

Влияние зарядного напряжения на снижение ёмкости свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (Карлаков Д.С., Лештаев О.В., Стушкина Н.А.)

Накопители энергии широко используются в электроснабжении для регулирования и выравнивания нагрузки потребителей, в альтернативной электроэнергетике [117], [118], в промышленных и сельскохозяйственных энергоустановках [68], [83], в системах автономного питания электроприемников и измерительных приборов [119]. Наиболее широкое распространение и применение получили свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (АКБ). Свинцово-кислотная батарея, будучи изобретённой ещё в 1859 году, до сих пор остаётся наиболее распространённым типом аккумуляторных батарей, благодаря их низкой стоимости, простоте изготовления и налаженному методу утилизации [120].

Энергетические показатели свинцово-кислотных батарей и их оценка, во многом зависит от их режима заряда-разряда и области применения. Например, для хранения энергии возобновляемых источников требуется частичный заряд-разряд батареи. В автомобильных системах запуска и электропотребления, АКБ в основном работает в режиме плавающего заряда-разряда. Хорошо известно, что различные режимы заряда-разряда влияют на износ АКБ и сокращение срока службы батареи [121].

Согласно ГОСТ Р 53165-2008, напряжение полностью заряженных батарей с номинальным напряжением $U_{н12} = 12$ вольт, после не более 24 ч выдержки при температуре 25°C при разомкнутой цепи для герметичных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей должно быть не ниже 12,8 вольт. Так как такая свинцово-кислотная аккумуляторная батарея содержит 6 аккумуляторов (секций, ячеек, элементов), то напряжение на отдельно взятом аккумуляторе при разомкнутой цепи должно составлять не менее 2,13 вольт.

Для заряда аккумулятора с номинальным напряжением, $U_{н2} = 2$ В

рекомендовано использовать зарядное напряжение от 2,3 до 2,4 вольт.

Для глубоко разряженного аккумулятора допустимо проводить заряд повышенным зарядным напряжением от 2,5 до 2,7 В. Заряд более высоким напряжением сопровождается активном электролизом, что влечёт за собой осыпание активной массы пластин и выход аккумулятора из строя [121].

Несмотря на большое количество исследований различных режимов заряда, влияние зарядного напряжения на характеристики батареи требует дальнейшего изучения. Данная работа посвящена исследованию и анализу влияния пониженного зарядного напряжения (ниже рекомендованного зарядного напряжения 2,3-2,4 вольт на аккумулятор, но превышающего потенциал разомкнутой цепи аккумулятора 2,13 вольта, согласно ГОСТ Р 53165-2008), на характеристики аккумуляторных батарей и срок их службы.

В данном исследовании использовались шесть герметичных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, изготовленных по технологии AGM, номинальной емкостью 5 А·ч и номинальным напряжением $U_{нб} = 6$ вольт. Каждая батарея состоит из 3 аккумуляторов с номинальным напряжением $U_{н2} = 2$ В. Исследуемые АКБ разделены на 3 группы, по 2 батареи в группе.

Исходя из требований ГОСТ Р 53165-2008, напряжение полностью заряженной батареи с номинальным напряжением $U_{нб} = 6$ вольт, после не более 24 ч выдержки при температуре 25°C при разомкнутой цепи для герметичных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей должно быть не менее 6,4 вольт. Следовательно, для оценки влияния пониженного зарядного напряжения на характеристики свинцово-кислотных АКБ, зарядное напряжение аккумуляторных батарей с $U_{нб} = 6$ вольт должно превышать 6,4 вольт, но быть менее 6,9-7,2 вольт [121].

Исследования характеристик батарей проведем при следующих величинах зарядного напряжения: для первой группы АКБ – 6,5 вольт (101,5%); для второй группы – 6,75 вольт (105,5%); для третьей группы – 7

вольт (109,5%).

Для проведения заряда аккумуляторных батарей использовался прибор «Кулон – 715d». Начальный зарядный ток, равный 0,5 ампера, был выбран исходя из рекомендации производителя АКБ. В процессе заряда аккумуляторных батарей током равным 0,5 ампера, при достижении заданного зарядного напряжения на клеммах АКБ (соответственно для групп: 6,5, 6,75 и 7,0 вольт), режим заряда при постоянном токе автоматически менялся на режим заряда при постоянном (заданном для данной группы) зарядном напряжении. Заряд аккумуляторных батарей прекращался через 10 минут после снижения зарядного тока до нуля, согласно табло устройства.

