

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВМЕСТНО С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

Моренко К.С.

ФГБНУ СКНИИМЭСХ, г.Зерноград

В статье рассмотрены основные положения для выбора необходимого количества аккумуляторных батарей для резервирования электроснабжения при использовании совместно с установкой на основе возобновляемого источника энергии. Определена формула для расчёта количества аккумуляторов с учётом ограничения глубины разряда и разрядных характеристик аккумулятора.

Ключевые слова: аккумулятор, свинцово-кислотный, возобновляемый источник энергии, коэффициент Пейкерта

В настоящее время широкий интерес к возобновляемым источникам энергии, и их распространённость по территории земного шара побуждают многих ученых и исследователей к созданию систем на основе возобновляемых видов энергии.

К одному из недостатков популярных в настоящее время видов возобновляемой энергии, таких как солнце и ветер, следует отнести их непостоянство поступления на земную поверхность. В качестве одного из способов обеспечения непрерывности электроснабжения во многих трудах предлагается использование резервных аккумуляторов, обычно стартерных свинцово-кислотных. Кроме особенностей применения инвертора, практически никогда в этих трудах не обращается внимание на тот факт, что ёмкость аккумулятора зависит от величины разрядного тока.

В большинстве научных трудов, где в качестве резерва применяются аккумуляторные батареи, для определения их количества используется формула

$$n = \frac{I \cdot T}{C_a}, \quad (1)$$

которая учитывает паспортную ёмкость батареи при типичном 20-часовом разрядном цикле. В этих работах оценивается требуемое время работы нагрузки на период отсутствия поступления возобновляемой энергии, но это время практически никогда не совпадает со временем типичного разрядного цикла аккумулятора и поэтому использование в качестве базы для расчёта паспортной ёмкости недопустимо. Следует обратить внимание, что расчёт, основанный на неизменности ёмкости аккумулятора, вносит значительную погрешность в результаты технико-экономического обоснования.

В 1897 году В. Пейкерт опубликовал статью о зависимости ёмкости от тока разряда в свинцово-кислотных аккумуляторах [1]. Согласно закону, который получил его имя, ёмкость Пейкерта аккумулятора  $C_n$  в ампер-часах при разряде его током в 1 А эмпирически выражается следующим уравнением

$$C_n = I^k \cdot t, \quad (2)$$

где  $I$  — действительный разрядный ток, А;  
 $k$  — константа Пейкерта;  
 $t$  — действительное время разряда батареи, ч.

Уравнение (2) малоприспособно для практических расчётов, поэтому выразим время работы аккумулятора при разряде фиксированным значением тока с учётом того, что ёмкость аккумулятора приводится для разрядки при фиксированном времени

$$t = \frac{C_n}{I^k}. \quad (3)$$

Уравнение (2) требует использования ёмкости Пейкерта при разрядке аккумулятора током в 1 А, а не ёмкости аккумулятора при 10 или 20-часовом разрядном цикле. Современные производители не приводят подобных данных, и не определяют ни ёмкость Пейкерта, ни константу. Вместо этого иногда производители указывают несколько величин разрядного тока и значения ёмкости для этих токов.

Значение константы постоянно для одной и той же батареи [2] и зависит не только от типа аккумулятора, но и от его конструкции и изменяется при старении, что так же требует её определения для каждой марки аккумуляторной батареи.

С помощью преобразований уравнения Пейкерта можно получить формулу для определения константы с помощью двух контрольных точек, для каждого из которых определены ёмкость  $C_1$  и  $C_2$  и время разряда  $h_1$  и  $h_2$ .

