Reinout Vader

**Electricity on Board
(And other off-grid applications)
Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)**

Редакция 9
Июнь 2011

Согласовано:		

Индв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Victron Energy B.V.
De Paal 35
1351 JG Almere-Haven
P.O. Box 50016
1305 AA Almere-Haven
Tel : +31 (0)36 535 97 00
Fax : +31 (0)36 535 97 40
E-mail : <mailto:sales@victronenergy.com>
Website : <http://www.victronenergy.com/>

Электричество играет все большую роль на борту яхт. От него зависит современное навигационное и коммуникационное оборудование, а также растущий список бытовых приборов, которые берутся на борт.

Это концептуальный текст для брошюры об электроэнергии на борту малых и больших яхт. Замысел книги двоякий:

Для начала я попытаюсь подробно осветить несколько вопросов, которые постоянно становятся предметом дискуссий и недопонимания, например, аккумуляторы и управление аккумуляторами, или потребление электроэнергии холодильниками, морозильниками и кондиционерами.

Второе мое намерение - помочь конструкторам, электрикам и владельцам плавучего средства принять решение о том, как управлять и вырабатывать электроэнергию на борту. Несколько новых продуктов и концепций существенно расширили диапазон альтернатив.

Вместе с некоторой неизбежной теорией я использую примеры малых и больших яхт, чтобы прояснить последствия выбора той или иной альтернативы. Последствия иногда бывают настолько неожиданными и далеко идущими, что, записывая все это, я способствовал также собственному пониманию!

Рейнаут Вейдер

Согласовано		

Взам. инв №	
Подп. и дата	

Инв № подл.	Автор	Reinout Vader		30.12.99
	Перевод	А.Топол		30.12.99
				30.12.99
				30.12.99
				30.12.99

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)								
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата			
						Стадия	Лист	Листов
						Р	1	70
						т.066 - 710 - 31 -62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

Оглавление

1 Введение	6
2 Аккумулятор: предотвращение преждевременного износа	7
<i>Аккумулятор - это сердце любой малогабаритной энергетической системы. Нет аккумулятора - нет хранения электрической энергии. В то же время батарея является дорогостоящим и хрупким компонентом. Эта глава специально посвящена уязвимости аккумулятора.</i>	
2.1. Введение	7
2.2. Химический состав аккумуляторов	7
2.2.1. Что происходит в ячейке при ее разряде	7
2.2.2. Что происходит во время зарядки	7
2.2.3. Процесс диффузии	7
2.2.4. Срок эксплуатации	8
2.3. Наиболее распространенные типы свинцово-кислотных аккумуляторов	8
2.3.1. Свинец-сурьма и свинец-кальций	8
2.3.2. Влажный или залитый электролит в сравнении с электролитом, находящимся в состоянии покоя (гель или AGM)	8
2.3.3. Автомобильная аккумуляторная батарея с плоскими пластинами (залитая)	8
2.3.4. Полутяговая батарея с плоскими пластинами (залитая)	9
2.3.5. Тяговая батарея или батарея глубокого цикла (мокрая)	9
2.3.6. Герметичная (VRLA) гелиевая батарея	9
2.3.7. Герметичная (VRLA) батарея AGM	9
2.3.8. Герметичная (VRLA) спиральная аккумуляторная батарея	9
2.4. Функция и назначение аккумулятора	10
2.5. Свинцово-кислотный аккумулятор на практике	10
2.5.1. Сколько стоит аккумулятор?	10
2.5.2. Размеры и масса	11
2.5.3. Емкость и температура	12
2.5.4. Преждевременный износ 1. Разряд батареи слишком глубокий	13
2.5.5. Преждевременное старение 2. Слишком быстрая зарядка и неполная зарядка.	14
2.5.6. Преждевременное старение 3. Недозарядка.	15
2.5.7. Преждевременное старение 4. Перезарядка	15
2.5.8. Преждевременное старение 5. Температура.	15
2.5.9. Саморазряд	16
3. Контроль состояния заряда батареи. 'Монитор батареи'	17
<i>Устройство контроля состояния батареи показывает состояние заряда батареи, а также может использоваться для автоматического запуска систем заряда или индикации. Для больших аккумуляторных систем монитор со счетчиком ампер-часов просто незаменим. Начинать зарядку после "падения напряжения" будет слишком поздно. В этом случае батарея разряжается слишком глубоко, и вред уже нанесен.</i>	
3.1. Различные способы измерения состояния заряда батареи	17
3.1.1. Удельный вес (SG) электролита	17
3.1.2. Напряжение батареи	18
3.1.3. Счетчик ампер-часов	18
3.2. Монитор аккумулятора представляет собой счетчик ампер-часов	18
3.3. Энергоэффективность аккумулятора	18
3.4. Эффективность заряда аккумулятора	18
3.5. Влияние быстрой разрядки на емкость	19
3.6. Теряется ли емкость при высокой скорости разряда?	19
3.7. Другие полезные функции монитора состояния аккумулятора	20
3.7.1. Подсчет событий	20
3.7.2. Регистрация данных	20

Согласовано		
Взам. инв №		
Подп. и дата		
Инв № подл.		

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	Стадия	Лист	Листов
						Р	2	70
						Оглавление т.066 - 710 - 31 -62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		
					30.12.99			
					30.12.99			
					30.12.99			

4. Зарядка аккумулятора: теория

Разные типы аккумуляторов необходимо заряжать разными способами.

В этом разделе рассматриваются оптимальные характеристики зарядки наиболее часто используемых типов свинцово-кислотных батарей.

4.1. Введение	21
4.2. Трехступенчатая зарядка (I U°U)	21
4.2.1. Объемный заряд	21
4.2.2. Заряд поглощения	21
4.2.3. Плата за плавающее напряжение	22
4.3. Уравнивание	23
4.4. Температурная компенсация	24
4.5. Обзор	25
4.6. Вывод: как следует заряжать аккумулятор?	26
4.6.1. Домашняя батарея	26
4.6.2. Стартерная батарея	27
4.6.3. Батарея подруливающего устройства	27

5. Зарядка аккумуляторов с помощью генератора или зарядного устройства

Генератор переменного тока со стандартным регулятором напряжения, используемый в автомобильной технике, далеко не лучшее решение, и уж точно не там, где нужно заряжать несколько батарей, разделенных диодным изолятором.

5.1. Генератор переменного тока	28
5.2. Когда генератор должен заряжать более одной батареи	28
5.2.1. Введение	28
5.2.2. Проблема	29
5.2.3. Широкий спектр решений	29
5.3. Зарядные устройства. От переменного тока к постоянному	31
5.3.1. Введение	31
5.3.2. Оптимизированная зарядка	31
5.3.3. Зарядка более чем одного аккумулятора	31

6. Электрооборудование и потребление энергии

Ежедневное энергопотребление постоянных и длительных потребителей малой мощности (холодильник и морозильник) часто недооценивается, а энергопотребление кратковременных потребителей большой мощности (электрические лебедки, подруливающее устройство, стиральная машина, электроплита) часто переоценивается.

6.1. Введение	33
6.2. Мощность и энергия	33
6.3. Охлаждение	33
6.3.1. Введение	33
6.3.2. Теория теплового насоса	34
6.3.3. Холодильник и морозильник на практике	34
6.3.4. Кондиционирование воздуха	35
6.4. Электрические лебедки, брашпиль и подруливающее устройство	36
6.5. Стиральная и посудомоечная машины на батарейках?	36
6.6. Вы когда-нибудь думали о том, что приготовление пищи на электрической плите от аккумулятора вполне осуществимо?	36
6.7. Водолазный компрессор	37
6.8. Как бороться с пусковым током электродвигателей переменного тока	37
6.9. Заключение	37

Согласовано		
Взам. инв №		
Подп. и дата		
Инв № подл.		

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата				
						Оглавление	Стадия	Лист	Листов
							Р	3	70
							т.066 - 710 - 31 - 62		
							7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

7. Генераторы	38
7.1. Генераторы переменного тока	38
7.1.1. Дизельный двигатель прослужит дольше, если ему придется работать	38
7.1.2. Гибридная или аккумуляторная система переменного тока	38
7.1.3. Не забывайте о проблеме ограниченного берегового питания	38
7.1.4. 3000 об/мин или 1500 об/мин (в среде 60 Гц: 3600 об/мин или 1800 об/мин)	38
7.2. Генераторы постоянного тока	38
8. Микрогенерация электроэнергии: мышление по-другому	40
<i>Эта глава подводит нас к центральной теме данной книги: как оптимизировать надежность и удобство, и в то же время уменьшить вес и размер системы</i>	
8.1. Введение	40
8.2. Новые технологии делают концепцию постоянного тока более привлекательной	40
8.2.1. Концепция постоянного тока	40
8.2.2. Генераторы постоянного тока	41
8.2.3. Неограниченная мощность инвертора	41
8.3. Концепция переменного тока может быть улучшена с помощью PowerControl	41
8.3.1. Концепция переменного тока	41
8.3.2. Концепция переменного тока со свободным периодом генератора	41
8.3.3. PowerControl	42
8.4. Новое: концепция гибридного или аккумуляторного кондиционера, или "достижение невозможного" с помощью PowerAssist	43
8.4.1. PowerAssist	43
8.4.2. Другие преимущества при эксплуатации Multi вместе с генератором	43
8.4.3. Береговое питание	43
8.5. Мыслить по-другому	44
8.5.1. Суточная потребность в энергии	44
8.5.2. Емкость аккумулятора	44
8.5.3. Береговое питание	45
9. Требуется до 4 кВт/ч в день (в среднем 170 Вт)	47
9.1. Введение	47
9.2. Оборудование и потребление тока	47
9.3. Потребление за 24-часовой период при плавании под парусом	47
9.4. На якоре или на стоянке без берегового источника питания 230 В	48
9.5. Дополнительный	48
9.6. Как зарядить аккумулятор	50
9.6.1. Генерируйте ток с помощью главного двигателя.	50
9.6.2. Увеличьте емкость аккумулятора,	50
9.6.3. Второй или больший генератор переменного тока	50
9.6.4. Солнечные батареи	51
9.6.5. Ветрогенератор	51
9.6.6. Водяной генератор (шахтный или буксируемый)	51
9.6.7. Береговое питание	51
9.7. Заключение	52

Согласовано		

Взам. инв №	
-------------	--

Подп. и дата	
--------------	--

Инв № подл.	
-------------	--

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Автор		Reinout Vader			30.12.99
Перевод		А.Топол			30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
Оглавление					
			Стадия	Лист	Листов
			Р	4	70
т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com					

10. Требуется до 14 кВт/ч в день (в среднем 600 Вт)	53
10.1. Введение	53
10.2. Оборудование: минимальное	53
10.3. Парусный спорт	54
10.4. На якоре или на стоянке без берегового источника питания 230 В	54
10.5. Дополнительный	55
10.6. Производство электроэнергии	56
10.6.1. С генераторами переменного тока на главном двигателе	56
10.6.2. Альтернативные источники энергии	56
10.6.3. С генератором переменного тока	56
10.6.4. PowerControl и PowerAssist	58
10.6.5. Генератор переменного тока на относительно небольшом судне: заключение	58
10.6.6. Генератор постоянного тока	59
10.6.7. Эффективность генератора, работающего на дизельном топливе	59
10.6.8. Энергоснабжение на моторной яхте длиной от 9 до 15 метров или яхте, стоящей на	59
10.7. Заключение	59
10.7.1. Сначала рассмотрим традиционное решение: генератор мощностью 12 кВт:	60
10.7.2. Лучшим решением с точки зрения массы и занимаемого места является генератор мощностью 6 кВт с PowerAssist или генератор постоянного тока мощностью 5 кВт.	60
11. Требуется до 48 кВт/ч в день (в среднем 2 кВт)	61
11.1. Введение	61
11.2. Основные потребители	61
11.3. Производство энергии	61
11.3.1. При генераторе переменного тока, работающем 24 часа в сутки	61
11.3.2. Добавление батареи на период отсутствия генератора	62
11.3.3. Использование параллельных Multi с PowerControl, а также концепция постоянного тока для берегового питания:	63
11.3.4. На шаг дальше: использование MultiPlus и PowerAssist для уменьшения размера генератора на 50 %	63
11.3.5. Генератор постоянного тока	64
11.3.6. Использование небольшого вспомогательного генератора постоянного тока для сокращения генераторных часов, емкости батареи и расхода топлива	64
11.4. Заключение	64
11.4.1. Генератор мощностью 20 кВт при свободном периоде работы генератора (правая	65
11.4.2. Реализация PowerControl и концепции постоянного тока для берегового питания, а также добавление вспомогательной генераторной установки для уменьшения емкости батареи (средняя колонка)	65
11.4.3. Использование меньшего генератора с PowerAssist, концепция постоянного тока для берегового питания и вспомогательная генераторная установка (левая колонка)	65
12. Требуется до 240 кВт/ч в день (в среднем 10 кВт)	66
12.1. Введение	66
12.2. Основные потребители	66
12.3. Производство энергии	66
12.3.1. Генераторы переменного тока	66
12.3.2. Добавление батареи для периода отсутствия генератора и работы генератора с помощью батареи (PowerAssist)	66
12.3.3. Добавление вспомогательного генератора переменного тока мощностью 8 кВт	67
12.4. Сравнение альтернативных вариантов для среднего потребления 10 кВт	68
13. Заключение	69
13.1. Потребление электроэнергии на борту	69
13.2. Производство энергии	69
13.3. Концепция постоянного тока	69

Согласовано

Взам. инв №

Подп. и дата

Инв № подл.

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	Наименование листа	Стадия	Лист	Листов
					30.12.99	Наименование листа	Р	5	70
					30.12.99				
					30.12.99				
					30.12.99				
					30.12.99				

т.066 - 710 - 31 - 62
7103162@gmail.com
<https://ackcomfort.blogspot.com>

2.4. Функция и назначение аккумулятора

В автономной энергетической системе аккумулятор выполняет роль буфера между источниками тока (генератор постоянного тока, зарядное устройство, солнечная батарея, ветрогенератор, генератор переменного тока) и потребителями. На практике это означает циклическое использование, но на самом деле это совершенно особая "нерегулярная" вариация циклического использования. Это контрастирует с примером вилочного погрузчика, где рабочий цикл очень предсказуем.

Поскольку яхты часто остаются неиспользуемыми в течение длительного времени, то и их аккумуляторы тоже. Например, на парусной яхте могут возникнуть следующие ситуации:

- Яхта находится под парусом или на якорю в спокойной бухте. Находящиеся на борту не хотят шума, поэтому вся электроэнергия поступает от аккумулятора. Главный двигатель или дизельный генератор используется один или два раза в день в течение нескольких часов для зарядки домашней батареи, достаточной для следующего периода без генератора. Это циклическое использование, при котором время зарядки слишком мало, чтобы полностью зарядить батарею.
- Яхта находится в пути под нагрузкой в течение нескольких часов. В этом случае генераторы переменного тока на главном двигателе имеют время для надлежащей зарядки аккумулятора
- Яхта пришвартована у причала. Зарядные устройства подключены к береговой электросети, и батарея находится под плавающим зарядом 24 часа в сутки. При использовании концепции постоянного тока (раздел 8.2) каждый день может происходить несколько неглубоких разрядов.
- В зимнее время яхта не эксплуатируется. Аккумуляторы либо отключаются на несколько месяцев, либо остаются под плавающей зарядкой от зарядного устройства, либо поддерживаются в заряженном состоянии от солнечной батареи или ветрогенератора.

Количество циклов в год, температура окружающей среды и многие другие факторы, влияющие на срок службы батареи, зависят от конкретного пользователя. Ниже кратко рассматриваются все эти факторы.

2.5. Свинцово-кислотный аккумулятор на практике

2.5.1. Сколько стоит аккумулятор?

Здесь мы намерены дать лишь приблизительную оценку стоимости. Помимо всех соображений качества и использования, стоимость, конечно же, важна.

Тип батареи	Применение	Широко применяемая система напряжение, мощность и энергоёмкость			Стоимость USD or EURO	Указание цены за кВт/ч USD or EURO
		V	Ah	kWh		
Стартовая	Запуск	12	100	1,2	100	80
Спирально-ячеистая	Запуск, тяговое оборудование	12	60	0.72	250	350
Полутяговая	Аккумулятор для бытовых нужд до прикл. 600 Ач	12	200	2,4	300	125
Аккумулятор VRLA - AGM	Аккумулятор для бытовых нужд до прикл. 600 Ач Также работает и подруливающее устройство	12	230	2,80	600	210
Тяговые (трубчатопластинчатые)	Аккумулятор для бытовых нужд до прикл. 2000 Ач	24	1000	24	4,5	190

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	2.Аккумулятор: предотвращение преждевременного износа 2.4. Функция и назначение аккумулятора 2.5.Свинцово-кислотный аккумулятор на практике	Стадия	Лист	Листов
								P	10
							т.066 - 710 - 31 -62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

Согласовано

Взам. инв №

Подп. и дата

Инв № подл.

