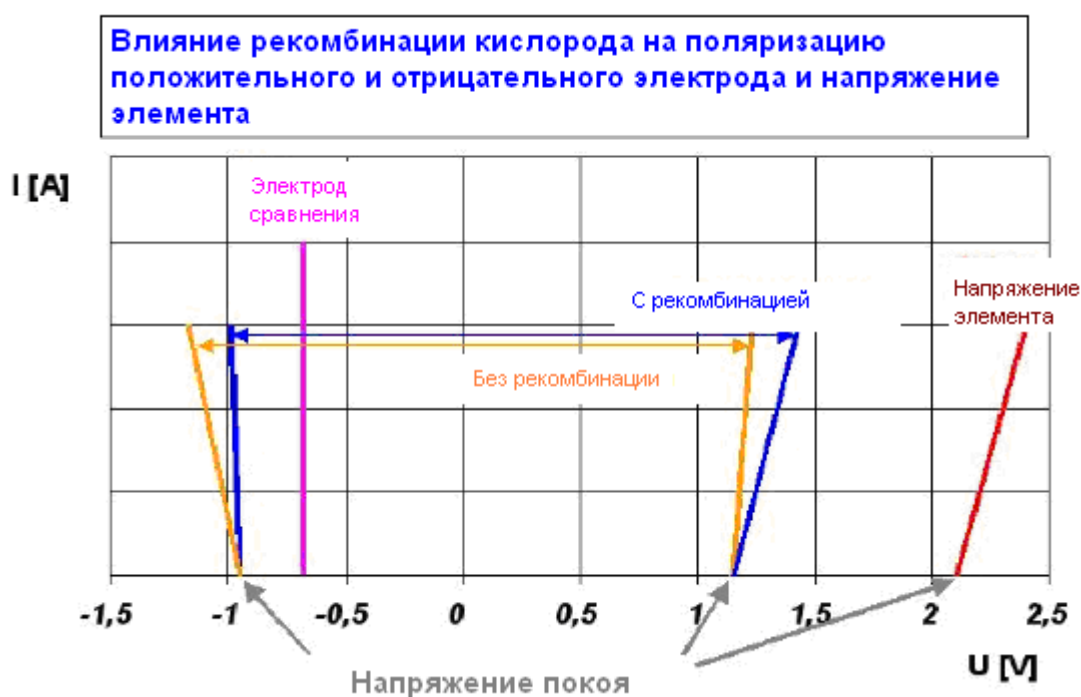


Рис. 54: Характерный вид линий Тэйфеля для поляризации отрицательных и положительных пластин в батареях с жидким электролитом (без рекомбинации) и VRLA-батареях (рекомбинация присутствует) в зависимости от напряжения [21].

5.6 Перезаряд

Международный электротехнический словарь [1] определяет понятие перезаряда следующим образом:

... продолжающийся заряд полностью заряженного вторичного элемента или батареи.

ПРИМЕЧАНИЕ: перезаряд определяется также как заряд в режимах, за пределами относительно установленных производителем.

На практике непреднамеренный перезаряд часто бывает связан с чрезмерной длительностью заряда, когда уже полностью заряженная батарея все еще продолжает заряжаться.

Возможность перезаряда исключается для батареи в режиме содержания, параметры которого соответствуют требованиям производителя.

Последствия перезаряда:

- увеличенный расход воды (см. 1.5.1),
- ускорение процесса коррозии (см. 2.1.2),
- риск «терморазгона» (см. 1.7) для VRLA-батарей.

6. Области применения

6.1 Телекоммуникации

Характерное значение напряжения питания систем связи – 48 Вольт, что соответствует 24 свинцово-кислотным аккумуляторным элементам.

Токи нагрузок для данных применений находятся в диапазоне от малых до средних. В отличие от более ранней идеологии построения агрегатов гарантированного питания систем связи в настоящее время требования к длительности автономной работы находятся в достаточно широком диапазоне. В основном они определяются качеством местного электроснабжения. Если в областях центральной Европы стандартное время резервирования питания составляет от 30 минут до 1 часа, то в сельских районах в условиях нестабильной электрической сети этого времени оказывается недостаточно, здесь оно должно быть расширено до нескольких часов – характерно до восьми.

Таким образом, и требования к работоспособности батареи в зависимости от конкретных условий оказываются весьма различными. Если в областях благополучных по электроснабжению аккумуляторы эксплуатируются в основном в режиме подзаряда в схеме параллельного включения, то в областях с нестабильной питающей сетью возможно возникновение также циклических режимов. В общем случае при выборе батареи следует принимать во внимание все возможные режимы ее эксплуатации.

