

MARINE ELECTRICAL SYSTEMS · ЧАСТЬ II. ПРОВОД, СОЕДИНЕНИЕ,
ЗАЩИТА — ТО, ЧТО ГОРИТ

Глава 4. Защита от сверхтока: предохранитель защищает провод, а не прибор

Найти незащищённый плюс, проверить номинал тремя числами и отличить защиту, которая разорвёт ток батареи, от той, что его не удержит

Провод на лодке загорается по двум причинам. Первая — соединение, которое греется под обычным рабочим током → 3.1; его находят падением напряжения под током → 3.4. Вторая — ток больше того, на который провод рассчитан, когда этот ток ничто не останавливает. Его останавливает только защита от сверхтока — предохранитель или автоматический выключатель, стоящий там, где провод получает питание; ей посвящена эта глава. После неё вы увидите на своей лодке три вещи: плюсовой провод, у которого защиты нет или она стоит слишком далеко от батареи; защиту, номинал которой больше, чем выдерживает провод; и защиту у батареи, которая не способна разорвать ток её короткого замыкания. Все три видны без прибора, если вы знаете, куда смотреть, и все три можно найти и устранить раньше, чем провод загорится. Главная мысль главы стоит в её названии: предохранитель защищает провод, а не прибор, — из неё выводится всё остальное.

ПОСЛЕ ЭТОЙ ГЛАВЫ ВЫ СМОЖЕТЕ

- Объяснить, что защита делает при перегрузке и при коротком замыкании, за какое время она срабатывает и почему прибор с неисправностью может сгореть при целом предохранителе.
- Найти на своей лодке каждый плюсовой провод, уходящий от батареи, и проверить, стоит ли его защита не дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm) от клеммы, — и когда допустимы 40 in (1.02 m; ISO — 1 m) и 72 in (1.83 m; ISO — 1.8 m).
- Проверить номинал любой защиты тремя числами — ток нагрузки, номинал, допустимый ток самого тонкого провода — и выбрать номинал, когда изготовитель прибора требует свой.
- Прочитать на предохранителе и держателе разрывную способность и напряжение и решить, годится ли он главной защитой банка — свинцового и литиевого.
- Прочитать свою панель постоянного тока от батареи до прибора и узнать за панелью соединения, которых там быть не должно.
- Определить, где на вашей лодке обязательна взрывозащищённость, и узнать защищённую деталь по маркировке.
- Разобрать жалобы «выбивает», «греется», «не выбивает» по маршруту с точками измерения — и не поставить номинал больше.

Что нужно знать из других глав: что на лодке опасно и что нет (→ 1.1), карта источников и что живёт при выключателе батареи в OFF (→ 1.7), четыре уровня «Сам или мастер» (→ 1.8), как читать пару «7 in (175 mm; ISO — 200 mm)» (→ 1.9), падение напряжения под рабочим током (→ 3.4), безопасность измерений (→ 3.7), цепь в обход выключателя и её собственная защита (→ 12.1).

- | | |
|---|--|
| 4.1 Что делает предохранитель и чего он не делает | 4.5 Панель и распределение: от батареи до прибора |
| 4.2 Где обязана стоять защита у батареи: правило расстояния | 4.6 Взрывозащищённость (ignition protection) в отсеках с бензином |
| 4.3 Триада: ток нагрузки, номинал, допустимый ток провода | 4.7 Обычное или морское? Автомобильный предохранитель, бытовой автомат |
| 4.4 Типы защиты и разрывная способность (AIC) | 4.8 На борту |

4.1. Что делает предохранитель и чего он не делает

Что защищает предохранитель на вашей лодке — прибор, который стоит в конце провода, или сам провод? Привычный ответ «прибор» неверен, и из этой ошибки вырастают ошибки с номиналами: автомат «побольше», предохранитель «по прибору». В доме автомат в щитке рассчитан на проводку в стене, а не на чайник: чайник с внутренней неисправностью сгорит, а автомат не сработает, пока ток не превысит то, что выдерживает провод. В автомобиле так же: блок предохранителей стоит у источника и отвечает за жгут. На лодке назначение то же, а условия другие: источник — батарея, которая в короткое замыкание отдаёт тысячи ампер; источников несколько; провода идут через трюм, где их перетирают вибрация и острые кромки. Защита от сверхтока (overcurrent protection) — предохранитель (fuse) или автоматический выключатель (circuit breaker) — стоит у начала провода и размыкает цепь раньше, чем ток нагреет провод до разрушения изоляции.

Стандарт говорит это прямо: защитные устройства ставятся у источника питания, чтобы разорвать ток перегрузки в проводниках цепи раньше, чем тепло повредит изоляцию, соединения или клеммы проводки **ISO**. Прибора в этой формулировке нет.

Почему провод, а не прибор. Провод греется током, и тепло в нём растёт с квадратом тока: при токе вдвое больше расчётного его выделяется вчетверо больше. Для каждого сечения и типа изоляции

есть допустимый ток провода (ampacity) — наибольший ток, который провод несёт долго, не нагревая изоляцию выше её температурного номинала; для провода 16 AWG (1.3 mm²) с изоляцией на 105 °C вне моторного отсека это 25 А **CFR**. Прибор ломается по своим причинам и при своих токах: мотор помпы с заклиненной крыльчаткой, пробитый стабилизатор эхолота, залитая водой лампа берут больше своего рабочего тока, но меньше, чем нужно, чтобы расплавить вставку, рассчитанную на провод. Поэтому прибор с внутренней неисправностью может сгореть при целом предохранителе — и это не отказ защиты: защита сделала свою работу, если провод до прибора остался цел. Обратное неверно: встроенный предохранитель или термовыключатель прибора защиту провода не заменяет — он стоит в конце провода, а замыкание случается на его длине.

Если изготовитель прибора требует номинал меньше допустимого тока провода, ставится меньший — один предохранитель закрывает оба требования, второго правило не требует. Где этот номинал напечатан и как его совместить с сечением провода — разобранный пример → 4.3 · с. 16.

Два режима: перегрузка и короткое замыкание

Сверхток бывает двух видов, и защита отвечает на них по-разному. Перегрузка (overload) — ток выше номинала без замыкания в цепи, от десятой доли сверх номинала до нескольких номиналов: к цепи огней добавили прожектор, помпа работает с забитой крыльчаткой, в розетку включили прибор мощнее, чем она рассчитана. Провод при этом греется, но не мгновенно, и защита отвечает с выдержкой — секунды, минуты, а при малом превышении часы. Короткое замыкание (short circuit) — плюс коснулся минуса или металла на минусе напрямую, без нагрузки между ними; ток ограничен только сопротивлением батареи и провода. Замыкание рядом с батареей или на коротком проводе даёт ток в десятки номиналов, и защита отвечает на него за сотые доли секунды: плавкая вставка испаряется, автомат размыкается расцепителем. Замыкание в конце длинного тонкого провода даёт ток всего в несколько

номиналов — провод сам ограничивает его своим сопротивлением, — и защита отвечает на такой ток уже за секунды (Табл. 4.1 · с. 8). Для защиты такое замыкание — та же перегрузка, и провод переживает его потому, что номинал не выше его допустимого тока $\rightarrow 4.3 \cdot \text{с. 16}$: чем меньше номинал, тем больше номиналов в том же токе замыкания и тем быстрее отключение.

