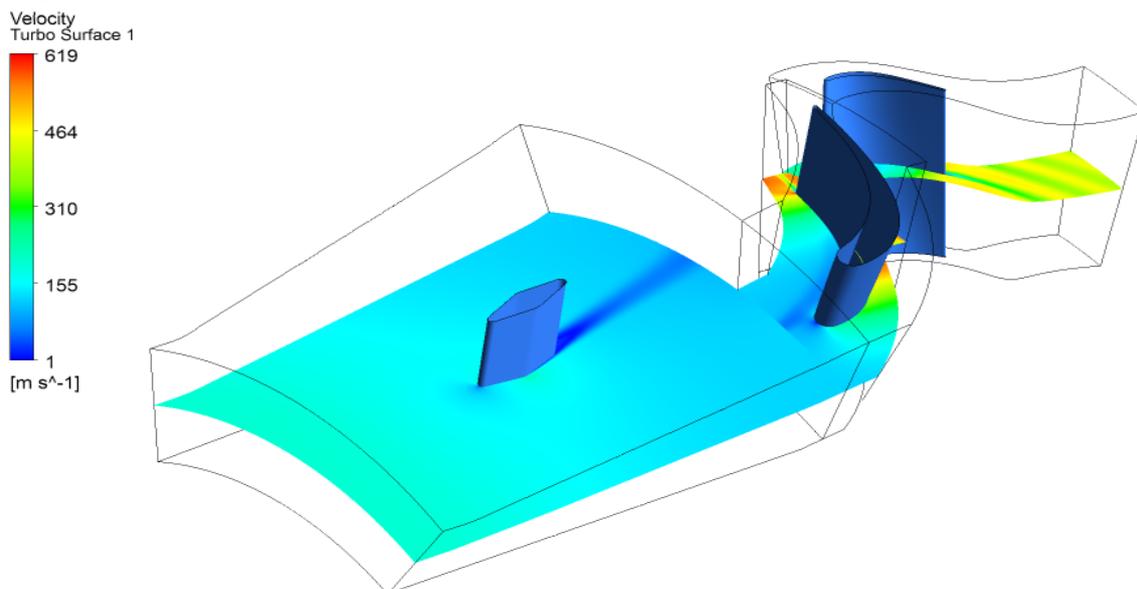


короче и установка стойки на выходе патрубка обеспечивает увеличение изоэнтروпического КПД турбины на 2.7% (абсолютных).



**Рисунок 7 – Поле абсолютных скоростей в расчетной модели турбинной ступени с укороченными и расположенными в середине патрубка стойками**

Влияние места расположения стоек на эффективность турбины можно объяснить тем: что межтурбинный патрубок является по сути своей диффузором и поэтому возмущения течения среды в начале патрубка по мере перемещения к его выходу увеличиваются.

#### **Выводы**

1. При наличие закрутки потока на входе в патрубок силовой турбины его силовые стойки оказывают значительное влияние на эффективность турбины.
2. Уменьшение длины стойки в два раза приводит к росту изоэнтропического КПД турбины на 2.3% (абсолютных).
3. Для получения максимального КПД турбины стойка должна устанавливаться на выходе патрубка как можно ближе к турбине. В этом случае по сравнению с вариантом установки стойки на входе патрубка эффективность турбины увеличивается на 1.8% (абсолютных).

#### **Литература**

1. Маханёв В.Т. Разработка и исследование РСА турбин малоразмерных газотурбинных двигателей. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н., Казань, 1984.
2. Костюков А.В., Плыкин М.Е., Кустарев Ю.С. Повышение эффективности двухвальных газотурбинных установок. Известия МГТУ «МАМИ», № 2(8), 2009.
3. Menter F.R. Multiscale model for turbulent flows. 24<sup>th</sup> fluid dynamics conference. AIAA, 1993.

