

Глава 1. Лодка как электрическая система: что опасно, что нет и как читать эту книгу

За один разворот понять, что на лодке убивает и что нет, выбрать свой маршрут по книге и один раз увидеть цену ошибки в числах

Электрика лодки пугает двумя способами сразу. Если вы её боитесь, вы не трогаете и то, что трогать безопасно; если не боитесь — приносите на борт привычки из дома и из гаража, и на воде они становятся ошибками. Эта глава ставит границу на место. Сначала карта: пять вещей, которые на лодке убивают, рядом с каждой — что в той же ситуации не опасно и по какому признаку вы поймёте, что угроза снята. Затем — почему лодка не дом и не автомобиль, что меняет материал корпуса и вода вокруг него, во что обходится ошибка, откуда на борту приходит энергия и как её всю снять, где проходит граница между «сделаю сам» и «позову мастера» и по какой норме написана книга, чтобы вы знали, откуда взято каждое число.

ПОСЛЕ ЭТОЙ ГЛАВЫ ВЫ СМОЖЕТЕ

- Назвать пять угроз на борту и для каждой — первое действие, признак контроля и что в той же ситуации не опасно.
- Выбрать свой маршрут по книге — лодка 20–40 лет, автономное плавание, чужая лодка — и разделы, которые открывать первыми.
- Объяснить, почему на лодке нет «массы», зачем каждому потребителю свой минус и чем опасен ток через корпус.

- Сказать, что меняется с типом воды, что нет и почему в пресной воде ток в воде опаснее, чем в солёной.
- Перечислить источники энергии своей лодки, снять их все и знать, что живёт при выключателе батареи в OFF.
- Отнести работу к одному из четырёх уровней — СТОП, Мастер, Сам при условии, Сам — по четырём наблюдаемым признакам; поставить мастеру задачу словами и принять её по измеримым признакам.
- Читать пометки у чисел и понимать, что значит «более строгое из двух» и когда правило книги можно нарушить.

Что нужно знать из других глав: ничего — это первая глава. Базу — ток, напряжение, сопротивление, мощность, мультиметр по кнопкам — даёт → Прил. F.

1.1 Что опасно, что не опасно, первое действие
1.2 Три маршрута по книге
1.3 Чем лодка отличается от дома и автомобиля
1.4 Материал корпуса — первая переменная
1.5 Солёная, пресная, солоноватая: что меняется

1.6 Цена ошибки: что горит и что тонет
1.7 Карта систем на борту и порядок обесточивания
1.8 Сам или мастер
1.9 По какой норме написана книга
1.10 На борту

1.1. Что опасно, что не опасно, первое действие

Что на лодке может убить, а что можно трогать спокойно? Ответ короче, чем кажется. Бортовая сеть 12 или 24 V током не бьёт: напряжение слишком мало, чтобы прогнать через тело опасный ток даже мокрыми руками. Исключение на самом двигателе — вторичная цепь зажигания бензинового мотора, катушка и высоковольтные провода свечей: это не бортовая сеть, и на работающем двигателе их не касаются. Опасны две другие вещи, и обе — не «электричество вообще». Первая — ток короткого

замыкания батареи: та же батарея, которая не бьёт током, отдаёт в замкнутый ключ тысячи ампер, и это уже сварочная дуга. Вторая — переменный ток: берег, инвертор и генераторная установка дают на борту 120 или 230 V, и вот это убивает, а в воде убивает особенно. К этим двум добавляются пары бензина, которые превращают любую искру во взрыв, и литиевая батарея, у которой свои правила защиты. Итого пять угроз — и всё остальное на лодке можно рассматривать, измерять и переключать, пока вы ничего не отсоединяете: дуга живёт на клеммах, и о ней — ниже в этом разделе.

В этой книге два сигнальных уровня, и других нет. «Опасно для жизни» — только то, что убивает или калечит; рядом с такой отметкой всегда стоит одно действие и признак, что ситуация под контролем. «Дорого и надолго» — жизни не угрожает, но стоит как батарея или как мотор и отнимает сезон. Всё, что не отмечено ни тем ни другим, — обычный текст: его можно читать и делать спокойно.

▲ ОПАСНО ДЛЯ ЖИЗНИ: ПЯТЬ УГРОЗ

Ток в воде · дуга на батарее · пары бензина · литиевая батарея в тепловом разгоне · переменный ток на борту. У каждой — одно первое действие, и оно в карте → Табл. 1.1 · с. 4. Признак, что угроза снята, относится к одному источнику: вилка, вынутая из колонки и из бортового ввода, означает, что снят берег, а не что обесточена лодка. «Лодка обесточена» подтверждается только по карте источников → 1.7 · с. 37.

Таблица 1.1. Карта: что опасно, что в той же ситуации не опасно, признак контроля, первое действие

Опасно	Не опасно в той же ситуации	Признак, что под контролем	Первое действие
Ток в воде. Переменный ток с лодки или причала, ушедший в воду; мышцы отказывают, человек тонет.	Бортовые 12 или 24 V в воде. Своя лодка — берег снят (панель OFF, колонка OFF, вилка вынута), инвертор выключен, генераторная установка заглушена — тока в воду не даёт; у причала с электричеством не плавают всё равно: ток соседей и причала вы не снимаете.	Вилка вынута из колонки и из бортового ввода — снят берег (только он). Нажатая кнопка TEST на защитном отключении срабатывает — защита жива; взведите его: кнопкой RESET, если она есть, или рукояткой в ON.	В воде покалывает — не к трапу: выпрямиться, уходить к берегу. С причала: в воду не входить; автомат на колонке OFF, вилка из колонки; не знаете, от какой лодки ток, — зовите персонал причала отключить питание причала. Дальше — «Ударило током».
Дуга на батарее. Металл между плюсом и любым минусовым металлом, включая корпус металлической лодки: тысячи ампер, брызги. Над свинцовой батареей после заряда — водород.	Касаться клемм руками — 12 V не бьёт. Вольтметр на клеммах. Открытый ящик, чтение этикеток.	Плюс под колпачком; над батареей нет свободного металла; снят минус всего банка — все провода со всех его минусовых клемм, кроме перемычек, — у всех банков, связанных по плюсу, а не минус одной батареи.	Снять кольцо и часы, проветрить отсек. Клемму снимает мастер → 1.8 · с. 47; если мастера нет — минус всего банка первым на выход, последним на вход; один ключ, двух точек сразу не касаться.

Опасно	Не опасно в той же ситуации	Признак, что под контролем	Первое действие
Пары бензина. Горючая смесь в трюме при любой температуре; пары тяжелее воздуха. Искра прибора без взрывозащиты — взрыв.	Дизель ниже точки вспышки. Прибор с маркировкой «ignition protected», включая вентилятор трюма. Подвесной мотор с переносным баком вне закрытых отсеков; встроенный бак в закрытом отсеке — это отсек с бензином, переносной бак в закрытом рундуке — тоже.	После четырёх минут вентиляции запаха нет. На приборах в отсеке есть маркировка взрывозащиты.	Запах бензина — включить только вентилятор трюма, больше ничего не включать и не выключать, открыть люки, искать течь. Прибор без маркировки — заменить → 4.6.
Литиевая батарея. Ток короткого замыкания не ниже свинцового, а её защита сверхток не разрывает; тепловой разгон — ядовитый газ и огонь.	Касаться клемм — те же 12 V. Исправная батарея при заряде в диапазоне изготовителя.	У клеммы защита с разрывной способностью не ниже тока короткого замыкания; наконечники под током холодные.	Нагрев, запах, шипение — снять заряд и нагрузку: зарядное OFF, берег, двигатель заглушить, солнце накрыть; людей из отсека, проветрить; выключатель банка — OFF, если он вне этого отсека, в этом отсеке — только после проветривания. Дальше — страница о батарее.

Опасно	Не опасно в той же ситуации	Признак, что под контролем	Первое действие
Переменный ток на борту. 120 или 230 V от берега, генераторной установки или инвертора при мокрых руках и металле вокруг. При обратной полярности «выключенная» цепь под напряжением.	Вся сторона 12 и 24 V. Сторона переменного тока, когда берег снят (панель OFF, колонка OFF, вилка вынута), генераторная установка заглушена, инвертор выключен и его вход снят.	Вилка вынута из колонки и из бортового ввода — снят берег (один источник). Нажатая кнопка TEST на защитном отключении срабатывает — взведите его: кнопкой RESET, если она есть, или рукояткой в ON. Индикатор обратной полярности не горит.	До работы — берег: панель OFF, колонка OFF, вилка из колонки; генераторная установка и инвертор — по карте → 1.7 · с. 37; 0 V на входе панели переменного тока — прибором, проверенным на заведомо живом источнике до и после, щупы одной рукой.

ДОРОГО И НАДОЛГО: ЧТО ПОРТИТ ЛОДКУ, НЕ ТРОГАЯ ЛЮДЕЙ

Генератор двигателя, оставшийся без батареи на ходу; алюминиевый корпус или привод, растворённые током утечки; лодка, утонувшая у причала, потому что помпа осталась без питания. Всё это не убивает — и всё это предотвращается одним правилом в своём месте: выключатель батареи на работающем двигателе не трогают → 1.7 · с. 37; ни один потребитель не возвращает ток через корпус → 1.4 · с. 24; помпа питается в обход выключателя через свою защиту → 12.2.

Дальше — каждая из пяти угроз с физикой: что происходит, почему именно так и откуда берётся первое действие. Физика здесь не для общего развития: без неё правило запоминается как запрет, а запрет в незнакомой ситуации не работает.

Ток в воде

Ток убивает не напряжением, а тем, что проходит через тело: сердце и дыхательные мышцы управляются собственными слабыми

токами, и внешний ток того же порядка их перебивает. По IEC 60479-1 переменный ток около 5 mA при длительности дольше нескольких секунд уже лишает человека контроля над мышцами, а около 40 mA дольше двух секунд способен вызвать фибрилляцию сердца. В воде опасен именно первый порог: руки и ноги перестают слушаться, и человек, который только что плыл, тонет — это и называется поражением током в воде (electric shock drowning). Источник такого тока — переменный ток с лодки или с причала, ушедший в воду через повреждённую изоляцию или через оборванный защитный проводник — зелёный провод берегового шнура, по которому ток утечки должен уходить на берег.

Бортовые 12 или 24 V такого не делают. Напряжение в пять–двадцать раз меньше, а постоянный ток для тех же последствий нужен в разы больший, чем переменный; в воде напряжение 12 V делится на всём пути через воду, и на длине тела остаётся малая его часть. Полная физика, пороги и то, почему в пресной воде хуже, чем в солёной, — → 17.5; короткий ответ про воду — → 1.5 · с. 28.

Признак контроля здесь один и относится к одному источнику: вилка вынута из причальной колонки (pedestal) и из бортового ввода (shore power inlet) — значит, снят берег; инвертор и генераторная установка снимаются отдельно и проверяются отдельно; нажатая кнопка TEST на защитном отключении срабатывает — защита жива; взведите его: кнопкой RESET, если она есть, или рукояткой в ON.

⚠ ТОК В ВОДЕ

В воде почувствовали покалывание — не плывите к трапу и к лодкам: выпрямитесь и уходите к берегу. С причала: в воду не входить; автомат на колонке OFF, вилка из колонки; не знаете, от какой лодки ток, — зовите персонал причала отключить питание причала; бросить плавучее, звать помощь. Под контролем: вилка вынута из колонки и из ввода — снят берег; инвертор и генераторная установка — отдельно; ток соседних лодок и причала вы не снимаете — у причала с электричеством не плавают.

ЦИФРЫ

Внутреннее сопротивление тела между руками — около $500\ \Omega$ по IEC 60479-1. Порог фибрилляции для переменного тока дольше двух секунд — около $40\ \text{mA}$. Постоянному току для той же вероятности фибрилляции нужен ток в несколько раз больший; тот же документ показывает это на примере для тока дольше одного удара сердца: фибрилляцию у половины людей за $10\ \text{s}$ вызывают $80\ \text{mA}$ переменного и $300\ \text{mA}$ постоянного тока — в 3.75 раза больше.

Пусть сопротивление кожи — ноль: так считается худший случай. Тогда $230\ \text{V}$ дают $230 / 500 = 0.46\ \text{A}$ переменного тока — в одиннадцать с лишним раз выше порога $40\ \text{mA}$, а $120\ \text{V}$ — $0.24\ \text{A}$, в шесть раз выше. Те же $12\ \text{V}$ постоянного тока дают $12 / 500 = 0.024\ \text{A}$ — меньше порога даже для переменного тока; $24\ \text{V}$ — $0.048\ \text{A}$, на уровне порога переменного тока, а постоянному нужен ток в несколько раз больший. С сопротивлением кожи ток только меньше. Отсюда граница: переменный ток от берега, генераторной установки и инвертора — опасен; бортовые 12 и $24\ \text{V}$ — нет.

Дуга на батарее

Батарея, которая не бьёт током, всё же способна покалечить — но иначе. Её внутреннее сопротивление измеряется тысячными долями ома, и в короткое замыкание она отдаёт ток, ограниченный только этим сопротивлением и сопротивлением металла, который её замкнул. Одна свинцовая батарея закрытого типа (AGM) с пластинами чистого свинца ёмкостью $100\ \text{Ah}$ по данным изготовителя отдаёт в короткое замыкание $5\ 000\ \text{A}$ MFR. У гаечного ключа, упавшего между клеммами, металл в точках контакта плавится за долю секунды и разлетается брызгами. Кольцо на пальце, замкнувшее плюс на металл, — ожог до кости. Поэтому кольцо и часы снимаются до того, как вы открыли ящик батареи.

Второе, что делает батарею опасной, — газ. Свинцовая батарея с пробками при заряде разлагает воду, и над крышкой скапливается водород; по данным Министерства энергетики США он горит в смеси с воздухом от 4 до 75 % и поджигается искрой ничтожной

энергии. Регламент требует отводить водород, выделяемый батареей, за пределы лодки — и не делает различия по типу батареи **CFR**. Поэтому отсек с любым свинцовым банком, закрытым (AGM, гелевым) тоже, проветривается до того, как вы в нём работаете, а искра над батареей — от ключа, от снимаемой под током клеммы, от щётки дрели — недопустима.

Что при этом не опасно: касаться клемм руками, ставить на них щупы вольтметра, открывать ящик, читать этикетки. Опасен только металл, соединяющий плюс с минусом — напрямую или через то, что сидит на минусе: блок двигателя, минусовую шину — общую планку у батарей, на которую сходятся минусовые провода, — а на металлической лодке и сам корпус: он связан с минусом в одной точке и замкнёт ключ так же, как шина. Отсюда порядок работы на клеммах, а сама эта работа ключом отнесена мастеру → 1.8 · с. 47. Минус снимается первым и ставится последним, и это минус всего банка: со всех минусовых клемм банка снимаются все провода, кроме перемычек между его батареями, — общий кабель к шине и тонкие минуса зарядного и цепей в обход, которые могут стоять на разных батареях банка. В банке из двух параллельных батарей снятый минус одной ничего не меняет: её плюс соединён перемычкой с плюсом соседней, и ключ между этим плюсом и корпусом двигателя замыкает соседнюю батарею. То же, если плюс банка связан с другим банком — положением ВОТН выключателя или замкнутым реле разделения заряда. Поэтому признак, что ключ на плюсе цепи не замкнёт, — со всех минусовых клемм банка сняты все провода, кроме перемычек между его батареями, — у всех банков, связанных между собой по плюсу: положением ВОТН, реле разделения заряда. Между самими клеммами батареи ключ замкнёт всегда, поэтому плюс закрыт колпачком, а обе клеммы никогда не оголяются одновременно: один ключ, сначала минус, двух точек сразу не касаться. Регламент требует того же — плюсовая клемма закрыта, над батареей нет незакреплённого металла, который может её коснуться **CFR**. И ещё одно: главная защита стоит у самой клеммы, потому что участок между батареей и предохранителем ничем не ограничен — где именно и почему, → 4.2.

⚠ ДУГА НА БАТАРЕЕ

Снимите кольцо и часы, проветрите отсек. Клеммы снимает мастер → 1.8 · с. 47; если мастера нет — минус всего банка первым на выход и последним на вход, один ключ. Под контролем: плюс под колпачком, над батареей нет свободного металла, снят минус всего банка у всех банков, связанных по плюсу, — ключ на плюсе цепи не замыкает.

Пары бензина

Бензин опасен в трюме не потому, что горит, а потому, что горит его пар — при любой температуре, какая бывает на лодке. По данным NIOSH температура вспышки бензина -43°C , а горючей смесь становится уже при 1.4 % паров в воздухе; пары в три-четыре раза тяжелее воздуха и стекают в самое низкое место — в трюм. Дизельное топливо устроено иначе: его температура вспышки выше 38°C **MFR**, и пока топливо холоднее этой температуры, горючей смеси над ним нет; распылённый на горячий коллектор дизель горит, но взрывоопасный трюм он не создаёт. Поэтому требования к взрывозащите электрики привязаны к бензиновому источнику, а не к любому топливу.