В настоящее время в мире в области телекоммуникаций все большее распространение получают герметизированные аккумуляторы со сроком службы 10-12 лет и более. Причина этого кроется в тенденции к уплотнению размещения оборудования электропитания связи, особенно в сфере мобильных телекоммуникаций. Часто сотовые операторы стремятся к размещению оборудования связи и электропитающей установки вместе с аккумуляторной батареей в едином конструктиве шириной 19 или 23 дюйма. Тем не менее, аккумуляторы классической конструкции с жидким электролитом также востребованы и применяются на ключевых станциях и сетевых коммутаторах, то есть там, где для них можно выделить необходимое свободное пространство.

6.1.1 Фиксированная связь

В области фиксированной связи непрерывную работу телефонных линий обеспечивают аккумуляторные батареи, установленные на телефонных станциях. Напряжения питания может быть либо 60 Вольт – для более старого оборудования, либо 48 Вольт – для современных телефонных станций.

6.1.2 Мобильная связь

В Европе развернута система мобильной связи третьего поколения, которая работает по стандарту UMTS с возможностью одновременной трансляции по голосовому каналу и каналу данных. Территориальное обслуживание обеспечивается широконаправленными антенными передатчиками, получившими название базовых станций (Base Transceiver Station – BTS).



Базовая станция – это стационарная установка, чаще всего представляющая собой вышку с расположенными на ней радиопередающими устройствами, а в основании, как правило, монтируется электронная часть и система электроснабжения. Базовые станции видны с больших расстояний и способны охватывать радиосигналом значительные площади, которые получили названия «сот». Каждая станция обменивается высокочастотным радиосигналом с находящимися в зоне ее обслуживания мобильными абонентами, постоянно перекодируя цифровую информацию в аналоговую и обратно.

Бесперебойное электроснабжение базовых станций обеспечивается аккумуляторной батареей с зарядным устройством - выпрямителем. Номинальное напряжение системы 48 Вольт. Аккумуляторы выбираются преимущественно с торцевыми выводами (FT – Front Terminal) для удобства монтажа в стойке, их емкость может быть от 50 до 200 Ач в зависимости от мощности антенны и требуемого времени резервирования питания при аварии основной сети.

6.2 Источники бесперебойного питания (UPS)

В наши дни источники бесперебойного питания (Uninterruptible Power Systems - UPS) применяются во многих областях общественной жизнедеятельности, таких как промышленность, медицина, IT-инфраструктура, в морском, железнодорожном и авиатранспорте.

К сожалению, во всех сетях общего пользования иногда происходят временные отключения. Даже на территории центральной Европы случаются одиночные перерывы сетевого питания длительностью порядка нескольких минут. Как уже было замечено ранее, в сельской местности электроснабжение менее стабильно – частота отключений и их продолжительность в среднем выше.

Для всех систем с микропроцессорным управлением следствием внезапных отключений питания является необратимая потеря данных из оперативной памяти, а также часто повреждение структуры данных на энергонезависимых носителях информации. К потерям данных могут приводить даже всего лишь пропуски в синусоиде переменного тока или пики напряжения, возникающие как результат работы нелинейных силовых электронных устройств. UPS служат для предотвращения потери информации и кроме бесперебойного питания обеспечивают заблаговременно предсказуемое отключение.

Стандарты DIN EN 50091-3 [22] и DIN EN 62040-1-1[23] описывают основные эксплуатационные функции UPS. Главным назначением UPS считается поддержка бесперебойного электроснабжения потребителя. Вариантов построения схем источников питания существует несколько, каждая из них связана с определенным режимом эксплуатации UPS.

Предлагаемая классификация UPS основывается на качестве выходного сигнала и его чистоте в фазе перехода с сетевого питания на автономное:

- VFD (Voltage and Frequency Dependent) – частотно- и фазозависимые устройства

UPS данного класса обеспечивают пассивный (дежурный) режим работы. Их также называют устройствами, не взаимодействующими с сетью, или “Offline UPS”.