Тип	Ток разряда	Номинальная емкость	Время разряда	Ток разряда	Эффективная		Время разряда
	А (номинальный)	и соответствующее время разряда	часов	А (С / 5)	емкость 1,83 В / батарея (11 В)		часов
					Ah	%	
Стартовая	5	100 Ah / 20 h	20				
Спирально-ячеистая	2,8	56 Ah / 20 h	20	11,2	52	93	4,6
Полутяговая	10	200 Ah / 20 h	20	40	150	75	3,75
VRLA AGM аккумулятор	11,5	230 Ah / 20 h	20	46	198	86	4,3
Тяговые (трубчато-пластинчатые)	200	1000 Ah / 5 h	5	200	1000	100	5
VRLA-gel Sonnenschein Dryfit A200	10	200 Ah / 20 h	20	40	158	79	4
VRLA-gel Sonnenschein Dryfit A600	150	1500 Ah / 10 h	10	300	900	60	3

Тип	Ток разряда	Эффективная емкость 1,83 В / батарея (11 В)		Время разряда минут	Ток разряда А (С / 1)	Эффективный емкость 1,75 В / батарея (10,5 В)	
	А (С / 2)	Ah	%			Ah	%
Спирально-ячеистая	28	43	77	92	56	42	75
Полутяговая	100	110	55	66	200	90	45
VRLA AGM аккумулятор	115	157	68	82	230	142	62
Тяговые (трубчато-пластинчатые)	500	700	70	80	1000	400	40
VRLA-gel Sonnenschein Dryfit A200	100	120	60	72	200	100	50
VRLA-gel Sonnenschein Dryfit A600	750	375	25	15	1500	0*	0

*При токе разряда 1500 А (С / 1) напряжение батареи А600 почти сразу падает до 1,65 В / элемент (т.е. 9,9 В и 19,8 В для системы 12 В соответственно 24 В).

Ток разряда часто выражается в виде доли от номинальной емкости. Например, для батареи емкостью 200 Ач С / 5 означает ток разряда 40 А (= 200 Ач / 5).

2.5.3. Емкость и температура

Эффективная емкость батареи изменяется обратно пропорционально температуре:

- 10°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
80%	92%	95%	100%	103%	105%

Согласовано

Взам. инв №

Подп. и дата

Инв № подл.

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Автор	Reinout Vader				30.12.99
Перевод	А.Топол				30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
2.Аккумулятор: предотвращение преждевременного износа					
2.5.Свинцово-кислотный аккумулятор на практике					
Стадия	Лист	Листов			
Р	12	70			
т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com					

2.5.4. Преждевременный износ 1. Разряд батареи слишком глубокий

Чем глубже разряжена батарея, тем быстрее она разлагается из-за процесса выпадения (раздел 2.2.4.), а после превышения определенного предела (примерно 80% глубины разряда) процесс старения протекает непропорционально быстро.

Кроме того, если батарея остается разряженной, пластины начинают подвергаться сульфатации (раздел 2.2.4.).

Как уже объяснялось в разделе 2.2.4, батарея стареет, даже если ее держать заряженной и ничего не делать, в основном из-за окисления решетки положительных пластин.

Следующая таблица дает приблизительное представление о количестве циклов заряда/разряда, которые батареи могут выдержать до конца срока службы, и о том, как они могут быть разрушены в результате сульфатации или коррозии пластин.

Батареи считаются выработавшими свой срок службы, когда их емкость уменьшается до 80% от номинальной.

Тип	Количество циклов до истечения срока службы		Устойчивость к 100 % разрядке	Ожидаемый срок службы при плавающем или неглубоком цикле использования при температуре окружающей среды 20°C
	DoD 80 %	DoD 60 %		
Стартовая	Не подходит для циклического применения			5
Спирально-ячеистая	400	650	Непоправимо сульфатирован в течение нескольких дней	10
Полутяговая	200	350	Непоправимо сульфатирован в течение нескольких дней	5
VRLA AGM аккумулятор	250	800	Сохраняется до 1 месяца в короткозамкнутом состоянии	4 – 10
Тяговые (трубчато-пластинчатые)	1500	2500	Сохраняется до 1 месяца в разряженном состоянии	10 – 15
VRLA-gel	250	450	Сохраняется до 1 месяца в разряженном состоянии	4 – 5
Sonnenschein Dryfit A200				
VRLA-gel Sonnenschein Dryfit A600	600	900	Сохраняется 1 месяц в разряженном состоянии	15 – 18

В большинстве случаев аккумуляторы восстанавливаются после полной разрядки, но, тем не менее, это очень вредно для их срока службы. Аккумуляторы никогда не следует полностью разряжать, и уж тем более оставлять в разряженном состоянии.

Здесь также следует отметить, что напряжение используемой аккумулятора не является хорошим показателем степени его разряда. На напряжение аккумулятора слишком сильно влияют другие факторы, такие как ток разряда и температура. Только когда аккумулятор почти полностью разряжен (DoD от 80% до 90%), напряжение быстро падает. Подзарядка должна быть начата до того, как это произойдет. Поэтому для эффективного управления большими дорогостоящими аккумуляторными батареями настоятельно рекомендуется использовать монитор батареи (глава 3).

Согласовано

Взам. инв №

Подп. и дата

Инв № подл.

Электроенергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Автор	Reinout Vader				30.12.99
Перевод	А.Топол				30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
					30.12.99

2.Аккумулятор: предотвращение преждевременного износа	Стадия	Лист	Листов
2.5.Свинцово-кислотный аккумулятор на практике	P	13	70
т.066 - 710 - 31 -62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com			

3. Контроль состояния заряда батареи. 'Монитор батареи'

3.1. Различные способы измерения состояния заряда батареи

3.1.1. Удельный вес (SG) электролита

Как объяснялось в разд. 2.2.1, электролит свинцово-кислотного аккумулятора состоит из смеси воды и серной кислоты. Когда аккумулятор полностью заряжен, активным материалом в отрицательных пластинах является чистый губчатый свинец, а в положительных - оксид свинца. Концентрация серной кислоты в электролите (и, следовательно, SG) в этом случае высока.

Во время разряда серная кислота из электролита реагирует с активным материалом положительных и отрицательных пластин, образуя сульфат свинца и воду. Это снижает концентрацию серной кислоты и, следовательно, SG электролита.

Во время процесса разрядки глубину разряда (DoD) батареи можно достаточно хорошо отследить с помощью ареометра, контролируя SG электролита. SG будет уменьшаться, как показано в следующей таблице:

Глубина разряда (%)	Удельная плотность	Напряжение аккумуляторной батареи
0	От 1,265 до 1,285	12,65 +
25	1,225	12,45
50	1,19	12,24
75	1,155	12,06
100	1,12	11,89

Во время зарядки происходит обратный процесс, и снова образуется серная кислота. Поскольку серная кислота тяжелее воды, в аккумуляторных батареях с жидким электролитом (это не относится к гелиевым и AGM-аккумуляторам) она оседает вниз, поэтому концентрация кислоты увеличивается в нижней части батареи. В верхней части пластин концентрация кислоты в жидкости не увеличивается до тех пор, пока не будет достигнут уровень газообразования!

Полезная информация об электролите:

- **Расслоение**

Только после достижения напряжения газообразования (2,39 В на элемент, или 14,34 В для батареи 12 В при 20°C) электролит медленно перемешивается пузырьками газа.

Требуемое для этого времени зависит от конструкции аккумуляторов и от количества газообразования. Количество газообразования, в свою очередь, зависит от напряжения заряда, от количества легирующей сурьмы и возраста батареи.

Батареи с относительно высоким уровнем легирования сурьмой (2,5 % и более) в целом достаточно газовыделяют во время абсорбционного заряда, чтобы электролит снова стал однородным.

Современные батареи с низким содержанием сурьмы (содержание сурьмы 1,6 % или менее), однако, образуют так мало газа, что обычного цикла зарядки недостаточно. Затем требуются недели плавающей зарядки (с очень малым газовыделением), прежде чем электролит снова хорошо перемешается. **В результате залитые батареи после полной зарядки могут показывать низкие показания гидрометра!**

Примечание: Вибрация и движение в лодке или транспортном средстве, как правило, приводит к адекватному перемешиванию электролита.

- **Температурная коррекция показаний гидрометра:**

SG изменяется обратно пропорционально температуре. На каждые 14°C повышения температуры выше 20°C показания ареометра уменьшаются на 0,01. Таким образом, показание 1,27 при 34°C эквивалентно показанию 1,28 при 20°C. Изменения удельного веса в зависимости от региона:

Значения SG, указанные в таблице выше, типичны для умеренного климата.

В жарком климате SG уменьшается, как показано в таблице ниже, чтобы уменьшить влияние температуры на срок службы батареи

Полностью заряженный SG, умеренный климат:	1,265	-	1,285
Полностью заряженный SG, субтропический климат:	1,25	-	1,265
Полностью заряженный SG, тропический климат:	1,235	-	1,25

Согласовано		

Взам. инв №	
Подп. и дата	

Инв № подл.	Автор	Reinout Vader	30.12.99
	Перевод	А.Топол	30.12.99
			30.12.99
			30.12.99
			30.12.99

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата

3. Контроль состояния заряда батареи. 'Монитор батареи'
3.1. Различные способы измерения состояния заряда батареи

Стадия	Лист	Листов
Р	17	70

т.066 - 710 - 31 - 62
7103162@gmail.com
<https://ackcomfort.blogspot.com>

3.1.2. Напряжение батареи

Напряжение батареи также можно использовать в качестве приблизительного показателя состояния заряда батареи (см. предыдущую таблицу, раздел 3.1.1).

Внимание: батарею следует оставить на несколько часов (без зарядки и разрядки), прежде чем можно будет провести достоверное измерение напряжения.

3.1.3. Счетчик ампер-часов

Это наиболее практичный и точный способ контроля состояния заряда батареи. Для этого предназначен прибор - монитор аккумулятора. В следующих разделах более подробно рассматривается использование монитора аккумулятора.

3.2. Монитор аккумулятора представляет собой счетчик ампер-часов

Основная функция монитора аккумулятора заключается в отслеживании и индикации DoD аккумулятора, в частности, для предотвращения неожиданного полного разряда.

Монитор аккумулятора отслеживает ток, поступающий в аккумулятор и выходящий из него. Интегрирование этого тока по времени (что при фиксированном количестве ампер сводится к умножению тока и времени) дает количество ампер-часов, втекающих или вытекающих из аккумулятора.

Например: ток разряда 10 А в течение 2 часов означает, что батарея разрядилась на $10 \times 2 = 20$ Ач.

3.3. Энергоэффективность аккумулятора

При зарядке и разрядке аккумулятора возникают потери. Общее количество электрической энергии, которую аккумулятор принимает во время зарядки, примерно на 25 % больше, чем отдает во время разрядки, что означает КПД 75 %. Высокая скорость заряда и разряда еще больше снижает эффективность. Наибольшие потери происходят из-за того, что во время зарядки напряжение выше, чем во время разрядки, и это происходит, в частности, при абсорбции. Наиболее эффективны аккумуляторы, которые не выделяют много газа (аккумуляторы с низким содержанием сурьмы) и имеют низкое внутреннее сопротивление.

Если аккумулятор используется в режиме частичного заряда (см. пример в разделе 2.5.6.), его энергоэффективность будет довольно высокой: около 89 %.

Для расчета Ah заряда или разряда батареи монитор батареи использует только ток и время, поэтому компенсация общей эффективности не требуется.

3.4. Эффективность заряда аккумулятора

Когда аккумулятор заряжается, в него необходимо "закачать" больше Ач, чем можно извлечь при следующем разряде. Это называется эффективностью заряда, или кулоновской эффективностью ($1 \text{ Ач} = 3600 \text{ С}$).

Эффективность заряда батареи составляет почти 100 %, если не происходит газообразования. Газообразование означает, что часть зарядного тока не преобразуется в химическую энергию, которая накапливается в пластинах, а используется для разложения воды на кислород и водород (это также справедливо для фазы "только кислород" в конце заряда герметичной батареи, см. раздел 2.3.2.). Ампер-часы, хранящиеся в пластинах, могут быть восстановлены во время следующего разряда, в то время как "ампер-часы", использованные для разложения воды, теряются.

Величина потерь и, следовательно, эффективность заряда зависит от:

- А.** Тип батареи: низкий уровень газообразования = высокая эффективность заряда.
- В.** Способ зарядки батареи. Если батарея используется в основном в состоянии частичного заряда (см. пример в разделе 2.5.6.) и заряжается до 100 % только время от времени, средняя эффективность заряда будет выше, чем если батарея заряжается до 100 % после каждого разряда.
- С.** Зарядный ток и напряжение. При зарядке высоким током, а следовательно, высоким напряжением и высокой температурой, газообразование начнется раньше и будет более интенсивным. Это снизит эффективность заряда (а также общую энергоэффективность).

Согласовано		
Взам. инв №		
Подп. и дата		

						Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)			
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	Стадия	Лист	Листов	
						3. Контроль состояния заряда батареи. 'Монитор батареи' 3.2. Монитор аккумулятора представляет собой счетчик ампер-часов 3.3. Энергоэффективность аккумулятора 3.4. Эффективность заряда аккумулятора	Р	18	70
Автор		Reinout Vader			30.12.99				
Перевод		А.Топол			30.12.99				
					30.12.99				
					30.12.99				
Иное № подл.						т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com			

4. Зарядка аккумулятора: теория

4.1. Введение

Рассказывать о зарядке аккумуляторов было бы легко, если бы существовал один рецепт, не зависящий от условий эксплуатации и действительный для всех типов свинцово-кислотных аккумуляторов. Но это не так.

Дополнительные осложняющие факторы заключаются в том, что к батарее часто подключено более одного зарядного устройства, и что чистый зарядный ток неизвестен из-за потребителей, которые также подключены к батарее.

Зарядка с ограничением напряжения - лучший способ устранить влияние потребителей, насколько это возможно. А работа с двумя ограничениями напряжения, ограничениями напряжения поглощения и плавающего напряжения, рассмотренными далее в этой главе, является хорошим и общепринятым методом для зарядки глубоко разряженных батарей как можно быстрее.

Дальнейшим усовершенствованием стандартного трехступенчатого метода (объемный - абсорбционный - плавающий) является адаптивная зарядка: см. раздел 5.3.2.

4.2. Трехступенчатая зарядка (I U U)

4.2.1. Объемный заряд

При начале зарядки батареи напряжение сразу же подскакивает примерно до 2,1 В на элемент (12,6 В для батареи 12 В и 25,2 В для батареи 24 В), а затем медленно повышается до достижения первого предела напряжения.

Это ограниченная по току или массовая фаза цикла заряда, во время которой батарея принимает полный доступный ток заряда.

Для больших батарей рекомендуется ограничить ток до $C / 5$ или, еще лучше, $C / 10$, что означает, что в час заряжается от 10 до 20 % от общей емкости. Например, от 100 А до 200 А для батареи емкостью 1000 Ач.

Менее дорогие батареи меньшего размера часто заряжаются, хотя это может сократить срок службы, при более высокой скорости, например, $C / 3$.

Глубоко разряженная батарея будет принимать ток такого порядка, пока не зарядится примерно на 80%. Затем он достигнет первого предела напряжения. С этого момента, вместо того чтобы "поглощать" весь "предлагаемый" ток, прием заряда быстро уменьшается. Поэтому первый предел напряжения называется напряжением поглощения, а последующая фаза цикла заряда - фазой поглощения.

Высокий зарядный ток нагревает батарею, увеличивает газыделение и увеличивает время абсорбции, необходимое для полной зарядки батареи. Другими словами: высокий зарядный ток сократит время заряда лишь в ограниченной степени.

В любом случае ток заряда должен быть ограничен до $C / 5$ или менее после достижения напряжения газообразования (при 20°C напряжение газообразования составляет приблизительно 2,4 В на ячейку, или соответственно 14,4 В и 28,8 В). В противном случае активная масса будет вытолкнута из пластин из-за чрезмерного газообразования.

4.2.2. Заряд поглощения

Когда заданный предел напряжения поглощения достигнут, зарядка ограничивается количеством тока, которое аккумулятор может поглотить при данном напряжении.

Во время фазы поглощения ток будет неуклонно снижаться по мере того, как батарея достигнет полностью заряженного состояния.

Как объясняется в разд. 2.2.3, зарядка (и разрядка) батареи означает, что должен происходить процесс диффузии

Процесс диффузии фактически объясняет многое о зарядке и разрядке батарей:

- Если аккумулятор подвергся быстрому, но неглубокому разряду, диффузия вглубь активного материала происходит слабо, и химическая реакция ограничивается поверхностью пластин. Для зарядки требуется короткое время или даже полное отсутствие времени абсорбции (аккумулятор в автомобиле заряжается при фиксированном напряжении 14 В). Для восстановления после длительной и глубокой разрядки потребуются длительный период абсорбции, чтобы активный материал вновь превратился глубоко внутри пластин.

Согласовано			
Взам. инв №			
Подп. и дата			
Инв № подл.			

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
	Автор	Reinout Vader			30.12.99
	Перевод	А.Топол			30.12.99
					30.12.99
					30.12.99

4. Зарядка аккумулятора: теория 4.1. Введение	Стадия	Лист	Листов
	Р	21	70
4.2. Трехступенчатая зарядка (I U U)	т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

В следующей таблице показано, сколько воды теряется из-за газообразования в случае относительно новой батареи с низким содержанием сурьмы (газообразование увеличивается с возрастом):

Аккумулятор (полностью заряжен)	В/элемент	Батарея V	Выработка газа на 100 Ач емкости батарей	Расход воды на 100 Ач емкости аккумулятора	Интервал между пополнениями	Потеря воды за один цикл зарядки	"потеряно" на 100 Ач емкости аккумулятора Ач
Разомкнутая цепь	2,13	12,8	20 cc / h	0,1 л / год	5 y		44 / y
Плавающий	2,17	13	25 cc / h	0,1 л / год	5 y		54 / y
Плавающий	2,2	13,2	60 cc / h	0,3 л / год	1,5 y		130 / y
Плавающий	2,25	13,5	90 cc / h	0,4 л / год	1 y		200 / y
Плавающий	2,3	13,8	150 cc / h	0,6 л / год	10 m		300 / y
Абсорбция	2,33	14	180 cc / h	0,8 л / год	7 m	2 cc	2 / cycle
Абсорбция	2,4	14,4	500 cc / h	2,2 л / год	3 m	3 cc	3 / cycle
Абсорбция	2,45	14,7	1 л / h	4,2 л / год		4 cc	4 / cycle
Абсорбция	2,5	15	1,5 л / h	6,5 л / год			

Производство газа и потребление воды основано на использовании 6-элементной (= 12 В) батареи.