Искру даёт почти любой электрический прибор: контакты реле и выключателя, щётки моторов помпы и стартера, щётки генератора двигателя. Взрывозащищённый прибор (ignition protected) устроен так, что искра внутри него смесь снаружи не поджигает; регламент проверяет это прямо — компонент помещают в смесь пропана с воздухом 4.25–5.25 % и он не должен её воспламенить, если только не изолирован от бензинового источника переборкой, положением или открытым пространством **CFR**.

Узнать такой прибор можно по надписи на корпусе или в спецификации: «Ignition Protected», «SAE J1171 MARINE», «UL 1500 Marine-Ignition Protected», «ISO 8846 MARINE» **ABYC**. Прибор без такой маркировки в отсеке с бензиновым двигателем или баком — автомобильное реле, бытовой вентилятор, помпа из магазина для

дома — переставляется или заменяется; что именно требует взрывозащиты и как отделить отсек, → 4.6.

Что не опасно: та же электрика на дизельной лодке; та же электрика на лодке с подвесным мотором, у которой бензин и его проводка вне закрытых отсеков, — при условии, что переносной бак не стоит в закрытом рундуке рядом с электрикой; встроенный бак под палубой делает свой отсек отсеком с бензином → 4.6. Признак контроля — тот, что написан на табличке у замка зажигания бензиновой лодки: вытяжной вентилятор трюма работал четыре минуты перед пуском **CFR**, и запаха бензина после этого нет. Первое действие при запахе бензина — включить только вытяжной вентилятор трюма: по регламенту он взрывозащищён, как любой электрический компонент, не отделённый от бензинового источника, а табличка требует именно его работы перед пуском; больше ничего не включать и не выключать (щелчок выключателя — тоже искра), открыть всё, что открывается, искать течь; двигатель не пускать, пока запах не ушёл. Что на вентиляторе есть маркировка взрывозащиты, проверяется заранее, при осмотре лодки: вентилятор без неё — прибор, которого в этом отсеке быть не должно → 4.6.

⚠ ПАРЫ БЕНЗИНА

Запах бензина — включить только вытяжной вентилятор трюма, больше ничего не включать и не выключать, открыть люки, искать течь. Под контролем: после четырёх минут вентиляции запаха нет; на приборах в моторном и топливном отсеке, включая вентилятор, есть маркировка взрывозащиты.

Литиевая батарея

Литиевая батарея LiFePO₄ током не бьёт так же, как свинцовая: те же 12 или 24 V. Отличаются две вещи, и обе относятся к защите. Первая — ток короткого замыкания: внутреннее сопротивление литиевого банка ниже свинцового, и в замкнутый ключ он отдаёт не меньше, чем свинец той же ёмкости **PRACTICE**. Встроенная защита батареи — система управления батареей (BMS) — отключает банк по

напряжению, перегрузке и температуре, но защитой от сверхтока для провода она не является: она защищает батарею, а не кабель от неё.

Поэтому у клеммы литиевого банка стоит защита с разрывной способностью не ниже тока короткого замыкания банка по данным изготовителя батареи — на практике это предохранитель Class T; полный разбор → 11.2. Разрывная способность (AIC) — наибольший ток, который предохранитель способен разорвать: при большем токе дуга внутри него не гаснет, корпус предохранителя разрушается, а цепь остаётся замкнутой. Изготовитель батареи говорит то же самое: клеммы литиевой батареи всегда под напряжением, металл и инструмент на неё не класть, каждое соединение с батареей защищено предохранителем, а тушить её при пожаре — углекислотным или пенным огнетушителем **MFR**.

Вторая — тепловой разгон (thermal runaway). Перегретая или повреждённая литиевая ячейка греет соседние, выделяет ядовитый газ и горит так, что остановить её можно только с расстояния: очаг мал и путь к нему свободен — углекислотный или пенный огнетушитель издалека, иначе покинуть лодку и звать; порядок — на аварийной странице о батарее. Причина такого пожара на судне, названная в предупреждении Береговой охраны, — плохо обжатые наконечники, перегревшиеся под током → 1.6 · с. 33. Так соединяются две угрозы: плохой контакт под током — источник, литиевый банк — топливо. Признак контроля — наконечники на банке не греются под нагрузкой (падение напряжения на наконечнике под током — милливольты, → 3.4), корпус без вздутия, а защита батареи ни разу не отключала банк без предупреждения — стандарт для литиевых батарей предусматривает звуковой или световой сигнал о приближающемся отключении **АВУС**.

⚠ ЛИТИЕВАЯ БАТАРЕЯ

Нагрев, запах, шипение — снять заряд и нагрузку: зарядное OFF, берег (панель OFF, колонка OFF, вилка из колонки), двигатель заглушить, солнечные панели отключить или накрыть; людей из отсека, отсек проветрить; выключатель банка — OFF, если он вне этого отсека, а в отсеке, где пахнет газом, — только после проветривания: его контакты искрят; очаг мал и путь свободен — углекислотный или пенный огнетушитель издалека, иначе покинуть лодку и звать; дальше — аварийная страница о батарее. Под контролем: у клеммы защита с нужной разрывной способностью, наконечники холодные под током, батарея предупреждает до отключения.

Переменный ток на борту

Переменный ток (AC) приходит на лодку тремя путями: береговой кабель, генераторная установка — отдельный двигатель с генератором на 120 или 230 V — и инвертор, который делает переменный ток из постоянного (DC) тока батареи. Все три дают 120 или 230 V, и человек между фазой и любым металлом, сидящим на защитном проводнике, получает ток в шесть-одиннадцать с лишним раз выше порога фибрилляции — расчёт → «Цифры» 1.1. На лодке к этому добавляется то, чего нет в доме: мокрые руки, металл вокруг, вода под ногами и переменный ток в одном жгуте с безопасным постоянным. Правила охраны труда (29 CFR 1910.303) проводят границу защиты от прикосновения на 50 V: всё, что выше, закрывается от случайного касания, и на лодке это вся сторона переменного тока — от бортового ввода до последней розетки.

Опасность усиливают две особенности переменного тока на борту. Первая — обратная полярность: если на колонке или в кабеле перепутаны фаза и нейтраль, автомат на панели переменного тока разрывает нейтраль, и «выключенная» цепь остаётся под напряжением через фазу; индикатор обратной полярности на панели переменного тока для того и стоит, и горящий индикатор означает: снять берег — выключатель берега на панели

переменного тока OFF, автомат на колонке OFF, вилка из колонки, затем из ввода на лодке — и берегом не пользоваться → 17.3. Вторая — инвертор: инвертор в режиме ожидания при пропадании берега включается сам и держит розетки под 120 или 230 V, пока к нему подключена батарея → 1.7 · с. 37. Поэтому признак «вилка вынута» относится к берегу и только к нему.

Что не опасно: вся сторона 12 и 24 V — ею вы занимаетесь руками; сторона переменного тока после того, как берег снят (панель OFF, колонка OFF, вилка вынута), генераторная установка заглушена, инвертор выключен и его вход от батареи снят, — это карта источников → 1.7 · с. 37; корпуса приборов при исправном защитном проводнике и исправном защитном отключении — устройстве, которое отключает питание при утечке тока мимо обратного провода: на бортовом вводе оно называется ELCI, у розетки — GFCI, в системе 230 V — RCD, а совмещённое с автоматом от сверхтока — RCBO → 17.3. Защитное отключение узнаётся по кнопке TEST и надписи на корпусе; автомат без кнопки TEST защищает провод от перегрузки и короткого замыкания и утечку не видит. Первое действие перед тем, как открыть панель переменного тока или коснуться её клемм, — снять всю эту сторону по карте и измерить 0 V на входе панели переменного тока прибором не ниже CAT III 600 V **MFR**, проверенным на заведомо живом источнике до и после измерения; щупы одной рукой, вторая не касается металла; как измерять безопасно — → 3.7. Работа внутри стороны переменного тока — за границей этой книги: где она проходит и что вы заказываете мастеру, → 17.8.

⚠ ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК НА БОРТУ

До работы: берег — выключатель берега на панели OFF, автомат на колонке OFF, вилка из колонки, затем из ввода; генераторную установку заглушить, инвертор выключить и снять его вход; 0 V на входе панели переменного тока — прибором, проверенным на заведомо живом источнике до и после, щупы одной рукой. Под контролем: вилка вынута из колонки и из ввода — снят берег; нажатая кнопка TEST на защитном отключении срабатывает — взведите его: кнопкой RESET, если она есть, или рукояткой в ON; индикатор обратной полярности не горит.

Это вся карта. Пять угроз, у каждой — физика, первое действие и признак контроля. Всё, что не попало в неё, — провода 12 и 24 V, панель постоянного тока, выключатели, приборы, датчики, помпы, освещение — вы можете рассматривать, измерять и переключать, пока ничего не отсоединяете, с одним исключением, названным в блоке «Дорого и надолго»: выключатель батареи на работающем двигателе не трогают. Во всём остальном цена ошибки — перегоревший предохранитель, пока металл щупа, зажима или ключа не ляжет между плюсом батареи и массой там, где предохранителя ещё нет: у клемм батареи и на шпильке стартера это дуга и ожог. Поэтому там кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, в руках один инструмент; остальные условия — в карте Табл. 1.1 · с. 4. Границу «сделать самому или позвать мастера» это не отменяет — но она проходит по другим признакам, и о них → 1.8 · с. 47.

1.2. Три маршрута по книге

С какой главы начинать, если читать всё подряд некогда? Ответ определяет не ваш опыт, а ситуация, в которой вы оказались с лодкой. Их три, и книга обязана работать для каждой: лодка, которой 20–40 лет и у которой было несколько хозяев; лодка, которая уходит туда, где нет ни причала, ни мастера; лодка, которая

не ваша. Каждому маршруту — полстраницы: что открывать первым и почему в таком порядке. Главы при этом остаются на своих местах, и маршрут — не сокращённая книга, а порядок входа в неё.

Лодке 20–40 лет

Ваш главный вопрос — не «как это устроено», а «с чего начать и в каком порядке». Вы получили проводку, которую переделывали несколько хозяев, и ни один не оставил схемы. Начинайте с обхода лодки без приборов и паспорта лодки → 2.1, → 2.3: пока на бумаге нет списка источников и того, что живёт в обход выключателя, любой совет вы примеряете наугад. Дальше — то, что горит: защита у батареи и незащищённые плюсовые отрезки → 4.2, панель постоянного тока и то, что «на скрутке за панелью» → 4.5, провод, которого на лодке быть не должно → 5.1. Затем главы, которые превращают находки в порядок работ: что ищут на старом борту и в каком порядке это исправлять → 18.1, → 18.2, и что делать со старым выключателем батареи с положениями «1-2-BOTH» → 8.6. Батареи и их состояние → 6.6, помпа и её проверка → 12.7, оборванный проводник связи по массе (bonding) как типовая находка → 15.2 — после этого. В главах вам будут попадаться блоки «Если лодке 20–40 лет» — три пункта: что проверить первым, что менять первым, если нашли, и чего на таком борту может не оказаться и по какому признаку это видно. Они стоят только там, где старый борт меняет действие.

Автономное плавание

Помощи рядом нет, запчастей нет, и любая неисправность — ваша. Ваш вопрос — энергия и резервирование: сколько её приходит, сколько уходит и что произойдёт, когда откажет один узел. Начинайте с энергобаланса → 7.1–7.5: пока не посчитан расход за сутки и приход от каждого источника, вы не знаете, на сколько хватит банка. Дальше — источники заряда вместе: генератор двигателя, зарядное, солнце и преобразователь DC-DC между банками, и кто из них главный, когда работают все → 9.4, солнце и ветер → 10.3. Если у вас литий или вы о нём думаете — вся глава

→ 11.1, и особенно что происходит с генератором двигателя, когда защита батареи отключает банк на ходу → 11.3. Затем готовность к переходу: что должно быть продублировано → 19.3, запчасти с номиналами → 19.4, три вида ремонта на воде → 19.5. Блоки «В автономке» в главах дают пять пунктов: что отказывает чаще другого, что вы при этом теряете, как дойти до берега без него, что везти запасным, чего не делать в море. Лодка на трейлере без берегового питания — не отдельная аудитория, а условие разобранных примеров: ей нужен тот же баланс без берега → 7.5.

Чужая лодка

Лодка в чартере или у друга на неделю: за двадцать минут понять чужую систему, найти опасное, знать, чего не трогать, и что делать, если посреди перехода погасла панель. Начинайте с протокола приёмки → 2.6 — он существует и отдельным листом с полями для цифр — и с порядка действий, когда всё погасло → 2.7. Затем то, что на чужой лодке решает безопасность: карта источников и что живёт в обход выключателя → 1.7 · с. 37, подключение и отключение берегового кабеля → 17.2, первый ход при воде в трюме → 12.1. На чужой лодке уровней работы три, а не четыре: кнопки и выключатели — да; инструмент — нет, потому что последствия достанутся следующему экипажу, а проверить результат вам нечем; серая зона — только с разрешения базы по телефону → 2.6. Блоки «На чужой лодке» в главах — четыре пункта: найти, проверить, не трогать, что сказать базе.

Как устроен текст

Текст каждой главы идёт тремя слоями, и различаются они функцией, а не тем, кому адресованы. Основной текст — что происходит, чем опасно, что делать; его можно читать подряд, не заглядывая ни в одну врезку, и он останется связным. Врезка «Почему так» — физика и механизм; здесь же живут границы правила: где оно перестаёт работать и почему. Врезка «Цифры» — расчёт, пороги, таблица. Условие безопасности никогда не

спрятано во врезку: если без него можно пострадать, оно стоит в основном тексте рядом с действием.

Ссылка «→ 7.4» ведёт в раздел, «→ Рис. 6.3» — к рисунку, «→ Прил. А» — в справочный раздел в конце книги; «→ модуль „Моторы“» — тема продолжается в платном издании серии. Ссылка заменяет пересказ, но не условие безопасности: там, где вы что-то делаете, условие повторено на месте одной фразой, а ссылка ведёт к объяснению. Одно правило разбирается полностью в одном месте книги, остальные главы на него ссылаются; найти это место помогает предметный указатель в конце книги.

Если вы пришли с проблемой, а не с вопросом «как устроено», не читайте главу — откройте указатель симптомов в конце книги: «садится за ночь», «помпа молчит», «выбивает на причале», «съедает аноды». Он устроен как различитель: у входа «батарея садится» три ветви — не запускает двигатель, отключаются приборы, падает процент на мониторе, — и каждая ведёт в свой раздел с первой проверкой. Аварийные страницы перед этой главой — для случая, когда проблема происходит прямо сейчас.

Чего в книге нет. Она не проектирует систему переменного тока и не описывает её монтаж — только то, что нужно, чтобы понять, распознать, не пострадать и вовремя остановиться; проектирование и монтаж — модули «АС»: [для сети 120/240 V](#) и [для сети 230 V](#). Нет ремонта генераторных установок и работы с дилерским программным обеспечением моторов. Нет права, налогов, лицензий и цен вашей страны: стоимость в книге дана порядком — «дёшево», «как одна батарея», «как мотор». Нет советов «покупайте этот бренд»: компонент называется по функции, стандарту и параметру, а марка — только там, где без неё деталь не найти в каталоге. И нет пересказа инструкций к вашему оборудованию: там, где число стоит с пометкой «MFR», ваша деталь может отличаться, и сверять надо с её документом.

1.3. Чем лодка отличается от дома и автомобиля

Почему на лодке нельзя делать так, как вы делаете дома и в гараже, — ведь ток тот же и провод тот же? Потому что вы приносите на борт две привычки, и обе основаны на условиях, которых на воде нет. В доме есть земля: защитный проводник соединён с грунтом, и корпус любого прибора сидит на потенциале пола, на котором вы стоите. В автомобиле есть «масса»: кузов служит минусом для всех цепей, и любой прибор подключается одним болтом. Лодка плавает в жидкости, которая проводит ток, но не является землёй; её корпус — либо изолятор, либо металл, которому нельзя быть проводником; воздух вокруг насыщен солью, всё на ней вибрирует, а в трюме бензиновой лодки скапливаются пары топлива. Всё, что в лодочной электрике выглядит избыточным — отдельный минусовой провод к каждому потребителю, предохранитель не дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm) от клеммы батареи, зелёный провод, идущий к винту, — это ответ на пять физических условий, которых нет ни в здании, ни в машине.