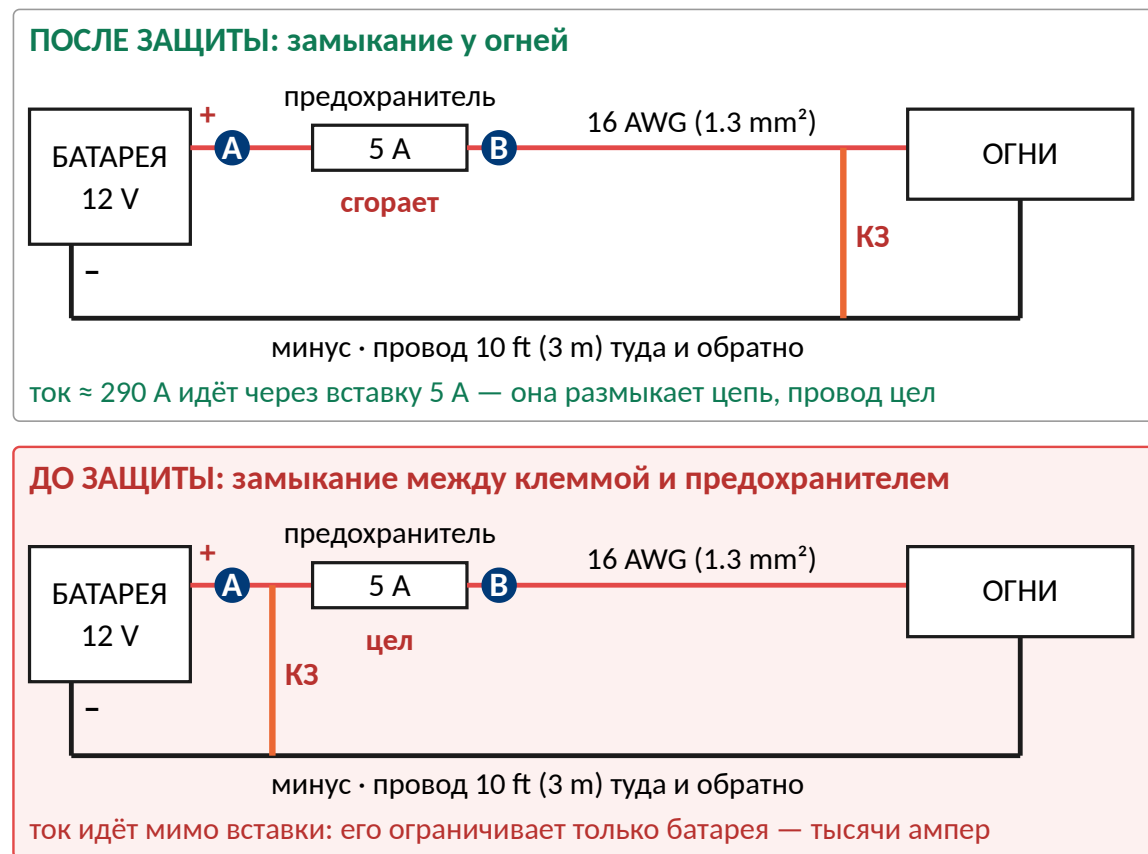


Рис. 4.1. Одна цепь ходовых огней, два места короткого замыкания. Вверху замыкание после предохранителя, у самих огней: ток около 290 А идёт через вставку 5 А, и она размыкает цепь за сотые доли секунды — провод остаётся цел. Внизу замыкание между клеммой батареи А и предохранителем: ток идёт мимо вставки, его ограничивает только сама батарея, и предохранитель остаётся целым, пока горит провод. Числа учебные. Буквы точек одни на всю главу: А — плюсовая клемма батареи, В — выход защиты у батареи.

Пусть провод 16 AWG (1.3 mm^2) к ходовым огням длиной 10 ft (3 m) туда и обратно замкнуло у самих огней (Рис. 4.1 · с. 5, вверху). Сопротивление такого провода по формуле стандарта для меди $\rightarrow 3.1 - 10.75 \cdot 10 / 2\,580 \approx 0.042 \, \Omega$, где 2 580 — сечение 16 AWG (1.3 mm^2) в круговых милах **АВУС**; пусть батарея и соединения

добавляют ещё $0.002\ \Omega$. Ток короткого замыкания — около $12.6 / 0.044 \approx 290\ \text{A}$, почти в двенадцать раз больше допустимого тока этого провода, и провод выделяет $290^2 \cdot 0.042 \approx 3\ 500\ \text{W}$ — больше киловатта на каждом метре. Изоляция, рассчитанная на $105\ ^\circ\text{C}$, такого нагрева не выдерживает и нескольких секунд. Вставка на $5\ \text{A}$ при этом токе — почти шестьдесят своих номиналов — размыкает цепь за сотые доли секунды, и провод успевает лишь потеплеть. Если бы на той же цепи стояла вставка на $100\ \text{A}$ «с запасом», тот же ток был бы меньше трёх её номиналов: она держала бы его секунды, а за эти секунды провод, рассчитанный на $25\ \text{A}$, потерял бы изоляцию по всей длине.

Перегрузка опаснее, чем кажется, именно потому, что она медленная. Вставка держит ток, равный своему номиналу, часами — болтовая не меньше четырёх часов, ножевая и на клемме не меньше ста, — а ток примерно на треть выше номинала ($135\ \%$) — от долей секунды до двух минут у автомобильной ножевой вставки (у номиналов меньше $4\ \text{A}$ — до четырёх минут), до четверти часа у предохранителя на клемме батареи и до получаса у болтовой **MFR**. Всё это время провод обязан выдерживать ток, который через него идёт. Отсюда правило номинала: защита не больше допустимого тока провода — тогда любой ток, который она пропускает долго, провод тоже выдерживает долго. Если номинал больше допустимого тока, перегрузка между ними не отключается никогда: провод греется часами, а предохранитель цел. Правило целиком, с тремя числами, — $\rightarrow 4.3 \cdot \text{с. } 16$.

ПОЧЕМУ ТАК • ГРАНИЦА ПРАВИЛА: ПРИБОР, КОТОРЫЙ ЗАЩИЩАЕТ СЕБЯ САМ

У многих приборов есть собственная защита внутри — плавкая вставка на плате, термовыключатель обмотки мотора, электронное отключение. Такая встроенная защита без ручного взвода допустима как часть прибора при условии, что остальная цепь защищена автоматом свободного расцепления или предохранителем **АВУС**: стандарт ставит её в дополнение к защите провода, а не вместо неё. Замыкание на перетёртом месте у переборки или в разъёме, залитом водой, случается до прибора, и встроенная защита его не видит. Обратное тоже верно: защита провода не заменяет встроенную защиту прибора и не обязана её дублировать. Поэтому вопрос «какой предохранитель ставить» всегда начинается с провода и заканчивается требованием изготовителя прибора, а не наоборот.

ЦИФРЫ · СКОЛЬКО ЗАЩИТА ДЕРЖИТ ТОК ВЫШЕ НОМИНАЛА**Таблица 4.1. Время срабатывания по данным изготовителей, секунды: от наименьшего до наибольшего** MFR

Защита	Перегрузка на 35 % (135 %)	Двойной ток (200 %)	Шесть номиналов (600 %)
Автомобильная ножевая вставка 4–40 А	0.75–120	0.15–5	0.02–0.1
Автомобильная ножевая вставка меньше 4 А	0.75–240	0.15–5	0.02–0.1
Предохранитель на клемме батареи 30–300 А	до 900	до 60	меньше 0.2
Болтовой предохранитель MEGA 40–250 А	120–1 800	1–15	0.1–1
Магнитно-гидравлический автомат, средняя задержка	2–60 (при 125 %)	1–10	0.04–1

При токе, равном номиналу, ножевая вставка держит не меньше 100 часов (и при токе на десятую больше — тоже), предохранитель на клемме — больше 100 часов, болтовой предохранитель — не меньше 4 часов, магнитно-гидравлический автомат не срабатывает. Разброс в каждой клетке — допуск изготовителя: при одном и том же токе одна вставка сгорит раньше другой того же номинала. Поэтому время срабатывания — полоса, а не число, и правило номинала опирается на её верхнюю границу: провод обязан выдержать самое долгое время из полосы. Полосу ножевой вставки изготовитель даёт при 23 °С вокруг неё; в жарком отсеке та же вставка несёт меньший ток и срабатывает раньше MFR.

