

Методические указания

И.М. Кирпичникова
Е.В. Соломин

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ

**И.М. Кирпичникова
Е.В. Соломин**

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ
НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ
ДЛЯ АВТОНОМНЫХ
ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ**



Методические указания

Челябинск
2017

УДК 621.311.2.002.2(075.8)
К434

*Одобрено
учебно-методической комиссией
энергетического факультета*

**Расчет параметров накопителей энергии для автономных
К434 энергокомплексов:** методические указания / сост.: И.М.
Кирпичникова, Е.В.Соломин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ,
2017. – 20 с.

Методические указания предназначены для преподавателей и студентов энергетического факультета, обучающихся по направлению 140400 – «Электротехника и электроэнергетика».

Методические указания состоят из двух разделов, включающих расчеты параметров системы аккумулирования электроэнергии автономного энергокомплекса, состоящего из электротехнических устройств. В первом разделе приведены теоретические пояснения, во втором разделе даны методические указания к решению задачи, сформулированы условия задач и приведены примеры их решения.

УДК 621.311.2.002.2(075.8)

Издательский центр ЮУрГУ, 2017

Содержание

Введение.....	4
1. Параметры аккумулятора	5
1.1. Определения	5
1.2. Типы аккумуляторов.....	5
1.3. Единицы измерения и удельные параметры	6
1.4. Области применения основных типов аккумуляторов	7
1.5. Состав, принцип действия и химические процессы аккумулятора	7
1.5.1. Свинцово-кислотный аккумулятор	7
1.5.2. Литий-ионный аккумулятор	9
2. Расчет аккумулятора для автономного энергокомплекса.....	11
Библиографический список	18

Введение

Бурное конструкторско-технологическое развитие автономных систем электроснабжения в конце XX – начале XXI века привело к появлению широкого спектра гибридных энергокомплексов, в том числе на основе возобновляемых источников энергии. В странах и регионах с недостаточным для локального энергоснабжения количеством углеродных ископаемых такой подход явился насущной необходимостью, поскольку природные энергоносители (уголь, газ, нефть) попросту отсутствовали, или их поставки производились с частыми перебоями. В некоторых странах такие области энергетики как ветроэнергетика, гидроэнергетика, биоэнергетика и солнечная энергетика, выделились в отдельные отрасли, успешно конкурируя с традиционным энергоснабжением. Причем, если, к примеру, биогазовая отрасль в ряде стран является объектом дотаций, то ветроэнергетика и солнечная энергетика являются полностью самокупаемыми видами прибыльного бизнеса. В этом отношении составляющая малой автономной энергетики невелика, однако является важным аспектом в связи с развитием малоэтажного строительства в удаленных районах, потребностями МЧС в быстровозводимых энергетических станциях, развитием оснащения геологоразведочных партий, ростом числа электрических заправочных станций и, наконец, огромнейшими потребностями в энергоресурсах осваиваемой в данный момент Арктики.

При эксплуатации энергокомплексов, особенно на основе возобновляемых источников, неизбежно встает вопрос накопления электроэнергии. Причем резервный энергетический запас необходим не только для преодоления периодов отсутствия питания от возобновляемых источников (например, в безветрие или отсутствие инсоляции), но в том числе и как бытовой аккумулятор излишков энергии, произведенных, но не использованных потребителем.

В процессе эволюции устройств аккумуляирования исследование разделилось на несколько направлений, однако на сегодняшний день наибольшее распространение получили свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (АБ), используемые, как правило, в автомобильном транспорте, и литий-ионные аккумуляторы, служащие источником питания для портативных телефонов, компьютеров и других гаджетов.

В данном пособии приведено описание наиболее известных типов АБ, рассматриваются вопросы применения аккумуляторов в составе автономного энергокомплекса установленной мощностью до 100 кВт, приводится ряд экономических данных. В библиографическом списке приведены все известные стандарты РФ, касающиеся аккумуляторных батарей.

1. Параметры аккумулятора

1.1. Определения

Аккумулятор (элемент) – многоразовый химический источник тока многократного использования и является предметом стандартизации [1-47]. Аккумулятор служит для накопления энергии и дальнейшей его эксплуатации в виде автономного источника энергии в электротехнических системах и комплексах.

Аккумуляторная батарея – несколько аккумуляторов (элементов), соединенных последовательно-параллельно в одну электрическую цепь.

Блок аккумуляторных батарей – система, состоящая из несколько аккумуляторных батарей, соединённых последовательно-параллельно в одну электрическую цепь.

Принцип действия аккумулятора основан на обратимости химических процессов (окислительно-восстановительных реакций). Разряженный аккумулятор можно восстановить зарядом, пропуская электрический ток в направлении, обратном направлению в процессе разряда.

В общем виде химический аккумулятор – это два электрода (положительный катод и отрицательный анод), произведенных из разных металлов и помещенных в раствор электролита или кислоты.

Емкость аккумулятора – величина заряда, который отдается полностью заряженным аккумулятором при разряде до момента наступления наименьшего допустимого напряжения (максимальный полезный заряд аккумулятора). Ёмкость аккумулятора измеряется в «ампер-часах» или «кулонах» (СИ). Энергия, которую аккумулятор отдает с полностью заряженного аккумулятора при разряде до наименьшего допустимого напряжения, измеряется в «джоулях».