Вода — проводник, но не земля

В доме ток утечки с корпуса пробитого прибора уходит по защитному проводнику обратно к источнику; путь металлический, сопротивление малое, ток большой, защита срабатывает. Лодка стоит в воде, и вода тоже проводит — но с ней по замыслу не соединён ни один рабочий проводник лодки. Стандарт так и определяет «землю» лодки: потенциал земной поверхности, с которым лодка связана через любую проводящую часть мокрой поверхности корпуса — намеренно или случайно **АВУС**.

Единственный металлический путь для тока утечки обратно к берегу — зелёный защитный проводник в шнуре берегового питания. Если он оборван или на колонке нет заземления, ток утечки с корпуса прибора металлического пути не имеет и ищет другой — через воду, и через человека, который в ней плавает. Это тот механизм, который делает ток в воде первой угрозой в карте → Табл. 1.1 · с. 4, и вся сторона переменного тока на лодке построена вокруг него: защитное отключение, гальванический изолятор,

разделительный трансформатор — каждый узел отвечает на вопрос «куда пойдёт ток, если пути к берегу нет» → 17.4.

У той же связи с берегом есть обратная сторона. Пока зелёный провод цел, все лодки на причале соединены им друг с другом и с землёй берега, и подводные металлы разных лодок оказываются одной электрохимической парой; стандарт по катодной защите (cathodic protection — защите подводного металла анодами → 15.3) прямо называет это причиной гальванической коррозии у лодок на береговом питании **АВУС**. Поэтому в защитный проводник ставят гальванический изолятор — устройство, которое пропускает ток утечки при неисправности и не пропускает малый постоянный ток коррозии, — либо разделительный трансформатор, который убирает металлическую связь с берегом совсем → 17.4. Заметьте, что этот провод нельзя «отключить для надёжности»: без него нет пути для тока утечки, и первая угроза возвращается.

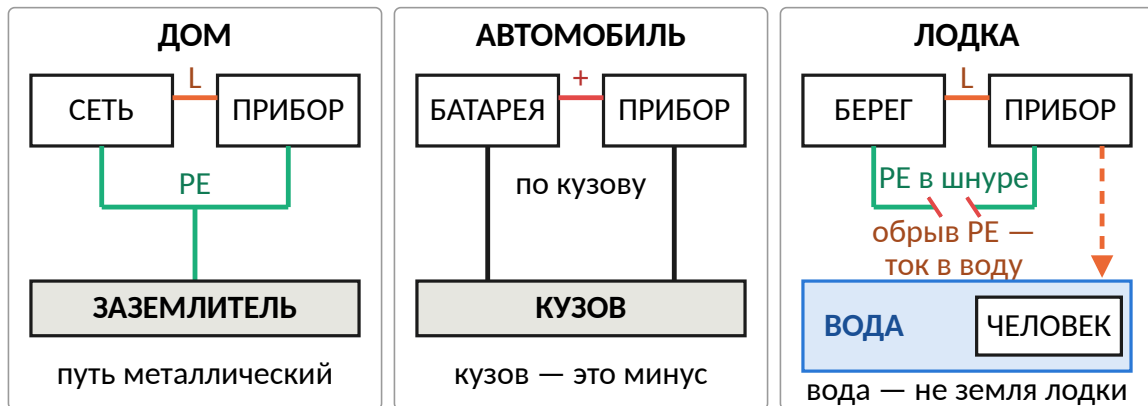


Рис. 1.1. Куда уходит ток утечки с корпуса пробитого прибора. В доме — по защитному проводнику в заземлитель, путь металлический. В автомобиле кузов служит рабочим минусом по замыслу. На лодке единственный металлический путь — защитный проводник внутри берегового шнура; вода в цепь не входит. Показан обрыв этого проводника: ток утечки идёт в воду и через человека в ней; при целом проводнике этого пути нет.

Нет «массы»: два провода к каждому потребителю

Автомобильная привычка «посадить минус на ближайший металл» становится ошибкой в ту секунду, когда лодка касается воды. У стеклопластиковой лодки корпус — изолятор, и «сажать минус»

просто некуда: минус каждого потребителя — отдельный провод до минусовой шины (bus bar) — общей металлической планки у батарей, куда сходятся минусовые провода всех потребителей. Та же ошибка на стеклопластике выглядит иначе — минус на блок двигателя для оборудования, стоящего не на двигателе, на проводник связи по массе или на кран: обе системы норм запрещают использовать эти проводники как обратные, а ток по ним уходит в воду у кранов и вала → 15.2. У металлической лодки корпус проводит, но он сидит в электролите, и если по нему потечёт обратный ток, то в каждой точке, где ток покидает металл и уходит в воду, металл растворяется. Поэтому обе системы норм требуют одного: система постоянного тока на лодке двухпроводная, и металлический корпус не используется как обратный проводник — это правило алюминиевого корпуса, и оно формулируется в следующем разделе → 1.4 · с. 24. Единственное место, где минус идёт по металлу, — блок двигателя для оборудования, стоящего на самом двигателе: стартер, датчики, генератор двигателя; сам блок при этом соединён с минусовой шиной отдельным кабелем. Как три разных «минуса» — минус постоянного тока, связь по массе (bonding) и защитный проводник переменного тока — встречаются в одной точке и почему только в одной, → 15.1.

Соль

Солёный воздух и брызги — не про «ржавчину снаружи», а про то, что вы не видите. Влага заходит в кабель через любой негерметичный конец и по капиллярам между жилами проходит далеко под целую изоляцию. Нелужёная медь в такой среде покрывается окислом: снаружи провод выглядит нормально, а под нагрузкой соединение греется, и падение напряжения растёт с каждым сезоном. Плохой контакт при этом не видит омметр — он ищется падением напряжения под реальным рабочим током, и это главное измерение книги → 3.4. Лужёная медь замедляет этот процесс, но её не требует ни один стандарт: это практика с физической причиной, и чем она отличается от автомобильного провода — → 5.1. Та же физика стоит за герметичным соединением — наконечником, обжатым инструментом по его размеру, и

термоусадкой с клеевым слоем, которая закрывает вход влаги в жилы; что из этого требует стандарт, а что остаётся практикой, — → 5.6.

Вибрация

Лодка на волне — тысячи ударов за один выход, и каждый удар чувствует каждое соединение. Одножильный провод ломается в точке крепления, потому что вся деформация приходится на одно место; пайка без обжима ломается, потому что припой затекает между жилами и превращает гибкий пучок в жёсткий стержень — весь изгиб приходится на его границу; винт без пружинной шайбы отпускается, и контакт под ним начинает греться. Поэтому регламент требует многопроволочного медного проводника с изоляцией **CFR**: у многопроволочного провода деформация распределяется по десяткам жил, и ни одна не ломается.

Стандарт добавляет к этому крепление проводки по всей длине или не реже чем через 18 in (457 mm) **ABYC**, наконечники кольцевого или захватного типа и обжим как основной способ соединения; бытовые скрутки под колпачок на лодке запрещены. Как это выглядит на практике и как проверить своими руками — → 5.6, → 5.7.

Замкнутый отсек с парами топлива

В доме и в машине электрика не живёт в закрытом ящике с бензином. На лодке — живёт: двигатель, бак, топливная арматура и провода стоят в одном отсеке, из которого пары бензина сами не уходят, потому что они тяжелее воздуха. Это условие даёт две вещи, которых нет больше нигде: требование взрывозащищённости к каждому электрическому компоненту в таком отсеке и вентилятор трюма, который по табличке у замка зажигания работает четыре минуты перед пуском → 4.6. Физика и первое действие при запахе бензина — в карте → Табл. 1.1 · с. 4 и в разделе → 1.1 · с. 2.

Несколько источников сразу

Есть и шестое отличие, и оно не физическое, а структурное. В доме один источник — сеть. В автомобиле один — генератор двигателя с батареей, и они не спорят друг с другом. На лодке одновременно живут батареи, генератор двигателя, зарядное устройство, инвертор, солнечные панели, а у причала — ещё и берег; каждый из них в какой-то момент оказывается единственным источником в цепи, и каждый способен отдать ток в короткое замыкание. Поэтому на лодке нет одного щитка, за которым «всё выключено», а есть карта источников, и умение её составить — самое важное умение первой части книги → 1.7 · с. 37.

Таблица 1.2. Привычка из дома и гаража — почему на лодке это ошибка — что вместо неё

Привычка	Почему на лодке ошибка	Что вместо
Минус на ближайший металл	Корпус в электролите: там, где ток уходит в воду, металл растворяется; у стеклопластика металла нет	Свой минусовой провод от каждого потребителя до шины → 1.4 · с. 24
Один щиток — всё выключено	Источников несколько, и часть цепей питается в обход выключателя	Карта источников → 1.7 · с. 37
Прибор мощнее — автомат больше	Предохранитель защищает провод, а не прибор; больший номинал оставляет провод без защиты	Ток нагрузки $\leq$ номинал защиты $\leq$ допустимый ток провода → 4.3
Скрутка, изолента, одножильный провод	Соль заходит под изоляцию, вибрация ломает жилу, контакт греется	Многопроволочный провод, обжатый наконечник, термоусадка с клеем → 5.6
Считать ватты, как дома	При 12 V ток в двадцать раз выше, чем при 230 V, при той же мощности; греет и теряет напряжение именно ток	Считать амперы и падение напряжения → 5.4
Любое реле и любой вентилятор из магазина	В отсеке с бензином искра внутри прибора поджигает пары	Компонент с маркировкой взрывозащиты → 4.6

1.4. Материал корпуса — первая переменная

Из чего сделан ваш корпус — стеклопластик, алюминий, сталь или дерево — и что это меняет в электрике? Меняет одно: проводит ли корпус ток и сидит ли он при этом в воде. Стеклопластик и дерево — изоляторы, и для электрики они почти нейтральны: ток по ним не течёт, ошибки с «массой» невозможны просто потому, что массы нет. Алюминий и сталь — проводники, и у них появляется правило, которого нет ни в одной другой главе про корпуса: корпус — проводник, но не путь тока. Цена ошибки здесь — растворённый борт, а сама ошибка делается в первый же день: минус «на ближайший металл» по привычке из гаража. Поэтому правило звучит уже здесь, а полный разбор — → 16.1.

Таблица 1.3. Материал корпуса: проводит ли, что случается при ошибке, что проверять

Корпус	Проводит ток?	Что случится при ошибке	Что проверять
Стеклопластик	Нет	Ошибка «минус на корпус» невозможна; коррозия угрожает только подводным металлам — валу, винту, рулю, кранам	Связь по массе и аноды → 15.2, → 15.3
Алюминий	Да, и сидит в электролите	Ток через корпус растворяет металл там, где выходит в воду; вторая точка связи минуса с корпусом создаёт этот ток	Что ни один минус не идёт на корпус; что точка связи одна; что через корпус не течёт ток → 16.3
Сталь	Да	То же, что у алюминия; сталь менее активна, но под краской растворяется так же, где ток выходит в воду	Как у алюминия; краска и аноды → 16.5
Дерево	Нет (крепёж — да)	Ток и избыточная катодная защита разрушают древесину вокруг металлического крепежа	Потенциал корпуса не отрицательнее диапазона для дерева → 15.6

ПРАВИЛО АЛЮМИНИЕВОГО КОРПУСА

Алюминиевый корпус — проводник, но не «масса» и не путь тока: корпус не несёт ток, ни один потребитель не возвращает ток через корпус, каждый минус — проводом до шины. Связь потенциала минуса с корпусом — через блок двигателя или кронштейн подвесного мотора — существует в одной точке и не является ошибкой; ошибка — вторая точка и любой ток через корпус. Физика и практика в полном виде — → 16.1.

Обе системы норм говорят это одними словами. По АВУС система распределения постоянного тока — двухпроводная, и металлический корпус, как и проводники связи по массе и заземления постоянного тока, не используется в качестве обратного проводника **АВУС**.

По ISO корпус металлической лодки не используется как проводник цепи **ISO**. Оба стандарта делают одно и то же исключение: оборудование, установленное на двигателе, возвращает ток через блок двигателя, а сам блок соединён с минусом батареи кабелем. Так появляется та единственная точка, где потенциал минуса встречается с корпусом: блок стационарного двигателя стоит на корпусе, кронштейн подвесного мотора привинчен к транцу, и через них минус и корпус оказываются под одним потенциалом. Это не ток — это потенциал; ток появляется только тогда, когда есть вторая точка, и между двумя точками через корпус течёт то, что должно было течь по проводу.

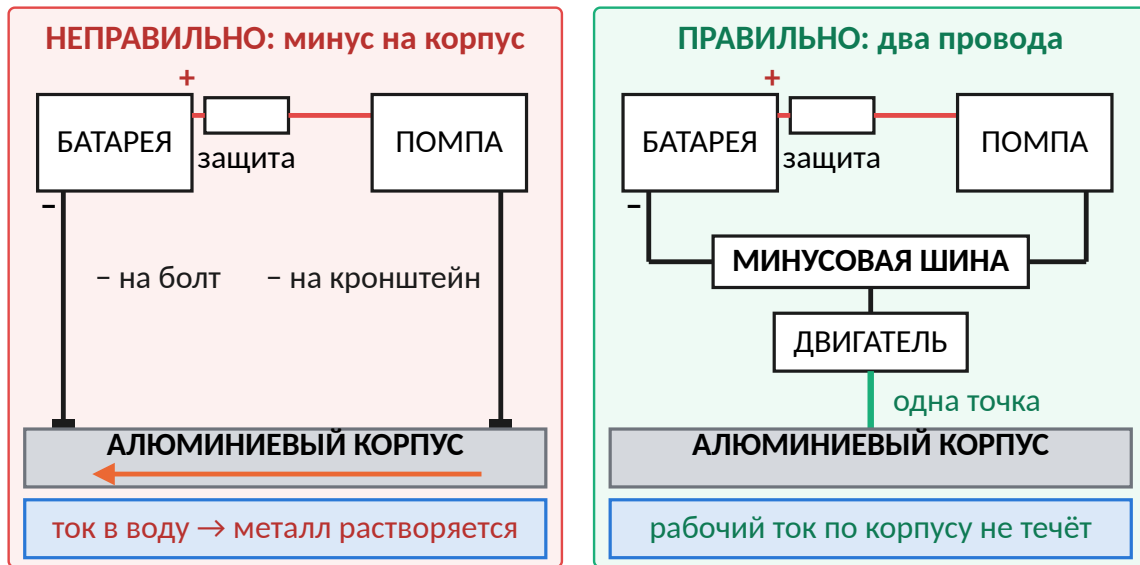


Рис. 1.2. Одна и та же помпа на алюминиевой лодке двумя способами. Слева минус батареи и минус помпы посажены на корпус, и рабочий ток возвращается по алюминию — там, где он на мокрых стыках уходит в воду, металл растворяется. Справа у каждого минуса свой провод до минусовой шины; корпус связан с потенциалом минуса через блок двигателя в одной точке, и рабочий ток по нему не течёт. Одна точка — не ошибка; вторая точка — ошибка.

Что при этом не опасно и что опасно. Не опасна сама единственная точка: ISO прямо допускает, чтобы навесное оборудование двигателя использовало блок как заземлённый проводник, а у металлической лодки с полностью изолированной системой постоянного тока защитный проводник переменного тока подключался к корпусу **ISO**. Не опасно измерение: вольтметр между минусовой клеммой батареи и корпусом на такой лодке покажет ноль, и это норма, а не «пробой». Опасна вторая точка — и её создают не намеренно: минус трюмной помпы на шпангоуте, минус освещения на кронштейне, второй минус банка электромотора малого хода (trolling motor) через кронштейн мотора и корпус. Все три переделываются, даже если «всё работает»: помпа будет работать и с корпусным минусом, а алюминий транца рядом с ней будет растворяться всё время, пока по корпусу течёт её ток. Признак контроля — каждый минус на лодке прослеживается до минусовой шины проводом; как измерить, что через корпус не течёт ток, и когда нужен мастер, → 16.3.

ПОЧЕМУ ТАК

На алюминии ток через корпус запускает три процесса, и в основном тексте названа одна причина — самая быстрая. Первая: там, где ток покидает металл и уходит в воду, металл растворяется — это коррозия блуждающим током (stray current corrosion), и, в отличие от гальванической, она идёт не месяцами, а днями **PRACTICE**. Вторая: корпус не эквипотенциален — на сварных швах и заклёпках ток создаёт падение напряжения, и вода становится параллельным путём, так что «мокрых стыков» с выходом тока в воду оказывается много. Третья: плохой контакт минуса с корпусом — окисленный болт на кронштейне — греется под током и становится источником искр там, где рядом топливный бак. Граница правила: стандарт называет одну точку связи, и это не уступка практике, а необходимость — блок двигателя стоит на корпусе, и разделить их потенциалы нельзя; правило запрещает не потенциал, а ток. Второй границы у правила нет: «немного тока через корпус» на алюминии не бывает допустимым количеством.