Интервал дозаправки основан на 0,5 л потерянной воды на 100 Ач. Избыток воды в аккумуляторе составляет примерно 1 л / 100 Ач.

Формулы:

а) 1 г воды может быть разложен на 1,85 л газа кислород + водород

б) 1 Ач, "потерянный" из-за газообразования, выделяет 3,7 л газа в 6-элементной (= 12 В) батарее

Из таблицы видно, что напряжение плавающего напряжения 13,5 В (13,5 В - часто рекомендуемый уровень плавающего напряжения для рассматриваемых здесь залитых батарей, так как более низкое напряжение плавающего напряжения не полностью компенсирует саморазряд) или выше приведет к тому, что доливать воду придется чаще, чем раз в год. Обратите внимание, что батареи с большим содержанием сурьмы потребляют в 2-5 раз больше воды!

На мой взгляд, вместо того, чтобы пытаться найти тонкий баланс между недостаточным напряжением для компенсации саморазряда и большим газовыделением при более высоком напряжении, лучше оставить батарею с разомкнутой цепью и заряжать, в зависимости от температуры, по крайней мере, раз в 4 месяца, или снизить напряжение плавающего аккумулятора до очень низкого уровня, например, 2,17 В на элемент (13 В соответственно 26В), и также регулярно заряжать при более высоком напряжении. Такая регулярная подзарядка должна быть особенностью зарядного устройства. См. раздел 5.3.2.

2) Все упомянутые **батареи VLRA** можно заряжать плавающим способом в течение длительного времени, хотя некоторые исследования показали, что обработка, подобная той, которая предлагается здесь для залитых батарей, увеличит срок службы (см. например, "Batterie Technik" Хайнца Венцля, Expert Verlag, 1999).

4.3. Уравнивание

При недостаточной зарядке аккумуляторы разрушаются по следующим причинам:

- сульфатация
- стратификация (только для залитых батарей)
- дисбаланс между ячейками, (см. раздел 2.5.6).

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата

Имя	Лист	Листов
Автор	Reinout Vader	30.12.99
Перевод	А.Топол	30.12.99
		30.12.99
		30.12.99
		30.12.99

4. Зарядка аккумулятора: теория
4.2. Трехступенчатая зарядка (I U U)
4.3. Уравнивание

Стадия Лист Листов
Р 23 70

т.066 - 710 - 31 -62
7103162@gmail.com
<https://ackcomfort.blogspot.com>

Согласовано

Взам. инв №

Подп. и дата

Инв № подл.

Батареи, как правило, достигают полностью заряженного состояния, включая выравнивание, во время абсорбционного заряда или при плавающем заряде в течение достаточно длительного периода времени.

Если они использовались в режиме частичной разрядки в течение некоторого времени, они восстановятся за счет:

- повторяющиеся циклы и зарядка с соответствующим напряжением и временем насыщения
- абсорбционный или плавающий заряд в течение длительного периода времени
- уравнивательная компенсационная надбавка, см. ниже.

Уравнивающий заряд выполняется путем обычного заряда батареи, а затем продолжайте зарядку малым током (от 3 % до 5 % от емкости в Ач, т.е. от 3 до 5 А для батареи емкостью 100 Ач) с повышением напряжения до 15-16 В (30-32 В для батареи 24 В), пока удельный вес (SG) не перестанет увеличиваться. Это займет от 3 до 6 часов, и к этому времени все элементы должны дать одинаковые показания. В этот период обязательно изолируйте батарею от всех нагрузок, чувствительных к повышенному напряжению.

Особенно тяжелые тяговые батареи могут нуждаться в периодическом выравнивании уровня заряда.

Как часто следует заряжать аккумулятор?

Все зависит от типа и использования. Для батарей с высоким содержанием сурьмы лучший способ узнать это - проверить SG после обычного заряда:

- Если все элементы равны и находятся на уровне 1,28, то нет необходимости в проведении выравнивания
- Если все элементы находятся в диапазоне от 1,24 до 1,28, было бы хорошо выровнять, когда это удобно, но нет никакой срочности
- Если SG некоторых элементов меньше 1,24, рекомендуется провести их выравнивание.
- Если все элементы ниже 1,24, батарея недозаряжена, необходимо увеличить время заряда или напряжение.

У батарей VLRA и залитых батарей с низким содержанием сурьмы SG не может быть измерена, соответственно, показания будут ненадежными. Самый простой способ проверить, действительно ли они заряжены на все 100 %, - следить за током заряда во время абсорбционного заряда. Ток заряда должен неуклонно снижаться, а затем стабилизироваться: это признак того, что химическое преобразование активной массы завершено и что основной оставшейся химической активностью является газообразование (разложение воды на кислород и водород).

4.4. Температурная компенсация

Как уже упоминалось в разд. 2.5.9, температура имеет большое значение при зарядке батарей. Напряжение газообразования и, следовательно, оптимальные напряжения абсорбции и плавающего напряжения обратно пропорциональны температуре.

Это означает, что при фиксированном напряжении зарядки холодная батарея будет заряжена недостаточно, а горячая - перезаряжена.

Оба эффекта очень вредны. Отклонения более чем на 1 % от правильного (в зависимости от температуры) плавающего напряжения могут привести к значительному сокращению срока службы (согласно некоторым исследованиям до 30 % при длительном плавающем заряде батареи), особенно если напряжение слишком низкое и батарея не достигает или не остается заряженной на 100 %, так что пластины начинают сульфатироваться.

С другой стороны, повышенное напряжение может привести к перегреву, а перегретая батарея может получить "тепловой выброс". Поскольку напряжение газовой выделению уменьшается с ростом температуры, ток абсорбции и плавающего заряда увеличивается при нагреве батареи, батарея становится еще горячее и т.д. Тепловой выброс быстро приводит к разрушению батареи (чрезмерное газовыделение выталкивает активную массу из пластин), и может возникнуть опасность взрыва из-за внутреннего короткого замыкания и большого количества кислорода и водорода, выходящих из батареи.

Согласовано			
Взам. инв №			
Подп. и дата			
Инв № подл.			

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Автор	Reinout Vader				30.12.99
Перевод	А.Топол				30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
4. Зарядка аккумулятора: теория 4.3. Уравнивание 4.4. Температурная компенсация					
Стадия			Лист		
Р			24		
Листов			70		
т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com					

Напряжение зарядки, указанное европейскими производителями батарей, применяется при температуре батареи 20°C и может поддерживаться постоянным до тех пор, пока температура батареи остается достаточно постоянной (от 15°C до 25°C).

Хотя рекомендации производителей в некоторой степени отличаются, температурная компенсация в - 4 мВ / °С на элемент является общепринятым средним значением. Это означает - 24 мВ / °С для батареи 12 В и - 48 мВ / °С для батареи 24 В.

Если производитель указывает напряжение поглощения, например, 28,2 В при 20°C, то при 30°C напряжение поглощения должно уменьшиться до 27,7 В. Это разница в 0,5 В, которой, конечно, нельзя пренебрегать. Если в дополнение к температуре окружающей среды 30°C внутренняя температура батареи повышается еще на 10°C, что вполне нормально во время зарядки, напряжение абсорбции должно быть снижено до 27,2 В. Без температурной компенсации напряжение заряда было бы 28,2 В, что быстро разрушило бы гелевую или AGM батарею стоимостью около десяти тысяч долларов!

Вышесказанное означает, что **температурная компенсация** важна и должна быть реализована, особенно на больших, дорогих домашних батареях, и когда используется высокая скорость тока заряда.

Все зарядные напряжения, упомянутые в этой и других главах, подлежат температурной компенсации.

4.5. Обзор

В следующей таблице приведен обзор того, как можно заряжать батареи после разряда на 50 %. На практике рекомендации могут отличаться у разных производителей, а также зависят от способа использования батареи. **Всегда обращайтесь за инструкциями к своему поставщику!**

Тип	Сплав	Приблизительное время впитывания при 20°C после 50% DoD	Плавающее напряжение при 20°C
Автомобильный	Сурьма (1,6 %)	4 ч при 2,50 В/элемент (15,0 В)	2,33 В / элемент (14 В) через несколько дней снижается до: 2,17 В / элемент (13 В)
		6 ч при 2,45 В / элемент (14,7 В)	
		8 ч при 2,40 В / элемент (14,4 В)	
		10 ч при 2,33 В / элемент (14 В)	
Спирально-ячеистая	Очищенный свинец	4 ч при 2,50 В / элемент (15,0 В)	2,3 В / элемент (13,8 В)
Спиралевидная камера		8 ч при 2,45 В / элемент (14,7 В)	
		16 ч при 2,40 В / ячейка (14,4 В)	
		1 нед. при 2,30 В/ячейка (13,8 В)	
Полутяговая	Сурьма (1,6 %)	5 ч при 2,50 В / элемент (15,0 В)	2,33 В / элемент (14 В) через несколько дней снижается до: 2,17 В / элемент (13 В)
		7 ч при 2,45 В / элемент (14,7 В)	
		10 ч при 2,40 В/элемент (14,4 В)	
		12 ч при 2,33 В / элемент (14 В)	
Тяговые (трубчато-пластинчатые)	Сурьма (5 %)	6 ч при 2,50 В / элемент (15,0 В)	2,3 В / элемент (13,8 В) через несколько дней снижается до: 2,17 В / элемент (13 В)
		8 ч при 2,45 В / элемент (14,7 В)	
		10 ч при 2,40 В/элемент (14,4 В)	
VRLA-gel Sonnenschein Dryfit A200	Кальций	4 ч при напряжении 2,40 В/элемент (14,4 В) не превышать!	2,3 В / элемент (13,8 В)

Примечания:

- 1) На практике, когда береговое питание недоступно, батареи на судне обычно заряжаются как можно быстрее, с сокращенным временем поглощения или вообще без периода поглощения (работа в состоянии частичного разряда). Это вполне приемлемо при условии, что зарядка до полных 100 % осуществляется регулярно (см. раздел 4.3).

Согласовано			
Взам. инв №			
Подп. и дата			
Инв № подл.			

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	Стадия	Лист	Листов
						Р	25	70
						т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

4. Зарядка аккумулятора: теория
4.4. Температурная компенсация
4.5. Обзор

- 2) При зарядке при напряжении, превышающем напряжение газообразования, следует либо ограничить ток не более чем до 5 % от емкости Ач батареи, либо тщательно контролировать процесс заряда и снижать напряжение, если ток увеличивается более чем до 5 % от емкости Ач.
- 3) При плавающей зарядке аккумуляторов при напряжении 2,17 В на элемент требуется регулярная подзарядка.

О сроке службы и перезарядке:

Батареи стартера или подруливающего устройства часто заряжаются параллельно с домашней батареей (см. раздел 5.2). Следствием этого является то, что эти батареи часто заряжаются при высоком напряжении (15 В или даже больше), хотя они уже полностью заряжены. В этом случае батареи VRLA не следует использовать для этих целей, так как они начнут выходить из строя и высыхать. Исключение составляют спирально-элементные батареи VLRA, которые можно заряжать при напряжении до 15 В без выделенного воздуха.

Батареи с залитыми и спиральными элементами выживут, но будут стареть быстрее. Основным фактором старения является коррозия решетки положительных пластин, причем скорость коррозии удваивается на каждые 50 мВ увеличения напряжения на элемент. Это означает, что, например, батарея Optima, которая прослужит 10 лет при рекомендуемом плавающем напряжении 13,8 В, будет стареть в 4 раза быстрее при 15 В ($((15 - 13,8) / 6) / 0,05 = 4$), сокращая срок службы до 2,5 лет, если она будет постоянно заряжаться при 15 В. Аналогичные результаты получены для залитых батарей. Хотя этот расчет является теоретическим и не был проверен на практике, он, тем не менее, показывает, что регулярный перезаряд в течение коротких периодов (на практике только в период абсорбционного заряда домашней батареи) стартерных батарей или батарей подруливающего устройства не снижает срок службы до неприемлемо низкого периода.

4.6. Вывод: как следует заряжать аккумулятор?

Как упоминалось ранее, не существует простого рецепта, который можно применить ко всем батареям и условиям эксплуатации. Кроме того, нет большего разнообразия условий эксплуатации и типов батарей, чем те, которые можно встретить на яхте.

Чтобы лучше понять, как используются батареи и что это означает для зарядки, давайте снова рассмотрим пример из раздела 2.4. Предположим, что на борту яхты имеется 3 батареи: домашняя батарея, стартерная батарея и батарея подруливающего устройства.

Как используются эти различные батареи и как их следует заряжать?

4.6.1. Домашняя батарея

В разд. 2.4 и 2.5.6 были описаны три условия использования:

- 1) Циклическое использование, в режиме частичной зарядки, во время плавания или на якоре. Здесь важно заряжать так быстро, как позволяет батарея. Температурная компенсация является обязательным условием для предотвращения преждевременного выхода из строя из-за перегрева и чрезмерного газообразования.
- 2) Смешанное использование плавающего заряда и короткие, неглубокие разряды при движении или на стоянке. Риск здесь заключается в том, что 3-ступенчатый регулятор генератора (при движении) или зарядное устройство (при подключении к береговой сети) часто срабатывают при таких неглубоких разрядах, переходя в режим насыщения, а затем в режим поглощения. В результате батарея может постоянно подвергаться абсорбционной зарядке и будет перезаряжаться. Поэтому, в идеале, продолжительность фазы абсорбции должна соответствовать предшествующей DoD. См. раздел 5.3.2. об адаптивном методе зарядки - инновации компании Victron Energy.

Залитые батареи, если они заряжаются плавающим способом без разряда, должны быть переведены на нижний уровень 2,17 В на элемент и регулярно пополняться абсорбционным зарядом при 2,4 В на элемент или более. Опять же, см. раздел 5.3.2.

- 3) В течение длительных периодов времени батарея остается с разомкнутой цепью или с плавающей зарядкой, например, в зимнее время. Как обсуждалось в разд. 4.2.3, большинство залитых батарей быстро деградируют при длительной плавающей зарядке при напряжении 2,3 В на элемент. В идеале напряжение заряда следует снизить до 2,15-2,2 В на элемент, или оставить батарею с разомкнутой цепью и регулярно подзаряжать. Когда средняя температура составляет 20°C или ниже, по крайней мере, каждые 4 месяца. При более высоких температурах их следует заряжать чаще.

Согласовано			
Взам. инв №			
Подп. и дата			
Инв № подл.			

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата			
						Автор	Reinout Vader	30.12.99
						Перевод	А.Топол	30.12.99
								30.12.99
								30.12.99
								30.12.99
						4. Зарядка аккумулятора: теория		
						4.6. Вывод: как следует заряжать аккумулятор?		
						Стадия	Лист	Листов
						P	26	70
						т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

Из моего личного опыта и многочисленных обсуждений с владельцами лодок, я также предпочитаю оставлять герметичные батареи Exide/Sonnenschein Dryfit A200 или эквивалентные батареи с разомкнутым контуром или на более низком, чем рекомендуется, уровне плавающего напряжения, вместо того, чтобы заряжать их при 13,8 В, потому что, хотя теоретически они могут быть заряжены в течение длительных периодов времени, слишком часто результатом было повреждение из-за перезарядки.

4.6.2. Стартерная батарея

Для стартерной батареи действуют 2 условия эксплуатации:

- Неглубокое разряжение из-за запуска двигателя один или два раза в день.
- Никакой разрядки вообще. Лучшим вариантом было бы отсутствие подзарядки, кроме абсорбционной зарядки время от времени.

Однако на практике стартерная батарея очень часто заряжается параллельно с домашней батареей, что допустимо, если используется батарея нужного типа и допускается некоторое снижение рабочего напряжения (см. примечание, раздел 4.5).

4.6.3. Батарея подруливающего устройства

При использовании разряд может быть глубоким, и потребуется быстрая подзарядка. В целом, наиболее практичным решением является зарядка батареи подруливающего устройства параллельно с домашней батареей. Часто используются батареи со спиральными элементами, поскольку они обладают очень высокой способностью к пиковому току. Эти же батареи принимают широкий диапазон напряжения перезарядки и очень устойчивы к перезарядке.

Согласовано		

Взам. инв №	
Подп. и дата	

Инв № подл.	Автор	Reinout Vader	30.12.99
	Перевод	А.Топол	30.12.99
			30.12.99
			30.12.99
			30.12.99

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)								
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата			
4. Зарядка аккумулятора: теория 4.6. Вывод: как следует заряжать аккумулятор?						Стадия	Лист	Листов
						Р	27	70
						т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

5. Зарядка аккумуляторов с помощью генератора или зарядного устройства

5.1. Генератор переменного тока

Главный двигатель лодки обычно оснащен стандартным автомобильным генератором переменного тока. Стандартные автомобильные генераторы переменного тока имеют встроенный регулятор с температурной компенсацией. Температура измеряется в самом регуляторе. Это подходящая схема для автомобилей, где температура батареи будет примерно такой же, как температура регулятора.