### **Об исследованиях процесса разрушения положительных электродов свинцовых кислотных аккумуляторов**

доц. Кочуров А.А., к.т.н. проф. Картуков А.Г.  
Рязанский военный автомобильный институт

*Аннотация.* В статье описаны результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса разрушения положительных электродов свинцовых кислотных аккумуляторов и установлены закономерности изменения эксплуатационных показателей их работы в зависимости от конструктивных особенностей, режимов эксплуатации и срока службы.

*Ключевые слова:* свинцовый кислотный аккумулятор, положительный электрод

*трод, оплывание активной массы.*

Исследованию процесса разрушения положительных электродов свинцового кислотного аккумулятора посвящено значительное количество научных трудов [1, 2, 3, 4]. По мнению исследователей, разрушение решетки токоотводов положительных электродов происходит в основном по причине их коррозии в процессе эксплуатации аккумуляторов, обусловленной как конструктивными и технологическими причинами, так и эксплуатационными факторами.

Разрушение активной массы положительных электродов сопровождается процессами выкрашивания, оплывания, оползания и перемещения, которые обозначены в технической литературе, но не имеют четкого разделения между собой.

Оплывание активной массы может происходить как из-за нарушения технологии изготовления электродов (излишний слой пасты, неправильный режим сушки и др.), так и из-за неправильной эксплуатации аккумуляторов [5].

Во время работы аккумуляторной батареи активная масса в положительных электродах при заряде и разряде постоянно изменяет свой объем, сцепление частичек активной массы между собой ослабевает, в результате чего они выкрашиваются. Выкрашивание частиц активной массы ускоряется, если аккумуляторную батарею будут систематически перезаряжать большим током, а при эксплуатации на автомобиле подвергать резким механическим толчкам.

При длительных перезарядках оплывание активной массы еще более усиливается, так как перезаряд сопровождается разложением воды с выделением кислорода на положительном электроде и водорода на отрицательном. Выделяющиеся пузырьки газов повышают давление внутри пор активной массы, вызывая ее разрыхление и выпадение. Помимо этого, выделяющийся на поверхности положительного электрода кислород окисляет материал токоотвода и разрушает его. Активная масса положительных электродов ввиду ее меньшей механической прочности при перезаряде разрушается гораздо быстрее, чем активная масса отрицательных электродов.

Различные авторы [2, 6] сущность явления разрушения и оплывания активной массы положительного электрода свинцового аккумулятора объясняют отделением от аккумуляторных пластин мелких кристаллов двуокиси свинца.

Это приводит, прежде всего, к снижению емкости положительного электрода вследствие уменьшения запаса активного вещества. Кроме того, электрофоретический перенос частиц  $PbO_2$  к пластинам отрицательного электрода часто ведет к появлению коротких замыканий по кромкам пластин и через сепараторы. Наконец, обнажение решеток положительных пластин, вследствие оплывания активной массы, способствует их ускоренной коррозии.

Решающее влияние условий разряда, особенно конечной его стадии, на срок службы активной массы положительного электрода привело авторов [3] к выводу о том, что скорость процесса оплывания зависит от структуры сульфата свинца, образующегося при разряде. При образовании рыхлого, крупнокристаллического сульфата последующий заряд ведет к получению достаточно прочного слоя двуокиси свинца. Если же при разряде возникает плотный, мелкокристаллический сульфат (разряд в электролите высокой концентрации, при низких температурах и высоких плотностях тока), то это ведет к образованию при заряде рыхлого слоя двуокиси, склонного к оплыванию.

Необходимо отметить, что, хотя влияние условий кристаллизации  $PbSO_4$  на скорость разрушения активной массы положительного электрода не вызывает сомнений, изложенный выше механизм оплывания не является единственно возможным.

Существенное влияние на срок службы активной массы может оказывать материал решетки. Как показано в работе [7], характер окисной пленки, образующейся на поверхности решеток, во многом определяет прочность сцепления активной массы с решеткой и, следовательно, электрические характеристики и срок службы электрода. При изготовлении решетки из чистого свинца, образующего при анодной коррозии весьма рыхлую окисную пленку, или при освинцовке решеток из свинцово-сурьмяного сплава контакт активной массы с решеткой

значительно ухудшается, что приводит к сокращению срока службы электрода.