Ёмкость Пейкерта, как уже было отмечено, является постоянной для аккумулятора в любых режимах работы, поэтому для двух режимов разрядки

$$C_{n1} = C_{n2}. \quad (4)$$

В обоих случаях ток определяется по формулам

$$I_1 = \frac{C_1}{h_1}; \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{C_2}{h_2}, \quad (6)$$

которые после подстановки и упрощения приводят к следующему уравнению

$$\left(\frac{C_1}{h_1}\right)^k \cdot h_1 = \left(\frac{C_2}{h_2}\right)^k \cdot h_2; \quad (7)$$

$$\log\left(\frac{C_1}{h_1}\right)^k \cdot h_1 = \log\left(\frac{C_2}{h_2}\right)^k \cdot h_2; \quad (8)$$

$$\log h_1 + \log\left(\frac{C_1}{h_1}\right)^k = \log h_2 + \log\left(\frac{C_2}{h_2}\right)^k; \quad (9)$$

$$\log h_1 + k \cdot \log \frac{C_1}{h_1} = \log h_2 + k \cdot \log \frac{C_2}{h_2}; \quad (10)$$

$$k \cdot \left(\ln \frac{C_1}{h_1} - \ln \frac{C_2}{h_2}\right) = \ln h_2 - \ln h_1; \quad (11)$$

$$k = \frac{\ln \frac{h_2}{h_1}}{\ln \frac{C_1}{h_1} \cdot \frac{h_2}{C_2}} = \log_{\frac{C_1 \cdot h_2}{h_1 \cdot C_2}} \frac{h_2}{h_1}. \quad (12)$$

Далее ёмкость Пейкерта можно определить по формуле (2). Время работы при действительном разрядном токе будет определяться как время Пейкерта

$$t = h_n, \quad (13)$$

которое, в свою очередь, может быть определено через изменение ёмкости аккумулятора и время работы в паспортном режиме

$$t = \frac{C_a}{C_n} \cdot h. \quad (14)$$

где  $h$  — время разряда, указанное в паспорте, обычно 10 или 20 часов.

После подстановки уравнения (1) в уравнение (14) и упрощения получим

$$t = h \cdot \frac{I_h^k \cdot t}{I^k \cdot t} = h \cdot \frac{I_h^k}{I^k} = h \cdot \frac{C^k}{I^k h^k} = h \cdot \left(\frac{C}{I \cdot h}\right)^k. \quad (15)$$

где  $I_h$  — разрядный ток аккумулятора в паспортном режиме, А.

Используя формулу (15) можно при заданном разрядном токе  $I$ , ёмкости аккумуляторной батареи  $C$  при времени разрядки  $h$  и требуемом времени обеспечения работы  $T$  определить количество аккумуляторных батарей  $n$

$$h \cdot \left( \frac{C}{I \cdot h} \right)^k \geq t; \quad (16)$$

$$h \cdot \left( \frac{C_a \cdot n}{I \cdot h} \right)^k \geq t; \quad (17)$$

$$\frac{h}{t} \cdot \left( \frac{C_a}{I \cdot h} \right)^k \geq n^{-k}; \quad (18)$$

$$n^k \geq \frac{t}{h} \cdot \left( \frac{I \cdot h}{C_a} \right)^k; \quad (19)$$

$$n \geq \sqrt[k]{\frac{t}{h} \cdot \left( \frac{I \cdot h}{C_a} \right)}. \quad (20)$$

При этом важно отметить, что не рекомендуется разряжать аккумуляторы на 100 %. Батареи общего назначения не рекомендуется разряжать глубже 45 %, глубокоразрядные батареи ниже 75 % [3].

Если ограничить глубину разряда  $D$ , то время работы батареи может быть рассчитано по формуле (22), если внести следующие изменения в формулу (16)

$$D \cdot h \cdot \left( \frac{C}{I \cdot h} \right)^k \geq t; \quad (21)$$

$$n \geq \sqrt[k]{\frac{t}{D \cdot h} \cdot \left( \frac{I \cdot h}{C_a} \right)}. \quad (22)$$

Глубокоразрядные батареи отдадут больше энергии, но имеют и более высокую стоимость. Стартерные батареи не могут применяться для обеспечения резервирования, они предназначены для работы с глубиной разряда только 4–6 %.

Рассмотрим расчёт необходимого количества аккумуляторных батарей при условиях: разрядная ёмкость 60 А·ч при времени разряда 20 ч, коэффициент Пейкерта 1,15. Рассмотрим метод расчёта по формуле (1), и расчёты по формуле (22) для полного разряда, 75 % для глубокоразрядной батареи и 45 % для батареи общего назначения. Результаты расчётов приведены в Табл.1.