Более того, в автомобилях аккумулятор практически всегда полностью заряжен. Батарея разряжается лишь в незначительной степени во время запуска двигателя. После этого генератор выдает достаточную мощность, даже при неработающем двигателе, для питания всех потребителей и подзарядки аккумулятора. Поскольку батарея фактически никогда глубоко не разряжается, и в целом имеется достаточно времени для зарядки, фаза поглощения, о которой говорилось в главе 4, является излишней. Генератор заряжает аккумулятор током, зависящим от оборотов двигателя, пока не будет достигнуто заданное плавающее напряжение. Затем генератор переходит на постоянное напряжение. Обычно напряжение предварительно устанавливается на уровне 2,33 В/элемент при 20°C, т.е. 14 В для систем 12 В и 28 В для систем 24 В.

Эта система зарядки отлично работает при соблюдении следующих условий:

- батарея представляет собой автомобильную батарею с плоской пластиной
- аккумулятор почти всегда полностью заряжен
- разница температур между регулятором на генераторе и батареей ограничена
- падение напряжения на кабеле между батареей и генератором пренебрежимо мало (т.е. менее 0,1 В, включая переключатели, изоляторы и т.д.).

Проблемы возникают, как только одно из вышеперечисленных условий перестает выполняться.

В следующих разделах кратко рассматривается практика зарядки аккумуляторов с помощью генератора переменного тока.

Для исчерпывающего рассмотрения генераторов переменного тока, регуляторов генератора, изоляторов и другого сопутствующего оборудования я рекомендую прочитать стандартную работу Найджела Калдера "Руководство по механике и электрике для судовладельцев", а также посетить сайты компаний Ample Power (amplepower.com), Balmar (balmar.net) и Heart Interface (xantrex.com).

5.2. Когда генератор должен заряжать более одной батареи

5.2.1. Введение

Минимальное количество аккумуляторов на яхте - два: один для запуска главного двигателя и домашний (или вспомогательный, или сервисный) аккумулятор. Для того чтобы двигатель всегда можно было запустить, все вспомогательные устройства (навигационное оборудование, освещение, автопилот, холодильник и т.д.) питаются от домашней батареи.

Стартерная батарея (иногда 2, для двух двигателей) не должна иметь никакой другой нагрузки, кроме стартерного двигателя основного двигателя, и никогда не должна разряжаться, иначе двигатель невозможно будет запустить.

Часто на борту имеется третий аккумулятор - аккумулятор подруливающего устройства, и может быть даже четвертый - аккумулятор электроники (навигации).

Батареи отделены друг от друга реле, диодными изоляторами или другими устройствами, которые будут кратко рассмотрены в следующих разделах. В больших системах стартерная батарея часто имеет свой собственный генератор переменного тока. Напряжение батарей также может быть разным: одни 12 В (стартовые и электронные), другие 24 В (домашние и подруливающие).

Согласовано			
Взам. инв №			
Подп. и дата			
Инв № подл.			

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата				
						5. Зарядка аккумуляторов с помощью генератора или зарядного устройства 5.1. Генератор переменного тока 5.2. Когда генератор должен заряжать более одной батареи	Стадия	Лист	Листов
							Р	28	70
							т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

5.2.2. Проблема

При использовании стандартного автомобильного генератора-регулятора для одновременной зарядки нескольких батарей возникают следующие проблемы:

- В лодке кабели часто намного длиннее, чем в автомобиле, поэтому падение напряжения между генератором и батареей больше (пример: падение напряжения на кабеле длиной 5 метров и сечением 10 мм² составляет 0,5 В при токе 50 А).-
- Диодные батарейные изоляторы вызывают дополнительное падение напряжения: от 0,4 до 0,8 В для кремниевых диодов и от 0,1 до В для транзисторов FET, используемых в качестве диодов.
- Генератор переменного тока в моторном отсеке регистрирует температуру окружающей среды 40°C или даже выше, в то время как домашняя батарея, расположенная ниже в лодке, намного холоднее, например, 20°C. Это приводит к дополнительному понижению напряжения примерно 0,6 В или даже 1,2 В в системах 12 В или 1,2 В соответственно. Это приводит к дополнительному понижению напряжению примерно 0,6 В или даже 1,2 В для систем 12 В или 24 В соответственно.
- Домашняя батарея обычно глубоко разряжена, и ее действительно следует заряжать высоким (поглощающим) напряжением. Это особенно актуально, когда генератор переменного тока на главном двигателе является единственным источником энергии и работает кратковременно каждый день для зарядки батарей.
- Напротив, стартерная батарея, а зачастую и батарея подруливающего устройства практически всегда полностью заряжены и не нуждаются в поглощающей зарядке.
- Часто для запуска, для подруливающего устройства и для обслуживания дома используются разные типы батарей. Все эти батареи имеют свой собственный рецепт зарядки.

5.2.3. Широкий спектр решений

Было бы преувеличением сказать, что существует столько же решений, сколько лодок, но, безусловно, есть много способов, более или менее, преодолеть вышеупомянутые проблемы. Некоторые из них, но, конечно, не все, будут рассмотрены ниже:

5.2.3.1 Простота и низкая стоимость: аккумуляторный блок питания с микропроцессорным управлением

Пусть генератор заряжает стартерную батарею, а рабочая батарея подключается к стартерной батарее с помощью объединителя батарей (например, объединитель батарей Cugix от Victron Energy). Когда одна из двух батарей заряжается (стартерная батарея от генератора или рабочая батарея от зарядного устройства), Cugix почувствует повышение напряжения и подключит обе батареи параллельно. Как только напряжение снизится, Cugix отключит батареи друг от друга.

Преимуществом является простота и стоимость: генератор не нужно модифицировать или заменять. Недостатком является несколько большее время подзарядки домашней батареи, так как объемный заряд прекращается примерно при 30 % DoD (или даже хуже в случае значительного падения напряжения в кабелях или низкого напряжения генератора из-за высокой температуры), а затем следует плавающий заряд. Это означает, что батарея будет циклически заряжаться от 30 % до 70 % DoD. Решение состоит в том, чтобы увеличить размер домашней батареи на 20 % - 50 % и производить 100 % подзарядку при наличии берегового питания.

5.2.3.2 Повышение напряжения генератора переменного тока

Большинство генераторов переменного тока со встроенными регуляторами можно модифицировать, чтобы обеспечить более высокое напряжение. Добавление диода последовательно с входом датчика напряжения регулятора увеличивает выходное напряжение примерно на 0,6 В.

Это работа для специалиста. Мы не будем останавливаться на этом здесь, но это недорогое усовершенствование, которое, вместе с пунктом 5.2.3.1, позволит заряжать батареи достаточно быстро. Серьезный перезаряд аккумулятора опасен только в случае очень интенсивной ежедневной езды, и даже эта проблема может быть решена временным отключением генератора (но никогда не отключайте основной выход генератора от аккумулятора при работающем двигателе, так как возникающий скачок напряжения может повредить выпрямительные диоды генератора).

Согласовано		
Взам. инв №		
Подп. и дата		

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата				
						5. Зарядка аккумуляторов с помощью генератора или зарядного устройства 5.2. Когда генератор должен заряжать более одной батареи	Стадия	Лист	Листов
							P	29	70
							т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

Ине № подл.

Автор
Reinout Vader

Перевод
А.Топол

30.12.99
30.12.99
30.12.99
30.12.99

30.12.99
30.12.99
30.12.99
30.12.99

Температурная коррекция

Температурная коррекция не будет точной, поскольку разные банки также будут иметь разную температуру. Температурная коррекция особенно важна в случае герметичных батарей VRLA, см. раздел 4.4.

Датчик напряжения

Компенсация падения напряжения путем измерения напряжения заряда непосредственно на клеммах одной из батарей приведет к идеальному заряду одной батареи и возможному перезаряду других, см. например, примечание 4 раздела 4.5.

5.3.3.2 Отдельное зарядное устройство для каждой батареи

Это лучшее решение по цене. Компромиссным вариантом может быть хорошая забота о дорогом домашнем банке, при необходимости включающая температурную компенсацию и определение напряжения, и использование меньшего многовыходного зарядного устройства для других батарей.

5.3.3.3 Контролируемый микропроцессором аккумуляторный коммутатор

Заряжайте дорогую домашнюю батарею с помощью хорошего зарядного устройства, включая компенсацию температуры и определение напряжения. И подключайте другие батареи к домашней батарее с помощью микропроцессорных комбинаторов батарей, например, комбинаторов батарей CuriX от Victron Energy.

CuriX также будет следить за тем, чтобы все батареи были параллельно подключены к генератору при работающем основном двигателе, см. 5.2.3.1.

Согласовано		

Взам. инв №	
Подп. и дата	

Ив № подл.	
------------	--

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)			
						5. Зарядка аккумуляторов с помощью генератора или зарядного устройства 5.3. Зарядные устройства. От переменного тока к постоянному	Стадия	Лист	Листов
							Р	32	70
							т.066 - 710 - 31 -62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

6. Электрооборудование и потребление энергии

6.1. Введение

Теперь, когда мы более или менее знаем, как заряжать батареи, пришло время обсудить потребителей, которые будут разряжать батареи.

Для того чтобы лучше понять влияние на энергопотребление различных потребителей на борту, полезно мыслить тремя категориями:

- **Постоянные потребители**, к которым можно отнести, например, резервную мощность, потребляемую УКВ или SSB, холодильником и морозильной камерой.
- **Потребители длительного действия** (навигационные огни, автопилот, освещение кабины, водонагреватель, кондиционер), которым требуется питание от одного часа до нескольких часов в день.
- **Кратковременные потребители** (насосы, электрические лебедки, подруливающее устройство, микроволновая печь, стиральная машина, посудомоечная машина, электрическая плита), которым требуется питание от нескольких секунд до, скажем, одного часа в день.

По моему опыту, все, включая меня, склонны недооценивать ежедневное потребление энергии непрерывными и длительными потребителями и переоценивать потребление энергии кратковременными потребителями.

6.2. Мощность и энергия

Особенно когда источником электроэнергии является аккумулятор, важно различать мощность и энергию.

Мощность является мгновенной, это энергия в секунду, и измеряется в ваттах (Вт) или киловаттах (1 кВт = 1000 Вт).

Энергия — это мощность, умноженная на время. Батарея хранит энергию, а не мощность.

Низкая мощность, но потребляемая в течение длительного времени, может привести к большому расходу энергии и разрядке аккумулятора. Мощность измеряется в ватт-часах (Ватт x часы, или Вт-ч) или киловатт-часах (1 кВт-ч = 1000 Вт-ч).

Энергия также является произведением емкости батареи (ампер-часов) и напряжения:

$$Wh = Ah \times V \text{ и } kWh = Ah \times V \times 1000.$$

Таким образом, мощность 2 кВт в течение 1 часа составляет 2 кВт x 1 час = 2 кВтч электрической энергии и отнимет 2 кВтч / 12 В = 2000 Втч / 12 В = 167 Ач от батареи 12 В.

2 кВт в течение 1 секунды (т.е. 1 / 3600 часа) составляет (2000 / 3600) / 12 = 0,046 Ач. Почти ничего!

2 кВт в течение 1 минуты (т.е. 1 / 60 часа) составляет (2000 / 60) / 12 = 2,7 Ач. Батарея ноутбука могла бы сделать это (если бы она могла обеспечивать очень высокие токи)!

2 кВт в течение 10 часов разряжают 2000 x 10 / 12 = 1667 Ач. Огромная батарея!

В качестве подготовки к последующим главам в следующих разделах рассматриваются некоторые примеры мощности и энергопотребления бытовых приборов и другого оборудования.

6.3. Охлаждение

6.3.1. Введение

Чаще всего холодильное оборудование на борту — это кошмар или, по крайней мере, головная боль.

На небольших яхтах холодильник часто забирает из аккумулятора больше энергии, чем все остальное оборудование вместе взятое.

На яхтах средних размеров именно холодильник и морозильник разряжают аккумулятор.

А на больших яхтах именно из-за кондиционера генератор должен работать день и ночь.

Для того чтобы понять, почему, и выяснить, можно ли что-то с этим сделать, необходима некоторая теоретическая база. Этому посвящен следующий раздел.

Согласовано		

Взам. инв №	
Подп. и дата	

Инд № подл.	
-------------	--

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)			
						6. Электрооборудование и потребление энергии 6.1. Введение 6.2. Мощность и энергия 6.3. Охлаждение	Стадия	Лист	Листов
							Р	33	70
							т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

6.4. Электрические лебедки, брашпиль и подруливающее устройство

Все чаще и чаще, даже на небольших лодках, эти изделия потребляют очень большой ток, но в течение короткого периода времени.

Электрическая лебедка или брашпиль на 15-метровой лодке обычно приводится в действие двигателем мощностью 1 л.с. (1 л.с. = 0,736 кВт) и потребляет при номинальной нагрузке $736 / 12 = 61$ А от батареи 12 В (потребление тока может увеличиться до нескольких сотен Ампер, если лебедка находится под нагрузкой, близкой к остановке!) При работе в течение 1 минуты потребление Ач составит $61 / 60 = 1$ Ач (см. раздел 6.2). Таким образом, потребление энергии не является проблемой, но очень важно правильно подобрать размеры предохранителей, контакторов, кабелей и батарей, чтобы выдержать высокие токи и исключить риск возгорания из-за перегрева.

Подруливающее устройство часто потребляет еще больше энергии, например, 300 А от батареи 24 В, если на ней установлен двигатель мощностью 10 л.с.. Потребляемый ток составит $10 \times 736 / 24 = 300$ А. За одну минуту работы из аккумулятора будет израсходовано $300/60 = 5$ Ач.

6.5. Стиральная и посудомоечная машины на батарейках?

Цикл стирки при 60 °С в стандартной бытовой стиральной машине требует 0,9 кВтч электроэнергии, или $900 / 24 = 38$ Ач от батареи 24 В. При 40 °С этот показатель снижается до 0,6 кВт-ч или $600 / 24 = 25$ Ач от аккумулятора 24 В. Энергия, необходимая для мытья посуды, имеет тот же порядок величины.

Большая часть энергии уходит на нагрев воды (отсюда большая разница в потреблении энергии между циклом 60 °С и циклом 40 °С), а использование горячего наполнения (подача в стиральную и посудомоечную машины воды нужной температуры вместо холодной) еще больше снизит потребление энергии до нескольких сотен Вт-ч!

Однако стандартная бытовая сушилка потребляет 3 кВтч, что означает $3000 / 24 = 125$ Ач от батареи 24 В. Это происходит потому, что для испарения всей оставшейся влаги используется предварительно нагретый воздух. И я не знаю ни одной сушилки, нагревающей воздух с помощью теплообменника горячей воды вместо электрического нагревателя...

На цикл стирки-сушки небольшой стирально-сушильной машины, которые часто используются на яхтах, потребуется около 2,7 кВтч.

6.6. Вы когда-нибудь думали о том, что приготовление пищи на электрической плите от аккумулятора вполне осуществимо?

Я не знал, пока не произвел расчеты и не проверил на практике.

И с тех пор у меня на тримаране стоит двухконфорочная электрическая индукционная плита, работающая от домашней батареи 24 В 200 Ач и 2,5 кВт Multi.

Если сравнивать с другими электрическими плитами, то я отдаю предпочтение индукционным. При индукции нагревается не конфорка, а непосредственно дно кастрюли. Поэтому нагрев происходит очень быстро, и конфорка не становится горячее дна кастрюли, что повышает безопасность.

По этой причине электрическая индукция также на 20% эффективнее других электроплит (это не просто теория, я это измерил).

Но теперь теоретическая основа, которая очень проста:

Как указано в разделе 6.3.3, теплоемкость воды составляет 1,16 Вт-ч на °С. Поэтому для доведения до кипения 1 литра воды температурой 20 °С потребуется $1,16 \times (100 - 20) = 93$ Вт-ч. На практике требуется более 100 Вт-ч, в зависимости от теплоемкости кастрюли и других потерь, которые можно уменьшить, если начать с теплой воды из бойлера. Поэтому следует запомнить цифру 100 Вт-ч на литр.

А теперь собственно приготовление пищи:

Сегодня мы готовим спагетти с соусом домашнего приготовления и пудинг в завершение. Мы готовим на 4 человека.

Согласовано		
Взам. инв №		
Подп. и дата		

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Автор		Reinout Vader			30.12.99
Перевод		А.Топол			30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
					30.12.99

6. Электрооборудование и потребление энергии 6.4. Электрические лебедки, брашпиль и подруливающее устройство 6.5. Стиральная и посудомоечная машины на батарейках? 6.6. Вы когда-нибудь думали о том, что приготовление пищи на электрической плите от аккумулятора.....	Стадия	Лист	Листов
	Р	36	70
т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com			

8. Микрогенерация электроэнергии: мышление по-другому

8.1. Введение

Для целей данной книги микрогенерация определяется как производство электроэнергии для систем, требующих в среднем от нескольких сотен Ватт до 10 кВт электроэнергии. В течение 24 часов это составляет от $24 \times 0,2 = 4,8$ кВт/ч до $24 \times 10 = 240$ кВт/ч электроэнергии в день.

Как будет показано, 240 кВт/ч — это верхний диапазон количества электроэнергии, необходимой нескольким семьям для комфортного проживания, будь то в небольшом поселке из одного или нескольких домов, в передвижном доме или на борту судна.

Именно в этом диапазоне несколько последних технических разработок делают целесообразным "переосмысление" производства электроэнергии.

Очень важной характеристикой рассматриваемого здесь приложения является то, что количество требуемой электроэнергии временами будет почти нулевым, а в другие моменты возрастет до среднего значения в несколько раз.