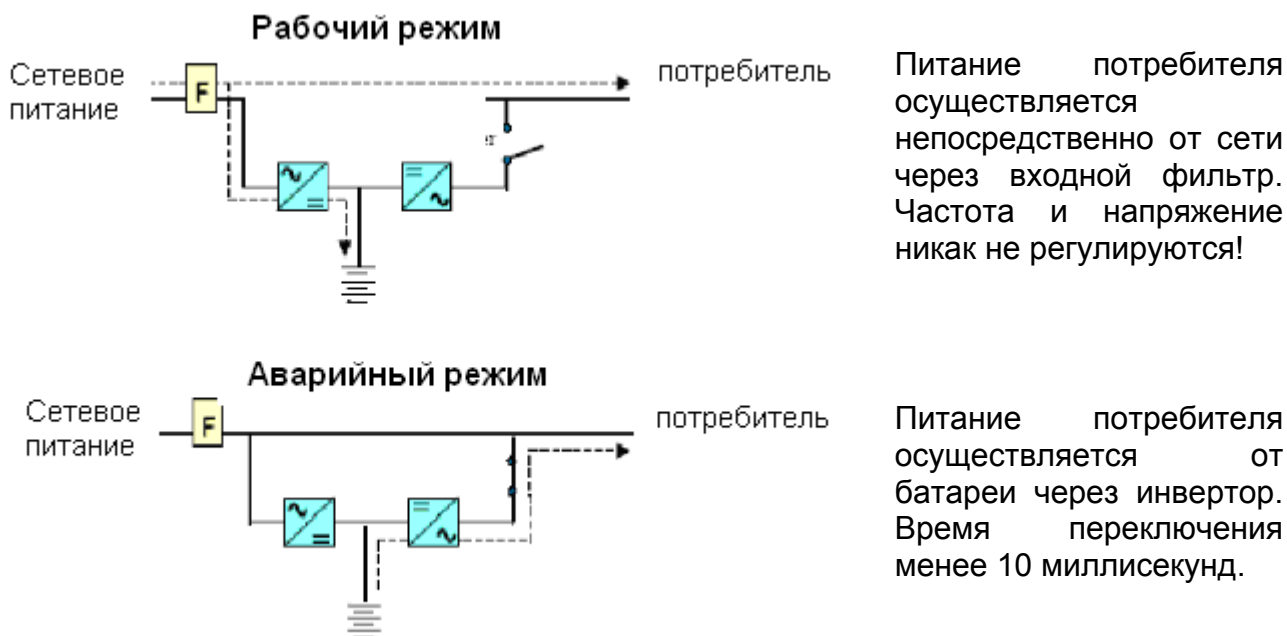


Рис. 55: Режимы работы UPS класса VFD [24], публикуется с одобрения MGE.

- VI (Voltage Independent) независимые по напряжению устройства

UPS данного класса также называют взаимодействующими с сетью “Line-Interactive”

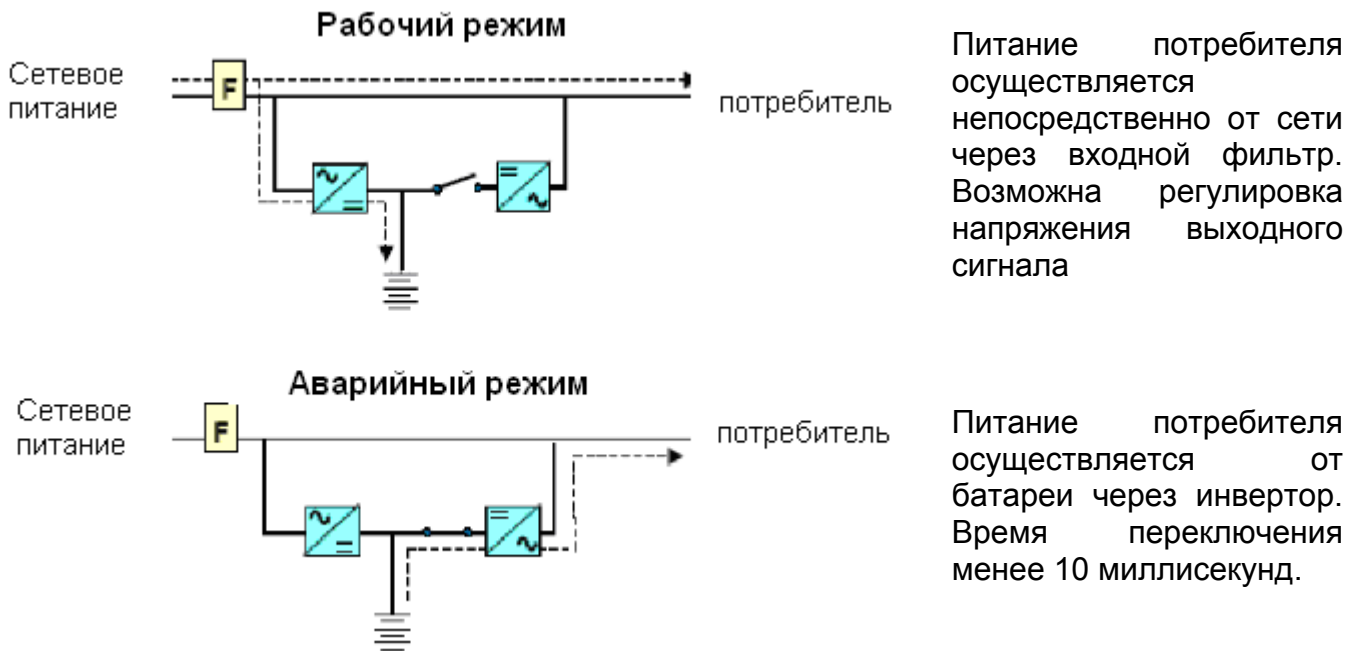
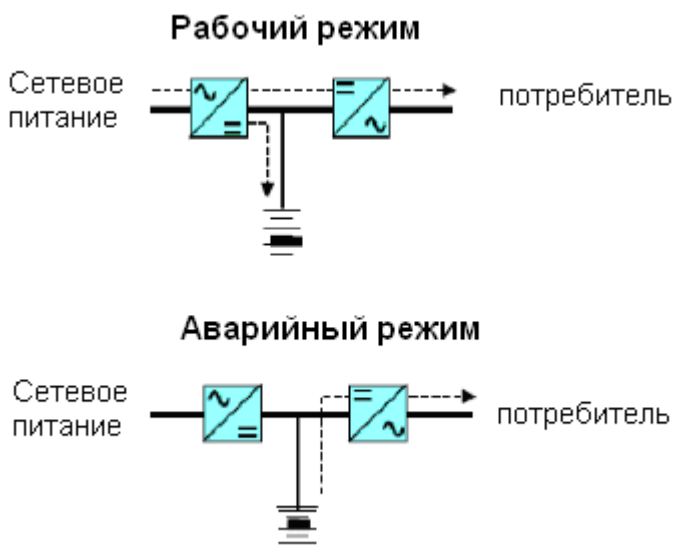