Для определения снижения ёмкости АКБ, был проведен их разряд с использованием электронного модуля нагрузки «WEL3005». Перед началом испытаний все 6 АКБ были полностью заряжены при заданном для каждой группы зарядном напряжении. В первом цикле испытаний на «WEL3005», АКБ были разряжены током 0,25 ампер до падения напряжения до 5,25 вольт на клеммах батарей и проведено измерение их действительной ёмкости в А·ч, согласно ГОСТ 53165-2008. В следующих восьми циклах проводился заряд АКБ на приборе «Кулон – 715d», до заданных напряжений заряда групп, а затем разряд батарей на «WEL3005» током 0,25 ампера, до падения напряжения до 6 вольт, без измерения ёмкости АКБ. В 10 цикле, после проведения заряда, разряд АКБ проводился до падения напряжения до 5,25 вольт, т.е. испытания проводились аналогично испытаниям в первом цикле.

По результатам испытаний в 1-ом и 10-ом циклах «заряд-разряд» аккумуляторных батарей, в соответствии с измеренными действительными ёмкостями АКБ, для каждой из трёх групп батарей были рассчитаны средние значения ёмкостей (А·ч), при зарядных напряжениях: 6,5 вольт (101,5%); 6,75 вольт (105,5%) и 7 вольт (109,5%).

Результаты расчетов средних ёмкостей АКБ в А·ч, при оценке влияния пониженного зарядного напряжения на снижение ёмкости свинцово-кислотных аккумуляторных батарей по результатам испытаний в 1-ом и 10-

ом циклах «заряд-разряд» представлены в Таблица 26.

Таблица 26

Среднее снижение ёмкости АКБ после десяти циклов «заряд-разряд» и зарядных напряжениях ниже рекомендованного инструкцией по эксплуатации АКБ

№ цикла	Среднее значение ёмкости АКБ (А·ч), при заряде напряжением 6,5v (101,5%)	Среднее значение ёмкости АКБ (А·ч), при заряде напряжением 6,75v (105,5%)	Среднее значение ёмкости АКБ (А·ч), при заряде напряжением 7v (109,5%)
1	4,94	4,945	4,93
10	4,35	4,46	4,625

В соответствии с измеренными и рассчитанными средними значениями ёмкости АКБ (Таблица 26), проведено определение:

- снижения емкости АКБ:

$$\Delta C = C_1 - C_{10}; \quad (136)$$

- деградация емкости АКБ, в %:

$$D_E = \frac{C_1 - C_{10}}{C_1} \cdot 100\%; \quad (137)$$

где C_1, C_{10} – средние значения ёмкости АКБ, определенные, соответственно, в 1-ом и 10-ом циклах «заряд-разряд» АКБ.

Результаты расчетов: снижение емкости ΔC по (145) и деградация емкости АКБ D_E по (146), в зависимости от значения пониженного зарядного напряжения, относительно рекомендованного инструкцией по эксплуатации АКБ, представлены в .

Таблица 27

Характеристики АКБ после десяти циклов «заряд-разряд» и зарядных напряжениях ниже рекомендованного инструкцией по эксплуатации АКБ

Параметры АКБ	Среднее снижение ёмкости АКБ А·ч, при заряде напряжением 6,5v (101,5%)	Среднее снижение ёмкости АКБ А·ч, при заряде напряжением 6,75v (105,5%)	Среднее снижение ёмкости АКБ А·ч, при заряде напряжением 7v (109,5%)
ΔC , А·ч	0,59	0,485	0,305
D_E , %	11,94	9,81	6,19
Уравнение связи	$C=5,006-0,0656 \cdot k$	$C=4,999-0,0539 \cdot k$	$C=4,964-0,0339 \cdot k$
k , количество циклов	38,2	46,4	72,7

В соответствии с измеренными и рассчитанными средними значениями ёмкости АКБ (Таблица 26), построены графики изменения ёмкости АКБ C в зависимости от количества циклов «заряд-разряд» АКБ (Рисунок 72) и определено линейное уравнение: изменение ёмкости АКБ в зависимости от количества циклов «заряд-разряд» АКБ:

$$C = C_{нач} - b \cdot k ; \quad (138)$$

где $C_{нач}$ – начальная ёмкость АКБ, т.е. ёмкость АКБ до проведения испытаний, А·ч; b – коэффициент чувствительности снижения ёмкости АКБ к количеству циклов «заряд-разряд» АКБ, А·ч/цикл; k – количество циклов «заряд-разряд» АКБ.