Когда генератор переменного тока, работающий на бензине или дизельном топливе, используется для обеспечения необходимой электроэнергии, он должен быть рассчитан на самую высокую потребность в мощности, которую можно ожидать, и поэтому большую часть времени будет работать практически без нагрузки. Это очень неэффективно с точки зрения износа и расхода топлива, не говоря уже о шуме, обслуживании и загрязнении окружающей среды.

Проблема, более характерная для лодок (и домов на колесах), - береговое питание. Мощность береговой розетки часто недостаточна для питания стиральной машины, электроплиты или кондиционера. А при пересечении Атлантики напряжение отличается, и частота составляет 60 Гц вместо 50 Гц, или наоборот.

Все большее значение для лодок имеют также вес и объем.

В следующих разделах представлены и обсуждаются новые технологии и концепции для улучшения характеристик микрогенерации электроэнергии.

8.2. Новые технологии делают концепцию постоянного тока более привлекательной

8.2.1. Концепция постоянного тока

В концепции постоянного тока батарея является сердцем системы.

Вся электроэнергия, вырабатываемая или получаемая от береговой розетки, преобразуется в постоянный ток или вырабатывается как постоянный ток. Источники электроэнергии подключаются к шине постоянного тока, к которой также подключается аккумулятор.

Аналогичным образом, все потребители либо работают на постоянном токе, либо питаются от шины постоянного тока через инвертор.

В концепции постоянного тока аккумулятор является буфером электрической энергии, который компенсирует любой дисбаланс между поставщиками и потребителями энергии.

Фактически все небольшие суда используют концепцию постоянного тока:

Электричество вырабатывается одним или несколькими генераторами переменного тока на главном двигателе, а также часто альтернативными источниками, такими как солнечная энергия, энергия ветра или водяной генератор. Все источники электроэнергии подключены к шине постоянного тока, к которой также подключена домашняя батарея. Все потребители, такие как навигационное оборудование, освещение салона и т.д., питаются от шины постоянного тока.

По мере совершенствования технологии электронного преобразования энергии все больше бытовых приборов, которым требуется питание переменного тока, также подключаются к шине постоянного тока с помощью инвертора.

В следующих разделах представлены 2 новые разработки, которые существенно повышают привлекательность концепции DC.

Согласовано		
Взам. инв №		
Подп. и дата		

Инв № подл.					

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)								
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата			
Автор		Reinout Vader			30.12.99			
Перевод		А.Топол			30.12.99			
					30.12.99			
					30.12.99			
					30.12.99			
8. Микрогенерация электроэнергии: мышление по-другому 8.1. Введение 8.2. Новые технологии делают концепцию постоянного тока более привлекательной						Стадия	Лист	Листов
						Р	40	70
						т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

8.2.2. Генераторы постоянного тока

Наряду с обычными генераторами переменного тока 50/60 Гц некоторые поставщики генераторов предлагают генераторы постоянного тока. Генераторы постоянного тока меньше и легче, а их КПД выше, чем у генераторов переменного тока. Более того, обороты двигателя могут быть согласованы с текущими потребностями, так что эффективность использования топлива остается высокой даже при частичной нагрузке.

8.2.3. Неограниченная мощность инвертора

Синусоидальные инверторы сегодня стали общепринятыми. Новинкой является возможность параллельного подключения инверторов.

Компания Victron Energy разработала инверторы и инверторы-зарядные устройства (двунаправленные преобразователи), которые могут быть параллельно соединены в однофазной или трехфазной конфигурации.

Параллельно подключаемые модули инвертора/зарядного устройства - Multi 12/2500/120 и Multi 24/3000/70, которые имеют непрерывную выходную мощность 2 кВт на входе 12 В и 2,5 кВт на входе 24 В соответственно.

На каждую фазу можно параллельно подключить до 6 модулей. Если взять в качестве примера модель на 24 В, то выходная мощность может быть достигнута следующим образом:

Однофазное	Непрерывная производительность	P30	Максимальная выходная мощность
6 x Multi i 24/3000	6 x 2.5 = 15 kW	18kW	30 kW
Трехфазный	Непрерывная производительность	P30	Максимальная выходная мощность
18 x Multi 24/3000	18 x 2.5 = 45 kW	54 kW	90 kW

Там, где раньше установка генератора переменного тока была обязательным условием, теперь альтернативой являются параллельные инверторы.

8.3. Концепция переменного тока может быть улучшена с помощью PowerControl

8.3.1. Концепция переменного тока

В концепции переменного тока один или несколько генераторов, работающих на бензине или дизельном топливе, являются основой системы. Всякий раз, когда требуется переменный ток, запускается генератор. Генератор должен быть рассчитан на удовлетворение наибольшего ожидаемого спроса на электроэнергию.

Как правило, генератор вместе с зарядным устройством также используется для зарядки одной или нескольких небольших сервисных батарей для навигационного оборудования, освещения, насосов постоянного тока и т.д.

Аналогичным образом, береговое питание должно быть рассчитано на удовлетворение наибольшей ожидаемой потребности в электроэнергии. Береговое питание также должно соответствовать частоте и напряжению бортового оборудования переменного тока. Если это не так, необходим преобразователь частоты (также называемый береговым преобразователем).

Концепция переменного тока является предпочтительным решением, когда требуется большая мощность.

8.3.2. Концепция переменного тока со свободным периодом генератора

По мере снижения спроса на электроэнергию недостатки концепции переменного тока становятся все более заметными. Генератор будет работать без нагрузки в течение длительных периодов времени, или его придется часто запускать и останавливать, часто работая почти без нагрузки. Это, конечно, означает шум, загрязнение окружающей среды, расход топлива, износ и техническое обслуживание, в то время как в среднем потребление электроэнергии невелико.

Одним из способов улучшения этой ситуации является период отсутствия генератора, для которого помимо генератора требуется большая батарея, зарядные устройства и инверторы. Когда генератор выключен, все потребители снабжаются энергией, накопленной в батарее. Периодически, как правило, когда в любом случае требуется много энергии переменного тока, генератор запускается и затем также используется для подзарядки аккумулятора.

Согласовано		

Взам. инв №	
Подп. и дата	

Инв № подл.	Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Автор	Reinout Vader	30.12.99	8. Микрогенерация электроэнергии: мышление по-другому 8.2. Новые технологии делают концепцию постоянного тока более привлекательной 8.3. Концепция переменного тока может быть улучшена с помощью PowerControl	Стадия	Лист	Листов
Перевод	А.Топол	30.12.99		Р	41	70
		30.12.99		т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		
		30.12.99				
		30.12.99				

По сравнению с концепцией "только генератор» несмотря на то, что она намного лучше, есть еще много возможностей для дальнейшего совершенствования. Этому посвящены следующие разделы.

8.3.3. PowerControl

Концепция переменного тока с периодом отсутствия генератора работает наилучшим образом, когда генератор работает как можно меньше времени. Это означает, что для быстрой зарядки аккумулятора потребуется значительное количество энергии. В этом случае генератор должен быть рассчитан на максимальную ожидаемую нагрузку переменного тока плюс мощность, необходимую для зарядных устройств.

Более эффективным решением является **PowerControl**.

С помощью PowerControl выходной ток генератора постоянно контролируется, и мощность, затрачиваемая на подзарядку батареи, автоматически регулируется таким образом, чтобы общая нагрузка генератора оставалась в пределах заданного предела.

Это функция, которая поставляется с пультом дистанционного управления Phoenix Combi и его приемника Phoenix Multi.

Примером может служить:

Катер оснащен генератором и системой Phoenix Multi 24/3000/70.

Генератор используется для работы небольшой стиральной машины, которая потребляет 2 кВт при включенном водонагревателе и 150 Вт, когда работает только двигатель, приводящий в движение тумблер. Средняя нагрузка: 500 W.

Аккумулятор, который необходимо зарядить, имеет напряжение 24 В 400 Ач. Максимальный ток заряда от Multi составляет 70 А. Максимальная ожидаемая нагрузка переменного тока: 2 кВт для стиральной машины плюс 2,1 кВт для зарядки аккумулятора (70 А x 30 В = 2,1 кВт).

Необходимая мощность генератора: $2 + 2,1 = 4,1$ кВт минимум, если вы хотите одновременно запускать стиральную машину и заряжать аккумулятор. На практике, чтобы избежать работы генератора при полной нагрузке (и риска перегрузки), следует выбрать модель мощностью 5 кВт.

В качестве альтернативы, зарядка аккумулятора может быть остановлена при работе стиральной машины. Это увеличит время работы генератора и приведет к тому, что средняя нагрузка в период стирки составит всего 500 Вт. Необходимый генератор: минимум 2 кВт, на практике 3 кВт.

С помощью функции **PowerControl** на Multi можно по-прежнему использовать генератор мощностью 3 кВт и одновременно запускать стиральную машину и заряжать аккумулятор. С помощью дистанционной панели Multi можно установить предел тока генератора, например, на 10,5 А, что ограничит выходную мощность генератора до безопасных $10,5 \text{ А} \times 230 \text{ В} = 2,4 \text{ кВт}$, что составляет 80% от номинальной мощности 3 кВт. После запуска генератора Multi автоматически переключится из режима инвертора в режим зарядного устройства и начнет заряжать батарею током 70 А.

При включении стиральной машины Multi будет продолжать заряжаться при 70 А, когда работает только двигатель стиральной машины (80 % времени). Тогда нагрузка генератора составит $150 \text{ Вт} + 2,1 \text{ кВт} = 2,25 \text{ кВт}$, что меньше предустановленного предела в 2,4 кВт.

Как только включается нагреватель (20 % времени), стиральная машина потребляет 2 кВт, так что для зарядки аккумулятора остается только $2,4 \text{ кВт} - 2 \text{ кВт} = 400 \text{ Вт}$. При использовании PowerControl Multi автоматически снижает ток заряда до примерно $400 \text{ Вт} / 30 \text{ В} = 13 \text{ А}$.

Пример показывает, что с PowerControl генератор используется гораздо эффективнее. В течение 80 % времени, когда стиральная машина была включена, аккумулятор также заряжался при максимально доступном токе заряда.

Без PowerControl зарядное устройство было бы отключено на весь период стирки.

Аналогично, с PowerControl зарядка будет снижена, но не прекращена, при использовании микроволновой печи, чайника с горячей водой, водонагревателя, работающего от двигателя переменного тока, и т.д.

Согласовано			
Взам. инв №			
Подп. и дата			
Инв № подл.			

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)								
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата			
Автор		Reinout Vader			30.12.99			
Перевод		А.Топол			30.12.99			
					30.12.99			
					30.12.99			
					30.12.99			
8. Микрогенерация электроэнергии: мышление по-другому 8.3. Концепция переменного тока может быть улучшена с помощью PowerControl						Стадия	Лист	Листов
						Р	42	70
						т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

Альтернативой является использование концепции постоянного тока для берегового питания. Другими словами: использовать зарядное устройство для преобразования берегового питания в постоянное и преобразовывать постоянное обратно в переменное с помощью инверторов или Multi, которые все равно есть на борту. Домашняя батарея будет поставлять дополнительную энергию, когда на борту требуется больше энергии, и будет подзаряжаться от зарядного устройства в периоды низкого спроса на энергию.

Более подробную информацию см. в разд. 8.5.3.

8.5. Мыслить по-другому

8.5.1. Суточная потребность в энергии

Как для концепции постоянного тока, так и для концепции переменного тока с батарейным питанием первый вопрос, который нужно задать, это не **"какова максимальная ожидаемая мощность переменного тока?"**, а затем подобрать инверторы и генератор под эту мощность.

Вместо этого первый вопрос должен звучать так: **"Какова суточная потребность в электроэнергии?"**.

Именно суточная потребность в энергии определяет номинал источника электроэнергии.

Суточное время работы, необходимое для производства требуемой энергии, рассчитывается по следующей формуле:

время работы (часы) = суточная потребность в энергии (кВтч) / мощность источника(ов) электроэнергии (кВт)

В качестве альтернативы, если требуется ограничить время работы генератора определенным количеством часов, формула выглядит следующим образом

мощность источника(ов) электроэнергии = суточная потребность в энергии / время работы

Вот несколько примеров:

8.5.1.1 Суточная потребность в энергии: 4 кВтч (см. главу 9)

Источник: генератор переменного тока на главном двигателе, подающий 100 А в систему 12 В, т.е. 100 А x 12 В = 1,2 кВт

Необходимое ежедневное время работы: 4 кВтч / 1,2 кВт = 3,3 часа

(На практике время работы будет несколько больше из-за потерь в системе и, возможно, уменьшения токопоглощающей способности батареи в конце цикла заряда, но для первого приближения расчет подходит).

8.5.1.2 Суточная потребность в энергии: 14 кВтч (см. главу 10)

Источник: дизельный генератор, но он не должен работать более 4 часов в день Минимальная мощность генератора: 14 кВтч / 4 ч = 3,5 кВт

8.5.2. Емкость аккумулятора

Когда производство электроэнергии ограничено несколькими часами в день (генератор на основном двигателе или генератор с периодом отсутствия генератора), размер батареи определяется количеством энергии, которую батарея должна поставлять в периоды, когда основной двигатель или генератор выключены: период отсутствия генератора.

На практике, из-за коротких периодов перезарядки, аккумулятор заряжается не более чем на 80 % (20 % DoD). Батарея также не должна разряжаться более чем до 70 % (70 % DoD). Это означает, что полезная емкость батареи составляет не более 70 % - 20 % = 50 %. Следует предусмотреть запас прочности: если батарея разряжена до 70 %, то не остается никакого запаса на случай непредвиденных обстоятельств.

Общего правила для величины запаса не существует, но давайте возьмем 10 %. Таким образом, у нас остается 40 % полезной емкости, а DoD составляет 60 %. Затем необходимо ввести коэффициент 0,8, чтобы учесть потерю емкости на 20 % при старении батареи: 40 % x 0.8 = 32 %.

Согласовано			
Взам. инв №			
Подп. и дата			
Инв № подл.			

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Автор		Reinout Vader			30.12.99
Перевод		А.Топол			30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
8. Микрогенерация электроэнергии: мышление по-другому					
8.4. Новое: концепция гибридного или аккумуляторного кондиционера, или "достижение невозможного" с помощью PowerAssist					
8.5. Мыслить по-другому					
Стадия	Лист	Листов			
Р	44	70			
т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com					

И, наконец, если мы разряжаем батарею быстрее или медленнее номинального времени (номинальное время разряда обычно составляет 20 часов, см. раздел 2.5.3), необходимо применить другой поправочный коэффициент. В большинстве случаев время между подзарядками домашней батареи составляет от 8 до 12 ч, и 32 % разряда за 8 ч эквивалентно $32 \times 24 / 8 = 96$ % разряда за 20 ч. Очень близко к номинальному времени разряда, поэтому для батарей, рассчитанных на 20 ч, не требуется дополнительной коррекции, а для тяговых батарей с трубчатыми пластинами, для элементов Exide / Sonnenschein A600 (см. раздел 2.5.3.) - положительная коррекция.

(Здесь я представляю себе вздох облегчения: полезная мощность упала бы почти до нуля, если бы пришлось применять еще больше поправок).

Выводы:

Расчет емкости аккумулятора довольно сложен. Цель этой книги - рассмотреть общую картину, поэтому нам необходимо эмпирическое правило.

Практика:

Практика показывает, что в случае 2 подзарядок в день емкость батареи должна как минимум вдвое превышать суточное потребление Ач.

Если, например, ежедневное потребление составляет 128 Ач (см. раздел 9.3), емкость батареи должна составлять 256 Ач. Предполагая постоянную скорость разряда в течение 24 часов, наша батарея емкостью 256 Ач будет подвергнута разряду $128 / 2 = 64$ Ач в течение 12 часов.

Теория:

Теоретическое правило гласит, что полезная емкость батареи составляет 32 % от номинальной емкости. Если предположить, что максимальный период между подзарядками составляет 12 часов, а потребление за это время - $128 / 2 = 64$ Ач, то 32 % полезной емкости в данном примере означает, что нам нужна батарея емкостью $64 \text{ Ач} / 0,32 = 200$ Ач.

Положительная разница между практикой и теорией в $265 - 200 = 65$ Ач может рассматриваться как компенсация того факта, что скорость разряда не является постоянной, а зависит от того, какие потребители включены и когда. Периоды перезарядки также могут быть разными по продолжительности.

Другими словами: теория приводит к тому же результату, что и эмпирическое правило.

Теперь у нас есть два простых метода оценки емкости, необходимой для домашней батареи:

- 1) **Емкость домашней батареи должна как минимум в три раза превышать ожидаемый разряд в период отсутствия генератора. ($100 \% / 32 \% = 3.1$)**
- 2) **Если домашняя батарея заряжается два раза в день, ее емкость должна быть как минимум в два раза больше суточного потребления Ач.**

Два примера тому:

Максимальное количество энергии, которое будет взято из аккумулятора в период отсутствия генератора: 4 кВтч Минимальная емкость аккумулятора (система 12 В): $4 \text{ кВтч} \times 3 / 12 \text{ В} = 1000$ Ач

Минимальная емкость батареи (система 24 В): $4 \text{ кВтч} \times 3 / 24 \text{ В} = 500$ Ач

Ежедневное количество энергии, которое будет взято из батареи: 4 кВтч , т.е. $4000 / 12 = 333$ Ач для системы 12 В Зарядки в день: 2 Минимальный размер батареи (система 12 В): $333 \times 2 = 666$ Ач

8.5.3. Береговое питание

Если генератор на борту рассчитан на максимальную ожидаемую мощность, то, естественно, подключение берегового питания также должно быть рассчитано на максимальную ожидаемую мощность, потребляемую на борту.