Рис. 56: Режимы работы UPS VI-класса [24], публикуется с одобрения MGE.

- VFI (Voltage and Frequency Independent) устройства, независимые по напряжению и частоте

UPS данного класса называют также устройствами двойного преобразования или “Online” (включенные в сеть) UPS.



Потребитель получает питание с выхода инвертора через выпрямитель чистым синусоидальным сигналом со строго выдержанными параметрами (напряжение/частота). Батарея – в режиме подзаряда.

Питание потребителя осуществляется от батареи через инвертор. С точки зрения нагрузки переключение между источниками энергии отсутствует.

Рис. 57: Режимы работы UPS VFI-класса [24], публикуется с одобрения MGE.

Только источники класса VFI (online) способны компенсировать любые сбои в питающей сети.

Стандартное время автономной работы может составлять от 1 до 30 минут, оно выбирается из расчета времени, требуемого для включения альтернативного источника электроэнергии, например, дизель-генераторной установки, или времени контролируемого закрытия приложений и сохранения данных потребителей. Во всех случаях сохраняется непрерывность выходного сигнала, а также его согласованность по частоте и фазе с внешними линиями электроснабжения.

Современная архитектура систем UPS часто дополняется контакторами защиты от глубокого разряда батареи и устройствами мониторинга.

Чаще всего в составе UPS используют герметизированные батареи с клапанным регулированием.

6.3 Производство и распределение электроэнергии

6.3.1 Производство электроэнергии

На объектах высокой степени ответственности, таких как традиционные и атомные электростанции, в большинстве случаев применяются батареи со свободным электролитом. Здесь аккумуляторные батареи обеспечивают надежность работы собственных оперативных сетей. Бесперебойное электроснабжение требуется: измерительным приборам, устройствам управления и регулирования, аварийным масляным насосам генераторов, оборудованию защиты, такому как система охлаждения электростанции.

На атомных станциях аккумуляторные батареи монтируются в сейсмостойких стеллажах.

Батареи рассчитываются на время автономной работы как минимум 30 минут. Для атомных станций рекомендуемые значения – 2-3 часа.

6.3.2 Распределение электроэнергии

Распределением электроэнергии занимаются сетевые компании. На ключевых подстанциях аккумуляторные батареи задействуются в системе контроля и управления трансформаторной станцией и коммутационной аппаратурой. Кроме того, батарейная поддержка необходима в случае пропадания основного питания для управления приводами высоковольтных выключателей и контакторов.