Рис. 4.1 · с. 5 показывает главное следствие этого раздела: предохранитель отвечает только за то, что после него. Замыкание между батареей и предохранителем он не видит — ток идёт мимо, и ограничивает его одна батарея. Поэтому место защиты важно не меньше номинала: она стоит у самого начала провода, а участок до неё — самый опасный провод на лодке → 4.2 · с. 9. На своей лодке это

проверяется одним вопросом к каждому плюсовому проводу: где у него начало и что стоит у этого начала.

4.2. Где обязана стоять защита у батареи: правило расстояния и исключение для кабеля стартера

На каком расстоянии от батареи должна стоять защита каждого плюсового провода — и почему этот вопрос важнее номинала? Потому что участок провода от клеммы до защиты не защищён ничем. Если его изоляция перетрётся о блок двигателя, кромку переборки или любой металл на минусе, ток короткого замыкания пойдёт мимо предохранителя (Рис. 4.1 · с. 5, внизу), и ограничит его только внутреннее сопротивление батареи: одна батарея AGM с пластинами чистого свинца на 100 Ah по данным изготовителя отдаёт в такое замыкание 5 000 А **MFR** — это дуга на батарее из карты опасностей → 1.1. Чем короче незащищённый участок, тем меньше провода, который может так замкнуть, — отсюда правило расстояния.

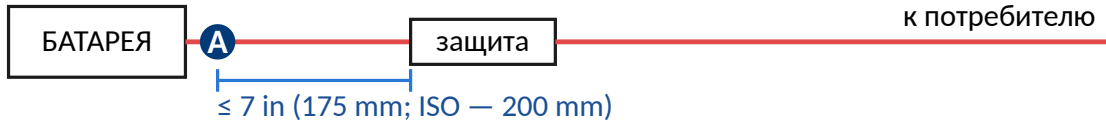
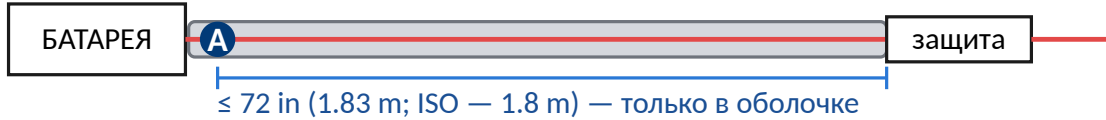
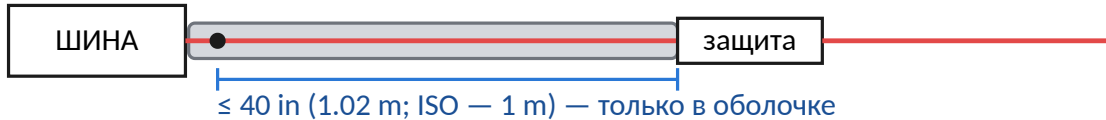
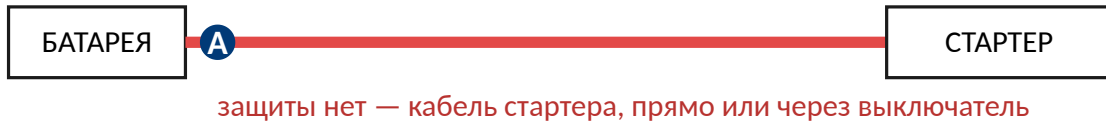
1 • Провод с клеммы батареи — основное правило**2 • Провод с клеммы батареи в сплошной оболочке****3 • Провод от шины или выключателя, в сплошной оболочке****4 • Кабель стартера — исключение**

Рис. 4.2. Правило расстояния на одной геометрии; расстояние — по проводу, а не по прямой, масштаб не соблюден. 1 — основное правило; 2 — провод прямо с клеммы батареи, весь участок в сплошной оболочке; 3 — провод от шины или выключателя в оболочке; 4 — кабель стартера без защиты, прямо или через выключатель батареи. Где числа АВУС и ISO расходятся, действует более строгое — меньшее.

ЗАЩИТА У БАТАРЕИ

Каждый плюсовой провод защищён предохранителем или автоматом не дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm) от точки, где он получает питание, — клеммы батареи, шины, клеммы выключателя, — считая по проводу. Дальше защита может стоять, только если ближе её поставить нельзя и весь участок до неё идёт в сплошной трубчатой оболочке (sheath) без разрывов; тогда она стоит как можно ближе к источнику, но не дальше 72 in (1.83 m; ISO — 1.8 m), если провод подключён прямо на клемму батареи **ABYC**, и не дальше 40 in (1.02 m; ISO — 1 m), если он начинается на другом источнике — шине, клемме выключателя. Где числа расходятся, применяется более строгое — здесь меньшее.

Провод от шины обходится без своей защиты, только если номинал защиты перед шиной не больше его допустимого тока **ABYC** → 4.3 · с. 16.

Из проводов, которые уходят от батареи, без защиты может идти только основная цепь питания стартера — кабель от батареи к стартеру, прямо или через выключатель батареи: регламент и стандарт освобождают его явно **CFR**.

Оболочка здесь не формальность, а замена защиты: на участке, где предохранителя ещё нет, провод от короткого замыкания бережёт только то, что не даёт его изоляции перетереться. Поэтому оболочка сплошная по всей длине — гофра, которая кончается за несколько сантиметров до держателя, оставляет открытым как раз тот кусок, что лежит на кромке. Обмотка изолентой оболочкой не считается: лента сползает, трескается и перетирается раньше провода. Регламент признаёт оболочкой и изоленту, ISO — только сплошное трубчатое покрытие: формованную резину или пластик, оплётку, гибкую трубку **ISO**; выполняется более строгое.

ПОЧЕМУ ТАК · ГРАНИЦА ПРАВИЛА: «КАК МОЖНО БЛИЖЕ» И ИСКЛЮЧЕНИЯ

Почему из расходящихся чисел выполняется более строгое, объяснено в → 1.9. В этом правиле более строгое у разных документов разное (Табл. 4.2 · с. 13): основное расстояние строже у ABYC — 175 mm против 200 mm; расстояния в оболочке и определение оболочки строже у ISO — 1 m и 1.8 m против 40 in (1.02 m) и 72 in (1.83 m), изолента оболочкой не считается. Ещё одно требование у всех трёх документов общее: защита стоит как можно ближе к источнику. Все три расстояния правила — пределы, а не место, куда защиту разрешено отодвинуть; регламент допускает даже 7 in (175 mm), только если у самого источника её поставить невозможно.

Из проводов, уходящих от батареи, освобождена только основная цепь питания стартера. Остальные исключения — выводы прибора, провода внутри двигателя, выход самоограничивающего генератора — относятся к проводам, которые начинаются не на батарее. ISO освобождает любой провод короче 200 mm, в том числе идущий от батареи; ABYC и регламент — только выводы самого прибора. Вы выполняете более строгое: короткий провод от клеммы батареи тоже получает защиту.