1.2. Типы аккумуляторов

Каждый тип аккумулятора имеет свои достоинства и недостатки. Для каждого конкретного устройства используются АБ оптимального типа.

Типы аккумуляторов:

- Железно-воздушный аккумулятор;
- Железно-никелевый аккумулятор;
- Лантано-фторидный аккумулятор;
- Литиево-железно-сульфидный аккумулятор;
- Литиево-железно-фосфатный аккумулятор (LiFePO_4);
- Литиево-ионный аккумулятор (Li-ion);
- Литиево-полимерный аккумулятор (Li-pol);
- Литиево-фторный аккумулятор;
- Литиево-хлорный аккумулятор;
- Литиево-серный аккумулятор;
- Натриево-никелево-хлоридный аккумулятор;
- Натриево-серный аккумулятор;
- Никелево-кадмиевый аккумулятор (NiCd);

- Никелево-металло-гидридный аккумулятор (NiMH);
- Никелево-цинковый аккумулятор (NiZn);
- Свинцово-водородный аккумулятор;
- Свинцово-кислотный аккумулятор (Lead Acid);
- Серебряно-кадмиевый аккумулятор;
- Серебряно-цинковый аккумулятор;
- Цинково-бромный аккумулятор;
- Цинково-воздушный аккумулятор;
- Цинково-хлорный аккумулятор;
- Никель-водородный аккумулятор.

1.3. Единицы измерения и удельные параметры

1 А·ч = 3600 Кл.

1 Вт·ч = 3600 Дж.

Удельная аккумулирующая способность АБ – 40 Вт·ч/кг.

КПД АБ – 70...80 %.

В сводной таблице 1.1 приведены параметры основных типов АБ.

Таблица 1.1

Сводная таблица по аккумуляторам [17]

Параметры АБ	SLA, VRLA, SLI	NiCa	NiMh	Li-Ion	Li-Po
Энергетическая плотность Вт*ч/кг	30-50	45-80	0-120	110-160	100-130
Число рабочих циклов до снижения емкости на 80%	200-300	1500	300-500	500-1000	300-500
Минимальное время заряда	8-16	1	3-4	2-1	2-4
Ток заряда. С-номинальная емкость	0,1-0,2С	0,1 -3С	0,1-2Т _г С	0,1-0,4С	0,1-1С
Саморазряд за месяцы %	5	20	30	10	10
Эффект памяти	Отсутствует	Сильный	Слабый	Отсутствует	Отсутствует
Напряжение элемента в батарее, В	2	1,25	1,25	3,6	3,6
Алгоритм зарядки	1. I = 0,1С, t = 16ч. 2. V _{const} 3. I _n > 0,1С, I _{ср} = 0,1С	1. I = 0,2С, t = 6ч. 2. I = 2С, Δ _{пик}	1. I = 0,2С, t = 6ч. 2. I = 2С, T < 50°C 3. I = 2С, dT/dt = 1°C/мин.	1. I = I _{max} , U = U _{max}	1. I = I _{max} , U = U _{max}

1.4. Области применения основных типов аккумуляторов

Основные области применения современных аккумуляторов приведены в табл.1.2.

Таблица 1.2

Основные типы аккумуляторов и области их применения

Тип	ЭДС(В)	Область применения
свинцово-кислотные(Lead Acid)	2,1	троллейбусы, трамваи, воздушные суда, автомобили, мотоциклы, электропогрузчики, штабелеры, электротягачи, аварийное электроснабжение, источники бесперебойного питания
никель-кадмиевые(NiCd)	1,2	замена стандартного гальванического элемента, строительные электроинструменты, троллейбусы, воздушные суда
никель-металл-гидридные(NiMH)	1,2	замена стандартного гальванического элемента, электромобили
литий-ионные(Li-ion)	3,7	мобильные устройства, строительные электроинструменты, электромобили
литий-полимерные(Li-pol)	3,7	мобильные устройства, электромобили
никель-цинковые(NiZn)	1,6	замена стандартного гальванического элемента

1.5. Состав, принцип действия и химические процессы аккумулятора

Каждый тип АБ отличается своими уникальными химическими реакциями, происходящими с миграцией ионов [48].

1.5.1. Свинцово-кислотный аккумулятор

В данных методических указаниях рассматривается свинцово-кислотный тип батарей, наиболее распространенный и доступный для применения в составе автономных энергокомплексов.

Анод (отрицательный электрод) АБ состоит из свинца, катод (положительный электрод) – из двуокиси свинца PbO_2 . Оба электрода изготавливаются пористыми для увеличения контактной площади с электролитом. Конструктивное исполнение электродов зависит от назначения и емкости аккумулятора.

Химические процессы, происходящие при разряде и заряде АБ, представлены на рис. 1.1.

На рис. 1.1: I_z – ток заряда, I_p – ток разряда.