6.4 Системы безопасности

6.4.1 Системы аварийной и пожарной сигнализации

Системы аварийной и пожарной сигнализации обязательно оснащаются аккумуляторными батареями для обеспечения возможности функционирования в любой ситуации, включая аварии и сбои в основной сети. Требуемое время резервирования питания пожарной сигнализации составляет 72 часа, для систем аварийной сигнализации это время может равняться 60, 30 или 12 часов в зависимости от степени ответственности объекта. В Германии примерно 95% всех используемых в данных применениях аккумуляторных батарей устанавливаются с одобрения VdS (аббревиатура немецкого названия «ассоциация страхователей собственности»). Предлагаемые EXIDE Technologies VRLA-батареи, как с электролитом в виде геля, так и выполненные по технологии AGM, одобрены ассоциацией VdS и имеют соответствующие сертификаты.



6.4.2 Аварийное освещение

6.4.2.1 Определения

В помещениях, где отключение основного освещения может нанести вред персоналу или повлечь экономический урон, требуется установка систем аварийного освещения, согласно стандарту DIN EN 50171 [25].

Аварийное освещение - это освещение комнат и путей эвакуации, которое включается на время пропадания основной питающей сети. Время автономной работы аварийного освещения может составлять 1, 3 или 8 часов, в зависимости от утвержденных служебных правил.

В стандарте Din EN 50171 [25] перечисляются применяемые типы аккумуляторов:

6.12 Аккумуляторы

6.12.1 Аккумуляторы должны соответствовать одному из следующих определений:

EN 60285 Газонепроницаемые цилиндрические перезаряжаемые никель-кадмиевые одиночные элементы.

EN 60622 Газонепроницаемые призматические перезаряжаемые никель-кадмиевые одиночные элементы – Часть 1: Основные требования и испытания.

EN 60623 Открытые никель-кадмиевые элементы.

EN 60896-1 Стационарные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи – Основные требования и испытания – Часть 1: Аккумуляторы со свободным электролитом.

En 60896-2 Стационарные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи – Основные требования и испытания – Часть 2: Необслуживаемые свинцово-кислотные аккумуляторы с клапаном избыточного давления.

ПРИМЕЧАНИЕ: Прочие аккумуляторы могут устанавливаться только при условии соответствия нормам безопасности и производственным стандартам

6.12.2 Батареи, применяемые в центральных системах электроснабжения должны иметь расчетный срок эксплуатации как минимум 10 лет при температуре окружающей среды 20°C

Батареи, применяемые в центральных системах электроснабжения с ограничением по мощности должны иметь расчетный срок эксплуатации как минимум 5 лет при температуре окружающей среды 20°C

ПРИМЕЧАНИЕ: Для обеспечения требуемой производительности систем и в конце срока эксплуатации аккумуляторных батарей, их емкость следует выбирать в строгом соответствии с инструкциями и рекомендациями производителя.

Выше приведенные стандарты (DIN) EN 60896-1 и -2 в настоящее время заменяются на DIN EN 60896-11 и -21 соответственно (см. [26], [5]).

6.4.2.2 DIN EN 50171 как основание для выбора емкости батареи

Стандарт DIN EN 50171 формулирует требования, касающиеся емкости аккумуляторных батарей:

6.12.4 Аккумуляторные батареи в составе электротехнических систем должны конфигурироваться таким образом, чтобы обеспечивать заданные рабочие характеристики систем в начале эксплуатации, в течение срока службы и в конце жизненного цикла аккумуляторов.

ПРИМЕЧАНИЕ 1: При расчете аккумуляторных батарей принимают, что их стандартный срок службы соответствует условиям эксплуатации при температуре окружающей среды 20°C

Для того чтобы функциональные возможности системы не ухудшались к концу срока службы батареи из-за ее естественного старения, емкость аккумуляторов выбирают на 25% больше расчетного значения. Данная мера следует из того факта, что критерием вывода аккумуляторов из эксплуатации является потеря ими емкости до уровня 80% номинальной величины.

6.4.2.3 Инструкции производителя аккумуляторов по расчету времени тестирования

В стандарте DIN EN 50171 [25] приводятся следующие требования:

6.11 Автоматический тест батарей

Процедуру тестирования следует проводить с наименьшим риском для персонала, в том случае, если полный разряд аккумуляторных батарей может таить в себе угрозу безопасности для работающих в здании людей. Примеры безопасных режимов тестирования приведены в пп. с 6.11.1 до 6.11.3.

6.11.1 Система электропитания должна оборудоваться аккумуляторной батареей, состоящей из двух параллельных групп, для обеспечения возможности попеременного тестирования каждой из половин батареи так, что когда одна из ветвей разряжается, другая находится в рабочем режиме.