Предположим, что микроволновая печь мощностью 1500 Вт является самым энергоемким прибором. При мощности 1500 Вт микроволновая печь будет потреблять $1500 / 230 = 6,5$ А от береговой розетки 230 В. Это уже больше, чем обычный номинал береговой розетки 4 А или 6 А. Если в это же время включается электрический водонагреватель (4 - 5 А), а ваша кофеварка (4 А) только начинает распространять чудесный запах свежеприготовленного кофе, то потребляемая мощность увеличивается до $6,5 + 4 + 5 = 15,5$ А. Другими словами: вы не далеко от отключения даже 16 А береговой розетки!

Согласовано		

Взам. инв №	
Подп. и дата	

Инв № подл.	Автор	Reinout Vader	30.12.99
	Перевод	А.Топол	30.12.99
			30.12.99
			30.12.99

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
8. Микрогенерация электроэнергии: мышление по-другому					
8.5. Мыслить по-другому					
			Стадия	Лист	Листов
			Р	45	70
т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com					

Теперь мы определим емкость батареи, необходимую для питания всех потребителей в течение одного 24-часового периода. В следующей таблице потребители разделены на непрерывных (С), длительных (L) и кратковременных (S).

Потребители	Потребление		Время / 24- часов	% на	Потребление / 24- часовой период	
	Watt	Amp	Часов	%	kWh	Ah (12 V)
С Навигационные приборы		0,2	24		0,06	5
С GPS		0,2	24		0,06	5
С Режим ожидания УКВ		0,1	24		0,024	2
S УКВ передача		5	0,2		0,012	1
С Холодильник, теплообменник с воздушным охлаждением	50	4,2	24	50	0,6	50
L Трехцветный навигационный или якорный огонь	25	2,1	8		0,204	17
L Автопилот		5	20	30	0,36	30
L Радио		1	3		0,036	3
S Освещение салона	200		0,6		0,12	10
S Прочее					0,06	5
Общее потребление за 24 часа					1,536	128
Среднее потребление за 24- часовой период	64	5,3				
Необходимая минимальная емкость аккумулятора при условии 2 подзарядок в день (см. раздел 8.4.2)						256

Заметно, что холодильник является самым большим потребителем. Текущее потребление холодильника можно сократить вдвое, используя более дорогой теплообменник с водяным охлаждением вместо теплообменника с воздушным охлаждением и улучшив изоляцию. Тогда общее потребление за 24-часовой период снизится до 103 Ач. Использование газового холодильника (который можно использовать только на моторных лодках в спокойных водах) даже уменьшит потребление тока до 78 Ач.

9.4. На якоре или на стоянке без берегового источника питания 230 В

И снова наша отправная точка - один 24-часовой период, но на этот раз для моторных и парусных судов действует следующее.

Потребители	Потребление		Время / 24- часов	% на	Потребление / 24- часовой период	
	Watt	Amp	Часов	%	kWh	Ah (12 V)
С Холодильник, теплообменник с воздушным охлаждением	50	4,2	24	50	0,6	50
L Подмачтовое освещение	25		8		0,204	17
L Радио		1	3		0,036	3
S Освещение салона, десять точек освещения мощностью 20 Вт	200		0,6		0,12	10
S Прочее					0,06	5
Общее потребление за 24-часовой период					1,02	85
Среднее потребление за 24- часовой период	42	3,5				

9.5. Дополнительный

Даже относительно небольшие суда, которые мы рассматриваем здесь, часто имеют (или экипаж может пожелать иметь!) некоторые дополнительные средства безопасности и комфорта на борту. Ниже предлагается несколько дополнительных опций. Для некоторых необходим инвертор. Поскольку сегодня КПД инвертора превышает 90%, потери в инверторе при расчете энергопотребления игнорируются.

Согласовано			
Взам. инв №			
Подп. и дата			
Инв № подл.			

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата				
	Автор	Reinout Vader			30.12.99	9. Требуется до 4 кВт/ч в день (в среднем 170 Вт)	Стадия	Лист	Листов
	Перевод	А.Топол			30.12.99		Р	48	70
					30.12.99	9.4. На якоре или на стоянке без берегового источника питания 230 В	т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		
					30.12.99				
					30.12.99				
					30.12.99	9.5. Дополнительный			

9.5.1. Электронная навигационная система Сегодня это довольно распространено даже на небольших яхтах.

9.5.2. SSB Очень полезен в океанских путешествиях.

9.5.3. Радар Повышает безопасность при плавании ночью или в плохую погоду.

9.5.4. Микроволновая печь

Микроволновая печь потребляет большое количество энергии (до 1,5 кВт) в течение короткого времени. При использовании микроволновой печи в течение 12 минут в день потребление энергии в Ач из батареи 12 В составляет $1500 \times 0,2 / 12 = 25$ Ач.

9.5.5. Отопление помещений

Всегда следует выбирать дизельную горелку, чтобы потребление тока ограничивалось дизельным насосом и вентиляторами. В этом случае потребление тока не превышает примерно 5 А.

9.5.6. Кондиционирование воздуха

Особенно при работе от аккумулятора важно внимательно изучить ожидаемое потребление энергии.

9.5.7. Производитель водоснабжения

Сейчас доступны некоторые очень эффективные водонагреватели, работающие от постоянного тока 12 В. Потребляемый ток составляет всего 10-20 А для 30-60 литров пресной воды в час. Это сделало водонагреватель (а значит, и пресноводный душ на палубе!) реальной дополнительной опцией для небольших лодок, используемых для круизов по голубой воде.

Следующая таблица суммирует дополнительную роскошь, которую можно найти на небольших яхтах. Потребляемая мощность рассчитана на экипаж из 2-3 человек.

Потребители	Потребление		Время / 24- часов	Потребление / 24- часовой период	
	Watt	Amp		кWh	Ah (12 V)
C Система электронной навигации		2	24		48
C SSB		12	0,1		7
L Радар		3	8		24
S Микроволновая печь	1500		0,2	0,3	25
L Нагреватель		5	$6 \times 0,5 = 3$		15
L Кондиционер, мощность 2 кВт	700		$6 \times 0,5 = 3$	1	90
L Производитель воды, 150 литров в сутки		10	5		50
Потребление за 24-часовой период				2	169
Среднее потребление за 24-часовой период	85	7			

С учетом всего дополнительного оборудования на борту (кроме кондиционера), общая потребность в энергии в день составляет:

- при плавании: $1,5 + 2,0 = 3,5$ кВтч, или $128 + 169 = 297$ Ач
- на якорной стоянке : $1,0 + 2,0 = 3,0$ кВтч, или $85 + 169 = 254$ Ач

Это означает следующие минимальную емкость батареи и средний ток разряда:

- при плавании: $297 \times 2 =$ прибл. 600 Ач и 12.3 Ток разряда
- на якорной стоянке : $254 \times 2 =$ приблизительно 500 Ач и ток разряда 10,5 А

Теперь мы рассмотрим, как произвести необходимую энергию для "базовой" яхты (требуется от 1,0 до 1,5 кВт/ч) и для "полнофункциональной" яхты (требуется от 3,0 до 3,5 кВт/ч).

Согласовано

Взам. инв №

Подп. и дата

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Автор	Reinout Vader				30.12.99
Перевод	А.Топол				30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
9. Требуется до 4 кВт/ч в день (в среднем 170 Вт) 9.5. Дополнительный					
			Стадия	Лист	Листов
			Р	49	70
т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com					

9.6. Как зарядить аккумулятор

9.6.1. Генерируйте ток с помощью главного двигателя.

На главном двигателе обычно установлен генератор переменного тока 14 В / 60 А. Это означает, что генератор выдает 60 А при 6000 об/мин. Предположим, что соотношение диаметров шкива двигателя и шкива генератора составляет 2:1, тогда для достижения зарядного тока 60 А основной двигатель должен работать на 3000 об/мин. На практике никто так не делает, потому что это создает слишком много шума. Для выработки тока двигатель обычно работает в диапазоне 1500-2000 об/мин. Тогда зарядный ток будет составлять от 40 % до 80 % от номинального значения, т.е. от 30 до 50 А.

Это означает, что для зарядки домашней батареи необходимо 2-3 машино-часа в день для "базовой" яхты и 7-8 машино-часов в день для полнофункциональной яхты.

Не самое привлекательное предложение, если только:

- вы собираетесь ежедневно преодолевать на транспорте значительное расстояние
- судно в основном используется для однодневных поездок

Если предполагается жить на борту несколько дней или недель без берегового питания, запуск двигателя на несколько часов в день только для подзарядки аккумулятора (т.е. почти без нагрузки) вреден для двигателя и очень неприятен для экипажа и возможных соседей.

Как это лучше сделать?

9.6.2. Увеличьте емкость аккумулятора

чтобы вы могли ходить под парусом или стоять на якоре в течение нескольких дней.

Это простое и недорогое решение, которое, однако, имеет смысл только в том случае, если вы всегда рассчитываете на длительное путешествие с электропитанием в течение нескольких дней или будете иметь в наличии береговое питание.

9.6.3. Второй или больший генератор переменного тока

О мерах предосторожности читайте в главах 4 и 5.

Увеличение тока заряда до 80 А приведет к приемлемым 1-2 ежедневным моточасам для базовой яхты. Но следует помнить, что существует предел тока заряда, который аккумулятор может выдержать без повреждений, см. раздел 2.5.6.

Автомобильные батареи, Optima, а также батареи Sonnenschein Dryfit A200 или Sportline VLRA могут заряжаться со скоростью C / 3 до 80 % емкости, с предельным напряжением поглощения 2,4 В / элемент (в частности, батарея VLRA должна иметь температурную компенсацию из-за выделения тепла при такой высокой скорости заряда!) Зарядка при 80 А и C / 3 требует емкости батареи 80 x 3 = 240 Ач, что меньше 258 Ач, необходимых для базовой парусной яхты. Как обсуждалось ранее, большая емкость увеличит срок службы. Некоторые другие батареи следует заряжать при C / 5 или меньше, так что требуется не менее 80 x 5 = 400 Ач.

Для ограничения времени работы двигателя до 2 часов (2 сеанса по 1 часу) на полнофункциональной яхте потребуется мощность генератора 150 А и батарея 297 Ач x 2 = 594 Ач (все еще только 3 батареи по 230 Ач каждая), или, если максимальная скорость заряда составляет C / 5, батарея 150 А x 5 = 750 Ач.

Обратите внимание, что генераторы переменного тока имеют низкий КПД (около 50 %), то есть мощность, отбираемая от двигателя, составит 150 x 15 / 0,5 = 4,5 кВт.

Здесь два замечания по поводу эффективности:

- 1) Для того чтобы учесть потери в батарее (энергоэффективность при частичном заряде: приблизительно 89 %, см. разд. 3.3.), в кабелях, в диодных изоляторах или зарядных устройствах и, для некоторых потребителей, в инверторе, во всех расчетах, касающихся зарядки аккумулятора, принимается напряжение подзарядки 15 В, соответственно 30 В. Другими словами: принимается КПД $\eta = 12 / 15 = 80 \%$.
 - разрядка батареи емкостью 150 Ач при напряжении 12 В означает расход энергии 150 Ач x 12 В = 1,8 кВтч
 - зарядка 150 Ач при "15 В" означает поступление энергии 150 Ач x 15 В = 2,25 кВтч
 - разница, 2,25 - 1,8 = 0,45 кВтч, теряется в ходе работы.

Согласовано			
Взам. инв. №			
Подп. и дата			
Инв. № подл.			

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата				
						9. Требуется до 4 кВт/ч в день (в среднем 170 Вт) 9.6. Как зарядить аккумулятор	Стадия	Лист	Листов
							Р	50	70
							т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

2) При потреблении энергии в 4 кВт/ч, о котором идет речь в этой главе, и при почти полном 100 % использовании аккумулятора, требуется $4 \text{ кВт/ч} / 0,8 = 5 \text{ кВт/ч}$ для питания от генератора. При 50 % КПД генератора + ремня, основной двигатель должен будет обеспечить $5 \text{ кВт} / 0,5 = 10 \text{ кВтч}$. И тогда двигатель работает с нагрузкой всего от 10 до 20 %, что означает эффективность использования топлива около 10 %...

Эффективность полной цепи: $\eta = 0,8 \times 0,5 \times 0,1 = 0,04 (= 4 \%)$.

9.6.4. Солнечные батареи

Например, летом в Нидерландах солнечные батареи, установленные горизонтально, дают примерно 300 Вт·ч в день и на м² (1 м² = 2 панели по 50 Вт). Это составляет 25 Ач в день и на м² в батарее 12 В. В районе Средиземноморья эта цифра возрастает примерно до 35 Ач, а на Карибах - до 50 Ач.

Поэтому солнечные батареи могут внести значительный вклад, особенно на многокорпусных судах и моторных судах, которые часто имеют много свободного пространства на палубе или крыше.

9.6.5. Ветрогенератор

Ветрогенератор с диаметром ротора 1 метр выдает примерно 25 Вт (2 А в батарее 12 В) при скорости ветра 10 узлов. Можно ожидать вклад от 40 до 80 Ач за 24-часовой период.

При низком потреблении тока на борту солнечные батареи и ветрогенератор могут внести существенный вклад и значительно сократить время работы двигателя, необходимое для выработки электроэнергии.

Даже на несколько больших яхтах солнечные батареи и/или ветрогенератор очень хорошо подходят для зарядки батарей и поддержания их заряда на 100% в периоды, когда яхта не используется. Однако для предотвращения перезарядки очень важны хорошие регуляторы заряда.

9.6.6. Водяной генератор (шахтный или буксируемый)

Под парусом дополнительный ток можно генерировать с помощью генератора на гребном валу (недостаток: значительное сопротивление, шум и износ) или с помощью небольшого автономного водяного генератора, установленного на транце или буксируемого. Последний будет вырабатывать около 12 Вт, или 1 А на узел скорости движения по воде, т.е. от 40 до 100 Ач в 12 В батарее за 24 часа, что вполне покрывает увеличение потребления тока под парусом по сравнению с стоянием на якоре.

Однако дополнительное сопротивление около 30 кг снизит скорость примерно на 0,5 узла.

9.6.7. Береговое питание

Лучшим способом подключения к береговому электропитанию является зарядное устройство, другими словами, использование концепции постоянного тока (см. разделы 8.2.1 и 8.5.3). Как будет показано ниже, эмпирическим правилом здесь является то, что зарядное устройство должно быть способно обеспечить, по крайней мере, двукратную дневную потребность в энергии, и 3-4-кратную дневную потребность в энергии, если разряженная домашняя батарея должна быть заряжена в течение дня.

Например, для полнофункциональной яхты ежедневная потребность в энергии при швартовке (что означает отсутствие необходимости в электроэнергии для мачтового фонаря, навигации, SSB, радара и водонагревателя) составляет 132 Ач или 1,6 кВтч.

- При удвоенной суточной потребности в энергии зарядное устройство должно обеспечить $1,6 \text{ кВтч} \times 2 / 24 \text{ ч} = 133 \text{ Вт}$, что при напряжении 12 В составляет $133 / 12 = 11 \text{ А}$.
- Среднее потребление постоянного тока составляет $11 / 2 = 5,5 \text{ А}$, что оставляет нам 5,5 А для подзарядки батареи. Минимальная емкость батареи составляет 500 Ач, поэтому для подзарядки с 50 % DoD до 80-90 % DoD (за которой последует значительный период поглощения) потребуется примерно $(500 / 2) / 5,5 = 46 \text{ ч}$.
- При 4-кратной суточной потребности в энергии зарядное устройство должно подавать 22 А, что оставляет 16,5 А для подзарядки батареи. Подзарядка до 80-90 % займет 15 ч.
- На практике можно установить либо зарядное устройство на 25 А, либо на 50 А. Зарядное устройство на 50 А будет потреблять максимальный ток $50 \text{ А} \times 15 \text{ В} / 230 \text{ В} = 3,3 \text{ А}$ от береговой розетки. Поэтому подойдет даже розетка на 4 А.

Согласовано		
Взам. инв №		
Подп. и дата		
Инв № подл.		

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)								
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата			
Автор		Reinout Vader			30.12.99			
Перевод		А.Топол			30.12.99			
					30.12.99			
					30.12.99			
					30.12.99			
9. Требуется до 4 кВт/ч в день (в среднем 170 Вт) 9.6. Как зарядить аккумулятор						Стадия	Лист	Листов
						P	51	70
						т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

10. Требуется до 14 кВт/ч в день (в среднем 600 Вт)

10.1. Введение

В главе 9 мы увидели, что при потреблении до 4 кВт/ч электроэнергии в день вполне достаточно относительно простой системы постоянного тока.

Помимо основных потребителей, для которых требуется около 1,5 кВт/ч, ежедневно доступно 2,5 кВт/ч для работы дополнительного оборудования, повышающего безопасность и/или комфорт на борту.

Необходимая емкость батареи варьируется от 250 Ач / 12 В для "базовой" яхты до 600 Ач / 12 В для "полнофункциональной" яхты.

Даже при расходе свыше 4 кВт/ч в день система с мощными генераторами переменного тока на главном двигателе вполне осуществима (и главный двигатель будет более надежным, чем небольшая генераторная установка с 3000 об/мин). Однако по причинам шума, резервирования и эффективности, безусловно, стоит изучить альтернативные варианты.

Доступные альтернативы таковы:

- Дизельная генераторная установка переменного тока для прямого питания потребителей переменного тока: концепция переменного тока.
- Генераторная установка переменного тока с батарейным питанием (меньшего размера): концепция переменного тока с батарейным питанием.
- Генераторная установка постоянного тока: расширение концепции постоянного тока из предыдущей главы на более высокие номинальные мощности

Ежедневное потребление энергии в 14 кВт/ч является довольно значительным и вполне может быть средним потреблением в вашем индивидуальном доме. Проверьте свой счет за электричество!