Обратимые химические реакции при разряде и заряде аккумулятора:



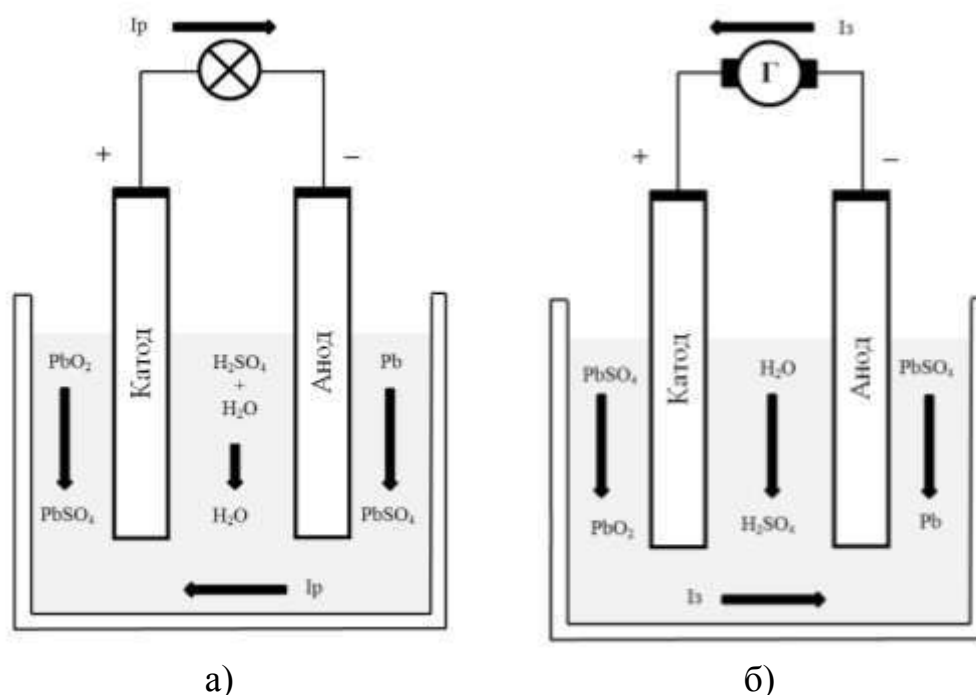
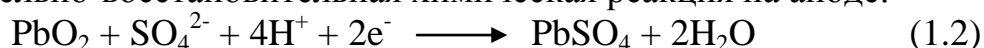


Рис. 1.1. Химические процессы в свинцово-кислотном аккумуляторе
а) – разряд; б) – заряд

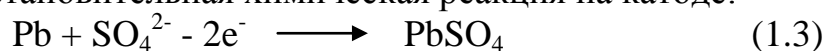
Принцип действия основан на окислительно-восстановительной электрохимической реакции свинца с диоксидом свинца, находящихся в сернокислотной среде.

Во время использования аккумулятора, происходит разряд – на аноде будет происходить восстановление диоксида свинца, а на катоде – окисление свинца.

Окислительно-восстановительная химическая реакция на аноде:



Окислительно-восстановительная химическая реакция на катоде:



Во время зарядки аккумулятора происходят обратные реакции с выделением кислорода на положительном электроде, и выделением водорода на отрицательном.

При перезаряде:



Побочная реакция:



Следует учесть, что при критических значениях уровня заряда, когда аккумулятор почти заряжен, может начать преобладать реакция электролиза

воды, что приведет к её постепенному истощению. При заряде серная кислота будет выделяться в электролит, что влечет за собой повышение плотности электролита, а при разряде серная кислота будет расходоваться, и плотность будет падать.

1.5.2. Литий-ионный аккумулятор

Литий является щелочным металлом, разлагается на воздухе, соединяется с множеством элементов, вытесняет металлы из их солей. Хранится только в герметичных упаковках и в керосине. Срок хранения с частичным использованием или без эксплуатации составляет несколько лет. Это касается всех литиевых батарей. В случае частого нарушения режима эксплуатации устаревших литий-ионных элементов происходит быстрый износ и старение, которые в свою очередь приводят к нарушению температурной стабильности. В результате температура батареи достигает температуры плавления лития и происходит бурная реакция, так называемая «вентиляция с выбросом пламени». В данный момент отрицательный электрод изготавливают не из лития, а используют ионы лития в химических реакциях. Это снижает плотность заряда, но значительно повышает безопасность.

Химические процессы, происходящие при разряде и заряде АБ, представлены на рис. 1.2.