Исключение для кабеля стартера не значит, что этот кабель безопасен сам по себе; оно значит, что его безопасность держится на другом: кабель толстый и короткий, закреплён по всей длине, не касается двигателя и острых кромок, а клеммы на обоих концах закрыты. Всё это проверяется глазами на обходе лодки. Кабель стартера узнают не по толщине, а по тому, куда он приходит: проследите его от плюсовой клеммы до втягивающего реле на стартере двигателя — прямо или через выключатель батареи, как на Рис. 3.4; полная цепь пуска — → 9.5. Кабель, который приходит куда-то ещё — к якорной лебёдке (windlass), подруливающему устройству (thruster), инвертору, зарядному, помпе, шине, — исключением не является, даже если он толще кабеля стартера: у приборов, подключённых прямо к батарее, исключения нет **PRACTICE**.

Если стартер питается через выключатель батареи, исключение распространяется на оба куска основной цепи пуска — от клеммы

до выключателя и от выключателя до стартера: регламент освобождает выходной провод батареи, который входит в основную цепь питания стартера **CFR**. Провод, который уходит с выходной клеммы того же выключателя к панели или шине, цепью стартера уже не является: его защита стоит у этой клеммы — не дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm), а в сплошной оболочке — не дальше 40 in (1.02 m; ISO — 1 m).

То же относится к цепям в обход выключателя — трюмной помпе, памяти приборов, сигнализации, зарядному, солнечному контроллеру. Каждая из них начинается на клемме батареи или на стороне батареи выключателя, и у каждой своя защита у этого начала, не дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm): главный предохранитель их не закрывает. Правило обхода и его условие — → 12.1.

Выводы самого прибора (pigtailes) — короткие провода, которые выходят из корпуса помпы или вентилятора, — правило расстояния не нарушают, если они короче 7 in (175 mm): их защищает предохранитель той цепи, в которую прибор включён **ABYC**. Выводы длиннее — такие же провода цепи, и номинал её защиты обязан подходить и им → 4.3 · с. 16.

Таблица 4.2. Правило расстояния: регламент, стандарт ABYC, стандарт ISO

Случай	33 CFR CFR	ABYC ABYC	ISO ISO
Основное правило	У источника; 7 in (175 mm), если там невозможно	7 in (175 mm)	200 mm
Провод на клемме батареи	72 in (1.83 m), без условия оболочки	72 in (1.83 m) в оболочке	1.8 m в оболочке
Провод от другого источника	40 in (1.02 m) в оболочке, если 7 in (175 mm) невозможно	40 in (1.02 m) в оболочке	1 m в оболочке
Оболочка	Изолента, резина, пластик, гибкая трубка; короб, закрытая панель	Трубка, коробка, закрытая панель	Трубчатое покрытие: резина, пластик, оплётка, гибкая трубка

Случай	33 CFR CFR	ABYC ABYC	ISO ISO
Без защиты	Стартер; выводы короче 7 in (175 mm); провода-резисторы; вторичная цепь зажигания; самоограничивающий генератор	Стартер; выводы короче 7 in (175 mm); самоограничивающий генератор: провод до 40 in (1.02 m) в оболочке, не от батареи	Стартер; провод короче 200 mm; самоограничивающие генераторы и зарядные

Участок от клеммы до защиты нельзя обесточить ничем, и защищать его нечем: выключатель батареи стоит после него, а снять батарею можно только работой на её клемме. Поэтому любая работа на нём — перенос держателя ближе к клемме, замена наконечника, установка защиты на провод, у которого её нет, — уровень «Мастер» → 4.8 · с. 44. Ваша часть — найти такой участок, записать его первой строкой в паспорт и до работы мастера эту цепь не нагружать. Исключение — трюмная помпа: изоляция цела, провод не трётся о металл и не лежит в воде — помпу оставьте работать, лодка без откачки опаснее → 12.8.

ЕСЛИ ЛОДКЕ 20–40 ЛЕТ

1. Проверить первым: что стоит главной защитой у каждой батареи. Стекланная трубка с видимой нитью в пружинных зажимах — предохранитель для ветвей, и то при токе короткого замыкания в месте установки не выше его разрывной способности → 4.4 · с. 22, а не для батареи: у двух изготовителей разрывная способность таких вставок на 15–30 А — 300 и 1 000 А и только для переменного напряжения 32 V MFR, против тысяч ампер короткого замыкания батареи → 4.4 · с. 22.
2. Менять первым, если нашли: плюс без защиты и стекланную вставку на месте главной защиты — защиту у клеммы ставит мастер → 4.8 · с. 44. Туда же — держатель в разрыв провода с тонкими выводами, в котором стоит вставка больше той, под которую он рассчитан: у таких держателей изготовитель ограничивает длительный ток меньшим из двух чисел — длительным током самого держателя или 80 % номинала вставки MFR, и держатель под вставки до 20 А со вставкой 30 А плавится раньше, чем вставка сгорит.

3. Чего может не оказаться: защиты на пути от батареи к панели — толстый красный кабель идёт с клеммы на выключатель, от выключателя провод идёт к панели, и первая защита стоит только в панели. Если этот выключатель питает и стартер, кабель от клеммы до него освобождён как цепь стартера, а провод от выключателя к панели — нет; если стартер питается мимо этого выключателя, защиты нет у обоих. Регламент разрешал защиту дальше 72 in (1.83 m; ISO — 1.8 m) лишь лодкам, построенным до 1 августа 1985 года, если в цепи есть выключатель батареи **CFR**. Год постройки вашей лодки читается в идентификационном номере корпуса → 2.5; лодку, построенную позже, это исключение не касается, а физика у всех лодок одна.

ОБХОД ЛОДКИ · НАЙТИ НЕЗАЩИЩЁННЫЙ ПЛЮС

Нужны фонарь, паспорт лодки и мерная лента из ткани или пластика. Металлическая рулетка у батареи не годится: если её лента ляжет между плюсовой клеммой и металлом на минусе, она замкнёт батарею раньше защиты. Кольцо и часы сняты, ключи и инструмент над клеммами не проносите, фонарь держите выше уровня клемм; ничего не отсоединяется, клеммы не трогаются. У каждой батареи сосчитайте провода на плюсовой клемме и проследите каждый до первого держателя: до 7 in (175 mm; ISO — 200 mm) — норма; дальше — только если весь участок в гофре, трубке или коробе без разрывов и не дальше 72 in (1.83 m; ISO — 1.8 m). Без держателя допустим только кабель стартера — к втягивающему реле прямо или через выключатель батареи, который питает стартер; любой другой — находка. То же — у выходной клеммы выключателя батареи и у каждой шины, только в оболочке предел — 40 in (1.02 m; ISO — 1 m); провод от шины обходится без своей защиты, только если номинал защиты перед шиной не больше его допустимого тока → 4.3 · с. 16. И третье — тонкие провода, подключённые к толстым без своего держателя: такой отвод защищён, только если номинал защиты перед ним не больше

его допустимого тока $\rightarrow 4.3 \cdot \text{с. 16}$. Каждую находку запишите первой строкой в паспорт $\rightarrow 2.3$ и не нагружайте эту цепь, пока её не закрыл мастер; трюмную помпу — по исключению выше.

4.3. Триада: ток нагрузки $\leq$ номинал защиты $\leq$ допустимый ток провода

Какой номинал поставить на цепь — и как проверить тот, что уже стоит? Ответ — три числа в неизменном порядке: ток нагрузки, номинал защиты, допустимый ток провода. Каждое следующее не меньше того, что стоит перед ним.

ТРИАДА

Ток нагрузки $\leq$ номинал защиты $\leq$ допустимый ток самого тонкого провода цепи **ISO**. Если изготовитель прибора требует номинал меньше допустимого тока провода, ставится меньший — один предохранитель закрывает оба требования, второго правило не требует.