Механические свойства анодного сплава также в известной мере определяют прочность активной массы положительного электрода. Деформация решеток, превышающая 5% от первоначальных размеров, приводит к быстрому разрушению активной массы.

Существует также иное мнение о механизме разрушения активной массы положительного электрода, заключающееся в том, что процессы оплывания и оползания активной массы положительных электродов характеризуют вторичные изменения в положительных электродах аккумулятора [4]. Связано это с тем, что в одной из фаз работы (в заряженном или в разряженном состоянии) реагент приобретает рыхлую структуру и отдельные частицы в ней оказываются плохо сцепленными друг с другом или с основой (токоотводом) электрода. Постепенно отвалившиеся частицы накапливаются в нижней части моноблока в виде шлама. Этот процесс ускоряется в результате механических воздействий, например, из-за газовыделения при перезаряде или из-за вибрационных нагрузок на аккумулятор.

Процессы старения и оплывания активной массы происходят обычно равномерно по всей поверхности электрода. Возможны, однако, другие процессы, неравномерно распределенные вдоль поверхности положительного электрода. Примером может служить постепенное оползание активной массы с верхних зон электрода и накопление ее в нижних. Оползание наблюдается иногда в высоких аккумуляторах и не является следствием простого оплывания активной массы. Оно может быть вызвано концентрационными изменениями в электролите: более концентрированный и более тяжелый раствор, образующийся при заряде или разряде, накапливается в нижней части моноблока аккумулятора, оттесняя более легкие слои вверх, вследствие чего жидкость как бы расслаивается. В результате этого условия протекания электродных процессов в нижней и верхней части электродов изменяются: в верхней создаются условия, благоприятствующие растворению активного вещества, в нижней – его осаждению.

Оползание или перемещение активной массы вызывает в отдельных участках накопление избытка массы, что не всегда связано с увеличением толщины электрода и может привести к уменьшению пористости. В этом случае уменьшается поверхность контакта с электролитом, увеличиваются диффузионные затруднения и эффективная проводимость в порах, т. е. ухудшаются общие условия работы активной массы и коэффициент ее использования. В результате в отдельных местах возможно полное прекращение работы активной массы, т. е. ее пассивация.

Все эти явления приводят к постепенному снижению емкости аккумулятора в целом, к росту поляризации и снижению разрядного напряжения. Они являются основной причиной ограничения ресурса, срока службы и срока сохраняемости свинцовых кислотных аккумуляторных батарей.

Таким образом, по существующим представлениям, физической основой разрушения активной массы положительных электродов является механическое отделение отдельных ее частиц друг от друга с последующим отделением от активной массы и перемещением из верхних частей электрода в нижние в результате:

- выкрашивания [5] вследствие постоянного изменения своего объема при заряде и разряде, а также ослабления сцепления частичек активной массы между собой и отделения от активной массы аккумуляторных пластин мелких кристаллов двуокиси свинца [2];
- возникновения плотного мелкокристаллического сульфата свинца при разряде аккумулятора в электролите высокой концентрации при низких температурах и высоких плотностях тока, приводящего к образованию при заряде рыхлого слоя двуокиси, склонного к оплыванию [3];
- постепенного оползания активной массы из верхних зон электрода и накопление ее в нижних как следствие простого оплывания активной массы, а также вызванного расслоением электролита, обусловленного концентрационными изменениями в нем, на верхние слои, в которых создаются условия, благоприятствующие растворению активного вещества, и на нижние, в которых оно оседает [6].

Вместе с тем, существующие представления о сущности разрушения и оплывания активной массы положительных электродов свинцового аккумулятора не дают целостного представления о данном процессе и требуют дальнейшего его изучения и экспериментального исследования.