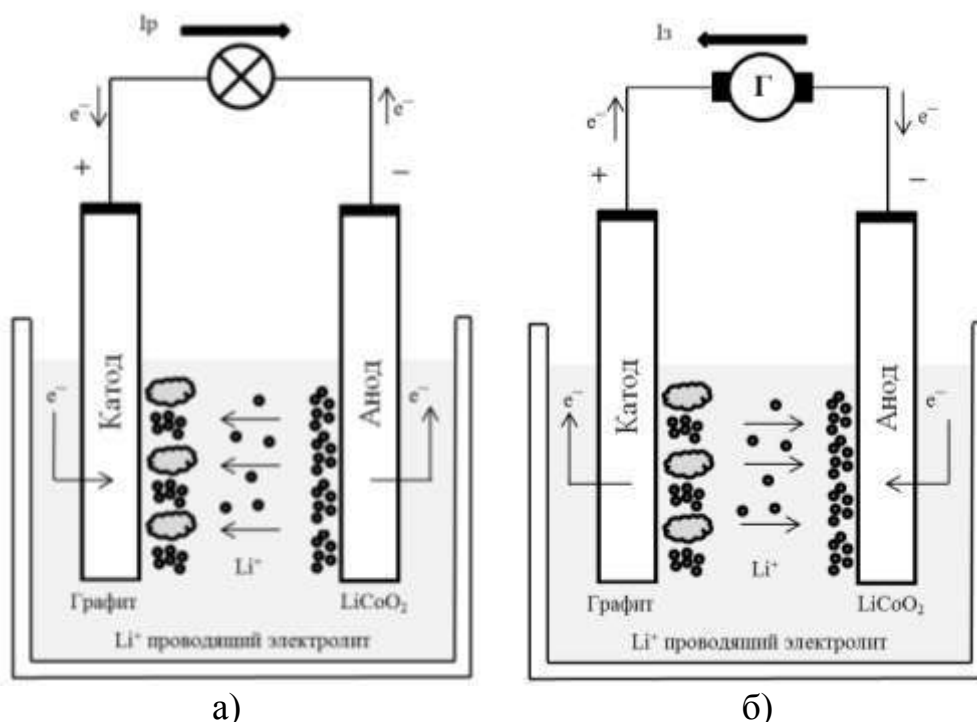


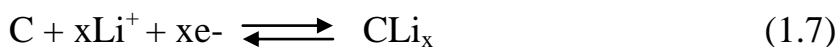
Рис. 1.2. Химические процессы в литий-ионном аккумуляторе
а) – разряд; б) – заряд

На рис. 1.2: I_z – ток заряда, I_p – ток разряда.

Обратимые химические реакции при разряде и заряде аккумулятора:
На положительных пластинах:



На отрицательных пластинах:



С течением времени у батареи поднимается внутреннее сопротивление. Все аккумуляторы на основе лития подвержены быстрому старению. За год теряется 20% емкости, даже если аккумулятор не используется. За второй год старение составляет 20% от оставшегося. Производители в коммерческих целях скрывают информацию о дате изготовления АБ и кодируют ее в серийном номере батареи. Старение батарей можно замедлить на 40% хранением при 15°C, батареи должны быть заряжены наполовину. А при эксплуатации повышение температуры до 60°C способствует лучшей токоотдаче, т.к. проводимость лития улучшается.

Напряжение при эксплуатации меняется от 4,2В до 3В (напряжение отсечки), что не приемлемо для различного рода потребителей, требующих постоянного напряжения, но в некотором смысле удобно для оценки заряда батареи. Раньше конструкция батареи основывалась на использовании графитовой системы, что ограничивало максимальное напряжение до 4,1В на элемент. Нарушение ограничения приводит к сокращению срока службы. В настоящее время путем применения различных добавок, удалось повысить максимальное напряжение до 4,2 + 0,05В. При перезаряде литий-ионного аккумулятора до 4,3В происходит отложение металлического лития, что приводит к нестабильности и снижению срока эксплуатации [48].

При низких температурах от 0-10°C максимальный ток заряда лучше уменьшить. При температурах ниже точки замерзания электролита лучше батарею не заряжать, поскольку в противном случае начинается осаждение металлического лития.

Обычная схема зарядки литиевых батарей состоит из двух фаз:

1. От источника стабильного тока ($I = 0,5C - 1,5C$) производится заряд от 1 до 3 часов (в зависимости от тока) и достигается заряд до 70-80% емкости. Это обычно происходит при достижении напряжения 0,9Vном.

2. От источника стабильного напряжения током до его полного исчезновения. Скорость полного заряда практически не зависит от максимального тока, т.к. вторая стадия - самая длительная. Некоторые зарядные устройства (ЗУ) заявляют время заряда 1 час. Это значит, что второй стадии у них нет, т.е. батарея будет заряжена на 70%.

В Южно-Уральском государственном университете разработаны особые алгоритмы заряда высокоэффективных батарей LiFePO_4 .

2. Расчет аккумулятора для автономного энергокомплекса

Эксплуатация автономных энергокомплексов имеет свою специфику. В состав комплекса могут входить любые электротехнические устройства, генерирующие электрическую энергию в виде переменного или постоянного тока. К ним можно отнести аккумуляторные батареи, бензо-генератор, дизель-генератор, газогенератор, ветроэнергетическую установку, солнечную батарею (фотоэлектрический преобразователь), малую биогазовую установку и другое электротехническое оборудование, а также их комбинации.

При нормальной работе оборудования аккумулятор обычно не требуется (кроме стартовой батареи для ряда генераторов). Однако при длительной эксплуатации может возникнуть ситуация, когда нарушается выработка энергии энергокомплексом и потребитель оказывается без питания. Для покрытия кратковременных пиков энергопотребления необходим накопитель энергии, который запасает излишки энергии во время минимального потребления и отдает запасенную энергию во время максимального потребления в короткий промежуток времени. Отключение энергоснабжения может произойти на относительно длительный период в связи с окончанием запасов топлива (дизель- и бензо-генераторы), прерыванием подачи газа (газотурбинные генераторы), отсутствием ветра (ветроэнергетической установки), отсутствием инсоляции (солнечные батареи) и т.д. Кроме этого, может произойти авария, плановое отключение и т.п. Такая ситуация может быть как прогнозируемой, так и не прогнозируемой. В соответствии с этими условиями, требованиями потребителя и допущениями рассчитывается емкость аккумуляторов.