Левое неравенство — чтобы защита не срабатывала в работе: номинал не меньше тока, который прибор берёт штатно. Правое — чтобы защита успела раньше провода: любой ток, который она пропускает долго, провод тоже выдерживает долго $\rightarrow 4.1 \cdot \text{с. 3}$. Слова «самого тонкого» — не уточнение, а суть правила. Если после предохранителя цепь продолжается более тонким проводом — отвод ко второму прибору, выводы самого прибора, провод, наставленный при ремонте, — номинал выбирается по нему. Там, где тонкий провод подключён к толстому без своего держателя, сравните номинал общей защиты с допустимым током тонкого провода. Не выше — отвод защищён этой же защитой. Выше — отвод не защищён: ему нужна своя защита, выбранная по нему, или общий номинал уменьшается до его допустимого тока, если такой номинал проходит триаду для всей остальной цепи.

Для длительной нагрузки — того, что работает часами, — левое неравенство на практике строже: ток держат не выше 80 % номинала защиты, иначе защитное устройство греется само и срабатывает без неисправности **MFR**.

Второе предложение правила отвечает на вопрос, который возникает на каждой лодке: у прибора есть своё требование к номиналу. Изготовитель помпы пресной воды печатает его на этикетке прибора, изготовитель трюмной помпы — в руководстве и в таблице моделей **MFR**. Это число меньше того, что допускает провод, потому что выбрано под прибор: оно отключит цепь раньше, чем заклиненный мотор перегреет обмотку. Ставится меньшее из двух, и этого достаточно. Если на позиции панели стоит автомат больше нужного, его меняют на автомат нужного номинала, а не добавляют к нему второй предохранитель.

Чаще всего такое требование у моторов — помп, вентиляторов, лебёдок. Для мотора стандарт требует защиты, подходящей для его тока, — внутри прибора или в ветви — и проверяет её заклиненным ротором: семь часов под любой перегрузкой без опасности пожара **ABYC**. Ток заклиненного ротора и пусковой бросок знает только изготовитель мотора, поэтому номинал задаёт он, и этот номинал меньше допустимого тока провода — случай «ставится меньший».

Где взять три числа на своей лодке. Ток нагрузки — на этикетке прибора или в его руководстве; ток работающего прибора измеряют токовыми клещами постоянного тока на одном его проводе → 3.3. Номинал защиты — на корпусе предохранителя, на рычаге или кнопке автомата. Допустимый ток провода — по сечению и температуре изоляции, напечатанным на самом проводе, из таблицы стандарта; для провода в моторном отсеке — по отдельной колонке, потому что там жарче (Табл. 4.3 · с. 18). Полная таблица, снижение в жгуте и провод без маркировки — → 5.3.

Таблица 4.3. Допустимый ток медного провода с изоляцией на 105 °C, А **CFR**

Сечение, AWG	Сечение, mm ²	Вне моторного отсека	В моторном отсеке
16	1.3	25	21.3
14	2.1	35	29.8
12	3.3	45	38.3
10	5.3	60	51
8	8.4	80	68
6	13.3	120	102
4	21	160	136
2	33.6	210	178.5
1/0	53.5	285	242.3
2/0	67	330	280.5
4/0	107	445	378.3

Те же числа печатает таблица допустимых токов АВУС; колонка «в моторном отсеке» — значение вне отсека, умноженное на 0.85 **CFR**. Колонка в mm² — пересчёт того же сечения AWG, а не метрический ряд проводов: как выбрать ближайший больший провод в mm² — → 5.2. Провод с изоляцией на меньшую температуру несёт меньше; в жгуте из нескольких проводов под током — тоже меньше → 5.3.

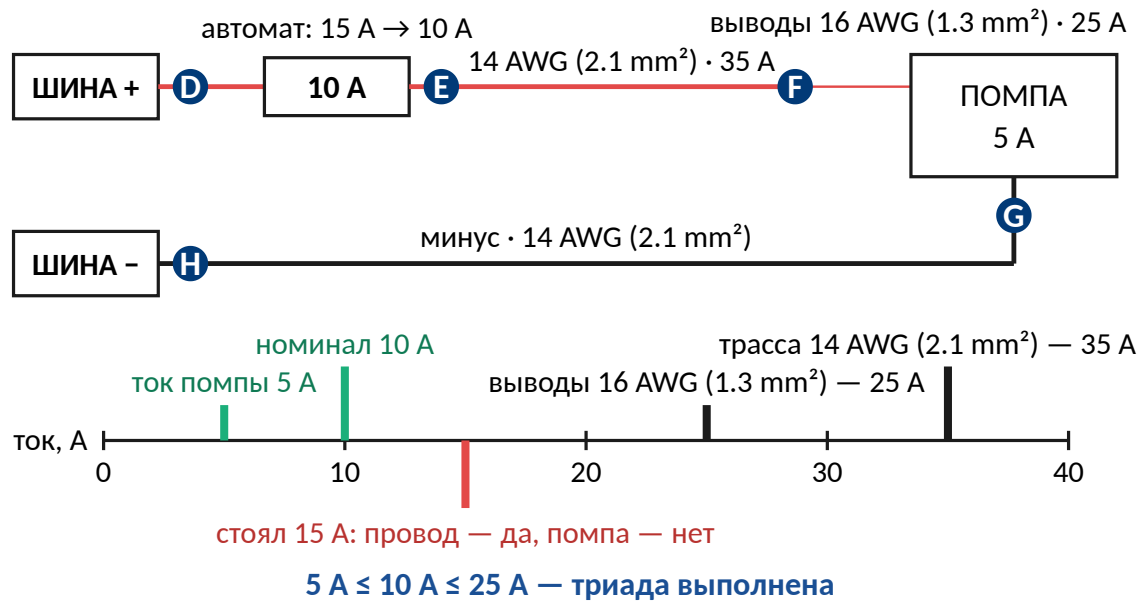


Рис. 4.3. Ветвь панели из разобранного примера; буквы — те же, что на Рис. 4.5. На шкале: ток помпы 5 А, номинал изготовителя 10 А, допустимый ток самого тонкого провода — выводов помпы — 25 А. Стоявший автомат 15 А провод защищает, а помпу — нет. Условие учебное, ток и номинал помпы — по данным изготовителя.

РАЗОБРАННЫЙ ПРИМЕР: ПОМПА ПРЕСНОЙ ВОДЫ НА АВТОМАТЕ ПАНЕЛИ

Условие. Пусть на вашей лодке помпа пресной воды питается от позиции панели с автоматом 15 А — с таким номиналом панель пришла с завода на всех позициях. Провод от панели до помпы — 14 AWG (2.1 mm²) с изоляцией на 105 °C, 16 ft (4.9 m) туда и обратно, в жилом отсеке. У самой помпы выводы 16 AWG (1.3 mm²) длиной 12 in (305 mm). Изготовитель помпы указывает наибольший ток 5 А и предохранитель 10 А **MFR**.

Что определяет решение. Три числа триады и одно слово правила — «самого тонкого». Самый тонкий провод этой цепи — не трасса 14 AWG (2.1 mm²), а выводы помпы 16 AWG (1.3 mm²): они длиннее 7 in (175 mm), и освобождения выводов на них нет.

Расчёт. Ток нагрузки — 5 А. Допустимый ток самого тонкого провода — 25 А для 16 AWG (1.3 mm²) при 105 °C вне моторного отсека; у трассы 14 AWG (2.1 mm²) — 35 А (Табл. 4.3 · с. 18). По проводу годится любой номинал от 5 до 25 А, и стоящий автомат 15 А эту проверку проходит. По изготовителю помпы — не больше 10 А. Меньшее из двух — 10 А.