Проведенные автором экспериментальные исследования позволили объективно оценить характер разрушения положительных электродов свинцовых кислотных аккумуляторов и установить закономерности изменения эксплуатационных показателей их работы в зависимости от конструктивных особенностей, режимов эксплуатации и срока службы.

По конструктивным особенностям изготовления исследуемые аккумуляторы подразделялись на три группы:

- содержащие блоки отрицательных электродов и положительных электродов, разделенные между собой сепараторами и помещенные в сосуд (моноблок), заполненный электролитом, на опорные призмы, имеющиеся на дне каждой ячейки моноблока выступами («ножками») электродов ;
- содержащие блок отрицательных электродов и блок положительных электродов, электроды которого завернуты в сепараторы-конверты из полиэтилена, помещенные непосредственно на дно ячейки моноблока, заполненного электролитом ;
- содержащие блок положительных электродов и блок отрицательных электродов, электроды которого завернуты в сепараторы-конверты из полиэтилена, помещенные непосредственно на дно ячейки моноблока, заполненного электролитом.

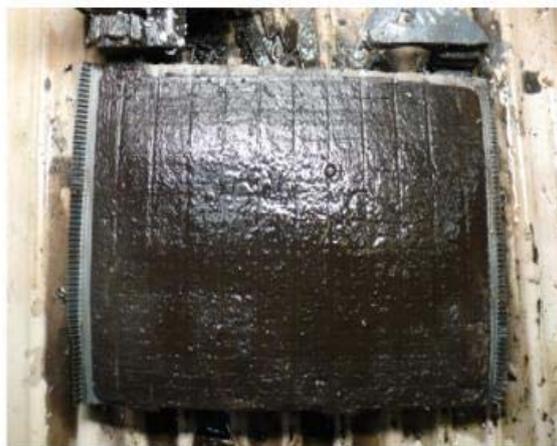
По технологическим особенностям аккумуляторы подразделялись на подгруппы с положительными электродами, изготовленными из свинцово-сурьмянистого и свинцово-кальциевого сплава.

В ходе проведения исследований установлено, что:

- к концу жизненного цикла разрушение положительных электродов имеет место во всех аккумуляторах;
- положительные электроды разрушаются по двум основным причинам, зависящим от особенностей конструкции: разрушение решетки токоотводов, оплывание и деградация активной массы;
- целостность электродов сохраняется до момента разборки всех аккумуляторов, т.е. в процессе эксплуатации (не зависимо от условий) аккумуляторные электроды не разрушаются, однако после разборки при механическом воздействии на поверхность электрода разрушаются; причем характер разрушений зависит как от конструктивных особенностей, в частности, от материала изготовления решеток токоотвода, так и от эксплуатационных (рисунк 1);



а)



б)

**Рисунок 1 – Положительные электроды АКБ до момента разборки: а) АКБ 6СТ-55 «INCI AKU Classic»; б) АКБ 6СТ-55 «BCA» (Востсибаккумулятор)**

- разрушение решетки токоотводов положительных электродов преобладает в аккумулято-

рах, решетки токоотводов которых изготовлены из свинцово-сурьмянистого сплава, при этом нарушение механической целостности активной массы в ячейках по всей площади поверхности не отмечается, что свидетельствует о преобладании разрушений, связанных с оплыванием поверхностного слоя активной массы над ее механическими разрушениями в процессе жизненного цикла (рисунок 2);



а)



б)

**Рисунок 2 – Положительные электроды АКБ после разборки: а) АКБ 6СТ-55 «INCI AKU Classic»; б) АКБ 6СТ-55 «BCA» (Востсибаккумулятор)**

- проблема разрушения решетки токоотводов положительных электродов решена в аккумуляторах, решетки токоотводов которых изготовлены из свинцово-кальциевых сплавов, однако для таких аккумуляторов, эксплуатируемых при неблагоприятных условиях (чрезмерно большая сила зарядного или разрядного тока, нарушения правил пуска двигателя стартером, повышенная температура электролита, и др.), характерна деформация решеток токоотводов (рисунок 3);