Расчет блока аккумуляторов для конкретного автономного энергокомплекса, тем более на основе возобновляемых источников энергии (ветер, солнце) – процесс непростой и не однозначный в связи со следующими обстоятельствами:

- как правило, заранее неизвестно, когда и на какой период наступит сбой в работе комплекса;
- в случае использования возобновляемых источников неизвестны параметры этих источников, которые будут восстановлены после возобновления энергоснабжения (т.е. будут ли они стабильны или эпизодические);
- во многих случаях имеются экономические требования или предпочтения по стоимости.

Известными величинами должны являться:

- мощность энергокомплекса;
- напряжение питания (выходное напряжение энергокомплекса);
- график потребления;
- плановое время отключения (график отключения).

Если заранее график потребления или отключения неизвестен, необходимо принять ряд допущений, например:

- максимальное время отключения;
- текущая стоимость единичной аккумуляторной батареи.

Для иллюстрации последовательности расчетов приведен рис. 2.1.

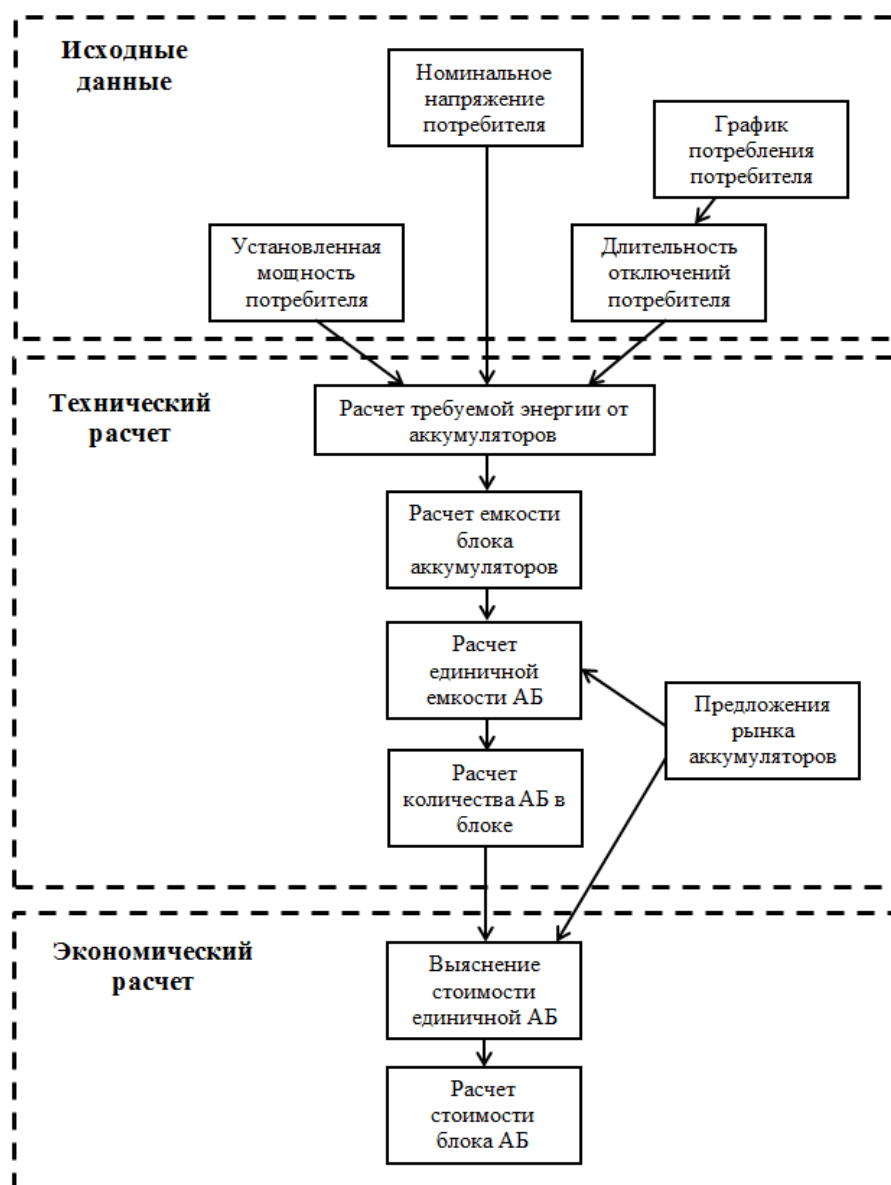


Рис. 2.1. Последовательность расчетов параметров блока аккумуляторов автономного энергокомплекса

Методика расчета

1. Определить (запросить у потребителя) установленную (пиковую, потребляемую) мощность объекта $P_{ном}$ (Вт), максимальную длительность отключения $T_{отк}$ (час), входное напряжение потребителя $U_{вх}$ (В) постоянного тока, которое является объектом оптимизации вольт-амперных характеристик блока аккумуляторных батарей при последовательно-параллельном их соединении. Причем $U_{вх}$ является напряжением на выходе блока аккумуляторных батарей, как правило, перед инвертором, установленным на входе к потребителю, рис. 2.2.