ПРИМЕЧАНИЕ: Такое построение системы позволяет также проводить техническое обслуживание или замену одной из половин батареи без полного отключения автономного питания аварийного освещения.

6.11.2 Ручной тест батареи допускается проводить раз в 12 месяцев и только при наличии предупреждающих сообщений.

6.22.3 Длительность тестового разряда не должна превышать 2/3 расчетной длительности работы батареи. Система должна обеспечивать автоматическую остановку теста по достижении напряжения на выводах батареи, соответствующего 2/3 рабочей емкости по данным производителя аккумуляторов.

В таблице 19 указаны допустимые уровни напряжений в расчете на элемент для различных типов аккумуляторов после проведения 2/3 разряда 1-часовым, 3-часовым и 8-часовым током.

Тип аккумулятора	Расчетное время работы		
	1-час	3-час	8-час
	U, В/Эл после 40 мин	U, В/Эл после 2 часов	U, В/Эл после 5,3 часов
Marathon	1.92 (-0.05)	1.93 (-0.05)	1.94 (-0.05)
Sprinter	1.92 (-0.05)	1.93 (-0.05)	1.94 (-0.05)
A400	1.91 (-0.05)	1.92 (-0.05)	1.93 (-0.05)
A600	1.87 (-0.05)	1.91 (-0.05)	1.93 (-0.05)
A700	1.90 (-0.05)	1.91 (-0.05)	1.92 (-0.05)
OPzS	1.87 (-0.05)	1.91 (-0.05)	1.93 (-0.05)

Таблица 19: Критерий окончания тестового разряда по напряжению. Конечное напряжение рабочего разряда 1,80 В/Эл.

6.4.2.4 Условия заряда – необходимые зарядные токи

В стандарте DIN EN 50171 [25] приводятся следующие требования:

6.2.3 Зарядное устройство должно обладать достаточным запасом мощности для автоматического заряда разряженной батареи в течение 12 часов с обеспечением 80% длительности расчетного рабочего режима.

В схеме параллельного включения, когда потребитель получает питание с выхода зарядного устройства, номинальный ток выпрямителя должен составлять не менее 110% суммы тока нагрузки и тока заряда батареи.

Испытания: испытания проводятся в соответствии с п. 6.2.5

В таблице 20 указаны минимальные значения тока заряда, которые необходимо сообщить аккумулятору для выполнения требований стандарта DIN EN 50171 к скорости восстановления его емкости. Приведенные данные справедливы при напряжении заряда 2,4 Вольт на элемент как для батарей с жидким электролитом, так и с клапанным регулированием.

Расчетное время работы		
1 час	3 часа	8 часов
5A/100Ач	6A/100Ач	7A/100Ач

Таблица 20: Минимальный ток заряда для различных рабочих режимов разряда.

6.4.2.5 Дополнительное гарантированное электроснабжение в медицинских учреждениях

Стандарт DIN VDE 0107 [27] регулирующий правила электроснабжения в медицинских учреждениях был заменен.

С июня 2003 года действует стандарт DIN VDE 0100-710 [28]. В главе «710.562 источники питания», которая соответствует DIN EN 50272-2 [13], содержится только весьма поверхностное указание, что первичные гальванические элементы не допускаются к использованию в качестве автономных источников тока. Детальная спецификация типов аккумуляторных батарей не приводится.

Однако в той же главе есть ссылка на проект стандарта “E DIN VDE 0558-507”, который содержит требования к батарейной поддержке электроснабжения центральных систем безопасности.

Глава «710.562.5 Емкость и время автономной работы систем безопасности» стандарта DIN VDE 0100-710 [28] предписывает построение гарантированного электроснабжения на время не менее 24 часов, хотя в зависимости от определенных условий длительность автономной работы может быть сокращена до 3 часов.

6.5 Железнодорожный транспорт

6.5.1 Светофоры и другое оборудование сигнализации

Работа систем сигнализации не должна прекращаться в периоды отключений или аварий основных питающих сетей. Бесперебойное электроснабжение обеспечивается UPS с батарейной поддержкой (см. 6.2) или альтернативными источниками электроэнергии – генераторами тока.

6.5.2 Железнодорожные переезды

Аккумуляторные батареи для железнодорожных переездов должны быть рассчитаны на эксплуатацию в буферном режиме (см. 3.2). Чаще всего в данном применении используется выпрямитель малой мощности, который способен обеспечивать работу шлагбаумов и светофоров, но все пиковые нагрузки обеспечиваются за счет аккумуляторной батареи. В промежутках между разрядами батарея заряжается.