Результат: 5 А ≤ 10 А ≤ 25 А. Автомат 15 А на этой позиции меняется на 10 А; второй предохранитель к помпе не добавляется. Что число значит: при 15 А провод был защищён, а помпа нет — неисправность мотора с током между 10 и 15 А панель пропускала бы, и мотор грелся бы, пока не сгорел сам. Если на выводах помпы не напечатана температура изоляции, возьмите колонку поменьше: у регламента для 16 AWG (1.3 mm²) при 75 °C — 15 А **CFR**, и 10 А проходит и её.

Длительная нагрузка здесь — 5 А из 10, половина номинала: до ориентира 80 % для длительного тока запас большой.

Пример с пропуском. Пусть вентилятор трюма в отсеке бензинового двигателя берёт 4.3 А, его изготовитель требует предохранитель 7.5 А, а провод к нему — 14 AWG (2.1 mm²) и проходит через моторный отсек. Допустимый ток этого провода в

моторном отсеке — ____ А (Табл. 4.3 · с. 18); номинал защиты — ____
А. Ответ — в самопроверке в конце главы → 4.8 · с. 44.

ПОЧЕМУ ТАК · ОТКУДА 150 % И ПОЧЕМУ ТРИАДА ИХ НЕ БЕРЁТ

Регламент для цепей ниже 50 V разрешает номинал защиты до 150 % допустимого тока по своей таблице: на провод 16 AWG (1.3 mm²) с изоляцией на 105 °C, рассчитанный на 25 А, это до 37.5 А **CFR**.

Отраслевой стандарт разрешает номинал выше допустимого тока провода, когда равного стандартного номинала нет: берётся следующий, но не выше 150 % **VERIFY**.

ISO разрешает номинал не выше допустимого тока самого тонкого провода цепи — без исключения для следующего номинала **ISO**. Это и есть триада: из трёх документов это требование самое строгое, и, выполняя его, вы выполняете все три.

Почему не 150 %. Замыкание рядом с батареей плавит вставку за доли секунды при любом из этих номиналов. Замыкание в конце длинного провода даёт ток всего в несколько номиналов, и там меньший номинал отключает его быстрее → 4.1 · с. 3. Но главная разница — в перегрузке: ток на 10–50 % выше допустимого тока провода держится долго и греет и провод, и само защитное устройство; изготовитель защитных устройств называет именно этот диапазон опасным для цепей моторов, розеток и питающих проводов панелей, куда можно включить больше, чем задумано **MFR**. Вставка на 150 % такую перегрузку не видит вовсе.

Граница правила: номинал выше допустимого тока провода мастер ставит, только когда равного стандартного номинала нет или этого требует пусковой ток мотора, — по документу, который называет, и с расчётом на бумаге; когда номинал выбираете вы сами, действует триада.

КАЖЕТСЯ РЕШЕНИЕМ	ЧТО ВЫЯСНИТЬ ДО ПОКУПКИ	ЧТО РЕШАЕТ ЗАДАЧУ
Выбивает — поставить автомат побольше.	Ток прибора клещами; что добавлено в ветвь; сечение провода; номинал изготовителя прибора; не в жаре ли автомат.	Причина срабатывания → 4.8 · с. 44. Большой автомат на том же проводе переносит отказ с автомата на провод.

4.4. Типы защиты и разрывная способность (AIC): предохранитель, который не взорвётся

Почему у батареи нельзя поставить любой предохранитель подходящего номинала — и что, кроме номинала, на нём напечатано? Номинал говорит, какой ток защита несёт долго, не размыкая цепь; выше него она размыкает — тем быстрее, чем больше ток → 4.1 · с. 3. Второе число — разрывная способность (AIC) — говорит, какой наибольший ток она способна разорвать. Изготовитель определяет её как наибольший ток, который предохранитель безопасно разрывает при своём номинальном напряжении, оставаясь целым, без разрушения корпуса **MFR**. При большем токе дуга внутри корпуса не гаснет, корпус разрушается, а цепь остаётся замкнутой: защита превращается в ещё одно место короткого замыкания.

Какой ток обязана разорвать главная защита, решает ток короткого замыкания самого банка: между батареями и защитой у её клеммы нет провода, который бы его снизил. Для одной свинцовой батареи AGM с пластинами чистого свинца ёмкостью 100 Ah изготовитель указывает 5 000 А **MFR**; две такие батареи в параллель дают вдвое больше. Если изготовитель вашей свинцовой батареи ток короткого замыкания не публикует, выбор главной защиты — работа мастера,

который называет, по какому документу выбрал разрывную способность.

У литиевого банка ток короткого замыкания не ниже, чем у свинцового той же ёмкости. Если его изготовитель этот ток не печатает, порядок виден из внутреннего сопротивления, которое он печатает.

Пусть бортовой банк — одна литиевая батарея 12.8 V ёмкостью 200 Ah, для которой изготовитель указывает внутреннее сопротивление 1 mΩ **MFR**. Ток короткого замыкания на её клеммах — порядка $12.8 / 0.001 \approx 12\,800$ A. Провод и соединения его снижают, но разрывную способность выбирают по худшему случаю — замыканию у самых клемм: больше десяти тысяч ампер — больше, чем разрывает предохранитель на клемме при 14 V, и больше, чем у двух свинцовых батарей AGM 100 Ah с пластинами чистого свинца в параллель.

Отсюда правило для главной защиты любого банка: её разрывная способность не ниже тока короткого замыкания банка по данным изготовителя батареи. Для литиевого банка на практике это Class T. Система управления батареей (BMS) защитой от сверхтока не является: она бережёт ячейки, а не кабель. Полный разбор правила для лития — → 11.2. Изготовитель систем для литиевых батарей называет это обязательным требованием безопасности: хотя бы один предохранитель в линии постоянного тока — с разрывной способностью не ниже возможного тока короткого замыкания банка **MFR**.

Что делает встроенная защита литиевой батареи при коротком замыкании, изготовитель пишет прямо: она защищает ячейки батареи, но всё равно может дать искру и повредить кабель или болт **MFR**. Предохранитель у клеммы нужен и при самой совершенной BMS — он защищает то, чего она не защищает.

Защите ветвей достаётся меньший ток: замыкание за ней питается через питающий провод панели, шины и соединения, и их сопротивление ток снижает. Насколько — решают длина и сечение этого пути, поэтому ток замыкания в месте установки защиты ветви

считают так же, как у клемм: напряжение банка делят на сумму внутреннего сопротивления батарей по данным их изготовителя и сопротивления пути от батареи до этого места и обратно — провода по формуле → 3.1, выключателя, автоматов и соединений. Вторым путём — документ изготовителя панели или блока предохранителей, который называет проверенную комбинацию защиты ветвей с главной защитой. Само наличие питающего провода не означает, что ток на панели стал малым.

Пусть от той же литиевой батареи 12.8 V с внутренним сопротивлением 1 mΩ к панели идёт питающий провод 4 AWG (21 mm²), а обратно — минусовый кабель того же сечения, всего 10 ft (3 m) туда и обратно. Сопротивление этого пути — $10.75 \cdot 10 / 41\,740 \approx 0.0026 \, \Omega$, где 41 740 — сечение 4 AWG (21 mm²) в круговых милах **ABYC**; пусть выключатель батареи, главный автомат панели и соединения добавляют ещё 0.002 Ω. Замыкание сразу за защитой ветви на панели даёт тогда порядка $12.8 / (0.001 + 0.0026 + 0.002) \approx 2\,300 \, \text{A}$ — больше чем вдвое выше 1 000 A автомобильной ножевой вставки → 4.7 · с. 41. Для этой панели такая вставка в ветвях не годится, хотя стоит и после главной защиты, и после питающего провода.