Рис. 2.2. Схема преобразования энергии от блока аккумуляторных батарей до потребителя

Если $U_{вх}$ постоянного тока заранее не известно, или потребитель не имеет никаких резервных систем постоянного напряжения и рассчитывает на получение питания от блока аккумуляторных батарей через инвертор согласно схеме на рис. 2.2, то напряжение $U_{вх}$ для автономного энергокомплекса планируется таким, чтобы с точки зрения безопасности и отсутствия дорогостоящего силового оборудования соблюдалось неравенство:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{U_{вх}} < 200 \quad , \quad \text{А} \quad (2.1)$$

2. Рассчитать энергию E_{AB} , потребляемую от блока аккумуляторов в период отключения питания автономного энергокомплекса на период $T_{отк}$.

$$E_{AB} = P_{ном} \cdot T_{отк} \quad , \quad \text{Вт} \cdot \text{ч} \quad (2.2)$$

3. Рассчитать емкость блока аккумуляторных батарей $C_{блока}$.

3.1. Взять потребляемый ток $I_{ном}$ из расчетов формулы (2.1).

3.2. Рассчитать емкость блока аккумуляторных батарей $C_{блока}$. Сначала необходимо рассчитать номинальную емкость блока $C_{блока/ном}$

$$C_{блока/ном} = I_{ном} \cdot T_{отк} \quad , \quad \text{А} \cdot \text{ч} \quad (2.3)$$

А затем $C_{блока}$ с поправкой на требование по переразряду:

$$C_{блока} = C_{блока/ном} \cdot \frac{100}{Q} \quad (2.4)$$

При выборе типа батарей, не допускающих определенного переразряда, необходимо сделать соответствующую поправку в расчетах.

4. Выяснить единичную емкость $C_{ед}$ аккумуляторной батареи и вычислить количество батарей $N_{бат}$, входящих в блок.

4.1. Выяснить номинальное напряжение единичной батареи, исходя из предложений рынка и возможных требований.

Например, рынком предлагаются единичные батареи со следующими параметрами. Напряжение единичной батареи $U_{ед}$:

$$U_{ед} = X \quad , \quad В \quad (2.5)$$

При этом на основании руководства по эксплуатации батареи емкость единичной батареи $C_{ед}$:

$$C_{ед} = Y \quad , \quad А \cdot ч \quad (2.6)$$

Требование: батарею нельзя разряжать более, чем на $Q\%$.

4.2. Количество единичных батарей $N_{бат/пос}$, подключенных последовательно:

$$N_{бат/пос} = \frac{U_{ex}}{X} \quad (2.7)$$

4.3. Сравнить емкость блока батарей $C_{ед}$ с требуемой емкостью $C_{блока}$.

В случае, если выполняется неравенство:

$$C_{ед} < C_{блока} \quad , \quad А \cdot ч, \quad (2.8)$$

необходимо параллельно подключить аналогичный вычисленному каскад последовательно подключенных $N_{бат/пос}$ аккумуляторных батарей. Причем количество каскадов $N_{кас/пар}$, подключенных параллельно, будет:

$$N_{кас/пар} = \frac{C_{блока}}{C_{ед}} \quad (2.9)$$

А затем округлить полученную цифру до целого числа в соответствии с допустимыми отклонениями по уровню перезаряда аккумулятора, разрешениями заказчика и т.д.

Общее количество батарей в блоке $N_{бат}$:

$$N_{бат} = N_{бат/пос} \cdot N_{кас/пар} \quad (2.10)$$

5. Выяснить цену (стоимость) единичной аккумуляторной батареи $\Pi_{ед}$, исходя из предложений рынка.

Например,

$$C_{ед} = Z, \quad \text{руб} \quad (2.11)$$

6. Рассчитать цену (стоимость) блока аккумуляторных батарей $C_{\text{блок}}$ на основе предыдущих расчетов:

$$C_{\text{блок}} = N_{\text{бат}} \cdot Z, \quad \text{руб} \quad (2.12)$$

7. Сделать вывод о применимости аккумуляторных батарей для исследуемого объекта с точки зрения климатических требований, данных о габаритных ограничениях, требований безопасности и т.д. Дать свои предложения по модернизации блока аккумуляторных батарей в связи с дополнительными требованиями, если таковые имеются.

При получении неудовлетворительного результата необходимо произвести соответствующие пересчеты. Например, изменить емкость и/или количество каскадов, снизить энергопотребление и т.д.

Пример расчета 1

Исходные данные:

Удаленный объект – жилой коттедж в Челябинской области, г. Миасс.

Установленная мощность объекта $P_{\text{ном}} = 10 \text{ кВт}$ (или 10000 Вт)

Максимальная длительность отключения $T_{\text{отк}} = 2 \text{ часа}$

Входное напряжение потребителя $U_{\text{вх}} = 96 \text{ В}$ постоянного тока

Параметры единичной батареи: свинцово-кислотный аккумулятор, емкость $C_{\text{ед}} = 190 \text{ А} \cdot \text{ч}$, напряжение $U_{\text{ед}} = 12 \text{ В}$, переразряд не допустим более $Q = 50\%$, цена батареи 8 тыс.руб.

Найти:

Количество аккумуляторных батарей для обеспечения гарантированного энергоснабжения потребителя. Определить их стоимость.