Что касается лодок, мы рассматриваем моторные лодки и парусные яхты-катамараны длиной до 15 метров (49 футов) или однокорпусные парусные лодки длиной до 18 метров (59 футов).

Приведенные ниже расчеты основаны на домашней батарее 24 В. Для пересчета на 12 В просто удвойте ток и требуемый Ач.

Начнем с перечня стандартного электрооборудования:

10.2. Оборудование: минимальное

10.2.1. Навигационное оборудование. Навигационный компьютер является почти стандартным оборудованием на больших яхтах. Включая GPS, УКВ, SSB, радар, Inmarsat, среднее потребление тока возрастает до 2 - 5 А при напряжении 24 В.

10.2.2. Навигационный и якорный свет: 25 Вт

10.2.3. Автопилот. Потребляемая мощность зависит от модели, моря, тримминга и т.д. Среднее: от 5 А до 10 А во включенном состоянии при рабочем цикле 30 %.

10.2.4. Холодильник и морозильник. Мы предполагаем установку с двумя компрессорами мощностью 50 Вт и теплообменниками с водяным охлаждением. Кроме того, мы предполагаем, что для сохранения низкого потребления особое внимание было уделено изоляции. Это может ограничить рабочий цикл компрессора холодильника до 25 %, а компрессора морозильника - до 50 %.

10.2.5. Освещение салона. Больше осветительных приборов и менее экономное использование, чем на небольших судах. В среднем: 20 Ач за 24-часовой период.

10.2.6. Радио. Большая мощность и большее количество громкоговорителей, чем на небольших лодках: приблизительно 2 А

10.2.7. Другие потребители. Мы предполагаем большее использование насосов (например, для душа) и работаем на 10 Ач при напряжении 24 В.

Согласовано		

Взам. инв №	
-------------	--

Подп. и дата	
--------------	--

Инв № подл.	
-------------	--

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)			
						10. Требуется до 14 кВт/ч в день (в среднем 600 Вт) 10.1. Введение 10.2. Оборудование: минимальное	Стадия	Лист	Листов
							Р	53	70
							т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

10.3. Парусный спорт

Как это было сделано в главе 9, мы будем знать расчет потребления энергии за 24-часовой период во время плавания.

Потребители	Потребление		Время / 24 часа	%	Потребление / 24-часовой период	
	Вт	А			Часов	кВт
С Навигационное оборудование		2	24		1,152	48
L Навигационный свет	25	1	8		0,192	8
L Автопилот		5	20	30	0,72	30
С Холодильник и морозильник, с водяным охлаждением	50 + 50		24	25 + 50	0,912	38
S Радио		2	3		0,144	6
S Освещение салона	400		1,2		0,48	20
S Прочее					0,24	10
Общее потребление за 24-часовой период					3,84	160
Среднее потребление за 24-часовой период	160	6,7				
Необходимая минимальная емкость аккумулятора при условии 2 подзарядок в день (см. раздел 8.4.2)						320

Что можно извлечь из этой таблицы:

- Благодаря инвестициям в эффективность и изоляцию, энергопотребление холодильника и морозильника будет соответствовать энергопотреблению других потребителей. Слишком часто неудачный замысел приводит к тому, что компрессоры работают почти на полную мощность, что увеличивает ежедневное потребление электроэнергии еще на 60 Ач!
- Во время плавания минимальное потребление энергии на парусном судне длиной от 12 до 18 м составляет около 4 кВт-ч в день. Это эквивалентно примерно 160 Ач от батареи 24 В или 320 Ач от батареи 12 В.
- Средний постоянный ток, отбираемый от батареи, составляет всего 6,7 А при напряжении 24 В, что не имеет никакого значения при движении.

10.4. На якоре или на стоянке без берегового источника питания 230 В

Следующая таблица действительна как для моторных, так и для парусных судов

Потребители	Потребление		Время / 24 часа	%	Потребление / 24-часовой период	
	Вт	А			Часов	кВт
L Якорное освещение	25		8		0,192	8
L Холодильник и морозильник, с водяным охлаждением	50 + 50		24	25 + 50	0,912	38
S Радио		2	3		0,144	6
S Освещение салона	400		1,2		0,48	20
S Прочее					0,24	10
Общее потребление за 24-часовой период					1,968	82
Среднее потребление за 24-часовой период	82	3,4				
Необходимая минимальная емкость аккумулятора при условии 2 подзарядок в день (см. раздел 8.4.2)						164

Согласовано

Взам. инв №

Подп. и дата

Инв № подл.

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
					30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
					30.12.99

10. Требуется до 14 кВт/ч в день (в среднем 600 Вт)
10.3. Парусный спорт
10.4. На якоре или на стоянке без берегового источника питания 230 В

Стадия	Лист	Листов
Р	54	70
т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

10.5. Дополнительный

Из дополнительных устройств, упомянутых в разделе 9.5 предыдущей главы, электронная навигационная система, SSB и радар были включены в список раздела 10.2.

В дополнение к другим дополнительным опциям, упомянутым в пункте 9.5, есть еще несколько, которые следует рассмотреть, теперь, когда мы рассматриваем более крупные суда.

10.5.1. Чайник для горячей воды. Очень удобно для кипячения воды. Теплоемкость 1 литра воды составляет 1,16 Вт·ч на °С, см. разд. 6.6. Таким образом, чтобы довести 1 л воды до кипения, потребуется около 100 Вт·ч, т.е. 4,2 А·ч от батареи 24 В.

10.5.2. Электрическая плита. Газ на борту опасен, а таскать с собой газовые баллоны - занятие не из приятных. При использовании 2 электрических конфорок мощностью 2 кВт каждая пиковая мощность составит 4 кВт (т.е. почти 200 А при 24 В), для 4 конфорок потребуется максимум 6-8 кВт. Приготовление еды на 4 человек требует примерно 1,2 кВт·ч, т.е. 50 Ач (см. раздел 6.6).

10.5.3. Небольшая стиральная машина. Об этом уже говорилось в разд. 6.5.

Потребление энергии для цикла стирки-сушки составляет около 2,7 кВт·ч.

Большая часть электроэнергии требуется для нагрева воды и цикла сушки. Горячее заполнение (= подача в стиральную машину горячей, а не холодной воды) и отсутствие цикла сушки снизит потребление электроэнергии примерно до 0,5 кВт·ч.

10.5.4. Маленькая посудомойная машина. Потребление примерно 1 кВт·ч. Горячее заполнение снизит потребление энергии до менее чем 0,5 кВт·ч.

Теперь подсчитаем общее потребление за 24 часа, если бы вся эта роскошь была взята на борт, предполагая экипаж из 4 человек и тропический климат, так что вместо обогревателя используется кондиционер.

В нашем примере кондиционер включен на 12 часов в день, и компрессор работает со средним рабочим циклом 50 %.

Аналогичным образом, вместо гораздо более энергоэффективного водонагревателя постоянного тока используется водонагреватель типа насоса высокого давления.

Мы также предполагаем, что стиральная и посудомоечная машины работают без горячего заполнения.

Потребители	Потребление		Время / 24 часа	Потребление / 24-часовой период	
	Вт	А		Часов	кВт
Микроволновая печь	1500		0,25	0,4	16
Электрочайник, 6 литров в день	2000			0,6	25
Электрическая плита, на 4 человека	6000			1,2	50
Отопительный прибор		3	6 x 0,5 = 3		-9
Кондиционер, мощность охлаждения 4 кВт	1400		12 x 0,5 = 6	8,4	350
Водонагреватель, 200 литров в день				1,4	60
Маленькая стиральная машина, раз в 2 дня	2000			0,5 x 2,7	56
Маленькая посудомоечная машина, ежедневно	2000			1	42
Другое					10
Потребление в течение 24-часового периода				25	609

Из таблицы видно, что кондиционер является особенно энергоемким потребителем, хотя мы предположили, что он работает только 12 часов в день. При потреблении 8,4 кВт·ч энергии в день, что при работе (с инвертором) от аккумулятора составит 350 Ач в день, кондиционер требует больше энергии, чем все остальное оборудование вместе взятое!

Для достижения периода отсутствия генератора в 20 часов потребуется батарея емкостью 1500 Ач. Хотя такие установки существуют, более распространенным решением является использование генератора при каждом включении кондиционера, что связано с шумом, обслуживанием и расходом топлива.

Согласовано		

Взам. инв №	

Подп. и дата	

Инв № подл.	Автор	Reinout Vader	30.12.99
	Перевод	А.Топол	30.12.99
			30.12.99
			30.12.99
			30.12.99

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

10. Требуется до 14 кВт/ч в день (в среднем 600 Вт)
10.5. Дополнительный

Стадия	Лист	Листов
Р	55	70
т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

Теперь, если мы хотим снизить энергопотребление, первым шагом, если кондиционер является обязательным условием, будет уменьшение его до минимума, а также замена водонагревателя на более эффективный (и гораздо менее шумный) гидравлический тип постоянного тока. Результат следующий:

Потребители	Потребление		Время /	Потребление /	
	Вт	А	24 часа	24-часовой период	
			Часы	кВт	Ач (24 В)
Микроволновая печь	1500		0,25	0,4	16
Электрочайник, 6 литров в день	2000			0,6	25
Электрическая плита, на 4 человека	6000			1,2	50
Отопительный прибор		3	6 x 0,5 = 3		-9
Кондиционер, мощность охлаждения 4 кВт	700	29	12, x 0,5 = 6	4,2	175
Водонагреватель, 200 литров в день		10	3,3	1,4	33
Маленькая стиральная машина, раз в 2 дня	2000			0,5 x 2,7	56
Маленькая посудомоечная машина, ежедневно	2000			1	42
Дополнительные насосы					10

Вместе с основным потреблением на парусном судне, потребление за 24-часовой период теперь составляет:

с кондиционером: мин. $160 + 407 = 567$ Ач и макс. $160 + 609 = 796$ Ач

при токе, в среднем: мин. $567 \text{ Ач} / 24 \text{ В} = 24 \text{ А}$ и макс. $796 \text{ Ач} / 24 \text{ В} = 33 \text{ А}$

общее потребление энергии за 24-часовой период: мин. $567 \times 24 = 13,6$ кВтч и макс. $796 \times 24 = 19,1$ кВтч

без кондиционера: $160 + 232 = 392$ Ач за 24-часовой период

при токе, в среднем: $392 / 24 = 16 \text{ А}$.

общее потребление энергии за 24-часовой период: $392 \times 24 = 9,4$ кВтч.

10.6. Производство электроэнергии

10.6.1. С генераторами переменного тока на главном двигателе

Это, безусловно, возможно, см. главу 9.

10.6.2. Альтернативные источники энергии

Как объясняется в главе 9, солнечные батареи могут стать отличным средством для подзарядки аккумулятора, когда судно остается на месте на неделю или больше.

Во время плавания солнечные батареи (1 м²), ветрогенератор (диаметром 1 метр) и водяной генератор (скажем, 60 Вт при скорости 5 узлов по воде) вместе дают почти 2,4 кВт/ч (= 100 Ач в батарее 24 В) за 24 часа. Другими словами: вклад альтернативных источников энергии может существенно сократить время работы двигателя, если на борту имеется не намного больше основного оборудования.

Но при дальнейшем увеличении суточной потребности в энергии необходимы другие способы выработки электроэнергии. Альтернативные варианты будут рассмотрены в следующих разделах.

10.6.3. С генератором переменного тока

Проверенный временем способ справиться с высокой потребностью в электроэнергии, например, стиральной машины или электроплиты, заключается в установке дизельного генератора переменного тока, который запускается при высокой потребности в электроэнергии. Например, генератор будет работать каждый вечер от 2 до 4 часов во время приготовления пищи и до окончания работы посудомоечной машины. В течение этих же 4 часов можно запустить стиральную и сушильную машины, водонагреватель, зарядные устройства и нагреть бойлер (электрический или с помощью охлаждающей воды от генератора).

При необходимости можно устроить второй генераторный период продолжительностью 1 или 2 часа во время утреннего завтрака.

Согласовано		
Взам. инв №		
Подп. и дата		
Инв № подл.		

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	10. Требуется до 14 кВт/ч в день (в среднем 600 Вт) 10.5. Дополнительный 10.6. Производство электроэнергии	Стадия	Лист	Листов
								Р	56
							т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

Как правило, период работы генератора максимально сокращается по следующим причинам:

- шумы и вибрация
- износ и техническое обслуживание
- предотвращение работы с недостаточной нагрузкой, так как это увеличивает износ и техническое обслуживание
- расход топлива

Кроме того, из соображений надежности и выносливости рекомендуется выбрать модель со скоростью вращения 1500 об/мин (50 Гц) или 1800 об/мин (60 Гц), оснащенную двигателем с 2 или более цилиндрами.

Определение емкости аккумулятора

Зная, как долго будет работать генератор, в нашем примере не менее 4 часов в день, мы можем рассчитать, сколько Ач должен выдать аккумулятор в период работы без генератора:

а) Если под парусом, то примерно $24 - 4 = 20$ часов основного энергопотребления, как указано в разд. 10.3, или $160 \times 20 / 24 = 133$ Ач.

б) Что касается другого оборудования, давайте предположим, что микроволновая печь, чайник и две трети времени работы кондиционера также будут входить в свободный от генератора период. Это означает, что в этот период будет использоваться $16 + 25 + 175 \times 2/3 = 158$ Ач

Итого: $133 + 158 = 291$ Ач. Для этого нам нужна батарея емкостью не менее 600 Ач (2 периода перезарядки в день, см. раздел 8.5.2.), а с небольшим запасом (использование кондиционера в течение ночи) - 800 Ач.

Инверторы и зарядные устройства

В режиме инвертора комбинированное инверторно-зарядное устройство Multi 24/3000/70 в целом обеспечивает достаточную мощность, поскольку генератор может быть запущен всякий раз, когда требуется более 2 кВт переменного тока. Но в качестве зарядного устройства Multi обеспечивает только $4 \times 70 = 280$ Ач в течение 4-часового периода работы генератора. За это время необходимо зарядить 291 Ач, плюс еще 4 часа основной нагрузки, т.е. $6,7 \times 4 = 27$ Ач. С небольшим запасом мы получаем зарядный ток 100 А. Таким образом, в дополнение к Multi необходимо установить зарядное устройство 24 В / 50 А.

Генератор

Для электроплиты потребуется 6 кВт, плюс $100 \text{ А} \times 30 \text{ В} = 3 \text{ кВт}$ для зарядки аккумулятора. Итого: 9 кВт. С некоторым запасом для работы дополнительного оборудования (например, кондиционера) правильным выбором будет генераторная установка мощностью 12 кВт.

Береговое подключение к электросети и частотный преобразователь

В нашем примере береговое питание может быть ограничено примерно 8 кВт (35 А при 230 В в Европе), так как в этом случае будет гораздо больше времени для зарядки аккумулятора.

Для подключения к береговому питанию по обе стороны Атлантики потребуется береговой преобразователь 50/60 Гц.

На полпути к расчету вы, вероятно, подумали, что это непрактично для 15-метрового парусника или 13-метровой моторной яхты. Система становится слишком большой, дорогостоящей, тяжелой и сложной. Это действительно так!

Следовательно, описанный выше тип установки можно встретить только на довольно больших судах, например, на 20-метровой парусной или 15-метровой моторной яхте.

Что можно сделать, чтобы это работало на небольших лодках?

1) Очевидным решением было бы отказаться от электрической плиты и использовать вместо нее газ.

Тогда подойдет генератор мощностью 6 кВт, работающий от 4 до 8 часов в день, в зависимости от количества кондиционеров.

(Часто генератор уменьшают еще больше, до модели с 1 цилиндром мощностью 3,5 кВт. Использование любого оборудования с электродвигателями переменного тока, например, кондиционера, водонагревателя или компрессора для дайвинга, становится проблематичным, поскольку генератор не сможет обеспечить необходимый пусковой ток).

Согласовано		

Взам. инв №	

Подп. и дата	

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
	Автор	Reinout Vader			30.12.99
	Перевод	А.Топол			30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
					30.12.99

Инв № подл.	10. Требуется до 14 кВт/ч в день (в среднем 600 Вт) 10.5. Дополнительный 10.6. Производство электроэнергии	Стадия	Лист	Листов
		Р	57	70
т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com				

- Обеспечение бесперебойного питания переменного тока на борту судна
- Значительное увеличение резервирования и, следовательно, безопасности

10.6.6. Генератор постоянного тока

Наряду с обычными генераторами переменного тока 50/60 Гц некоторые поставщики генераторов также предлагают генераторы постоянного тока. Их мощность может достигать 10 кВт, что означает ток зарядки аккумулятора до 300 А при напряжении 28 В. Генераторы постоянного тока меньше и легче, а их КПД выше, чем у генераторов переменного тока. Более того, скорость вращения двигателя может быть согласована с потребностью в электроэнергии, так что эффективность остается высокой даже при частичной нагрузке.

Идея заключается в том, чтобы использовать генератор постоянного тока для зарядки батарей, а для питания нагрузки переменного тока использовать инверторы. Размер генератора постоянного тока - это вопрос приемлемого количества часов работы в день. Если в день требуется 14 кВт/ч электроэнергии, то генератор постоянного тока мощностью 6 кВт, например, будет работать 2-3 часа в день.

