

УДК 62-768

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫМИ  
АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ В ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ И  
АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТАХ**

*Шиповской Д.М., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
кафедра «Подводные роботы и аппараты»*

*Гладкова О.И., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
кафедра «Подводные роботы и аппараты»*

*Научный руководитель: Мещерякова Р.И.,  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[sm42@sm.bmstu.ru](mailto:sm42@sm.bmstu.ru)*

В настоящее время литий-ионные источники питания находят все большее применение в разных областях. Это объясняется повышенной энергоемкостью и мощностью составленных из них батарей при сохранении малой массы и объема, достижением более высокого напряжения, снижением саморазряда. Кроме того, преимуществами этих источников перед аналогами являются герметичность, отсутствие выделения газа, большой показатель цикличности и срок службы. Указанные характеристики определяют выбор источников энергии для средств подводного движения.

В области развития подводных систем на сегодняшний день актуальны такие направления как разработка телеуправляемых подводных аппаратов (ТНПА) и автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА).

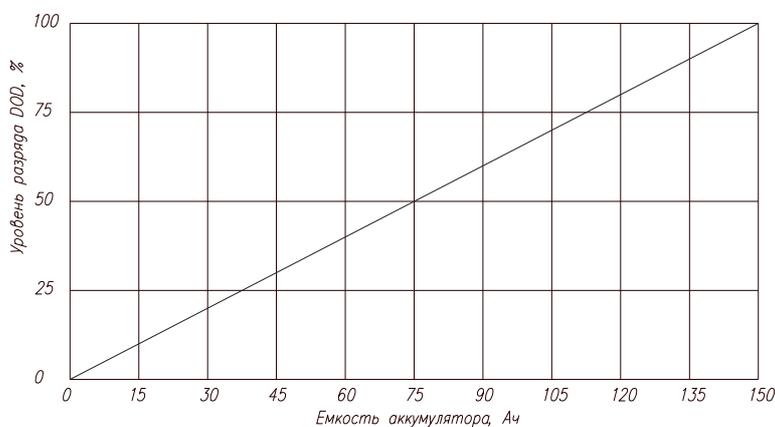
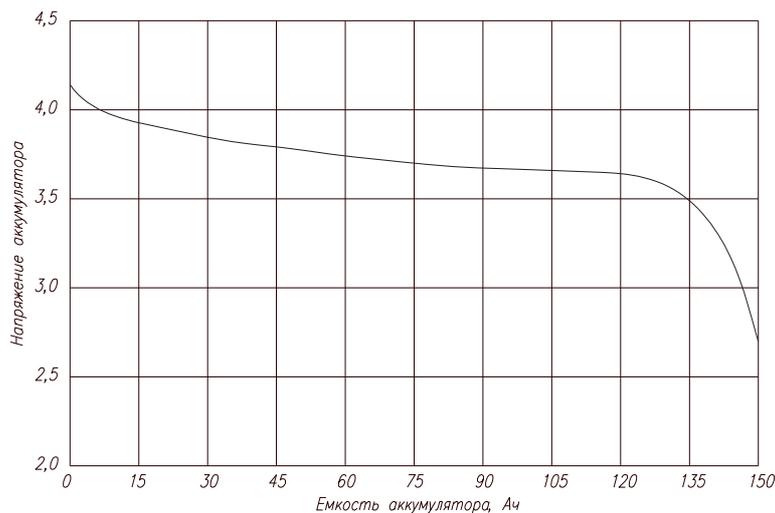
Традиционные ТНПА обеспечиваются электропитанием по кабелю, связывающему аппарат с судном обеспечения, но существуют отдельные категории ТНПА, которые имеют собственный бортовой источник электропитания (аккумуляторную батарею). Сделано это для увеличения упоров движителей ТНПА за счёт уменьшения диаметра кабеля при исключении из него токоведущих жил. При таком варианте уменьшается гидродинамическое сопротивление кабеля, и соответственно снижаются требования к энергопотреблению аппарата. Кабель в таких телеуправляемых подводных комплексах используется только для передачи сигналов (команд) телеметрии и телеуправления, а в корпусе ТНПА размещается отдельная аккумуляторная батарея.