Решение:

1. Принимаем схему соединения, как принято на рис. 2.2. Равенство (2.1) соблюдается:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{10000}{96} = 104 < 200, \quad \text{А}$$

2. Рассчитаем энергию $E_{\text{АБ}}$ (Вт·ч), потребляемую от блока аккумуляторов в период отключения питания автономного энергокомплекса на период $T_{\text{отк}}$.

$$E_{\text{АБ}} = P_{\text{ном}} \cdot T_{\text{отк}} = 10000 \cdot 2 = 20000 \text{ Вт}$$

3. Рассчитаем емкость блока аккумуляторных батарей $C_{\text{блока}}$.

3.1. Возьмем потребляемый ток $I_{ном}$ из расчетов, сделанных выше:

$$I_{ном} = 104 \text{ А}$$

3.2. Рассчитаем емкость блока аккумуляторных батарей $C_{блока}$. Сначала необходимо рассчитать номинальную емкость блока $C_{блока/ном}$

$$C_{блока/ном} = I_{ном} \cdot T_{отк} = 104 \cdot 2 = 208 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

А затем $C_{блока}$ с поправкой на требование по переразряду:

$$C_{блока} = C_{блока/ном} \cdot \frac{100}{Q} = 208 \cdot \frac{100}{50} = 416 \text{ А} \cdot \text{ч} \quad (2.8)$$

4. Данные единичной батареи приведены в условиях задачи.

4.1. Таким образом, главные параметры единичной батареи известны

4.2. Количество единичных батарей $N_{бат/пос}$, подключенных последовательно:

$$N_{бат/пос} = \frac{U_{ex}}{X} = \frac{96}{12} = 8$$

4.3. Сравним емкость блока батарей $C_{ед}$ с требуемой емкостью $C_{блока}$.

Неравенство (2.8) не выполняется:

$$C_{ед} = 190 \text{ А} \cdot \text{ч} < C_{блока} = 416 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

В связи с этим необходимо параллельно подключить аналогичные каскады в количестве $N_{каск/пар}$, подключенные параллельно:

$$N_{каск/пар} = \frac{C_{блока}}{C_{ед}} = \frac{416}{190} = 2,2$$

С учетом того, что превышение нужного количества каскадов для достижения требуемой емкости всего 10% (0,2 / 2,2), этим количеством можно пренебречь и оставить в системе 2 каскада аккумуляторов.

Общее количество батарей в блоке $N_{бат}$:

$$N_{бат} = N_{бат/пос} \cdot N_{каск/пар} = 8 \cdot 2 = 32$$

5. Стоимость единичной аккумуляторной батареи $Ц_{ед} = Z = 8000$ руб.

6. Стоимость блока аккумуляторных батарей $C_{\text{блок}}$:

$$C_{\text{блок}} = N_{\text{бат}} \cdot Z = 32 \cdot 8000 = 256000 \text{ руб}$$

7. Выводы:

- стоимость системы бесперебойного питания невысока по сравнению со стоимостью объекта;
- аккумуляторные батареи необходимо в зимний период хранить в отапливаемом помещении;
- при параллельном подключении устройств на основе возобновляемых источников энергии надежность системы увеличится;
- параллельно блоку батарей можно подключить бензо- или дизель-генератор, что увеличит надежность энергоснабжения;
- одним из вариантов увеличения надежности системы - снижение энергопотребления, причем этот вариант является самым эффективным, т.к. одним из путей могут быть мероприятия по энергосбережению - замена ламп накаливания на светодиодное освещение, обогрев с помощью тепловых насосов, наличие датчиков присутствия с целью автоматического отключения освещения и снижения уровня отопления в помещениях, где это временно не требуется.

Библиографический список

1. ГОСТ Р МЭК 62660-1-2014 Аккумуляторы литий-ионные для электрических дорожных транспортных средств. Часть 1. Определение рабочих характеристик
2. ГОСТ Р 56229-2014 Транспорт дорожный на электрической тяге. Аккумуляторы литий-ионные. Обозначение и размеры
3. ГОСТ Р МЭК 61427-1-2014 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи для возобновляемых источников энергии. Общие требования и методы испытаний. Часть 1. Применение в автономных фотоэлектрических энергетических системах
4. ГОСТ Р МЭК 62660-2-2014 Аккумуляторы литий-ионные для электрических дорожных транспортных средств. Часть 2. Испытания на надежность и эксплуатацию с нарушением режимов
5. ГОСТ Р МЭК 60086-2-2011 Батареи первичные. Часть 2. Физические и электрические характеристики
6. ГОСТ Р МЭК 60086-1-2010 Батареи первичные. Часть 1. Общие требования
7. ГОСТ Р МЭК 60622-2010 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Герметичные никель-кадмиевые призматические аккумуляторы
8. ГОСТ Р МЭК 60086-5-2009 Батареи первичные. Часть 5. Безопасность батарей с водным электролитом
9. ГОСТ Р МЭК 60086-4-2009 Батареи первичные. Часть 4. Безопасность литиевых батарей
10. ГОСТ Р МЭК 60623-2008 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Аккумуляторы никель-кадмиевые открытые призматические
11. ГОСТ Р МЭК 62281-2007 Безопасность при транспортировании первичных литиевых элементов и батарей, литиевых аккумуляторов и аккумуляторных батарей
12. ГОСТ Р МЭК 61960-2007 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи литиевые для портативного применения
13. ГОСТ Р МЭК 62259-2007 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Аккумуляторы никель-кадмиевые призматические с газовой рекомбинацией
14. ГОСТ Р МЭК 61951-2-2007 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Портативные герметичные аккумуляторы. Часть 2. Никель-металл-гидрид
15. ГОСТ Р МЭК 61959-2007 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Механические испытания для портативных герметичных аккумуляторов и аккумуляторных батарей