Согласно приведённым в таблице результатам, использование расчёта по примитивной формуле (1) приводит к недооценке стоимости аккумуляторных батарей до 1,5 раз, а отсутствие учёта допустимой для батареи глубины разряда — до 2–3 раз.

Таблица 1

Результаты расчёта количества аккумуляторов

Нагрузка		Количество по формуле (1), шт	Количество по уравнению (22), шт		
Время работы, ч	Ток, А		100 % (полный разряд)	75 % (глубокий разряд)	45 % (общее назначение)
20	60	20	20,00	25,68	40,05
10	60	10	10,95	14,06	21,92
5	60	5	5,99	7,69	12,00
2	60	2	2,70	3,47	5,41
1	60	1	1,48	1,90	2,96

Расчёт с глубиной разряда 100 % является недопустимым и приведён только для сравнения, поскольку свинцово–кислотные аккумуляторы должны быть немедленно заряжены после разряда. Оставление их в разряженном состоянии более чем на 12 часов приводит к необратимой потере ёмкости. По этим причинам использование стартерных аккумуляторов является недопустимым. В качестве резервных аккумуляторов могут использоваться аккумуляторы общего назначения, тяговые и аккумуляторы глубокого разряда с учётом ограничений глубины разряда.

Приведённая методика и расчёт показывают, что в ряде отечественных и зарубежных научных трудов не уделяется внимание эксплуатационным характеристикам аккумуляторов, что приводит к ложной оценке технических и экономических параметров установки.

Рассмотренная в статье методика расчёта позволяет определить количество батарей с учётом их разрядных характеристик и ограничения глубины разряда батареи и позволяет более точно подходить к оценке технико–экономической эффективности применения аккумуляторов в установках на основе возобновляемых видов энергии.

### Список литературы

1. Peukert's law [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Peukert's\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Peukert's_law).
2. An in depth analysis of the maths behind Peukert's Equation (Peukert's Law) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.smartgauge.co.uk/peukert\\_depth.html](http://www.smartgauge.co.uk/peukert_depth.html).
3. Deep cycle battery [Электронный ресурс]. — Режим доступа [http://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_cycle\\_battery](http://en.wikipedia.org/wiki/Deep_cycle_battery).

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ: ВИДЫ, ТЕРМИНЫ, ПРИМЕНЕНИЕ

**Фролов В.А.**

г.Екатеринбург

Электроэнергетика не мыслима без собственных электроэнергетических схем. Рассмотрим содержание общепринятых терминов «схемы», не затрагивая сначала учет влияния выполнения отдельных элементов схем.

На самом верхнем уровне (энергосистемы):

Схема электрических соединений энергосистемы – схематическое представление связей ( т.е. линий электропередач) между электрическими станциями энергетической системы и пунктами преобразования, распределения и потребления электрической энергии [7].

Конфигурация энергосистемы – схематически представленное топографическое расположение входящих в энергосистему электрических станций, основных электрических сетей и важнейших потребителей [7].

На следующем технологическом уровне (объекты в целом):

Основные понятия схем объектов электроэнергетики приведены в ГОСТ 24291-90 [2] . Их можно характеризовать по следующим параметрам:

по содержанию (выписки):

«9. принципиальная электрическая схема электростанции [подстанции] – отражает принцип работы;

10. главная электрическая схема электростанции [подстанции] – показывает состав и типы установленного оборудования;

11. схема заполнения распределительного устройства; размещение оборудования и аппаратуры в ячейках и помещениях РУ.

по исполнению:

12. мнемоническая схема электростанции [подстанции, электрической сети]:

мнемоническая схема- совокупность элементов и устройств отображения информации, представляющая в наглядном виде электрическую схему электростанции [подстанции, электрической сети] и состояние коммутационных аппаратов, которой могут быть приданы функции управления».

и по форме:

13. однолинейная схема электростанции [подстанции];

14. трехлинейная схема электростанции [подстанции].

В терминах 9 и 10 содержится наименование видов схем в самых общих выражениях. В термине 11 под словом «заполнение» можно понять, как