Для АНПА важными показателями эксплуатационных характеристик являются время работы и дальность хода, которые определяются запасом энергии. Поэтому для такого аппарата необходим источник электропитания, обладающий высокой энергоёмкостью и минимальными габаритами.

Всем этим требованиям удовлетворяют литий-ионные аккумуляторы (ЛИА).

Для обеспечения необходимых энергетических характеристик источника питания аппарата отдельные аккумуляторы объединяют в аккумуляторную батарею (АБ). Соединение может быть как параллельным (обеспечивает требуемую ёмкость батареи), так и последовательным (обеспечивает требуемое напряжение питания). Таким образом, при соединении аккумуляторов по параллельно-последовательной схеме возможно построение АБ заданной ёмкости и напряжения. При этом, однако, каждый аккумулятор или каждая цепочка параллельно соединённых аккумуляторов требуют определённого контроля. Это определяется тем, что литий, входящий в состав ЛИА – химически активный элемент. В современных аккумуляторах при номинальной эксплуатации в чистом виде он отсутствует, однако при нештатных ситуациях (чрезмерные токи заряда или разряда, токи короткого замыкания, перезаряд выше определённых уровней напряжения на аккумуляторах, перегрев при заряде или разряде) может выделяться на внутренних электродах аккумулятора, что в определённых случаях приводит к воспламенению и взрыву. Падение уровня напряжения на аккумуляторе ниже определённого значения может привести к снижению ёмкости батареи. При этом недостаточно контролировать напряжение всей батареи, необходимо контролировать напряжение на каждом ЛИА. Это объясняется наличием разбаланса на последовательно соединённых аккумуляторах. Под разбалансом понимается различие напряжений на отдельных аккумуляторах. Разброс напряжений ЛИА ведёт к тому, что некоторые из них могут работать в запредельных режимах.

Напряжение аккумуляторов при разряде изменяется нелинейно, как показано на рисунке. Введём линейный параметр – глубину разряда (DOD – depth of discharge). Глубина разряда DOD и напряжение холостого хода  $U_{\text{хх}}$  связаны. Таким образом, по напряжению холостого хода аккумулятора можно однозначно определить глубину его разряда.



Согласно [1] и [2], можно выделить следующие причины разбаланса:

- Различие глубины разряда  $DOD_i$ ;
- Различие ёмкости элементов  $Q_{i \max}$ ;
- Наличие внутреннего сопротивления:  $\Delta U = R_i \cdot I$ .
- Различная скорость саморазряда аккумуляторов.

Индекс  $i$  определяет номер ЛИА в последовательном соединении. Различия  $Q_{i \max}$  и  $R_i$  технологические, их устранить невозможно. Величина саморазряда составляет (1...5) % в месяц. У новых аккумуляторов величина саморазряда меньше. Различие DOD можно свести к минимуму, перераспределив заряд отдельных аккумуляторов. Такое перераспределение называют выравниванием. Для рассеивания части энергии наиболее заряженных аккумуляторов в настоящее время используются балластные резисторы.

Необходимость постоянного контроля напряжения на каждом ЛИА, процесса выравнивания напряжений, температуры, токов заряда и разряда аккумуляторной батареи требует применения специальных электронных модулей, встраиваемых в аккумуляторную <http://sntbul.bmstu.ru/doc/641120.html>

батарею и называемых системами контроля и управления, сокращённо - СКУ (BMS – battery management system). Таким образом, СКУ – неотъемлемая часть литий-ионных аккумуляторных батарей, которая в общем случае обеспечивает:

- отслеживание заданных параметров аккумуляторов и аккумуляторной батареи (значений напряжений, токов, температур);
- определенный алгоритм функционирования аккумуляторной батареи с целью ее безопасной эксплуатации и повышения эксплуатационных характеристик (аварийное отключение аккумуляторов АБ от внешних цепей заряда или разряда при чрезмерных токах; повторное подключение при установке уровней на допустимые значения);
- передача информации через интерфейс связи о значениях контролируемых параметров на пульт управления;
- возможность изменения пользователем установок контролируемых параметров;
- выполнение функций, обеспечивающих оптимальные режимы заряда, разряда.