У металлического корпуса есть и вторая сторона — катодная защита. Стандарт по катодной защите требует того же, что и электрический: корпус не используется как токоведущий проводник, а бронзовые и другие более благородные, чем алюминий, подводные детали там, где это выполнимо, электрически изолируются от корпуса **АВУС**.

Есть и измеримый признак того, что корпус защищён: его потенциал относительно опорного электрода в воде лежит в заданном диапазоне — для алюминиевого корпуса от -950 до -1100 mV, и отрицательнее нижней границы начинается перезащита, которая тоже разрушает металл **АВУС**. Что это за измерение, что показывает число и кто его делает, — → 15.6; всё, что касается именно алюминия и стали — краска, кингстоны, угловая колонка, сварная лодка с трейлера, — в отдельной главе → 16.4, → 16.6.

Стальной корпус живёт по тем же правилам с одной поправкой: сталь менее активна, чем алюминий, и требования к ней те же —

стойкая краска как барьер между металлом и водой и аноды у лодки, стоящей в воде **АВУС**.

Дерево не проводит, но его крепёж проводит, и здесь опасна не утечка, а избыток защиты: потенциал деревянного корпуса отрицательнее -600 mV разрушает древесину вокруг металла **АВУС** — поэтому на деревянной лодке аноды подбираются осторожнее, чем на стеклопластиковой, и об этом ещё раз → 1.5 · с. 28.

1.5. Солёная, пресная, солоноватая: что меняется

Что меняется в электрике лодки, если она стоит не в море, а на озере или в устье реки, — и можно ли на озере «попроще»? Меняется ровно одно требование стандартов и одна скорость; не меняется всё остальное; а одна опасность в пресной воде не ослабевает, а растёт. Отсюда правило этого раздела, и оно же — правило без исключений.

ТИП ВОДЫ

С типом воды меняется материал анодов и скорость коррозии: в солёной воде — цинк или алюминий; в солоноватой — алюминий; в пресной — магний. Цинк в пресной воде не работает; алюминиевый анод в пресной воде — по данным изготовителя вашего анода: изготовители расходятся. Магний на алюминиевом корпусе или алюминиевом приводе — только по измеренному потенциалу: перезащита разрушает алюминий → 15.6. Не меняются провода, защита от сверхтока, взрывозащищённость и всё, что относится к береговому питанию. В пресной воде ток в воде опаснее, чем в солёной: тело проводит лучше воды и становится путём тока. «Лодка только для озера» не означает «можно проще» — она означает «ток в воде здесь убивает».

Таблица 1.4. Тип воды: что меняется, что не меняется, что становится опаснее

Вода	Материал анода	Что не меняется	Ток в воде
Солёная (море)	Цинк или алюминий; магний — нет: перезащищает и быстро расходуется	Провода и их сечение; защита от сверхтока и её расстояние от батареи; взрывозащищённость в отсеках с бензином; защитное отключение, полярность и порядок подключения берегового кабеля	Ток растекается по воде, тело — плохой проводник на её фоне; купаться у причала с электричеством всё равно нельзя
Солоноватая (устье, лагуна)	Алюминий		Промежуточный случай; чем преснее, тем ближе к пресной
Пресная (озеро, река)	Магний; цинк — нет; алюминий — по данным изготовителя анода; на алюминиевом корпусе или приводе — только по потенциалу		Тело проводит лучше воды, ток стягивается в него; у причала с береговым питанием не плавают

Что меняется: аноды и скорость коррозии

Анод (anode) — кусок металла, который стоит на корпусе или приводе и растворяется вместо него: он менее благороден, чем защищаемый металл, и в паре с ним через воду отдаёт ток, делая корпус катодом. Чтобы это работало, анод должен быть достаточно «активнее» защищаемого металла и ток должен пройти через воду — а вот проводимость воды меняется в сотни раз. В морской воде цинк и алюминиевый сплав дают достаточную разность потенциалов, и стандарт по катодной защите допускает выбор материала анода по тому, где стоит лодка **АВУС**.

В пресной воде ток идёт с трудом, и изготовители анодов на обоих рынках сходятся в одном: для пресной воды — магний, потому что его потенциал заметно отрицательнее и он «продавливает» ток

через плохо проводящую воду; цинк в пресной воде покрывается плёнкой окисла и перестаёт работать **MFR**. По алюминиевому аноду в пресной воде изготовители расходятся: одни допускают его для лодки, которая ходит и в море, и в пресной воде, другие называют ту же плёнку окисла, что у цинка, — поэтому для алюминиевого анода в пресной воде правило одно: по данным изготовителя вашего анода. Для солоноватой воды изготовители рекомендуют алюминий; цинк в ней работает хуже, чем в море, магний — расходуется слишком быстро.

У магния есть обратная сторона, и она важна на алюминиевой и деревянной лодке и на любой лодке с алюминиевым приводом — подвесным мотором или угловой колонкой. Его потенциал по стандарту от -1600 до -1630 mV, а для алюминиевого корпуса и алюминиевого привода потенциал отрицательнее -1100 mV — уже перезащита, при которой алюминий разрушается сам, а краска отслаивается **ABYC**.

Изготовители анодов предупреждают о том же: магний на алюминиевом или деревянном корпусе и на алюминиевом приводе ставится осторожно, потому что им легко перезащитить **MFR**. Поэтому магний на алюминиевом корпусе или алюминиевом приводе — только по измеренному потенциалу → 15.6; на стеклопластиковой лодке без алюминиевого привода — стационарный двигатель с валом — магний в пресной воде ставится без измерения. Что чем защищают и сколько анод должен служить — → 15.3.

Вторая переменная — скорость. Морская вода проводит ток лучше, и всё, что связано с коррозией, в ней идёт быстрее: изготовитель подвесного мотора требует осматривать анод регулярно, «особенно в солёной воде, которая ускоряет его расход», и промывать мотор пресной водой после каждого выхода в солёной **MFR**.

Стандарт называет условие, при котором алюминиевому приводу подвесного мотора или угловой колонки нужна защита сверх той, что поставил изготовитель: стоянка или длительная работа в солёной и солоноватой воде **ABYC**. Всё это — про коррозию: про

электролит, аноды и медленное растворение металла. Ток в воде — другая история, и её нельзя склеивать с этой.

Что не меняется

Провода и их сечение, защита от сверхтока и её расстояние от батареи, взрывозащищённость в отсеках с бензином, защитное отключение и порядок подключения берегового кабеля — ни один из стандартов, на которые опирается книга, не смягчает эти требования для пресной воды, и ни одно из них не написано «для моря». Соль в воздухе есть и на озере — меньше, но окисление контактов и капиллярный подсос влаги в кабель идут и там, просто медленнее. Поэтому лодка, которая «никогда не выйдет в море», строится и чинится по тем же правилам; разница между озером и морем — в анодах и в темпе, а не в правилах.

Что становится опаснее: ток в воде

Ток утечки переменного тока, ушедший в воду с лодки или с причала, ведёт себя в пресной и солёной воде противоположно. По данным EPA проводимость речной воды лежит в диапазоне от 50 до 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, то есть от 0.005 до 0.15 S/m ; проводимость стандартной морской воды по данным NOAA — около 4.3 S/m , в десятки и сотни раз выше. Проводимость мышечной ткани человека — около 0.36 S/m **PRACTICE**. Сравните: в морской воде тело проводит хуже воды в десять с лишним раз, и ток обтекает пловца, как обтекал бы камень; в речной воде тело проводит лучше воды в разы и десятки раз, и ток, растекающийся от источника, стягивается в него — человек становится проводником, замыкающим разность потенциалов между двумя точками воды. Тот же ток утечки, который в море растёкся бы незаметно, в озере создаёт у лодки градиент напряжения, и пловца парализует при токе, которого хватило бы разве что на покалывание в море.

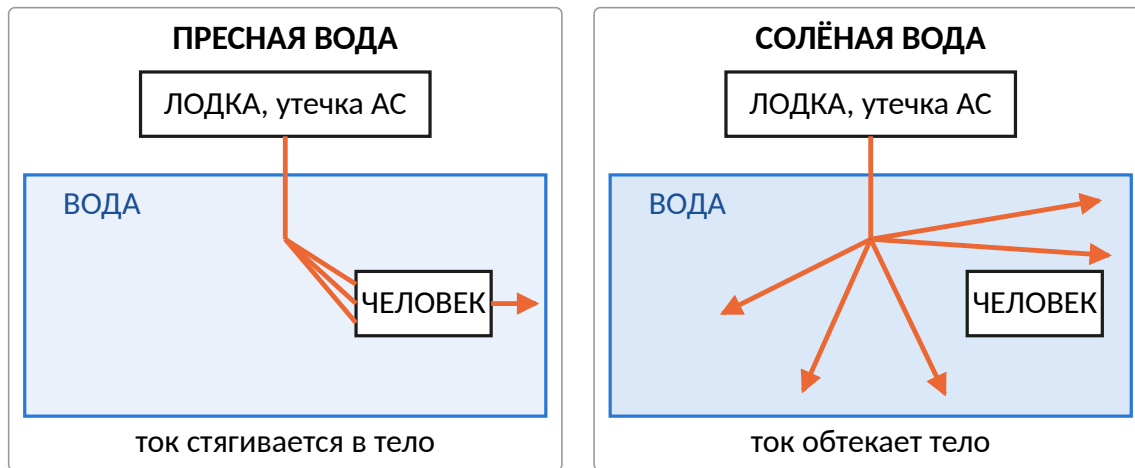


Рис. 1.3. Один и тот же ток утечки переменного тока с лодки в двух водах. В пресной воде тело проводит лучше воды, и линии тока сходятся в человека и проходят через него; в солёной вода проводит лучше тела, и ток обтекает его. Это не значит, что в море у причала можно плавать: это значит, что на озере тот же ток убивает.

ПОЧЕМУ ТАК

Ток делится между параллельными путями обратно пропорционально их сопротивлению. Пловец в воде — один из путей между двумя точками с разным потенциалом; вода вокруг него — другой. В морской воде путь «через воду» имеет сопротивление в десять с лишним раз ниже, чем путь «через тело», и тело получает малую долю тока. В речной воде наоборот: путь «через тело» ниже по сопротивлению в разы и десятки раз, и тело получает большую часть. Отсюда два следствия, которые кажутся противоречащими друг другу, но следуют из одной физики: в море из-за высокой проводимости ток утечки расходится и не создаёт градиента у лодки, а на озере тот же ток создаёт на длине тела градиент, которого хватает для паралича мышц. Граница модели: в море «безопасно» не становится — даже там, где правила купания у марин различают солёную и пресную воду, нырять под лодку на береговом питании запрещено и в солёной. Правило книги поэтому не «в море можно», а «на озере опаснее».

Из этого следует правило без исключений, и его стоит произнести отдельно, потому что оно противоречит интуиции. «Лодка только для озера» не означает «можно проще» — ни с проводами, ни с защитой, ни с береговым кабелем. Она означает, что утечка

переменного тока, которую в море никто бы не заметил, здесь убивает пловца у трапа. Поэтому на пресной воде защитное отключение на вводе, исправный защитный проводник и правило «у причала с электричеством не плавают» — не перестраховка, а единственная защита; что происходит физически, какие пороги и что делать, если человек в воде рядом с причалом, — → 17.5.

Признак контроля здесь тот же, что в карте → Табл. 1.1 · с. 4: вилка вынута из колонки и из ввода — снят берег; нажатая кнопка TEST на защитном отключении срабатывает — защита жива; взведите его: кнопкой RESET, если она есть, или рукояткой в ON.

1.6. Цена ошибки: что горит и что тонет

Во что обходится электрическая ошибка на лодке — и от чего на воде гибнут на самом деле? Здесь — статистика, и рядом с каждым числом — действие. Большинство чисел — из годового отчёта Береговой охраны США о происшествиях с прогулочными судами за 2024 год; границы этого отчёта важны не меньше самих чисел.

Что считает статистика и чего она не видит

За 2024 год отчёт насчитывает 3 887 происшествий, 556 погибших и 2 170 травмированных. В него попадает происшествие, при котором человек погиб или пропал, получил травму, потребовавшую помощи сверх первой, судно погибло целиком или ущерб превысил денежный порог отчётности. Это значит, что отчёт считает то, что случается при эксплуатации лодки и регистрируется, — и не считает двух вещей, которые для этой книги важнее всего. Отчёт прямо относит к происшествиям, не подлежащим отчёту, купание и ныряние с пришвартованной лодки и гибель пришвартованной лодки из-за отсутствия обслуживания: купальщик, поражённый током у причала, в эту статистику не попадает, лодка, тихо утонувшая у пирса без людей на борту, — тоже. Поэтому числа ниже — мера того, что происходит на ходу, а не мера того, как часто ток уходит в воду и как часто лодки тонут на стоянке.

Пять главных сопутствующих факторов по отчёту — невнимательность, отсутствие наблюдения, неопытность, отказ механизмов и нарушение правил расхождения: электрика в первой пятёрке не стоит. В таблице факторов «отказ электрической системы» назван первичным сопутствующим фактором 39 происшествий с одним погибшим и десятью травмированными. Что из этого следует для вас: электрика на лодке — не то, от чего гибнут на воде чаще всего; она — то, от чего горит лодка и от чего не срабатывает помпа, и обе эти вещи предотвращаются руками.

Что горит

Пожаров и взрывов в отчёте за год 208 — 124 от топлива в двигателе, 10 от топлива вне двигателя, 48 без участия топлива и 26 неустановленного происхождения; в них 2 погибших и 100 травмированных. Это около 5 % всех происшествий и меньше половины процента смертей: пожар на ходу редко убивает, но он частый и он уничтожает лодку — ущерб от двух сотен пожаров в отчёте почти вдвое больше, чем от полутора сотен затоплений. Действие из этого числа одно: пожар на лодке — событие первых минут. Испытания фонда по безопасности на воде дают порядок времени — три-четыре минуты от первого дыма до момента, когда придётся покинуть лодку, и «клуб дыма и запах горелого» как то, с чего пожар обнаруживают чаще всего **PRACTICE**. Поэтому аварийная страница о дыме начинается со снятия тока, а не с поиска огнетушителя: пока ток идёт, изоляция продолжает греться, и снятый ток убирает причину, хотя то, что уже горит, гореть не перестанет → аварийная страница «Дым».

Где именно начинаются пожары, статистика регистрируемых происшествий не говорит — это видно по страховым делам. По анализу дел одного крупного страховщика около четверти пожаров приходит на лодку извне — с соседней лодки, с причала, из здания; из остальных больше половины начинаются в электрике самой лодки: жгуты двигателя, прочая проводка постоянного тока, сторона переменного тока и батареи — вместе около 55 % всех пожаров, то есть примерно три четверти тех, что начались на самой

лодке **PRACTICE**. Внутри этой доли названы четыре типичных места, и у каждого есть действие. Старые жгуты двигателя на лодках старше двадцати пяти лет — осмотр жгута на перетирание и нагрев, замена по состоянию, а не по возрасту → 5.8. Ошибки при установке батарей — перепутанные плюс и минус, неверное соединение в группу — порядок подключения и проверка полярности до того, как ставится последняя клемма → 6.5. Участок от причальной колонки до бортового ввода, где начинается большинство пожаров переменного тока, — осмотр вилки, розетки и ввода на потемнение и оплавление при каждом подключении → 17.2. Регулятор напряжения старого подвесного мотора — проверка напряжения заряда на клеммах при работающем моторе → 9.1.

Физика всех четырёх мест одна: плохой контакт под рабочим током. Соединение, у которого сопротивление выросло до сотых долей ома, под током в сотни ампер греется как паяльник — расчёт → «Цифры» 1.6, — и ищется оно только падением напряжения под реальной нагрузкой, потому что омметр сотых долей ома не видит → 3.4. Береговая охрана в предупреждении по итогам пожара литиевого банка на судне называет ту же причину: плохо обжатые наконечники, перегревшиеся под током, — и указывает, что газы теплового разгона превышают пороги, опасные для жизни.

ЦИФРЫ

Плохой контакт: $0.01\ \Omega$ под $200\ \text{A}$ — $2\ \text{V}$ и $400\ \text{W}$ в одной точке, столько отдаёт паяльник; расчёт и что с этим делать — → 3.1.