6.5.3 Системы связи

С появлением стандарта GSM-R (Global System for Mobile Communications Rail) глобальной системы мобильной связи на железной дороге в качестве единой унифицированной и стандартизированной рабочей платформы в Европе связано будущее коммуникаций в сфере железнодорожного транспорта.

Следует подчеркнуть, что данная технология не является какой-то особенной, специальной разработкой, а представляет собой развитие проверенного технического решения, основанного на технических условиях Европейского комитета по Стандартизации Телекоммуникаций (ETSI), которые в свою очередь служат базисом самого популярного в мире стандарта мобильной связи GSM.

Все это означает, что огромному количеству базовых станций, сетевых коммутаторов и усилителей высокочастотного радиосигнала, расположенных вдоль железнодорожного полотна общей протяженностью около 36000 километров, требуются аккумуляторные батареи в качестве источников резервного питания (см. 6.1.2). Применяемые батареи состоят из свинцово-кислотных герметизированных элементов (серии OPzV) или блоков (AGM- и Гель-технологии), которые объединяются в группы 48 Вольт.

6.5.4 Поезда

Освещение и кондиционирование пассажирских вагонов всех общественных транспортных средств обеспечивается аккумуляторными батареями в случае пропадания основной сети.

Для данного применения больше всего подходят тяговые аккумуляторы, так как режим эксплуатации полностью совпадает с классическим определением циклического режима. Действительно, всегда, когда поезд отсоединен от локомотива, работа освещения и вентиляции поддерживается за счет батарей.

В современных поездах все системы сервиса имеют автономное питание, начиная от освещения и кондиционирования вагонов, вплоть до автоматического открывания дверей.

6.6 Фотоэлектричество

Солнечная энергия преобразуется в электрическую при помощи солнечных панелей. Непосредственное использование преобразованной энергии в течение светового дня возможно, но зависит от интенсивности солнечного излучения и конструкции панелей. Если энергию солнца, преобразованную в электрическую, необходимо накопить и использовать в другое время суток, например, в вечернее время или ночью, то применяют свинцово-кислотные аккумуляторы специального назначения.

Работа аккумуляторов в составе солнечных панелей представляет собой типичный пример циклического режима эксплуатации. В дневное время батарея получает заряд, но из-за отсутствия гарантии ежедневных благоприятных условий для выработки фотоэлектричества батарея при необходимости должна служить источником энергии в течение длительного времени - до нескольких суток. Поэтому номинальная емкость аккумуляторов Solar нормируется для 100-часового или 120 часового режима разряда (C_{100} , C_{120}).

Очень важным показателем надежности батарей для применений в фотоэлектричестве является максимально допустимое количество циклов заряда-разряда. Данный параметр зависит от типа аккумуляторной батареи. Так аккумуляторы с плоской намазной положительной пластиной выдерживают несколько сот циклов согласно DIN EN 60896-1 [29] и DIN EN 60896-2 [4] (при глубине разряда 60% и температуре 20°C), батареи с трубчатой положительной пластиной обеспечивают ресурс более 1000 циклов.

Устройства для преобразования солнечной энергии подразделяются по степени ответственности:

- Простые, маломощные установки, применяемые либо в загородных коттеджах, либо для энергоснабжения парковочных автоматов и телефонов срочной связи.
- Солнечные панели средней мощности для небольших промышленных объектов, морских буев и измерительных станций.



- Оборудование высокой мощности и степени цикличности, такое как островные автономные системы электроснабжения, преобразующие в электрическую энергию солнца и ветра.

6.7 Медицинские применения

Работа батарей в медицинских аппаратах может протекать в основном в трех различных режимах:

- По схеме параллельного включения (см. 3.1)
- В полуциклическом режиме
- В режиме циклической эксплуатации (см.3.4)

Такие ответственные устройства как, например, аппараты искусственного дыхания, обязательно оснащаются аккумуляторными батареями для обеспечения безопасности жизни пациента.

Оборудование больничных кроватей может иметь аккумуляторную поддержку. В этом случае следует говорить о режиме полуциклической эксплуатации батарей, так как в стационарном состоянии питание осуществляется от основной сети, и только при перемещениях работают аккумуляторы.

Полностью циклический режим реализуется при эксплуатации аккумуляторов в инвалидных креслах на электротяге. То есть, когда функционирование устройства полностью обеспечивается за счет разряда батареи, а заряд возможен только в нерабочие промежутки времени.