Главная защита этот ток не уменьшает: ожидаемый ток короткого замыкания (prospective short-circuit current) — тот, что батарея даёт в замыкание, пока защита не сработала, — задают батарея и путь до места замыкания. Изготовитель называет Class T токоограничивающим (current-limiting) **MFR**: он срабатывает так быстро, что ток, который он успевает пропустить, остаётся ниже ожидаемого. Права ставить после него защиту с меньшей разрывной способностью это не даёт: такое сочетание допустимо, только если изготовитель защиты ветви или панели называет его в своём документе проверенной комбинацией — так же, как предохранитель перед автоматом («Автоматы» · с. 24).

В Табл. 4.4 · с. 25 — числа одного-трёх изготовителей на тип; на вашей детали читайте свои. У держателя — своё напряжение: держатели ANL одного изготовителя рассчитаны на 32 V при вставках на 80 V,

и допустимое напряжение узла — меньшее из двух **MFR**. Сводная таблица по типам защиты — → Прил. А.

Таблица 4.4. Типы защиты: где стоят и что разрывают — по данным изготовителей
MFR

Тип	Где стоит	Разрывная способность	Что это значит для вас
Предохранитель на клемме (MRBF), 30–300 А	На шпильке клеммы батареи, только в изолированном держателе	10 000 А при 14 V; 5 000 А при 32 V; 2 000 А при 58 V — у двух изготовителей	Главная защита банка 12 V, если его ток КЗ по данным изготовителя батареи не выше 10 000 А (банка 24 V — не выше 5 000 А); литий 12 V с током КЗ выше 10 000 А — нет
Class T, 110–400 А	В своём держателе у клеммы банка	20 000 А постоянного тока — у трёх изготовителей, при 125–160 V	Главная защита литиевого банка → 11.2
ANL	В держателе у батареи или у шины	У одного изготовителя 6 000 А при 80 V; у другого 2 700 А без указания напряжения; у третьего числа нет	Число — свойство изделия, а не типа: читайте документ своей вставки
MEGA / AMG, 40–500 А	На шине распределения	2 000 А при 32 V (серия на 32 V); 2 500 А при 70 V (серия на 70 V)	Защита отдельных кабелей; главной — только если число выше тока КЗ банка
MIDI / AMI, 30–200 А	На шине распределения	2 000 А при 32 V	Защита отдельных кабелей после главной защиты, если ток КЗ в месте установки не выше этого числа

Тип	Где стоит	Разрывная способность	Что это значит для вас
Ножевые АТО / АТС, МАХI, до 80 А	Блок предохранителей, держатель ветви	1 000 А при 32 V	Ветви после главной защиты, если ток КЗ в месте установки не выше 1 000 А
Стеклянные AGC / 3AG, 15–30 А	Старые панели, держатели ветвей	300 или 1 000 А, и только для переменного 32 V; номинала постоянного тока в документе нет	Ветви старых панелей, если ток КЗ в месте установки не выше разрывной способности вставки; главной защитой — никогда
Термический автомат накладного монтажа, 25–200 А	У батареи, у шины, у лебёдки	5 000 А при 14 V; 3 000 А при 28 V; 1 500 А при 48 V	Главная защита банка 12 V с током КЗ не выше 5 000 А по данным изготовителя батареи — например, одной батареи AGM 100 Ah с пластинами чистого свинца; в жару срабатывает раньше номинала
Магнитно-гидравлический панельный автомат	Панель, ветви	7 500–10 000 А при 65–80 V, по исполнению	Номинал почти не меняется с температурой отсека

Разрывная способность напечатана при напряжении, и без напряжения это число ничего не значит. Один и тот же предохранитель на клемме разрывает 10 000 А при 14 V, 5 000 А при 32 V и 2 000 А при 58 V — так печатают оба изготовителя этого типа **MFR**. Для банка 12 V читайте строку 14 V, для банка 24 V — строку не ниже 28–32 V. Номинал тока и разрывная способность — два разных числа на одной вставке, и проверяются оба.

Предохранитель на клемме

Предохранитель на клемме (MRBF, terminal fuse) — пластина с плавкой перемычкой, которая через изолированный держатель садится на шпильку клеммы батареи и выполняет правило 7 in (175 mm) без провода между клеммой и защитой. У него одно условие монтажа, и изготовитель предохранителя и изготовитель батареи пишут его одинаково: только в изолированном держателе и никогда прямо на шпильку клеммы, иначе предохранитель не работает **MFR**. Шпилька батареи проходит сквозь пластину, и без изолирующего держателя ток идёт по шпильке и гайке к кабелю мимо плавкой перемычки: предохранитель стоит, а цепь без защиты (Рис. 4.4 · с. 27). Порядок деталей на шпильке и момент затяжки — по документу держателя и батареи: у разных держателей и клемм они разные, и одного числа на все нет.

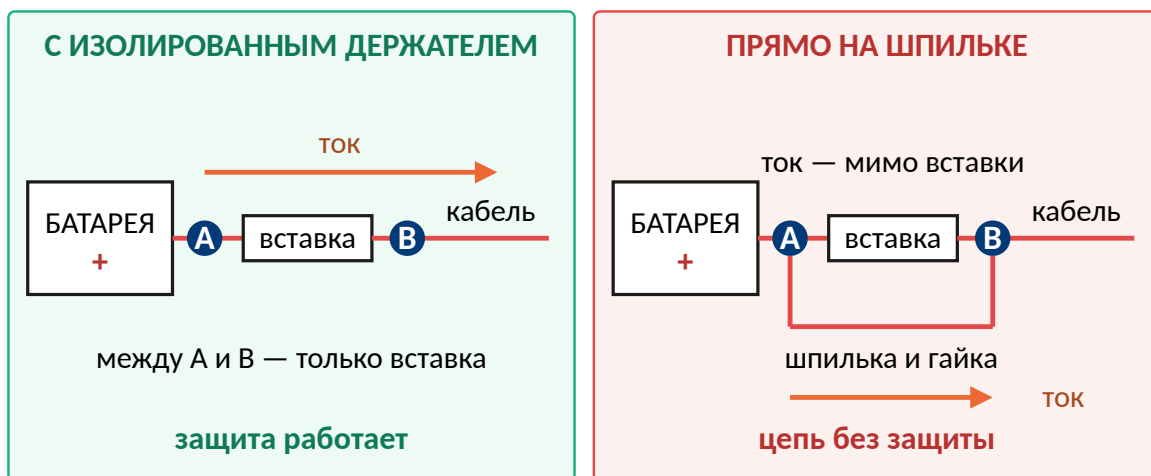


Рис. 4.4. Предохранитель на клемме электрически. Слева он стоит в изолированном держателе: между клеммой батареи А и выходом В, на котором сидит наконечник кабеля, ток может пройти только через плавкую перемычку. Справа та же пластина надета прямо на шпильку клеммы: шпилька и гайка соединяют А и В вторым путём, большая часть тока идёт по нему; даже если перемычка сгорит, цепь не разорвётся ни при каком токе. Снаружи обе установки выглядят почти одинаково — различает их только изолированный держатель под пластиной.

Class T, ANL и литиевый банк

Class T — предохранитель с разрывной способностью 20 000 А постоянного тока у трёх изготовителей в диапазоне токов, который

нужен у батареи **MFR**. Поэтому он — практический выбор для главной защиты литиевого банка и для банков свинцовых батарей с высоким током короткого замыкания. ANL такой определённости не даёт: его разрывная способность у разных изготовителей отличается больше чем вдвое, и одно число за весь тип не отвечает.

Изготовитель литиевой батареи, который требует от защиты разрывной способности 15 000 А, называет для неё Class T или предохранитель на клемме — а у предохранителя на клемме наибольшее число 10 000 А при 14 V, то есть требование выполняет только Class T; другой изготовитель прямо запрещает заменять свой Class T на ANL или MIDI **MFR**.