Почему на лодке считают амперы, а не ватты. Домашний автомат $16\ \text{A}$ при $230\ \text{V}$ — это $3.7\ \text{kW}$; в сети $120\ \text{V}$ автомат $15\ \text{A}$ — $1.8\ \text{kW}$. Пусть трюмная помпа берёт $8\ \text{A}$ при $12\ \text{V}$ — это $96\ \text{W}$. Ток того же порядка, мощность в двадцать-сорок раз меньше: греет провод и теряет напряжение именно ток, и поэтому провод для помпы на $96\ \text{W}$ оказывается толще, чем провод для чайника на $2\ \text{kW}$ в доме → 5.4.

ЦИФРЫ

Энергия и опасность — не одно и то же. Пусть бортовой банк 200 Ah при 12 V. Его энергия $200 \cdot 12 = 2\,400\text{ Wh}$, или 2.4 kWh — столько за час потребляет обогреватель на 2.4 kW, и столько же хватит на 25 часов работы трюмной помпы $8\text{ A} \cdot 12\text{ V} = 96\text{ W}$. Тот же 200 Ah при 24 V — уже 4 800 Wh: поэтому при нескольких напряжениях энергия считается в ватт-часах, а не в ампер-часах.

Опасность банка при этом определяется не энергией, а током короткого замыкания: та же батарея AGM с пластинами чистого свинца на 100 Ah, что в разделе → 1.1 · с. 2, по данным изготовителя отдаёт в короткое замыкание 5 000 A **MFR**.

Пусть напряжение на клеммах 12.8 V: паспортному току 5 000 A отвечает сопротивление $12.8 / 5\,000 \approx 2.6\text{ m}\Omega$. Пусть ключ вместе с контактами на клеммах добавляет к цепи 0.3 mΩ: ток через него $12.8 / (0.0026 + 0.0003) \approx 4\,400\text{ A}$; мощность в ключе $4\,400^2 \cdot 0.0003 \approx 5.8\text{ kW}$, в самой батарее — около 50 kW. Это не «сгоревший предохранитель» — это сварочная дуга, и участок между клеммой и защитой ничем не ограничен.

Что тонет

В отчёте за год 162 затопления с 14 погибшими, 262 захлёстывания с 57 и 202 опрокидывания с 111 — вместе 182 погибших из 556, каждый третий. Главная причина смерти на воде — утопление, 365 из 556, и большинство утонувших были без спасательного жилета; это не электрическое число, и стоит оно здесь ради одного действия, которое дешевле любого провода: жилет на человеке, а не в рундуке. Электрическое число — другое, и оно снова не из отчёта: по данным фонда по безопасности на воде, на каждую лодку, утонувшую в открытой воде, приходится четыре утонувших у причала; около половины затоплений у причала начинается с подводной арматуры — чаще всего с сальника вала, — ещё около трети даёт дождь и снег **PRACTICE**. И — помпа не причина, а маскировка: работающая помпа днями откачивает течь, которую никто не ищет, пока не забьётся сетка или не сядет батарея, и тогда лодка тонет за одну ночь.

Действие из этого числа — вся глава о помпе, и три её опоры называются здесь: питание помпы в обход выключателя через собственную защиту у батареи, чтобы она работала, когда вас нет → 12.2; заряд батареи на стоянке, чтобы было чем работать → 7.4; и поплавков, который не залип, — проверка ведром воды раз в месяц, а не тумблером → 12.7. Признак контроля — помпа включается сама от поднятого рукой поплавок и вода уходит за борт.

Что вы теперь умеете предотвратить

Пожар, начавшийся на самой лодке, чаще всего начинается в электрике, и все четыре типичных места находятся осмотром и одним измерением, которому посвящена третья глава. Лодки тонут у причала чаще, чем в море, и электрическая часть этого закрывается одной правильно собранной цепью помпы. Ток в воде статистика не видит — и именно поэтому его предотвращение целиком на вас: защитное отключение на вводе, исправный защитный проводник, никакого купания у причала с электричеством. Всё это — не «меньше риска», а конкретные действия, и каждое из них в книге имеет своё место.

1.7. Карта систем на борту и порядок обесточивания

Откуда на вашей лодке приходит энергия, где она хранится, куда уходит — и как снять её всю, чтобы фраза «лодка обесточена» была правдой? В доме на этот вопрос отвечает один щиток. На лодке ответ — карта: перечень источников, у каждого — чем он снимается, и отдельный список того, что остаётся под напряжением, когда выключатель батареи в OFF. Этот раздел — полный разбор карты, которая в краткой форме стоит на аварийной странице «Обесточить лодку», и три сценария, в которых она применяется.

ГЛАВНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ НЕ ЗНАЧИТ «НЕТ НАПРЯЖЕНИЯ НИГДЕ»

Главный выключатель — он же выключатель батареи (battery switch) — снимает напряжение с того, что подключено после него, и только с этого. Кабель от клеммы батареи до выключателя, клеммы самой батареи, цепи в обход выключателя, второй банк, инвертор, солнечный контроллер с обеих сторон и бортовой ввод живут при любом его положении. На клеммах батареи напряжение есть всегда — это норма, и поэтому работа инструментом на клеммах — уровень «Мастер» → 1.8 · с. 47. «Лодка обесточена» подтверждается только после того, как снят каждый источник по карте, и только прибором.

Откуда приходит энергия: источники

Источник — это всё, что нужно снять отдельным действием. Считайте именно так, а не по приборам, потому что число приборов ничего не говорит о числе мест, откуда может прийти ток. На типовой лодке их набирается до восьми, а с двумя бортовыми вводами — девять: каждый банк батарей — отдельно стартерный и бортовой; берег — бортовых вводов бывает два; инвертор; генераторная установка; солнечные панели; ветрогенератор; двигатель на ходу. Зарядное устройство отдельного действия не требует: сняты берег и генераторная установка — оно перестаёт заряжать. Но его выходные клеммы соединены с батареей через свою защиту и остаются под её напряжением, как и клеммы самой батареи. Реле разделения заряда (ACR) и преобразователь DC-DC между банками гаснут вместе с обоими банками и источниками не считаются; если они подключены до выключателей, через свои предохранители у батарей, — так бывает чаще всего **PRACTICE**, — их клеммы живы, пока жив хоть один банк; считайте так, пока не проверили по своей схеме. Как узнать каждый узел в лицо и посчитать источники именно вашей лодки — → 2.1, → 2.2; результат записывается в паспорт лодки → 2.3.

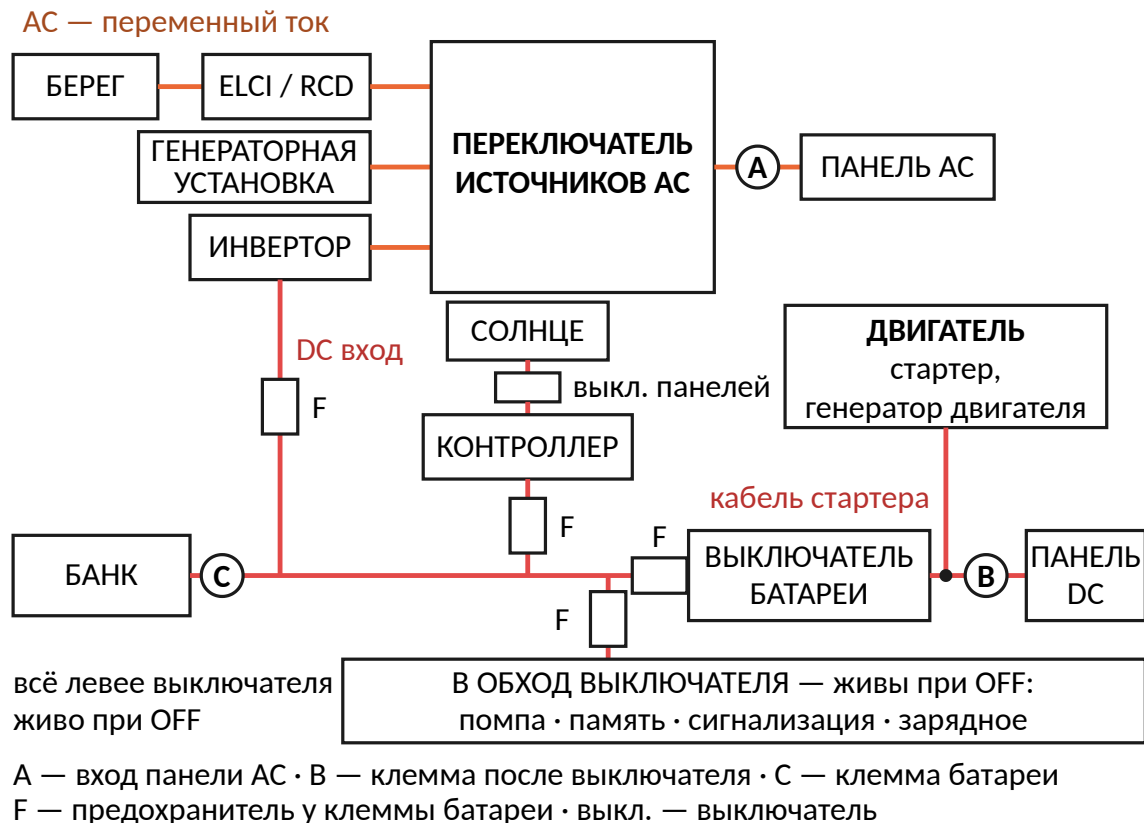


Рис. 1.4. Карта источников типовой лодки. Всё левее выключателя батареи — клеммы банка (C), инвертор, солнечный контроллер, цепи в обход выключателя — живёт при OFF. Двигатель подключён к клемме выключателя со стороны панели: работающий генератор двигателя держит под напряжением точку B и при OFF, а батарею теряет — поэтому на работающем двигателе выключатель батареи не трогают. Сторона переменного тока живёт независимо от выключателя батареи. 0 V в точке A подтверждает только то, что панель переменного тока не питается ни от одного входа в текущем положении переключателя: невыбранный вход может оставаться живым; поэтому каждый из трёх источников снимается своим действием, и только потом 0 V в A подтверждает результат. Ветрогенератор, реле и преобразователь между банками не показаны: считайте их подключёнными до выключателей, пока не проверили по своей схеме.

Что живёт в обход выключателя и почему

Часть цепей подключена до выключателя намеренно, и стандарт это разрешает при одном условии. По АВУС на стороне батареи выключателя допускаются электроника с постоянно питаемой памятью, оборудование безопасности — трюмные помпы, сигнализация, детекторы угарного газа, вентиляторы трюма — и зарядные устройства **АВУС**.

По ISO выключатель батареи не обязан разрывать электронику с защищённой памятью и защитные устройства вроде трюмных помп и сигнализации, вентилятор моторного и топливного отсека и зарядные устройства, рассчитанные на работу без людей на борту — солнечные панели, ветрогенераторы, — при условии, что каждая такая цепь защищена своим предохранителем или автоматом как можно ближе к клемме батареи **ISO**. Условие — не формальность: цепь, которая живёт всегда, и защиту обязана иметь свою, потому что главный предохранитель её не закрывает. Так в обход выключателя оказываются помпа, память приборов, сигнализация, зарядное устройство и солнечный контроллер — и у каждого свой предохранитель у батареи. Как эта защита устроена и как её проверить — → 8.2, цепь помпы полностью — → 12.2.

Два источника ведут себя так, что об этом стоит сказать отдельно. Инвертор: его клеммы постоянного тока остаются под напряжением и у выключенного аппарата, а выход переменного тока живёт, пока работает инвертор, — при любом положении выключателя берега; изготовитель прямо предупреждает, что опасное напряжение на входных и выходных клеммах возможно и при выключенном оборудовании, и что при пропадании берега или генераторной установки инвертор в режиме ожидания включается автоматически **MFR**. Поэтому снятый берег сам по себе лодку не обесточивает: вынутая вилка говорит только о береге, а розетки при этом держит инвертор — пока к нему подключена батарея. Снимается он двумя действиями: сначала его собственный выключатель в OFF, затем его предохранитель у батареи; предохранитель, прижатый гайкой на шпильке, снимает мастер → 1.8 · с. 47.

Солнечный контроллер: у него два входа, и выключатель батареи не действует ни на один. Его предохранитель у батареи снимает сторону батареи; сторона солнечных панелей остаётся живой, пока панель освещена, — изготовитель требует накрывать модули при монтаже и при выключении отключать сначала сторону панелей, затем сторону батареи **MFR**. Солнечная панель даёт напряжение

при любом свете, и облака её не выключают; снимается она выключателем на линии от панелей или укрытием.

Таблица 1.5. Источник — чем снимается — что остаётся живым после этого

Источник	Чем снимается	Что остаётся живым
Берег	Выключатель берега на панели переменного тока OFF, автомат на колонке OFF, вилка из колонки; вводов бывает два	Инвертор, если он есть; всё постоянное
Инвертор	Свой выключатель OFF, затем предохранитель у батареи: держатель без ключа — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла; на шпильке под гайкой — мастер	Его клеммы до предохранителя; берег, если подключён
Солнечные панели	Выключатель на линии от панелей или укрыть; предохранитель у батареи снимает только сторону батареи	Сторона панелей — до укрытия или выключателя
Ветрогенератор	Выключатель или тормоз по руководству изготовителя; предохранитель у батареи снимает только сторону батареи	Сторона ветрогенератора — пока крутится
Каждый банк	Свой выключатель батареи OFF; литиевый — ещё и своя защита	Клеммы банка и всё до выключателя: цепи в обход выключателя, инвертор, контроллер, реле и преобразователь между банками
Реле или преобразователь между банками	Своими предохранителями у батарей; подключены до выключателей — считайте так, пока не проверили по своей схеме	Клеммы живы, пока жив хоть один банк
Цепи в обход выключателя: помпа, память, сигнализация, зарядное	Только своими предохранителями у батареи	Всё остальное на стороне батареи

Источник	Чем снимается	Что остаётся живым
Двигатель и генераторная установка	Заглушить	Пока работают — дают ток мимо выключателя

Предохранитель у батареи — сами только из держателя без ключа: кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла; на шпильке под гайкой — мастер → 1.8 · с. 47.

Ещё одно правило, и оно не про обесточивание, а про его противоположность: на работающем двигателе выключатель батареи не трогают. Почему — видно на Рис. 1.4 · с. 39: генератор двигателя подключён к клемме выключателя со стороны панели, туда же, куда кабель стартера, и заряжает банк через выключатель. Генератор двигателя в этот момент отдаёт ток, и если батарею, которая его принимала, убрать из цепи, напряжение на его выходе подскакивает за миллисекунды, и его выпрямитель пробивается — это бросок напряжения на разорванной цепи (load dump). Полный разбор, включая то, чем отличается переключение между банками от положения OFF, — → 8.5, → 9.1; здесь правило без оговорок: двигатель заглушен — потом выключатель.

Три сценария

Карта одна, но порядок действий по ней — три разных, потому что цель разная: в пожаре надо снять всё и быстро, при воде — снять всё, кроме помпы, при обслуживании — снять всё и доказать это прибором. Порядок на аварийной странице и здесь один и тот же; здесь добавлены причины.

ПОЖАР: СНЯТЬ ВСЁ, НАЧИНАЯ С ТОГО, ЧТО ДАЁТ ТОК МИМО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

1. Двигатель и генераторную установку заглушить: пока они работают, они дают ток мимо любого выключателя.
2. Выключатели всех банков — OFF: это снимает панель постоянного тока и всё за ней; вместе с ними гаснет стационарная радиостанция: вызов по VHF — до этого шага или с носимой станцией.

3. Инвертор — OFF: розетки перестают быть под напряжением.
4. Берег: выключатель берега на панели переменного тока OFF, автомат на колонке OFF, вилка из колонки.
5. Солнечные панели — OFF на линии от них или накрыть.

Помпу оставить, если в лодке вода: она питается в обход выключателя и продолжит работать. В отсек с дымом за предохранителями цепей в обход выключателя не лезть — снятый ток убирает причину нагрева, но то, что уже горит, гореть не перестанет. Дальше — аварийная страница «Дым», полный разбор — → 19.6.

ВОДА В ЛОДКЕ: СНЯТЬ ВСЁ, КРОМЕ ПОМПЫ

1. Помпу оставить — обход выключателя для того и существует; переключатель помпы на панели постоянного тока — в ручной режим (переключатель, который сам возвращается в OFF, держат рукой или оставляют в AUTO).
2. Берег: выключатель берега на панели переменного тока OFF, автомат на колонке OFF, вилка из колонки. Вода и переменный ток в одном трюме — первая угроза карты → Табл. 1.1 · с. 4.
3. Инвертор — OFF.
4. Генераторная установка — заглушить.
5. Выключатели банков — только при заглушенном двигателе. Идёте к берегу своим ходом — выключатели не трогаете до остановки двигателя: снятый на ходу банк оставляет генератор двигателя без батареи, а воду с клемм выключатель не снимает. Двигатель заглушен — снимайте банки, к батареям которых подходит вода; в батарейный отсек, где вода дошла до клемм, не лезть.