а)



б)

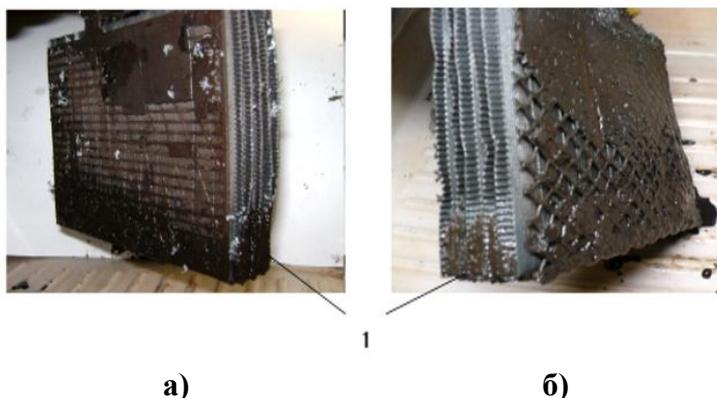
**Рисунок 3 – Деформация положительных электродов: а) АКБ 6СТ-55 «VARTA Blue Dynamic»; б) АКБ 6СТ-55 «BCA» (Востсибаккумулятор)**

- оплывание активной массы положительных электродов, причинами которого являются увеличение концентрации электролита, увеличение плотности разрядного тока, длительный перезаряд, разряд аккумулятора в условиях низких температур, глубокий разряд, механические воздействия, эксплуатация при значительной степени разряженности, характерно для всех аккумуляторов (рисунок 4);
- оплывшая активная масса положительных электродов скапливается в нижней части (1/3 поверхности) электродов в жидком пастообразном состоянии, пассивируя электрод и исключая указанную его часть из работы, что является основной причиной потери емкости и выхода батареи из строя (рисунок 5);
- пассивация электродов является следствием нарушения работоспособности АКБ в течение всего жизненного цикла, а характер ее проявления в значительной степени обусловлен

конструкцией батарей;



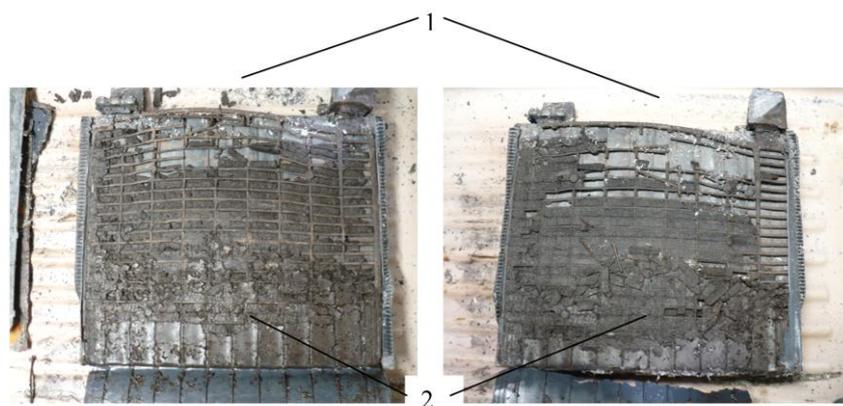
Рисунок 4 – Разрушение активной массы положительных электродов: а) АКБ 6СТ-55 «MUTLU Mega Calcium»; б) АКБ 6СТ-55 «RENAULT»



1 – продукты разрушения положительных электродов

Рисунок 5 – Аккумуляторы, содержащие блок положительных электродов и блок отрицательных электродов, электроды которого завернуты в сепараторы-конверты: а) АКБ 6СТ-55 «MUTLU Mega Calcium»; б) АКБ 6СТ-55 «RENAULT»