На основании вышесказанного, в состав СКУ включаются следующие узлы:

- датчики температуры;
- узел балансировки и контроля состояния ЛИА;
- узел измерения тока;
- узел обработки информации и управления;
- блок силовых ключей.

Остановимся на рассмотрении конкретной аккумуляторной батареи из 96 литий-ионных аккумуляторов со следующими характеристиками:

- напряжение заряженного ЛИА – 4,0 В;
- напряжение разряженного ЛИА – 2,3 В;
- емкость ЛИА – 90 А·ч;
- мощность АБ – 286,0 кВт.

Конструктивно АБ состоит из 4 последовательно соединенных батарейных модулей (БМ), каждый из которых содержит 24 последовательно соединенных литий-ионных аккумулятора емкостью 90 А·ч. Для каждого из модулей АБ должен быть предусмотрен модуль СКУ-БМ, осуществляющий контроль состояния и функционирования батареи в режимах заряда, разряда и хранения. Такое решение обеспечивает полную взаимозаменяемость батарейных модулей, что является важным фактором и при изготовлении, и при ремонте изделий.

СКУ-БМ выполняет мониторинг напряжений и температур 24-х последовательно соединённых ячеек, так и выполнение балансировки зарядов на ЛИА в процессе заряда. Для выполнения этих задач, существует множество решений. На данный момент элементная база позволяет осуществлять разные схемотехнические варианты реализации модулей СКУ. Например, от полностью аналоговой реализации до полностью цифровой. Анализ схемотехнических и алгоритмических решений построения систем управления и контроля аккумуляторными батареями показал, что наиболее эффективным направлением построения СКУ для больших АБ является использование специализированных цифровых интегральных микросхем.

Таким образом, каждый модуль СКУ-БМ представляет собой плату со специализированными цифровыми интегральными микросхемами, необходимыми балансировочными ключами (транзисторами), термисторами и управляющим микроконтроллером. Цифровые интегральные схемы (ИС) контроля и балансировки АБ обладают набором функций, позволяющим взаимодействовать с некоторым количеством ячеек ЛИА, содержат: мультиплексор для считывания напряжения, точный АЦП или индивидуальный АЦП для каждой ячейки батареи, источник опорного напряжения, драйвер для управления балансной нагрузкой, цифровой интерфейс связи, интерфейс связи смежных ИС для расширения системы путем каскадирования нескольких чипов.

Информация с четырёх модулей СКУ-БМ поступает на модуль информационного обмена и контроля. Этот модуль, обеспечивающий конфигурирование всех блоков СКУ, ведет статистику состояний ЛИА, рассчитывает уровень заряда АБ, принимает решение об экстренном отключении АБ от нагрузки, управляет режимами работы зарядного устройства и посылает требуемую информацию на пульт управления.

В заключение следует отметить, что разработка СКУ для приведённой выше литий-ионной АБ является очень актуальной и достаточно сложной задачей.

### **Список литературы**

1. David Andrea. Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs. Boston|London: Artech house, 2010. – 290 с.
2. Y. Barsukov. Battery Cell Balancing: What to Balance and How., Texas Instruments.
3. Современное состояние и перспективы развития зарубежного кораблестроения и ВМС. - СПб.: ЦНИИ им. А.Н. Крылова.- 2009.- Спец. выпуск 1.- 256с.
4. Бровка Н. Системы контроля литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторных батарей [электронный ресурс] // Компоненты и технологии, №10'2006. URL: [http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2006\\_10\\_104.pdf](http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2006_10_104.pdf). (дата обращения: 10.02.2012).

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/641120.html>

5. Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы [электронный ресурс]. URL: <http://www.powerinfo.ru/accumulator-liion.php> (дата обращения: 08.12.2011г.).
6. Перспективы литиевых технологий. Химический состав литиевых элементов [электронный ресурс]. URL: <http://www.2a3a.ru/li-battery/> (дата обращения: 13.12.2011г.).