7. Литература

- [1] International standard DIN EN 60050-482, „International electro-technical dictionary, part 482; German version EN 60050-482”, July 2004, authorized translation of IEC 60050-482: 2004-04
- [2] VARTA Batterie-AG, „Bleiakkumulatoren, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1986
- [3] H. Kirchner, „Bleibatterien, Kapitel: Wirkungsweise“, Draft, Soest, March 2004
- [4] International standard DIN EN 60896-2, „Stationary lead-acid batteries – General requirements and methods of test - Part 2: Valve regulated types (IEC 896-2:1995); German version EN 60896-2”, December 1996
- [5] International standard DIN EN 60896-21, „Stationary lead-acid batteries – Part 21: Valve regulated types – Methods of test (IEC 60896-21:2004); German version EN 60896-21”, December 2004
- [6] D. Berndt, „Maintenance –Free Batteries”, Second Edition, Research Studies Press Ltd., Taunton, Somerset, England, 1997
- [7] F. Kramm, „Persönliche Diskussion“, June 2005
- [8] A. Jossen, „Ladeverfahren II und Batteriemanagement“, OTTI-forum, Ulm, May 2005
- [9] American standard UL 94, “Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances”, December 2003
- [10] American standard UL 924, “Emergency Lighting and Power Equipment”, January 2004
- [11] German standard DIN VDE 0298–4 (VDE 0298, Teil 4), „Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen“, August 2003
- [12] W. Rudolph †, „Einführung in die DIN VDE 0100“, VDE-Verlag, 1999

- [13] European standard DIN EN 50272 – 2 (DIN VDE 0510, Teil 2) "Safety requirements for secondary batteries and battery installations – Part 2: Stationary batteries; German version EN 50272-2", December 2001
- [14] German standard DIN 57298–3 (VDE 0298, Teil 3) „Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen, Teil 3: Allgemeines für Leitungen“, August 1983
- [15] H. A. Kiehne, „Batterien“, edition 4, Expert-Verlag, Renningen, 2000
- [16] General Electric, „The Sealed Lead Battery Handbook“, Gainesville FL, USA, 1979
- [17] W. Garten, „Bleiakkumulatoren“, edition 9, VARTA Aktiengesellschaft Frankfurt/Main, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1968
- [18] German standard DIN 40729: „Akkumulatoren – Galvanische Sekundärelemente – Grundbegriffe“, May 1985
- [19] German standard DIN 41772 „Halbleitergleichrichter-Geräte und – Anlagen“ May 1963
- [20] S. L. Vechy "Product design and manufacturing process considerations for the application of a 10 year design valve regulated lead acid battery in the outside plant environment", GNB Technologies "Professional Papers"
- [21] H. Niepraschk, "Interner Untersuchungsbericht A600 für SNCF- Qualifikation", Sonnenschein GmbH
- [22] European standard DIN EN 50091-3 „Uninterruptible power systems (UPS) - Part 3: Verification of methods of performance and test equipment; German version EN 50091-3“, November 2000
- [23] International standard DIN EN 62040-1-1 „Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1-1: General and safety requirements for UPS used in operator access areas (IEC 62040-1-1:2002 + corrigendum 2002); German version EN 62040-1-1" October 2003
- [24] Merlin Gerin (MGE), Presentation „Sicherheit und Verfügbarkeit von sensiblen Anwendungen“, July 2003

- [25] European standard DIN EN 50171 (VDE 0558 Teil 508) „Central power supply systems; German version EN 50171:2001 + Corrigendum 2001-08“, November 2001
- [26] International standard DIN EN 60896-11 „Stationary lead-acid batteries – Part 11: Vented types – General requirements and methods of test (IEC 60896-11:2002); German version EN 60896-11:2003“, July 2003
- [27] German standard DIN VDE 0107 „Starkstromanlagen in Krankenhäusern und medizinisch genutzten Räumen außerhalb von Krankenhäusern“, October 1994
- [28] German standard DIN VDE 0100-710 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Teil 710: Medizinisch genutzte Bereiche“, November 2002
- [29] International standard DIN EN 60896-1, „Stationary lead-acid batteries – General requirements and methods of test – Part 1: Vented types (IEC 896-1:1987 + A1:1988)“, German translation of IEC 896-1, November 1992

Competence Center:

Deutsche EXIDE GmbH
Im Thiergarten
63654 Büdingen-Germany

Tel.: + 49 (0) 60 42 - 81 544

Fax: + 49 (0) 60 42 - 81 398

www.Industrialenergy.exide.com

Technical Customer Services:

Deutsche EXIDE GmbH
Odertalstr. 35
37431 Bad Lauterberg-Germany

Tel.: + 49 (0) 5524 - 82274

Fax: + 49 (0) 5524 - 82480

Август 2006