Что при этом не опасно: бортовая сеть 12 или 24 V в трюмной воде током не бьёт. Опасен переменный ток — берег, инвертор, генераторная установка — и клеммы батареи, до которых вода

не должна доходить. Дальше — аварийная страница «Вода в лодке», полный разбор — → 12.1.

ОБСЛУЖИВАНИЕ: СНЯТЬ ВСЁ И ПОДТВЕРДИТЬ ПРИБОРОМ

1. Запишите положение всех выключателей и что горит на панели постоянного тока: по этой записи вы вернёте лодку в рабочее состояние.
2. Двигатель и генераторную установку заглушить.
3. Берег: выключатель берега на панели переменного тока OFF, автомат на колонке OFF, вилка из колонки, затем из ввода на лодке. Отключается сначала со стороны берега, чтобы у вас в руках никогда не оказалась вилка под напряжением.
4. Инвертор — OFF, затем снять его предохранитель у батареи, если держатель открывается без ключа, — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла: клеммы инвертора живы и у выключенного. Предохранитель, прижатый гайкой на шпильке, снимает мастер → 1.8 · с. 47; до этого клеммы и кабель инвертора считаются живыми.
5. Солнечные панели — отключить выключателем на линии от них или накрыть; затем предохранитель контроллера у батареи — при том же условии.
6. Выключатели всех банков — OFF.
7. Снять предохранители цепей в обход выключателя у батареи, если дальше работа на этих цепях после их предохранителя: помпа может запуститься от поплавка у вас под рукой. Держатель открывается без ключа; условие — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла → 1.8 · с. 47; предохранитель, прижатый гайкой на шпильке, снимает мастер.

8. Прибором не ниже CAT III 600 V **MFR**, проверенным на заведомо живом источнике до и после измерения, щупы одной рукой, вторая не касается металла: 0 V переменного на входе панели переменного тока — точка А на Рис. 1.4 · с. 39, после переключателя источников; в режиме LoZ — доли вольта; вольт и больше — источник не снят. 0 V постоянного на клемме выключателя со стороны панели — точка В. На клеммах батареи, точка С, напряжение есть всегда — это норма.

Работа инструментом на самих клеммах батареи, на кабеле до выключателя и на цепях в обход выключателя до их предохранителя — работа под напряжением, которое нельзя снять, и она отнесена мастеру, как и снятие предохранителя, прижатого гайкой на шпильке у батареи; предохранитель из держателя, который открывается без ключа, вы снимаете сами при условии, названном в шаге 7 и в разделе → 1.8 · с. 47. Как измерять безопасно и что такое проверка на заведомо живом источнике — → 3.7.

ВЕРНУТЬ ЛОДКУ В РАБОЧЕЕ СОСТОЯНИЕ

В обратном порядке: предохранители у батареи — цепей в обход выключателя, контроллера, инвертора — ставите сами только в держатель, который открывается без ключа, и при том же условии: кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла; предохранитель, прижатый гайкой на шпильке, ставит мастер. Выключатели банков — в записанное рабочее положение, двигатель заглушен; солнечные панели; выключатель инвертора; берег последним — вилка в лодку, затем в колонку, автомат на колонке ON, выключатель берега на панели переменного тока ON. Помпу — в автоматический режим и проверить её автоматический пуск: поплавков — рукой, электронный датчик — водой или кнопкой проверки. Сверить панель постоянного тока с записью, сделанной в шаге 1; после пожара или воды положение до события известно по паспорту лодки.

ЕСЛИ ЛОДКЕ 20–40 ЛЕТ

1. Проверить первым: что осталось живым при выключателе в OFF (двигатель заглушен, берег снят, зарядное выключено) — и есть ли у каждой такой цепи свой предохранитель у батареи.
2. Менять первым, если нашли: цепь в обход выключателя без своей защиты — защиту у батареи → 4.2; помпу, подключённую после выключателя, — на питание в обход → 12.2.
3. Может не оказаться выключателя на линии от солнечных панелей и отдельного предохранителя у инвертора: признак — от контроллера и от инвертора к батарее идёт провод без держателя предохранителя по всей видимой длине. Тогда солнечные панели снимаются только укрытием, а инвертор до установки защиты считается живым всегда.

НА ЧУЖОЙ ЛОДКЕ

1. Найти: выключатели каждого банка, выключатель берега и вилку, выключатель инвертора, линию от солнечных панелей.
2. Проверить: при выключателях всех банков в OFF (двигатель заглушен, берег снят) — что на панели постоянного тока осталось живым; это и есть цепи в обход выключателя на этой лодке.
3. Не трогать: предохранители у батарей, клеммы, кабели инвертора и контроллера — снимать их на чужой лодке нельзя, потому что проверить результат вам нечем и следующий экипаж об этом не узнает.
4. Сказать базе: «выключатели банков в OFF, живыми остались помпа и магнитола; отдельного выключателя на линии от солнечных панелей нет» — чтобы база знала, что у лодки снимается, а что нет.

Как это проверить на своей лодке без прибора: двигатель заглушен, зарядное выключено, берег снят (панель OFF, колонка OFF, вилка вынута), солнечный контроллер выключен или солнечная панель накрыта, крупные потребители выключены — поверните выключатели всех банков в OFF (при втором банке в ON реле или преобразователь между банками питает часть цепей, и запись будет

ложной) и посмотрите, что на панели постоянного тока осталось живым. Это самая ценная запись обхода лодки → 2.1, и она же — ваша личная карта источников; всё, что при этом живо, идёт в паспорт лодки отдельным полем «цепи в обход выключателей» → 2.3. Верните выключатели в записанное положение сразу.

1.8. Сам или мастер

Какую работу на лодке вы делаете сами, а какую заказываете — и как это решить, не будучи электриком? Граница проходит не по сложности работы и не по вашему опыту. Она проходит по четырём наблюдаемым признакам, и каждый из них вы можете проверить на месте, ничего не зная о самой работе. Если хотя бы один признак есть — работа не для вас; если нет ни одного — вы делаете её сами, при условии, которое названо рядом. Блоки «Сам или мастер» в остальных главах построены по этим четырём признакам.

ЧЕТЫРЕ ПРИЗНАКА, ЧТО РАБОТА НЕ ДЛЯ ВАС

Первый: энергию нельзя выключить и проверить отсутствие напряжения — клеммы батареи, кабель до выключателя, цепи в обход выключателя до их предохранителя, сторона переменного тока, у которой вы не можете снять все источники. Второй: результат нельзя подтвердить измерением — нет прибора для этого измерения, нет нагрузки, под которой его делают, или нет прежнего состояния, с которым сравнивать, как на чужой лодке. Третий: последствие ошибки отложено и невидимо — коррозия, тление, деградация изоляции: минус на корпусе «работает» сезон, а транец растворяется. Четвёртый: работа меняет статус лодки у страховщика или по нормам — переход на литий, любая переделка стороны переменного тока, смена типа или номинала главной защиты. Уровней четыре: СТОП · Мастер · Сам при условии · Сам.

Таблица 1.6. Четыре уровня и что обязано стоять рядом с каждым

Уровень	Что это значит	Что обязано стоять рядом
СТОП	Не трогать под напряжением никогда; ситуация угрожает жизни или лодке прямо сейчас	«Что сделать в эту минуту» — одно действие и признак контроля; дальше — аварийная страница
Мастер	Делает специалист: есть хотя бы один из четырёх признаков	Что именно опасно · «Если мастера нет» — что делать в автономке, ночью, в чужой стране · «Заказать словами» и по каким двум-трём признакам принять · «Когда мастер вправе отступить от правила книги» и как это увидеть
Сам при условии	Вы делаете сами, если выполнено названное условие — снятый источник, проверенный 0 V, прибор, которым проверяется результат	Условие — одной фразой, рядом с действием, а не ссылкой
Сам	Ни одного из четырёх признаков нет	Перечень действий

ПОЧЕМУ ТАК

Почему именно эти четыре признака, а не «сложность». Сложность — свойство работы; четыре признака — свойства проверки. Первый и второй говорят о том, можете ли вы убедиться, что не пострадаете и что сделали правильно: работа, которую нельзя обесточить, и результат, который нельзя измерить, не проверяются ничем, кроме опыта, а опыта именно в этой работе у вас меньше, чем у мастера. Третий говорит о времени: ошибку, которая проявится через сезон, вы не увидите, пока она не станет дорогой, и «всё работает» ничего не доказывает. Четвёртый — о последствиях вне лодки: работа, после которой страховщик или норма смотрит на лодку иначе, требует документа, который вы себе не выпишете. Граница признаков: они говорят «не сам», но не «невозможно» — в автономке уровень «Мастер» превращается в строку «если мастера нет».

Четыре уровня на примерах этой главы

САМ ИЛИ МАСТЕР · ГРАНИЦА КНИГИ

СТОП · Покалывание в воде у причала; дым или запах горелой изоляции; запах серы, шипение или горячий корпус батареи; вода в батарейном отсеке дошла до клемм.

Что сделать в эту минуту: В воде — выпрямиться и уходить к берегу, не к трапу; с причала — в воду не входить; автомат на колонке OFF, вилка из колонки; не знаете, от какой лодки ток, — зовите персонал причала отключить питание причала. Дым — снять ток по порядку пожара → 1.7 · с. 37. Батарея — заряд и нагрузку снять: зарядное OFF, берег (панель OFF, колонка OFF, вилка из колонки), двигатель заглушить, солнечные панели отключить или накрыть; людей из отсека, отсек проветрить; выключатель банка — OFF, если он вне этого отсека; в отсеке, где пахнет газом, — только после проветривания. Вода у клемм — берег: панель OFF, колонка OFF, вилка из колонки; инвертор OFF, генераторная установка заглушена, в отсек не лезть. Дальше — аварийные страницы: «Ударило током», «Дым», «Батарея», «Вода в лодке».

МАСТЕР · Снятие и установка наконечников, ослабление и переделка соединений — любая работа инструментом на клеммах батареи, на шпильках держателей предохранителей у батареи, на кабеле до выключателя и на цепях в обход выключателя до их предохранителя: эти участки нельзя обесточить, а ток короткого замыкания здесь — тысячи ампер. Сюда же — снятие предохранителя, прижатого гайкой на шпильке у батареи (ANL, MEGA, MRBF, Class T), и замена главной защиты банка: её держатель стоит на клемме или на кабеле до выключателя, которые нельзя обесточить, — первый признак; сработавшую главную защиту до мастера не взводят и не меняют. Любая работа внутри стороны переменного тока — от ввода до розеток. Проверка изоляции мегомметром: он даёт на кабель сотни вольт и применяется только на кабеле, отсоединённом с обоих концов, без электроники, датчиков и помп, — на собранной цепи никогда; это граница самостоятельных работ в этой книге → 3.7. Смена типа или номинала главной защиты, переход на литий и любая переделка стороны переменного тока меняют статус лодки — четвёртый признак.

Если мастера нет: Не делайте работу «наполовину»: незащищённый плюс не нагружайте и запишите первой строкой в паспорт; исключение — трюмная помпа: изоляция цела, провод не трётся о металл и не лежит в воде — оставьте её работать → 12.8; клемму под напряжением не снимайте и не подтягивайте, пока без этого можно обойтись; если нельзя — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, один ключ, минус всего банка первым на выход и последним на вход → 1.1 · с. 2. Предохранитель на шпильке у батареи — ANL, MEGA, Class T или MRBF на клемме, — сгоревший впервые, например у трюмной помпы, — при тех же условиях: кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, один ключ, двух точек сразу не касаться, минус всего банка первым на выход и последним на вход; тот же номинал и тип; сгорел снова — не ставить. Сработала главная защита банка — панель остаётся без питания, выключатель батареи в OFF, трюмная помпа работает по цепи в обход выключателя → 12.1. Сторону переменного тока снимите всю по карте → 1.7 · с. 37 и пользуйтесь лодкой без неё — бортовая сеть 12 или 24 V работает и без берега. В автономке — временное восстановление функции с записью «что сделать по возвращении» → 19.5.

Когда мастер вправе отступить: Поставить защиту дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm) от клеммы, если ближе её поставить нельзя и весь участок до неё идёт в сплошной трубчатой оболочке — гофре, трубке, коробе или закрытой панели без разрывов; изолента оболочкой не считается: до 72 in (1.83 m; ISO — 1.8 m), если провод подключён прямо на клемму батареи, и до 40 in (1.02 m; ISO — 1 m) от другого источника — шины, клеммы выключателя **ABYC**; защита и тогда стоит как можно ближе к источнику, и вы это увидите по гофре или коробу без разрывов. Кабель стартера без защиты — не отступление, а исключение самих норм: из проводов, которые уходят от батареи, без защиты может идти только кабель стартера — прямо или через выключатель батареи; его узнают, проследив до втягивающего реле стартера, а не по толщине → 4.2. Любое отступление названо словами, показано на лодке и записано в паспорт с причиной.

САМ ПРИ УСЛОВИИ · Прослеживание проводов, чтение этикеток и фотографирование — при условии, что вы ничего не отсоединяете и сторона переменного тока снята по карте → 1.7 · с. 37: берег (панель

OFF, колонка OFF, вилка из колонки), инвертор OFF, генераторная установка заглушена. Работа на цепи после выключателя — замена предохранителя таким же номиналом и типом, подтяжка клеммы на панели постоянного тока, замена прибора на такой же — при условии, что выключатель в OFF и на клемме выключателя со стороны панели, точка В на Рис. 1.4 · с. 39, прибор показал 0 V. Снять или заменить предохранитель у батареи — инвертора, контроллера, цепи в обход выключателя — из держателя, который открывается без ключа: крышку снимают рукой, вставку вынимают рукой или съёмником, — при условии, что кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла; для замены — предохранитель сгорел впервые или причина найдена, тот же номинал и тип. Предохранитель, прижатый гайкой на шпильке, — ANL, MEGA, MRBF, Class T — снимается ключом на шпильке под напряжением батареи: это работа на клемме, уровень «Мастер». Измерение напряжения на клеммах батареи — при условии, что кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом. Измерение 0 V на входе панели переменного тока — при условии, что все источники переменного тока сняты по карте → 1.7 · с. 37, прибор не ниже CAT III 600 V **MFR** проверен на заведомо живом источнике до и после измерения, вы держите щупы одной рукой, а вторая не касается металла → 3.7; показание — 0 V, в режиме LoZ — доли вольта; вольт и больше — источник не снят.

CAM · Обход лодки, паспорт, фотографии, осмотр разъёмов и ввода на потемнение, проверка помпы ведром воды, укрытие солнечной панели, отключение берегового кабеля в правильном порядке, чтение этой книги.

На чужой лодке уровней три, а не четыре: кнопки и выключатели — да; инструмент — нет, потому что последствия достанутся следующему экипажу, а проверить результат вам нечем; серая зона — только с разрешения базы по телефону. Полный разбор — → 2.6.

Работа с мастером: заказать словами, проверить по признакам

Половина работы с мастером делается до того, как он поднимется на борт, и делается она словами. Мастер, которому сказали «у меня

что-то с электрикой», начинает с обхода лодки за ваш счёт; мастер, которому дали паспорт лодки и назвали симптом словами и числом, начинает с дела. Пять вопросов, на которые вы отвечаете себе до заказа: что именно не так — симптом словами и то, что вы уже измерили или проверили; что стоит на лодке — источники, банки, выключатели, цепи в обход выключателя, по паспорту → 2.3; что должно быть в результате — не «починить», а функция: помпа включается от поплавка, банк заряжается до заданного напряжения, защита стоит у клеммы; как результат будет проверен и показан вам; что будет записано — маркировка на лодке и обновлённый паспорт.

В предложении мастера обязаны быть три вещи, и без любой из них это не предложение, а обещание: перечень работ с номиналами и сечениями — «защита 100 А у клеммы бортового банка, провод 4 AWG (21 mm²)», а не «сделаю защиту»; способ проверки — какое измерение будет сделано и какое число ожидается; и что будет промаркировано и внесено в паспорт. Вы вправе попросить показать измерение: падение напряжения на новом соединении под рабочим током, напряжение на клеммах при работающем зарядном, 0 V там, где обещано 0 V. Просьба показать измерение не обижает мастера, который его сделал; она смущает только того, кто не делал.

Приёмка без прибора: держатель защиты стоит на видном месте и его номинал читается; расстояние от клеммы видно глазами и совпадает с обещанным; каждая новая цепь подписана на обоих концах; функция работает — помпа от поплавка, свет от выключателя, заряд по индикатору; паспорт обновлён в тот же день. Приёмка с прибором: падение напряжения на новом соединении под нагрузкой — милливольты, а не десятые доли вольта → 3.4; напряжение заряда на клеммах банка при работающем источнике — в диапазоне изготовителя батареи; на клемме выключателя со стороны панели при OFF — 0 V. Критерий «работа не принята» один на всю книгу: нет функциональной проверки, нет маркировки, не обновлён паспорт, результат не объяснён → 18.6.