16. ГОСТ Р МЭК 285-97 Аккумуляторы и батареи щелочные. Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные цилиндрические. Заменен на ГОСТ Р МЭК 60285-2002.
17. ГОСТ Р 50654-94 Щелочные аккумуляторы и батареи. Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные цилиндрические для длительного заряда при повышенных температурах. Заменен на ГОСТ Р МЭК 285-97.
18. ГОСТ Р 50299-92 Аккумуляторы никель-кадмиевые закрытые призматические. Общие технические условия. Отменён.
19. ГОСТ Р 50093-92 Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные призматические. Общие технические условия. Отменён.
20. ГОСТ Р 50092-92 Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные дисковые. Общие технические условия. Отменён.
21. ГОСТ Р 50091-92 Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные цилиндрические. Общие технические условия. Отменён.
22. ГОСТ 28132-89 Аккумуляторы свинцовые тяговые. Основные параметры и размеры. Заменен на ГОСТ 28132-95.
23. ГОСТ 26692-93 Аккумуляторы никель-кадмиевые закрытые призматические. Общие технические условия. Утратил силу в РФ.
24. ГОСТ 26692-85 Аккумуляторы и батареи аккумуляторные щелочные никель-кадмиевые негерметичные емкостью свыше 150 А.Ч. Общие технические условия. Заменен на ГОСТ 26692-93.
25. ГОСТ 26500-85 Аккумуляторы щелочные никель-железные тяговые. Общие технические условия. Утратил силу в РФ.
26. ГОСТ 26367-84 Аккумуляторы и батареи аккумуляторные щелочные никель-кадмиевые герметичные. Общие технические условия
27. ГОСТ 26367.3-93 Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные призматические. Общие технические условия. Утратил силу в РФ.
28. ГОСТ 26367.2-93 Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные дисковые. Общие технические условия. Утратил силу в РФ.
29. ГОСТ 26367.1-93 Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные цилиндрические. Общие технические условия. Утратил силу в РФ.
30. ГОСТ 24958-81 Аккумуляторы щелочные никель-кадмиевые малогабаритные герметичные прямоугольные. Общие технические условия. Заменен на ГОСТ 26367-84.
31. ГОСТ Р МЭК 61056-1-99 Портативные свинцово-кислотные аккумуляторы и батареи (закрытого типа). Часть 1. Общие требования, функциональные характеристики. Методы испытаний. Заменен на ГОСТ Р МЭК 61056-1-2012.
32. ГОСТ Р МЭК 61056-3-99 Портативные свинцово-кислотные аккумуляторы и батареи (закрытого типа). Часть 3. Рекомендации по безопасному применению в электрическом оборудовании
33. ГОСТ Р МЭК 60896-2-99 Свинцово-кислотные стационарные батареи. Общие требования и методы испытаний. Часть 2. Закрытые типы

34. ГОСТ Р МЭК 61056-2-99 Портативные свинцово-кислотные аккумуляторы и батареи (закрытого типа). Часть 2. Размеры, выводы, маркировка. Заменен на ГОСТ Р МЭК 61056-2-2012.
35. ГОСТ 26881-86 Аккумуляторы свинцовые стационарные. Общие технические условия
36. ГОСТ 26812-86 Источники тока химические. Первичные элементы и аккумуляторы. Основные размеры. Утратил силу в РФ.
37. ГОСТ Р МЭК 896-1-95 Свинцово-кислотные стационарные батареи. Общие требования и методы испытаний. Часть 1. Открытые типы
38. ГОСТ 27174-86 Аккумуляторы и батареи аккумуляторные щелочные никель-кадмиевые негерметичные емкостью до 150 А.ч. Общие технические условия
39. ГОСТ Р МЭК 60285-2002 Аккумуляторы и батареи щелочные. Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные цилиндрические
40. ГОСТ Р МЭК 60622-2002 Аккумуляторы и батареи щелочные. Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные призматические. Заменен на ГОСТ Р МЭК 60622-2010.
41. ГОСТ Р МЭК 60623-2002 Аккумуляторы и батареи щелочные. Аккумуляторы никель-кадмиевые открытые призматические. Заменен на ГОСТ Р МЭК 60623-2008.
42. ГОСТ Р МЭК 60509-2002 Аккумуляторы и батареи щелочные. Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные дисковые
43. ГОСТ Р 52083-2003 Аккумуляторы никель-железные открытые призматические. Общие технические условия
44. ГОСТ Р МЭК 61436-2004 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Аккумуляторы никель-металл-гидридные герметичные
45. ГОСТ Р МЭК 61951-1-2004 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Портативные герметичные аккумуляторы. Часть 1. Никель-кадмий
46. ГОСТ Р МЭК 61429-2004 Маркирование аккумуляторов и аккумуляторных батарей международным символом переработки – ИСО 7000-1135
47. ГОСТ Р МЭК 62133-2004 Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Требования безопасности для портативных герметичных аккумуляторов и батарей из них при портативном применении.
48. Хрусталева, Д.А. Аккумуляторы / Д.А. Хрусталева.– Москва, Издательство Изумруд. 2003 г.