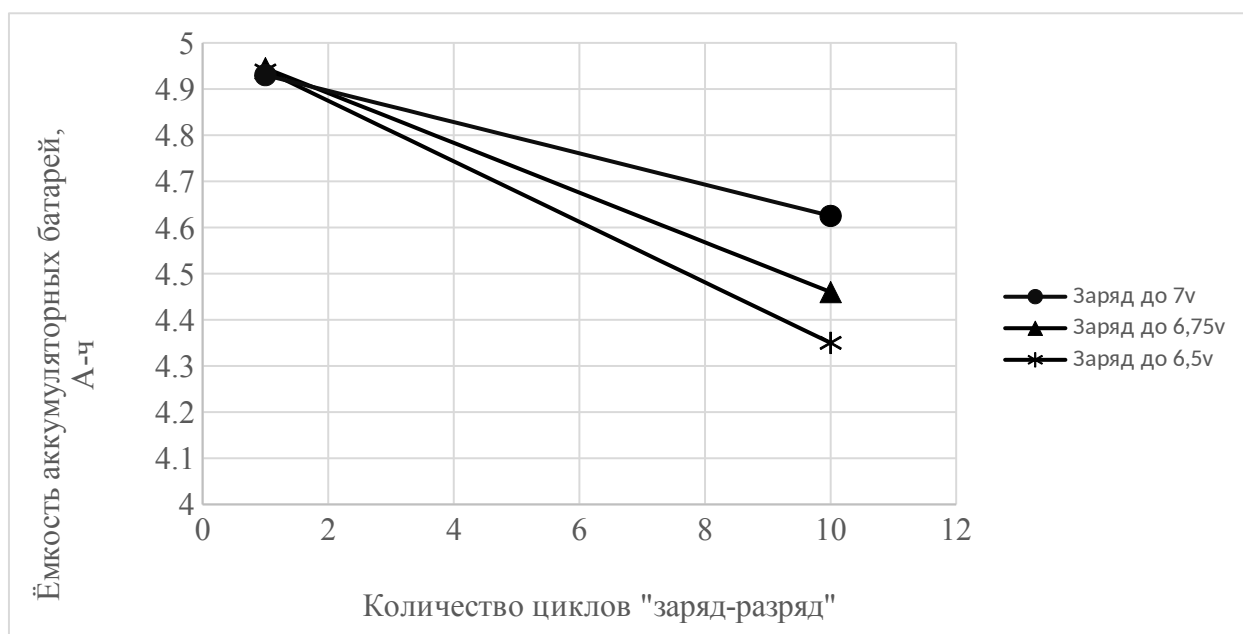


Рисунок 72. – Изменение ёмкости аккумуляторных батарей (с номинальной ёмкостью 5 А·ч), в зависимости от количества циклов «заряд-разряд» АКБ

В соответствии с проведенными исследованиями, для трех групп испытуемых АКБ (Таблица 26) и графиками изменения их ёмкости в зависимости от количества циклов «заряд-разряд» АКБ (Рисунок 72) определены уравнения связи (147) для каждой из групп АКБ и представлены в .

Приняв ёмкость АКБ при котором происходит её списание (утилизация) $C_p = 0,5$ от номинальной ёмкости 5 А·ч, и преобразовав (147), определено количество циклов «заряд-разряд» АКБ до списания при заряде напряжением, соответственно 6,5v (101,5%); 6,75v (105,5%) и 7v (109,5%). Результаты расчетов k также занесены в .

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что при низком зарядном напряжении ёмкость аккумуляторных батарей быстро снижается. При повышении зарядного напряжения данная тенденция, напротив, уменьшается. Можно предположить, что снижение ёмкости аккумуляторных батарей при заряде малым напряжением происходит из-за сульфатации пластин.

В то же время, можно предположить, что при повышении зарядного напряжения электролиз происходит более активно, что способствует перемешиванию электролита, а образующиеся в результате электролиза пузырьки газа разрушают частички сульфата и отделяют их от пластин аккумуляторов, что снижает интенсивность утраты батареей первоначальной ёмкости.

Для улучшения характеристик АКБ их заряд необходимо производить при зарядном напряжении выше напряжения полностью заряженной батареи, рекомендованного ГОСТом Р 53165-2008. При этом происходит минимальное снижение ёмкости АКБ и увеличивается допустимое количество циклов «заряд-разряд». Следовательно, заряд напряжением 109,5% от напряжения полностью заряженной аккумуляторной батареи рекомендованного ГОСТом Р 53165-2008 способствует улучшению параметров, продлению срока службы АКБ и, как следствие, снижению затрат на приобретение новых аккумуляторных батарей.