Красные флаги — то, что произносится вслух и после чего работу этому мастеру не отдадут: «поставим номинал побольше, чтобы не выбивало» — защита выбирается по проводу, а не по симптому; «минус кинем на корпус, так проще» — на алюминиевой лодке это ошибка, а на любой другой — признак автомобильной привычки; «прозвоню всё мегомметром» на собранной лодке — сожжённая электроника; «сделаю, как делаю всегда» без числа и без измерения; отказ показать измерение.

ЧТО СКАЗАТЬ МАСТЕРУ

Заказать словами: «Лодка 26 ft (7.9 m), стационарный бензиновый двигатель, два банка — стартерный свинцовый с пробками 100 Ah и бортовой AGM 200 Ah, реле разделения заряда, бортовой ввод один, инвертора нет. При выключателе в OFF живыми остаются помпа и магнитола; у помпы предохранителя у батареи не нашёл. Нужно: поставить защиту на цепь помпы у клеммы бортового банка — как можно ближе, не дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm) по проводу; номинал по триаде — не меньше тока помпы, не больше допустимого тока самого тонкого провода цепи и не больше номинала, который требует изготовитель помпы; показать падение напряжения на новом держателе под работающей помпой — поплавков поднять рукой; подписать цепь; я внесу в паспорт при вас». Принять по трём признакам: держатель у клеммы, номинал читается на держателе и проходит триаду → 4.3; помпа включается от поплавка при выключателе в OFF и в ON; на новом держателе под работающей помпой — милливольты.

1.9. По какой норме написана книга

По какой норме написана книга, если читать её будут у разных причалов и на лодках, построенных по разным правилам, — и что значит число с пометкой? Ответ в одну формулу: нормативная база следует за лодкой, сеть — за причалом, право — за страной. Книга написана по ABYC — отраслевому стандарту, который нигде не является законом и на который опирается строительство и ремонт прогулочных лодок в Северной Америке; там, где ISO даёт другое

число или другое правило, оно стоит рядом в той же строке, и применяется более строгое из двух. Две системы сети мира — 120/240 V, 60 Hz и 230 V / 50 Hz — стоят в книге равноправно, и какая из них у вашего причала, определяется по колонке, а не по стране → 17.1. Право — налоги, лицензии, кто вправе делать какую работу — за страной, и в книге его нет.

Три документа и что каждый из них покрывает

ABYC E-11 — стандарт по электрическим системам переменного и постоянного тока на лодках. Его область: системы переменного тока частотой 50 или 60 Hz напряжением ниже 300 V, включая береговое питание вплоть до точки подключения к береговой розетке и сам береговой кабель, и системы постоянного тока номиналом 60 V и ниже; из области исключены проводники внутри кожуха подвесного мотора и системы управления двигателем, поставленные его изготовителем **ABYC**. Обе частоты стоят в области применения прямо — это одна из причин, по которой стандарт годится как опора для вас у любого причала. Рядом с E-11 — E-2 по катодной защите и E-13 по литиевым батареям; какой документ за что отвечает, → Прил. E.

33 CFR, часть 183, подчасть I — федеральный регламент с техническими требованиями к электрической системе лодки: он распространяется на лодки с бензиновым двигателем — кроме подвесных моторов — для выработки электроэнергии, привода механизмов или движения, и не затрагивает компоненты самого подвесного мотора и переносное оборудование **CFR**. На дизельной лодке и на лодке только с подвесными моторами те же требования действуют как стандарт отрасли — ABYC, а не как регламент. Как регламент он действует в США, где принят; в любой другой стране это техническое требование к лодке, которое книга применяет как своё правило, потому что физика, из которой оно выведено, у причала не меняется.

ISO 13297 — стандарт, по которому построена лодка с маркировкой CE: электрические системы постоянного тока номиналом 50 V и ниже и однофазного переменного тока напряжением не выше 250 V

в одном документе, с тем же исключением для проводников внутри кожуха подвесного мотора **ISO**. Как узнать, построена ли ваша лодка по ISO или по ABYC, и что это меняет в чтении книги, — → 2.5; что меняет модернизация такой лодки по ABYC и что нет — → 18.5. Если ваша лодка построена по ISO, книга написана и для неё: ваши числа стоят рядом с числами ABYC там, где они другие, и в метрической колонке таблиц.

Парность норм: как читать «7 in (175 mm; ISO — 200 mm)»

Там, где числа расходятся, они стоят рядом в одной строке, и применяется более строгое из двух. Расхождение, которое встретится вам в каждой главе о защите, — расстояние от источника до защиты: 7 in (175 mm; ISO — 200 mm). У правила два послабления для провода в сплошной оболочке — 40 in (1.02 m; ISO — 1 m) и 72 in (1.83 m; ISO — 1.8 m) **ABYC**; здесь строже ISO, и разбираются они там же, где само правило → 4.2. Пара из стандарта печатается так, как её печатает стандарт: 175 mm, хотя арифметика даёт 177.8; разницу между парой стандарта и пересчётом одной строкой объясняет → Прил. В. Единицы в книге всегда парами — 10 AWG (5.3 mm²), 100 ft (30 m); в таблицах метрическая колонка равноправна, температура только в °C, а расчёт сечения по падению напряжения ведётся метрической формулой, по которой вы считаете сами → 5.4.

ПОЧЕМУ ТАК

Почему «более строгое из двух» — ваше правило, а не сборка своего стандарта из кусков. Строитель и тот, кто сертифицирует лодку, работают по одному стандарту целиком: у них есть документ и подпись, и смешивать системы им нельзя. Вы чините и модернизируете лодку, которая уже построена, и ваша задача — не оставить на борту опасного места. Оба стандарта выведены из одной физики и запрещают одно и то же; расходятся они числами одного правила — 175 или 200 mm, — а не принципами, и более строгое число никогда не делает лодку несоответствующей более мягкому: защита в 175 mm от клеммы удовлетворяет и требованию «не дальше 200». Граница правила: там, где стандарты расходятся принципом, а не числом, — цвета проводников, требование двухполюсного выключателя, — книга не выбирает «строгое», а говорит «по вашей лодке» и показывает, как это распознать → 2.5. Ремонт по более строгому числу не меняет статуса лодки, а полная переделка — меняет; где эта черта, → 18.5.

Правило 90/10: единственная оговорка в книге**ПРАВИЛО 90/10**

Правила в этой книге даны как безусловные намеренно. Упрощение, которое верно примерно в девяти случаях из десяти и не создаёт пожароопасной привычки, дано как безусловное правило: «защита у клеммы, не дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm)», «выключатель батареи на работающем двигателе не трогают», «ни одного плюсового провода от батареи без защиты, кроме кабеля стартера» → 4.2. Десятый случай не пропущен — он живёт в двух местах: во врезке «Почему так» рядом с правилом, где названы границы его применимости, и в строке «Когда мастер вправе отступить» блока «Сам или мастер». Отступить от правила вправе тот, кто может назвать причину словами, показать её на лодке и записать в паспорт; вы это увидите по трём признакам — причина названа, показана, записана. У части правил десятого случая нет — ток через корпус, мегомметр на собранной цепи,

защита батареи вместо предохранителя, — и это сказано там, где они стоят. Больше нигде в книге таких оговорок нет.

Почему так, а не абзац «но бывает иначе» после каждого правила. Девять работ из десяти на прогулочной лодке — типовой случай, и в нём безусловное правило ведёт к верному действию без размышлений и не создаёт привычки, которая когда-нибудь загорится. Абзац «но бывает иначе» после каждого правила размывает само правило: когда нужно действовать, вы начинаете искать, не ваш ли это случай, и находите его там, где его нет. Поэтому основной текст даёт правило, врезка — его границы, а решение об отступлении принадлежит тому, кто отвечает за результат и может его показать.

Пометки у чисел

Число и порог в книге несут пометку о своём происхождении, и пометок шесть: ABYC — формулировка стандарта ABYC; CFR — текст регламента 33 CFR; ISO — текст стандарта ISO; MFR — данные изготовителя конкретной детали, и ваша деталь может отличаться; PRACTICE — принятая практика без числа в стандарте; VERIFY — справочное число без подтверждения первоисточником, и ни один шаг процедуры в книге на такое число не опирается. Пометка стоит у числа, не у каждого предложения, и не больше одной на абзац. Число без пометки — одно из трёх: учебное, введённое условием разобранного примера; арифметика из помеченных; либо число из документа, который назван в тексте рядом с ним, — отчёта или документа государственного органа, справочника свойств веществ, стандарта о действии тока на человека; сам документ стоит в списке источников главы. Полное описание пометок, стрелок и единиц — на странице «Обозначения» в начале книги; документ и редакция за каждой пометкой — в списке источников в конце главы.

1.10. На борту

НА БОРТУ: ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО

Перед тем как коснуться любого проводника на лодке, ответьте на один вопрос: «Откуда сюда может прийти энергия?» Источников несколько, они не отключают друг друга, и пока каждый не найден и не снят своим действием, проводник считается живым — в том числе при выключателе батареи в OFF и автомате переменного тока в OFF.

ЧТО ЗАПОМНИТЬ

- Бортовая сеть 12 или 24 V током не бьёт; опасны ток короткого замыкания батареи и переменный ток — берег, инвертор, генераторная установка. Пять угроз: ток в воде, дуга на батарее, пары бензина, литий в тепловом разгоне, переменный ток на борту.
- На лодке нет «массы» и нет земли: два провода к каждому потребителю; единственный металлический путь тока утечки к берегу — защитный проводник берегового шнура.
- Алюминиевый корпус — проводник, но не путь тока: ни один потребитель не возвращает ток через корпус; связь потенциала минуса с корпусом — в одной точке, вторая запрещена.
- С типом воды меняется материал анодов и скорость коррозии; провода, защита, взрывозащищённость и береговое питание не меняются; в пресной воде ток в воде опаснее.
- Пожар чаще всего начинается в электрике: плохой контакт под рабочим током — $0.01\ \Omega$ под 200 A это 2 V и 400 W. Лодки тонут у причала чаще, чем в море; электрическая часть этого — цепь помпы в обход выключателя со своей защитой.

- Главный выключатель не значит «нет напряжения нигде»: на клеммах батареи напряжение есть всегда; цепи в обход выключателя, инвертор, солнце и берег живут при OFF. На работающем двигателе выключатель батареи не трогают.
- Четыре признака «не сам»: нельзя обесточить и проверить; нельзя подтвердить измерением; последствие отложено и невидимо; меняется статус лодки. Четыре уровня: СТОП · Мастер · Сам при условии · Сам; мастеру — задача словами, приёмка по измеримым признакам.
- Книга написана по АВУС, число ISO рядом, применяется более строгое; правила без оговорок намеренно.

Самопроверка

1. **Вопрос-прогноз.** На Рис. 1.4 · с. 39 выключатель батареи в OFF, двигатель заглушен, берег снят, солнечная панель накрыта. До измерения решите: что покажет вольтметр в точке В и что — в точке С, и почему по-разному?

Ответ: в точке В, на клемме выключателя со стороны панели, — 0 V: этот участок питается только через выключатель. В точке С, на клемме батареи, — напряжение банка, например 12.6 V: клеммы батареи живы при любом положении выключателя. Если в В напряжение осталось — что-то подключено на стороне панели в обход выключателя, и это находка для паспорта.

2. **На вашей лодке.** Двигатель заглушен, зарядное выключено, берег снят (панель OFF, колонка OFF, вилка вынута), солнечный контроллер выключен или солнечная панель накрыта, крупные потребители выключены — поверните выключатели всех банков в OFF (при втором банке в ON реле или преобразователь между банками питает часть цепей, и запись будет ложной) и выпишите всё, что осталось живым. Верните выключатели в записанное положение.

Ответ проверяется так: каждая живая цепь — цепь в обход выключателя; у каждой должна быть своя защита у батареи. Цепь без неё — строка

«Мастер» в паспорте. Ничего не осталось живым, а помпа есть — помпа подключена после выключателя, и это тоже находка → 12.2.

- 3. На вашей лодке.** Найдите, из чего сделан корпус, есть ли алюминиевый привод — подвесной мотор или угловая колонка, — в какой воде лодка стоит большую часть сезона и какие аноды на ней стоят: материал на этикетке или в документе к аноду. Запишите четыре слова.

Ответ: пресная вода — магний, солоноватая — алюминий, солёная — цинк или алюминий; цинк в пресной воде не работает, алюминий в пресной — по данным изготовителя анода. Магний на алюминиевом корпусе или алюминиевом приводе — только по измеренному потенциалу → 15.6.

Аноды не расходуются уже второй сезон в пресной воде при цинке — они не работают, а не «служат долго».

- 4.** Сосед по причалу на алюминиевой лодке говорит: «У меня минус помпы на корпусе, всё работает третий год». Что происходит физически и что ему проверить?

Ответ: рабочий ток помпы возвращается по корпусу, и там, где он покидает металл в воду, алюминий растворяется, и растворяется всё время, пока помпа работает. «Работает» ничего не доказывает: следствие отложено и невидимо — третий признак «не сам». Проверить: минус помпы проводом до минусовой шины; после переделки — что через корпус не течёт ток → 16.3.

- 5.** Вы выключили берег на панели и на колонке и вынули вилку из колонки и из бортового ввода. Можно ли считать, что на лодке нет переменного тока?

Ответ: нет. Вынутая вилка говорит о берегу и только о нём. Инвертор в режиме ожидания при пропадании берега включается сам и держит розетки под 120 или 230 V, пока к нему подключена батарея; генераторная установка — пока работает. Переменный ток снят, когда сняты все три: берег, инвертор своим выключателем и предохранителем, генераторная установка заглушена, — и на входе панели переменного тока, в точке А после переключателя источников, прибором, проверенным на заведомо живом источнике до и после, щупы одной рукой, измерено 0 V.

- 6.** На озере вы видите, как с соседней лодки на береговом питании в воду свисает оборванный провод, и кто-то

собирается нырнуть посмотреть. Что сказать и почему именно на озере?

Ответ: не нырять и никому не плавать у причала; автомат на колонке этой лодки OFF, вилка из колонки; не знаете, от какой лодки ток, — зовите персонал причала отключить питание причала. В пресной воде тело проводит лучше воды, и ток утечки стягивается в пловца, парализуя мышцы; в море тот же ток растёкся бы по воде. «Лодка только для озера» не значит «можно прощ» — значит «здесь ток в воде убивает».

7. Мастер поставил предохранитель бортового банка в 24 in (610 mm) от клеммы, а в книге написано 7 in (175 mm; ISO — 200 mm). Он нарушил правило?

Ответ решается по двум признакам — оболочке и причине. Если ближе поставить нельзя и весь участок от клеммы до держателя идёт в сплошной оболочке без разрывов — гофре, трубке или коробе, изолента не в счёт, — стандарт допускает для провода прямо с клеммы батареи до 72 in (1.83 m; ISO — 1.8 m), и 24 in (610 mm) в этот предел укладываются; мастер вправе так сделать, назвав причину и записав её в паспорт. Оболочки нет — держатель переносится к клемме. Правило книги безусловно; отступление принадлежит тому, кто может его показать.

8. Что из перечисленного вы делаете сами без условий: замена предохранителя на панели постоянного тока; обход лодки с фотоаппаратом; подтяжка клеммы на батарее; проверка помпы ведром воды?

Ответ: обход лодки и проверка помпы ведром — «Сам». Замена предохранителя на панели постоянного тока — «Сам при условии»: выключатель в OFF и 0 V в точке B. Подтяжка клеммы на батарее — уровень «Мастер»: работа инструментом под напряжением, которое нельзя снять. Если мастера нет и без этого нельзя — по условиям → 1.8 · с. 47: кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, один ключ, минус всего банка первым на выход и последним на вход.