10.6.7. Эффективность генератора, работающего на дизельном топливе

КПД дизельного генератора превышает 30 % при полной нагрузке. КПД падает по мере снижения % нагрузки. На яхте генераторная установка большую часть времени работает с низкой нагрузкой. Обычно средний КПД составляет от 10 до 20 %. КПД можно значительно повысить с помощью PowerControl или PowerAssist (см. разделы 8.3.3 и 8.4.).

10.6.8. Энергоснабжение на моторной яхте длиной от 9 до 15 метров или яхте, стоящей на якоре.

Даже при установке полного списка пожеланий из раздела 10.5, генераторы переменного тока на главных двигателях моторной яхты могут легко обеспечить среднее потребление 24 А при 24 В постоянного тока во время круиза. Другими словами, если ожидается, что почти каждый день яхта будет находиться в движении несколько часов или береговое питание будет доступно каждую ночь, то 14 кВт/ч ежедневного потребления энергии можно обеспечить без установки отдельного генератора.

На якоре потребление снизится примерно до 22 А, поскольку навигационное оборудование отключено. При длительном нахождении на якоре потребуется генератор, как описано в разд. 10.6.3 - 10.6.6.

10.7. Заключение

Выработка до 14 кВт/ч в день (в среднем 600 Вт)			
	Генератор постоянного тока мощностью 5 кВт	Генератор переменного тока мощностью 6 кВт с системой PowerAssist	12 кВт Генератор переменного тока
Генератор постоянного тока			
Часов за 24-часовой период	от 3 до 8		
Потребление в течение 24 часов	7 литров		
Масса	150 kg		
Генератор переменного тока			
Часов за 24-часовой период		от 3 до 8	4 to 8
Потребление		9 литров	11 литров
Шумы		67 dBA	69 dBA
Масса		250 kg	350 kg
Аккумуляторная батарея			
Емкость	24 V / 800 Ah	24 V / 800 Ah	24 V / 800 Ah
Масса	700 kg	700 kg	700 kg

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	10. Требуется до 14 кВт/ч в день (в среднем 600 Вт) 10.6. Производство электроэнергии 10.7. Заключение	Стадия	Лист	Листов
								P	59
Автор		Reinout Vader			30.12.99		т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		
Перевод		А.Топол			30.12.99				
					30.12.99				
					30.12.99				

Согласовано

Взам. инв №

Подп. и дата

Инв № подл.

11. Требуется до 48 кВт/ч в день (в среднем 2 кВт)

11.1. Введение

В главе 10 мы рассмотрели лодки, требующие до 14 кВт/ч электроэнергии в день. Мы пришли к выводу, что 14 кВт/ч в день достаточно для 1 семьи из 4-6 человек, независимо от того, живут ли они на лодке или в доме, имея в своем распоряжении все обычное электрическое бытовое оборудование, при условии, что кондиционирование воздуха либо не требуется, либо используется ограниченно.

Мы также увидели, что ежедневная потребность в электроэнергии от 4 до 14 кВт/ч характерна для моторных лодок или парусных яхт-катамаранов длиной от 9 до 15 метров или однокорпусных парусных яхт длиной от 12 до 18 метров.

На яхте длиной всего несколько метров потребление электроэнергии, как правило, непропорционально возрастает. На таких яхтах, зафрахтованных или нет, часто работает профессиональный экипаж, и вместо 4-6 человек на яхте находится 8-12. Круизы в основном проходят в субтропических или тропических водах, а кондиционер работает 12 или даже 24 часа в сутки. Проблема электропитания обычно решается следующим образом:

- Работа генератора переменного тока в течение 24 часов в сутки, или
- Установка большой батареи для достижения периода отсутствия генератора от 8 до 20 часов, и снова использовать генераторы переменного тока для питания электрического оборудования высокой мощности, такого как электроплита, духовые шкафы, стиральные машины и зарядные устройства.

Необходимость берегового питания также существенна (и сильно ограничивает возможности при поиске причала в порту), поскольку батарея, как правило, не используется в качестве пиковой нагрузки (функция PowerAssist). Для преобразования берегового питания 60 Гц в 50 Гц или наоборот потребуется дорогой и тяжелый преобразователь берегового питания.

Давайте сначала посмотрим на борт яхты со среднесуточной потребностью в энергии 48 кВт/ч, что составляет среднее потребление энергии 2 кВт.

11.2. Основные потребители

Наиболее важные потребители непрерывного и длительного действия:

- Холодильники и морозильники: В среднем 300 Вт
- Кондиционер: 12 кВт (41.000 BTU), работающий от одного или нескольких компрессоров общей мощностью 3 кВт
- Наиболее важные потребители высокой мощности малой продолжительности:
- Электрическая плита с 6 конфорками и духовками: пиковая мощность 12 кВт
- Водонагреватель высокого давления насосного типа производительностью 300 л/ч: 3 кВт (пуск 15 кВт)
- Стиральная машина(ы) и посудомоечная машина(ы): пиковая мощность от 6 до 12 кВт
- Возможно, компрессор для дайвинга

Другие потребители имеют меньшее значение для определения размеров системы. Мы просто предположим, что среднее потребление составляет 2 кВт.

11.3. Производство энергии

11.3.1. При генераторе переменного тока, работающем 24 часа в сутки

Если предположить, что во время приготовления пищи другие основные потребители кратковременного потребления отключены, и что на практике варочные панели и духовые шкафы никогда не будут работать на полную мощность одновременно, то генератор мощностью 15 кВт будет минимальным. На практике устанавливается генератор мощностью 20 кВт (3 фазы, для подключения к береговой сети). Часто этот генератор также оснащается гидравлическим отбором мощности для подруливающего устройства.

Если выбор пал на постоянную работу генератора, можно добавить второй, меньший генератор, скажем, на 5 кВт, для покрытия периодов, когда требуется гораздо меньшая мощность.

Согласовано		

Взам. инв №	
-------------	--

Подп. и дата	
--------------	--

Инв № подл.	
-------------	--

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата
Автор		Reinout Vader			30.12.99
Перевод		А.Топол			30.12.99
					30.12.99
					30.12.99
					30.12.99

11. Требуется до 48 кВт/ч в день (в среднем 2 кВт) 11.1. Введение 11.2. Основные потребители 11.3. Производство энергии	Стадия	Лист	Листов
	P	61	70

т.066 - 710 - 31 - 62
7103162@gmail.com
<https://ackcomfort.blogspot.com>

11.3.5. Генератор постоянного тока

Альтернативой генератору переменного тока мощностью 10 кВт может быть генератор постоянного тока мощностью 10 кВт. Обратитесь к разделу 10.6.7.

11.3.6. Использование небольшого вспомогательного генератора постоянного тока для сокращения генераторных часов, емкости батареи и расхода топлива

На большом судне небольшую генераторную установку можно сделать неслышной и полностью исключить вибрацию. Так почему бы не использовать небольшую генераторную установку в течение большей части дня, чтобы уменьшить емкость батареи?

- Емкость батареи может быть значительно уменьшена, например, до 1000 Ач, что является минимально необходимым для работы 5 Multi.
- Время работы основного генератора можно сократить еще больше, с 8 часов до примерно 6 часов, и даже до 1-2 часов, если не требуется использование кондиционера.

11.4. Заключение

Выработка 48 кВт/ч в день (в среднем 2 кВт)			
	Генератор переменного тока мощностью 10 кВт с PowerAssist, плюс дополнительная генераторная установка	Генератор переменного тока мощностью 20 кВт с PowerControl плюс дополнительная генераторная установка	Генератор переменного тока мощностью 20 кВт с генератором свободного время действия
Вспомогательная генераторная установка, 5 кВт			
Часов за 24-часовой период	12	12	n/a
Потребление в течение 24-часового периода	8 литров	8 литров	n/a
Масса	150 kg	150 kg	n/a
Главный генератор			
Часов в 24-часовом периоде	6	6	8
Потребление в течение 24-часового периода	15 литров	20 литров	30 литров
Масса	300 kg	450 kg	450 kg
Аккумуляторная батарея			
Емкость	24 V 1000 Ah	24 V 1000 Ah	24 V 2000 Ah
Масса	1000 kg	1000 kg	2000 kg
Береговое электропитание			
Номинальное значение (в Европе)	3,5 kW	3,5 kW	15 kW
Автотрансформатор 110 - 230 В	16 А 1-фаза	16 А 1-фаза	32 А 3-фаза
Береговой преобразователь мощностью 15 кВт	Не требуется, если используются зарядные устройства с универсальным входом 90-265 В переменного тока		n/a
	Нет необходимости		545 kg
Зарядные устройства / инверторы			
Зарядные устройства для аккумуляторов	100 А 12 kg	100 А 12 kg	200 А 24 kg
Инверторы	12,5 kW (5 x MultiPlus)	10 kW (4 x Multi)	2,5 kW
Масса	90 kg	72 kg	18 kg
Общая масса установки	1552 kg	1684 kg	3037 kg

Примечание: экономия за счет полезной мощности генераторной установки, не включенной в комплект поставки)

Согласовано			
Взам. инв №			
Подп. и дата			
Инв № подл.			

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата	Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)			
						Автор	Reinout Vader	30.12.99	
						Перевод	А.Топол	30.12.99	
								30.12.99	
								30.12.99	
								30.12.99	
						11. Требуется до 48 кВт/ч в день (в среднем 2 кВт)	Стадия	Лист	Листов
						11.3. Производство энергии	Р	64	70
						11.4. Заключение	т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

Что мы можем извлечь из этой таблицы?

11.4.1. Генератор мощностью 20 кВт при свободном периоде работы генератора (правая колонка)

Эта альтернатива тяжелая, а батарея емкостью 2000 Ач - дорогая, с риском больших расходов в случае ошибки в управлении батареей или несчастного случая, например, выхода из строя элемента.

Альтернатива - работа генератора 24 часа в сутки - также не очень привлекательна.

Второй генератор мощностью, например, 6 кВт может использоваться для работы большую часть дня, работая со средней нагрузкой 1,5 кВт, а генератор мощностью 20 кВт подключается, когда требуется большая мощность.

Береговой преобразователь является другим дорогим и тяжелым компонентом в этой конфигурации.

11.4.2. Реализация PowerControl и концепции постоянного тока для берегового питания, а также добавление вспомогательной генераторной установки для уменьшения емкости батареи (средняя колонка)

Реализация концепции постоянного тока решает проблему берегового питания (см. раздел 11.3.3.).

Добавив вспомогательную генераторную установку (переменного или постоянного тока), емкость батареи можно уменьшить до 1000 Ач, снизив вес на 1000 кг.

11.4.3. Использование меньшего генератора с PowerAssist, концепция постоянного тока для берегового питания и вспомогательная генераторная установка (левая колонка)

Основное отличие по сравнению с разделом 11.4.2 - меньший генератор (10 кВт вместо 20 кВт), что снижает вес еще на 130 кг.

Согласовано		

Взам. инв №	
Подп. и дата	

Ине № подл.	
-------------	--

						Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)			
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата				
	Автор	Reinout Vader			30.12.99	11. Требуется до 48 кВт/ч в день (в среднем 2 кВт) 11.4. Заключение	Стадия	Лист	Листов
	Перевод	А.Топол			30.12.99		Р	65	70
					30.12.99		т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		
					30.12.99				
					30.12.99				

12. Требуется до 240 кВт/ч в день (в среднем 10 кВт)

12.1. Введение

В главе 11 мы увидели, что размер, вес и сложность системы электроснабжения можно значительно уменьшить, разработав хорошо сбалансированную систему, состоящую из генератора мощностью 10 кВт, которому помогают генераторы Multi, а также относительно небольшой рабочей батарее, которой помогает вспомогательная генераторная установка.

В этой главе мы рассмотрим еще более высокие требования к мощности

12.2. Основные потребители

Среднее потребление 10 кВт применимо для лодок длиной до 30 метров.

- Самым большим потребителем электроэнергии, как правило, является кондиционер, работающий днем и ночью во время круизов в тропических районах. Номинальная мощность охлаждения, например, составляет 100 000 BTU (= 30 кВт). При коэффициенте полезного действия (CoP, см. раздел 6.2.), равном 4, это означает, что $30 / 4 = 7,5$ кВт потребуются, когда кондиционер будет работать на полную мощность. В среднем за 24-часовой период потребление кондиционера составит не более 5 кВт, что сразу объясняет половину общего потребления электроэнергии.
- Другими основными потребителями являются камбузная техника, стирально-сушильные машины, водонагреватель и освещение. Ночью потребление тока будет меньше, чем днем, например, в пропорции от 5 до 15 кВт.

12.3. Производство энергии

12.3.1. Генераторы переменного тока

Например, мощность основного генератора может составлять 50 кВт, что достаточно для того, чтобы обеспечить электроэнергию, необходимую для проведения большой вечеринки.

Второй генератор мощностью, скажем, 8 кВт можно использовать, когда на борту меньше людей. Эта установка имеет те же недостатки, о которых говорилось в разд. 11.3.1:

- Для того чтобы избежать гибели судна каждый раз, когда необходимо перевести переменный ток с одного генератора на другой или с генератора на берег, необходимы системы синхронизации.
- Потребуется подключение к береговой электросети мощностью 50 кВт.
- Для подключения к береговой электросети на другой стороне Атлантики потребуются дорогой и тяжелый береговой преобразователь.
- Один генератор мощностью 50 кВт, работающий 24 часа в сутки, будет иметь среднюю нагрузку всего $10 / 50 = 20$ %. Не очень хорошо для генератора и не очень хорошо для потребления топлива. Добавление второго, меньшего по размеру, генератора увеличит этот показатель до 30 %. Лучше, но все равно плохо.
- И, конечно же, шум, вибрация, запах и загрязнение окружающей среды 24 часа в сутки... (и не забывайте, что все больше портов и заповедников, где запрещено использовать генератор).

12.3.2. Добавление батареи для периода отсутствия генератора и работы генератора с помощью батареи (PowerAssist)

Этот вариант имеет смысл только в том случае, если пиковая мощность в 50 кВт является исключительной и кратковременной ситуацией, а потребность в электроэнергии большую часть времени остается ниже 20 кВт.

Аккумулятор

Если потребление энергии может быть снижено до среднего значения 4,5 кВт в течение значительных периодов времени, например, 8 часов ночью и 6-8 часов днем, то максимальное ежедневное количество энергии, поставляемое батареей, составит $4,5 \times 16 = 72$ кВтч или $72 \text{ кВтч} / 24 \text{ В} = 3000$ Ач. С учетом нашего эмпирического правила из раздела.8.5.2, потребуются батарея емкостью 6000 Ач.

Согласовано		

Взам. инв №	
Подп. и дата	

Инв № подл.					

Электроэнергия на борту (И другое применение в автономном режиме)								
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата			
Автор		Reinout Vader			30.12.99			
Перевод		А.Топол			30.12.99			
					30.12.99			
					30.12.99			
					30.12.99			
12. Требуется до 240 кВт/ч в день (в среднем 10 кВт) 12.1. Введение 12.2. Основные потребители 12.3. Производство энергии						Стадия	Лист	Листов
						Р	66	70
						т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

12.4. Сравнение альтернативных вариантов для среднего потребления 10 кВт

Выработка 240 кВт в день (в среднем 10 кВт)		
	Генератор мощностью 40 кВт с 9 Multi и PowerAssist. Сервисная батарея 2000 Ач Вспомогательная генераторная установка 8 кВт	Концепция переменного тока
Генераторы		
Выход	1x40 kW + 1x8 kW	1x50 kW + 1x10 kW
Часов в 24-часовом периоде	1x4 hr and 1x20 hr	1x10 hr and 1x14 hr
Потребление в течение 24-часового периода	95 литров	120 литров
Масса	800 kg	1200 kg
Аккумуляторная батарея		
Емкость	2000 Ah	400 Ah
Масса	2000 kg	400 kg
Береговое электропитание		
Номинальное значение	18 kW	50 kW
Номинальное значение	3 x 32 A	3 x 100 A
Weight auto transformer		
Масса Береговой преобразователь 50 кВт	Нет необходимости	1300 kg
Инвертор DC-AC		
Выход	22.5 kW (9 Multi's)	6 kW
Масса	162 kg	54 kg
Зарядные устройства для аккумуляторов		
Актуальный	600 A	75 A
Масса	80 kg	10 kg
Полный вес		
2 недели расход топлива (см. примечание)	1330 литров	1680 литров
Общий вес с учетом топлива на 2 недели	4017 kg	4375 kg

Примечание: экономия за счет полезной мощности вспомогательной генераторной установки, не включенной в комплект поставки)

Что мы можем извлечь из этой таблицы?

Главный урок заключается в том, что при потреблении 240 кВт/ч электроэнергии в день, пределы возможностей новых компонентов и концепций, представленных в этой книге, были достигнуты.

Аккумулятор, необходимый для реализации PowerAssist и концепции постоянного тока, становится действительно громоздким и очень дорогим.

Только в тех случаях, когда период работы без батареи является обязательным, или когда необходимая энергия в течение большей части времени намного меньше 240 кВт/ч в день, PowerAssist или концепция постоянного тока будут привлекательными вариантами.

Согласовано

Взам. инв №

Подп. и дата

Инв № подл.

Электроэнергия на борту
(И другое применение в автономном режиме)

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата				
						12. Требуется до 240 кВт/ч в день (в среднем 10 кВт) 12.4. Сравнение альтернативных вариантов для среднего потребления 10 кВт	Стадия	Лист	Листов
							Р	68	70
							т.066 - 710 - 31 - 62 7103162@gmail.com https://ackcomfort.blogspot.com		

Автор

Reinout Vader

30.12.99

Перевод

А.Топол

30.12.99

30.12.99

30.12.99