- накопление продуктов разрушения активной массы положительных электродов значительно ускоряется при расположении положительных электродов внутри сепараторов-конвертов (рисунок 6);



1 – разрушение решетки токоотвода положительного электрода, 2 – продукты разрушения активной массы положительного электрода  
Рисунок 6 – Аккумуляторы АКБ 6СТ-44 «Steco», содержащие блок отрицательных электродов и блок положительных электродов, электроды которого завернуты в сепараторы-конверты

- в завершающей стадии жизненного цикла электроды аккумулятора имеют различную толщину по высоте, тем самым подтверждая неравномерность работы всей поверхности

электрода.

### **Выводы**

Таким образом, в результате анализа сформулированы следующие версии процесса оплывания активной массы аккумуляторов:

- выкрашивание [5] вследствие постоянного изменения своего объема при заряде и разряде, а также ослабления сцепления частичек активной массы между собой; отделение от аккумуляторных пластин мелких кристаллов двуокиси свинца [2];
- возникновение плотного, мелкокристаллического сульфата при разряде в электролите высокой концентрации, низких температурах и высоких плотностях тока, приводящего к образованию при заряде рыхлого слоя двуокиси, склонного к оплыванию [3];
- постепенное оползание активной массы с верхних зон электрода и накопление ее в нижних как следствие простого оплывания активной массы, а также вызванного концентрационными изменениями в электролите расслоения жидкости на верхние слои, в которых создаются условия, благоприятствующие растворению активного вещества, и на нижние, в которых оно оседает [6].

С учетом проведенных экспериментальных исследований, подтверждающих данные мнения, возникает необходимость дальнейшего исследования сущности явления разрушения и оплывания активной массы положительного электрода свинцового аккумулятора, так как эти явления приводят к постепенному снижению емкости аккумулятора в целом, к росту поляризации и снижению разрядного напряжения. А, следовательно, именно они являются основной причиной ограничения ресурса, срока службы и срока сохраняемости свинцовых кислотных аккумуляторных батарей.

### **Литература**

1. Болотовский В.И. Эксплуатация, обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов [Текст]. / В.И. Болотовский, З.И. Вайсгант. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1988. – 208 с.
2. Дасоян М.А. Современная теория свинцового аккумулятора [Текст]. / М.А. Дасоян, И.А. Агуф. – Л.: «Энергия», 1975. – 312 с.
3. Крепакова Е.И. Исследование причин, вызывающих разрушение активной массы положительных пластин свинцового аккумулятора [Текст]: Сборник работ по аккумуляторам / Е.И. Крепанова, Б.Н. Кабанов. – М.: ЦБТИ Электропр., 1958. – 64 с.
4. Багоцкий В.С. Химические источники тока [Текст]. / В.С. Багоцкий, А.М. Скундин. – М.: Свинцовые стартерные аккумуляторные батареи: Руководство [Текст]. – М.: Воениздат, 1983. – 170 с.
5. Белогуров И.Г. Стартерные кислотные аккумуляторы [Текст]. / И.Г. Белогуров. – М.: Воениздат, 1960. – 168 с.
6. Машовец В.П. Испытание опытных образцов аккумуляторов с решетками из сплавов, содержащих примеси [Текст]: Журнал прикладной химии / В.П. Машовец. – М., 1958. – 1360 с.

### **Особенности конструкции композитной брони повышенной живучести**

к.ф.-м.н. доц. Кулаков Н.А., к.т.н. доц. Любин А.Н.

МГТУ «МАМИ»

(495) 223-05-23 доб. 1265

*Аннотация.* В статье рассматриваются конструктивные особенности композитной брони. Предложены конструктивные варианты её исполнения. Эти варианты обеспечивают возможность использования брони в качестве защиты от огня крупнокалиберных пулеметов, сохраняя её весовые характеристики и защитные свойства от бронебойных пуль меньшего калибра. Одновременно предложены меры, существенно повышающие живучесть брони при отрицательных температурах.