Термины главы

electric shock drowning

поражение током в воде —
паралич мышц от тока утечки

переменного тока в воде;
человек тонет

battery switch

выключатель батареи — снимает напряжение только с того, что подключено после него

bypass

обход выключателя — цепь, подключённая до выключателя батареи через собственную защиту у клеммы

shore power

береговое питание — переменный ток с причальной колонки через береговой кабель и бортовой ввод

ELCI / GFCI / RCD / RCBO

защитное отключение — устройство, отключающее питание при утечке тока мимо обратного провода; узнаётся по кнопке TEST и надписи на корпусе: на бортовом вводе — ELCI, у розетки — GFCI, в системе 230 V — RCD; RCBO — защитное отключение, совмещённое с автоматом от сверхтока

PE

защитный проводник переменного тока — зелёный или зелёный с жёлтой полосой; в норме тока не несёт, при неисправности даёт току утечки металлический путь к берегу

bonding

связь по массе: провод связи, соединяющий металлические части, которые касаются воды, — краны, вал, аноды; в норме тока не несёт; не путать с защитным проводником переменного тока (PE)

ignition protected

взрывозащищённый — компонент, искра внутри которого не поджигает горючую смесь снаружи; маркировки SAE J1171, UL 1500, ISO 8846

BMS

battery management system, система управления батареей — защита литиевой батареи по напряжению, току и температуре; защитой провода от сверхтока не является

AIC

разрывная способность — наибольший ток короткого замыкания, который защита разрывает, не разрушаясь

Class T

тип предохранителя с высокой разрывной способностью — практический выбор для главной защиты литиевого банка

OSPD

защита от сверхтока — предохранитель или

автоматический выключатель;
защищает провод, а не прибор

sheath

сплошная оболочка — гофра,
короб или трубка без разрывов
по всей длине незащищённого
участка; условие послаблений
40 in (1.02 m; ISO — 1 m) и 72 in
(1.83 m; ISO — 1.8 m); изолента
оболочкой не считается:
регламент её допускает, ISO —
нет

load dump

бросок напряжения на
разорванной цепи — то, что
происходит с генератором
двигателя, если отключить
батарею на ходу

alternator

генератор двигателя

inverter

инвертор — источник
переменного тока 120 или 230 V
от батареи; инвертор в режиме
ожидания включается сам при
пропадании берега

anode

анод — менее благородный
металл, который растворяется
вместо корпуса и подводных
деталей; материал выбирается
по типу воды

galvanic corrosion

гальваническая коррозия —
растворение менее
благородного металла в паре с
более благородным через воду;
идёт медленно

stray current corrosion

коррозия блуждающим током —
растворение металла там, где
ток из электрической цепи
покидает его в воду; идёт
быстро

house / start

бортовой банк — для
потребителей; стартерный банк
— для пуска двигателя

voltage drop

падение напряжения — разность
напряжения на концах участка
под рабочим током; главное
измерение книги

pedestal

причальная колонка — стойка на
причале с розеткой берегового
питания и автоматом

shore power inlet

бортовой ввод — розетка на
борту, в которую входит
береговой кабель

bus bar

минусовая шина — общая
металлическая планка у
батарей, куда сходятся

минусовые провода всех потребителей

ACR

реле разделения заряда (automatic charging relay) — соединяет два банка на время заряда и разъединяет на разряде

DC-DC

преобразователь постоянного тока в постоянный — заряжает второй банк от первого с заданным напряжением

generator, genset

генераторная установка — отдельный двигатель с генератором, дающий на борту 120 или 230 V

AGM

свинцовая батарея закрытого типа с электролитом в стекломате (absorbent glass mat)

thermal runaway

тепловой разгон — самоподдерживающийся нагрев

литиевой ячейки, переходящий на соседние; ядовитый газ и огонь

cathodic protection

катодная защита — защита подводного металла анодами: корпус делают катодом, растворяется анод

reverse polarity indicator

индикатор обратной полярности — лампа или сигнал на панели переменного тока, срабатывающий при перепутанных фазе и нейтрали

ABYC · 33 CFR · ISO 13297

отраслевой стандарт Северной Америки · федеральный регламент с техническими требованиями к лодке с бензиновым двигателем · стандарт, по которому построена лодка с маркировкой CE

Источники главы

1. U.S. Coast Guard, 2024 Recreational Boating Statistics, COMDTPUB P16754.38, 24 June 2025 — число происшествий, погибших и травмированных, порог отчётности и раздел Not Reportable, таблицы 1, 5, 6, 16: <https://www.uscgboating.org/library/accident-statistics/Recreational-Boating-Statistics-2024.pdf>
2. 33 CFR part 183, subpart I — Electrical systems (§ 183.401 область применения, § 183.405 исключение подвесного мотора и переносного оборудования, § 183.410 взрывозащита, § 183.420 батареи, § 183.425 многопроволочный медный проводник, § 183.445 закрытые клеммы, §§ 183.455, 183.460 защита от сверхтока): <https://www.ecfr.gov/current/title-33/chapter-I/subchapter-S/part-183/subpart-I>

3. 33 CFR part 183, subpart K — Ventilation (§ 183.610: вентилятор четыре минуты перед пуском, предупреждающая табличка):
<https://www.ecfr.gov/current/title-33/chapter-I/subchapter-S/part-183/subpart-K>
4. 29 CFR § 1910.303(g)(2)(i) — граница 50 V для защиты от прикосновения:
<https://www.ecfr.gov/current/title-29/chapter-XVII/part-1910/subpart-S/subject-group-ECFR3f1d7d5a4a6a8d5/section-1910.303>
5. ABYC E-11, July 2018 — 11.1 Purpose, 11.2 Scope (ознакомительные страницы издателя): https://webstore.ansi.org/preview-pages/abyc/preview_e-11-2018.pdf
6. Выдержки из ABYC E-11 (июль 2008) — E-11.10.1.1.1: 7 in (175 mm), 40 in (1.02 m), 72 in (1.83 m): <https://www.paneltronics.com/images/technical/E11Excerpts.pdf>
7. Blue Sea Systems, DC Main Overcurrent Protection Requirements — 7 in (175 mm), 40 in (1.02 m) в оболочке, 72 in (1.83 m) для выхода батареи:
https://www.blueseasystems.com/support/articles/Circuit_Protection/99/DC_Main_Overcurrent_Protection_Requirements
8. ABYC E-9 Direct Current (DC) Electrical Systems on Boats, 1990 — 3.g «ground» как мокрая поверхность корпуса, 4.a двухпроводная система и исключение для оборудования на двигателе, 4.b корпус не обратный проводник, 4.g минус на клемму двигателя, 16.i крепление через 18 in (457 mm):
<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/001/abyc.E-09.1990.pdf>
9. ABYC E-9 / E-10, редакция 12/96 — выдержки Blue Sea Systems «ABYC Excerpts»: 5.1, 5.2 двухпроводная система и корпус; 11.3.1 выключатель батареи и цепи, допустимые на стороне батареи:
https://sbo.sailboatowners.com/downloads/Hunter_gen_41598472.pdf
10. ABYC E-2 Cathodic Protection, July 2013 — 2.5.1 и Table II диапазоны потенциала по материалу корпуса, Table I гальванический ряд, 2.7.1 Note 4 выбор анода по воде, 2.9.2 приводы в солёной и солоноватой воде, 2.10 алюминиевые корпуса, 2.11 стальные корпуса, 2.10.2 Note 1 гальваническая коррозия через защитный проводник берега: <http://pcmarinesurveys.com/E-2%20Cathodic%20protection.pdf>
11. ABYC, Ignition Protection — определение и перечень маркировок:
<https://abycinc.org/ignition-protection/>
12. ABYC E-13 Lithium Ion Batteries (ratified 2022) — сигнал о приближающемся отключении, по материалам Panbo и Battle Born: <https://panbo.com/abyc-ratifies-e-13-their-first-lithium-battery-standard/> ;
<https://battlebornbatteries.com/7-things-you-should-know-about-e-13-the-latest-abyc-standards-for-lithium-batteries/>
13. ISO 13297:2020, Small craft — Electrical systems — Alternating and direct current installations, пятое издание 2020-12 — область применения, 4.1 корпус не проводник цепи, 5.1 двухпроводная система и блок двигателя, 6.2 защитный проводник на металлическом корпусе (ознакомительный фрагмент):
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/69551/4f5da7667b4642e2880fe10a27cd4c70/ISO-13297-2020.pdf> ; карточка стандарта:
<https://www.iso.org/standard/69551.html>

14. BS EN ISO 10133:2017 (дословное национальное издание ISO 10133:2012), пункт 6.1 — выключатель батареи и цепи, которые он не обязан разрывать: <https://content.yudu.com/web/10c76/0A1qulm/BSENISO101332017/html/13.html> ; пункт 8.1 — защита в пределах 200 mm от источника: <https://content.yudu.com/web/10c76/0A1qulm/BSENISO101332017/html/15.html> ; ICOMIA Global Conformity Guideline No. 3, Electrical, Edition 3, Nov 2011 — те же исключения в колонке ISO: <https://newboatbuilders.com/docs/ICOMIAGuidelineNo3-ElectricalStandards-Edition3.pdf>
15. EMF-Portal (RWTH Aachen), Background information for limit values — пороги IEC TS 60479-1:2005: 5 mA потеря контроля над мышцами при длительном токе, около 40 mA дольше 2 s — фибрилляция: <https://www.emf-portal.org/en/cms/page/home/more/electrical-injuries/background-information-for-limit-values>
16. Jiang H., Tabaddor M., Electromagnetic Modeling of Virtual Humans to Determine Heart Current Factors, UL LLC, Dec 2017 — внутреннее сопротивление тела 500 Ω по IEC 60479-1: <https://www.pdma.com/sites/default/files/uploads/tech-forums-safety-compliance/resources/ul-report-human-body-modeling-heart-current-factor.pdf>
17. IEC 60479-1:2018, ознакомительный фрагмент — 3.2.5 порог фибрилляции; 3.3.2 коэффициент k: пример 300 mA / 80 mA для фибрилляции с вероятностью 50 % при 10 s: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/102053/a6ad398bc8e94fc29370ca887ba3cb16/IEC-60479-1-2018.pdf>
18. Odyssey ODX-AGM31R (31R-PC2150S), Technical Data Sheet, 2022-04-19 — 100 Ah, ток короткого замыкания 5 000 A, внутреннее сопротивление 2.2 m Ω : <https://cdn.tayna.com/datasheets/Odyssey%2031R-PC2150S%20Battery%20Datasheet.pdf>
19. Victron Energy, Lithium Battery Smart, manual rev 21, 01/2026 — клеммы всегда под напряжением, предохранитель на каждом соединении, тушение CO₂ или пеной: https://www.victronenergy.com/upload/documents/Lithium_Battery_Smart/15958-Manual_Lithium_Smart_Battery-pdf-en.pdf
20. Victron Energy, MultiPlus 12/500-12/1200 120 V, Rev 02, 06/2024 — напряжение на клеммах выключенного аппарата, автоматическое включение инвертора при пропадании берега: https://www.victronenergy.com/upload/documents/MultiPlus_12V_500-1200VA_120Vac/155314-MultiPlus_500-1200VA_120Vac-pdf-en.pdf
21. Victron Energy, SmartSolar MPPT 150/60-250/70, manual Rev 04, 02/2023 — порядок подключения и отключения (панели первыми при выключении), предохранитель у батареи; SmartSolar 75/10-100/20, Safety precautions — накрывать модули при монтаже: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0576/5326/4520/files/29694-MPPT_solar_charger_manual-pdf-en-compressed.pdf ; https://www.victronenergy.com/media/pg/Manual_SmartSolar_MPPT_75-10_up_to_100-20/en/safety-precautions.html

22. U.S. Coast Guard, Marine Safety Alert 14-25, 2025-07-14 — пожар литиевого банка от плохо обжатых наконечников, газы теплового разгона:
https://www.dco.uscg.mil/Portals/9/DCO%20Documents/5p/CG-5PC/INV/Alerts/USCGSA_1425.pdf
23. Blue Sea Systems, Alternator Field Disconnect — выключатель батареи в OFF при работающем генераторе двигателя: бросок напряжения и пробой диодов выпрямителя: <https://www.blueseas.com/resources/91>
24. Fluke, Best Safety Practices for Taking Live Measurements — прибор и щупы не ниже CAT III 600 V, проверка прибора на заведомо живой цепи до и после, одна рука (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/electrical/safety-considerations-for-live-measurements-keep-your-eyes-on-the-job-at-hand>
25. U.S. DOE, Hydrogen Tools — пределы воспламенения водорода 4–75 %, энергия воспламенения: <https://h2tools.org/bestpractices/hydrogen-compared-other-fuels>
26. NIOSH Pocket Guide, Gasoline — температура вспышки -43 °C, пределы воспламенения 1.4–7.6 %: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0299.html> ; Global Companies LLC, SDS Gasoline, May 2016 — плотность паров 3–4, накопление в низких местах:
https://dep.wv.gov/daq/Documents/June%202019/053-00080_MSDS_13-3435.pdf
27. ExxonMobil, No. 2 Diesel Fuel, Safety Data Sheet, 2019-10-22 — температура вспышки выше 38 °C:
<https://www.exxon.com/-/media/project/wep/exxon/exxon-retail-us/us-fuel-delivery/pdf/no-2-diesel-fuel-safety-data-sheet.pdf>
28. U.S. EPA, Volunteer Stream Monitoring, 5.9 Conductivity — проводимость рек 50–1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms59.html>
29. Tyler R. H. et al., Electrical conductivity of the global ocean, Earth, Planets and Space, 2017 (NOAA Institutional Repository) — проводимость стандартной морской воды 4.29 S/m:
https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/26174/noaa_26174_DS1.pdf
30. Morse M. S., The Science Behind Electric Shock Drowning, EC&M, 2018-11-16 — проводимость мышечной ткани 0.355 S/m, распределение тока в пресной и солёной воде: <https://www.ecmweb.com/safety/shock-electrocution/article/20904099/the-science-behind-electric-shock-drowning>
31. Tennessee State Fire Marshal's Office, 2019-06-14 и 2021-07-07 — действия пловца и человека на причале, не нырять под лодку на береговом питании «даже в солёной воде»: <https://www.tn.gov/commerce/news/2019/6/14/sfmo-remember-the-risks-of-electric-shock-drowning-while-swimming-and-boating.html> ; <https://www.tn.gov/commerce/news/2021/7/7/sfmo--avoid-the-risks-of-electric-shock-drowning-when-spending--time-on-the-water-this-summer.html>
32. Michigan Department of Natural Resources, Electric shock drowning — не входить в воду, снять бегер, звать: <https://www.michigan.gov/dnr/things-to-do/boating/esd>

33. Electric Shock Drowning Prevention Association, ESD & FAQ — определение:
<https://www.electricschockdrowning.org/esd--faq.html>
34. BoatUS Marine Insurance по перепечатке LakeExpo, The Top 6 Reasons Boats Catch Fire, 2016-03-11 (обновлено 2022-06-10) — доли причин пожаров по страховым делам: https://www.lakeexpo.com/news/lake_news/the-top-6-reasons-boats-catch-fire/article_d62f6206-e6eb-11e5-acb3-ef4dfe31127f.html
35. BoatUS Foundation, Foundation Findings #55, Boat Fire Safety Tests, Oct 2016 — три-четыре минуты, первый признак пожара: <https://boat.us.org/gear-tests-safety-guides/boat-fire-safety-tests/>
36. America's Boating Compass, Why boats sink, 2026-02-11, и The Log, Why Boats Sink at the Dock, 2026-05-07 — по данным BoatUS Foundation: четыре к одному у причала, подводная арматура, дождь, помпа маскирует течь:
<https://boatingcompass.org/why-boats-sink/> ; <https://thelog.com/why-boats-sink-at-the-dock-and-what-usually-gets-blamed-first/>
37. Marine How To, Calculating LiFePO4 Short Circuit Current, 2026-07-03 — внутреннее сопротивление и ток короткого замыкания литиевого банка в сравнении со свинцовым: <https://marinehowto.com/calculating-lifepo4-short-circuit-current/>
38. Martyr Anodes (CMP Group), Choosing the Right Anode (2025-10-21) и About Freshwater Anodes (2021-05-05) — цинк для солёной, алюминий для солоноватой, магний для пресной воды; плёнка окисла на цинке и алюминии в пресной воде: <https://martyranodes.com/choosing-the-right-anode/> ;
<https://martyranodes.com/about-freshwater-anodes/>
39. MG Duff, Anode Materials — солёная: цинк или алюминий; солоноватая: алюминий; пресная: магний; магний и деревянный корпус:
<https://www.mgduff.co.uk/knowledge-base/anode-materials>
40. Performance Metals, Sacrificial Anodes FAQs — осторожность с магнием на алюминиевом и деревянном корпусе, потенциалы анодов:
<https://performancemetals.com/pages/sacrificial-anodes-faqs>
41. Mercury Marine, 4/5/6 FourStroke Operation, Maintenance and Installation Manual, © 2019, 8M0165090 — осмотр анода, ускоренный расход в солёной воде, промывка пресной водой: <https://defender.com/assets/pdf/mercury/4-5-6-fourstroke.pdf>
42. Professional BoatBuilder, S. D'Antonio, Preventing Galvanic & Stray-Current Corrosion, 2026-01-28 — скорость коррозии блуждающим током:
<https://www.proboat.com/2026/01/preventing-galvanic-stray-current-corrosion/>