КАЖЕТСЯ РЕШЕНИЕМ	ЧТО ВЫЯСНИТЬ ДО ПОКУПКИ	ЧТО РЕШАЕТ ЗАДАЧУ
К литиевому банку — ANL: «на свинце он не подводил».	Ток короткого замыкания банка по документу изготовителя батареи; разрывная способность вставки и держателя при напряжении банка.	Class T у клеммы банка → 11.2. На свинце ANL ни разу не разрывал ток замыкания банка — это не проверка.

Автоматы

Автомат (circuit breaker) делает то же, что предохранитель, но его можно взвести снова. На лодке он обязан иметь два свойства: взводиться только рукой (manual reset) и срабатывать со свободным расцеплением (trip-free) — то есть размыкаться при сверхтоке даже тогда, когда его рычаг держат во включённом положении **CFR**. Первое свойство не даёт автомату включиться самому на неисправную цепь, второе — удерживать его рукой.

Внутри автомата работает один из двух механизмов. В термическом (thermal) биметаллическая пластина изгибается от тепла тока и размыкает контакт; в магнитно-гидравлическом (hydraulic-magnetic) катушка втягивает сердечник, а гидравлическая задержка

пропускает короткие пусковые броски. Разница видна в жарком отсеке: термический автомат чувствует не только ток, но и воздух вокруг. Автомат на 10 А в жаре может сработать уже при 7 А, а в холоде — только при 13 А, тогда как магнитно-гидравлический держит свой номинал от -40 до $+85$ °С **MFR**.

Отсюда ложное срабатывание, которое больший номинал не устраняет. Автомат, который выбивает в жаркий день в моторном отсеке при том же токе, что зимой держал, — термический и перегретый, а не слабый. Решение — перенести его из жары или поставить магнитно-гидравлический того же номинала, а не больший, — и только если этот номинал проходит триаду по допустимому току провода в этом отсеке (Табл. 4.3 · с. 18, колонка «в моторном отсеке»): провод в жаре тоже несёт меньше, и ранний щелчок термического автомата мог быть единственным, что его берегло.

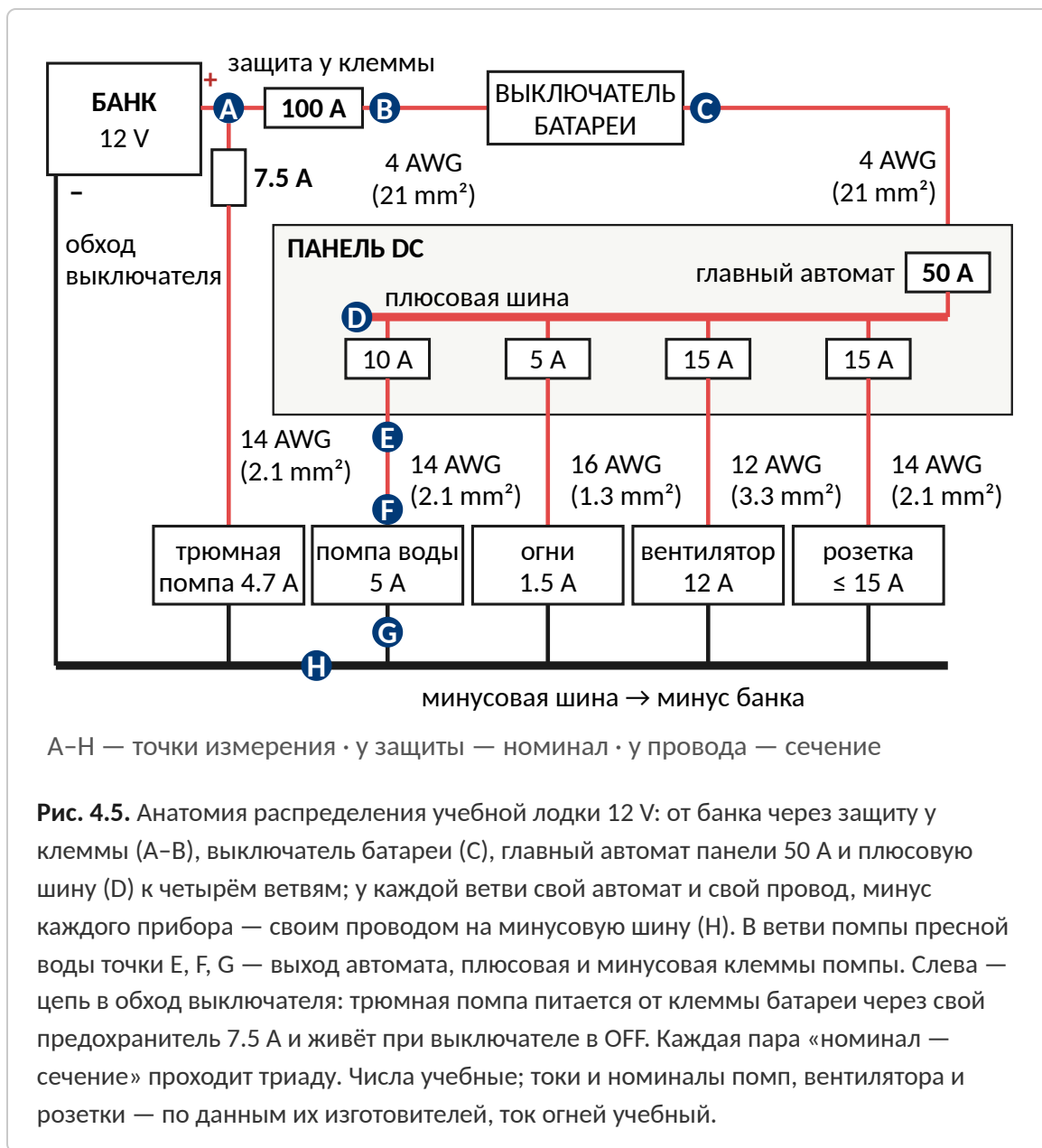
Второй источник ложных срабатываний — пусковой ток (inrush current). Мотор в первое мгновение берёт в несколько раз больше рабочего тока: в испытании изготовителя защитных устройств индуктивная нагрузка на 17 А при включении взяла 80 А — 470 %, резистивная на 44 А — 126 А, 286 %; изготовитель советует рассчитывать защиту на пятикратный бросок для моторов и трёхкратный для резистивной нагрузки длительностью около половины секунды **MFR**. Быстрая ножевая вставка при броске в пять номиналов сгорает раньше, чем бросок кончится (Табл. 4.1 · с. 8). Поэтому номинал и характеристику защиты мотора выбирает изготовитель прибора — он знает бросок своего мотора, — а не номинал «побольше».

Главной защитой банка может быть и автомат, если его разрывная способность при напряжении банка не ниже тока короткого замыкания. Если её не хватает, стандарт допускает поставить перед автоматом последовательно предохранитель, который подбирает разрывную способность, а тип и номинал этого предохранителя называет изготовитель автомата; автомат остаётся выключателем и защитой от перегрузки **АВУС**.

На своей лодке прочитайте на главной защите у каждой батареи три надписи: номинал, разрывную способность и напряжение, при котором она указана, — и сравните разрывную способность с током короткого замыкания банка по документу изготовителя батареи. Надписи не читаются или стоит стекло — это находка для мастера
→ 4.8 · с. 44.

4.5. Панель и распределение: от батареи до прибора

Как ток доходит от батареи до прибора, что по дороге его защищает — и что из этого видно на вашей панели? На лодке с панелью постоянного тока путь такой (Рис. 4.5 · с. 31).



От плюсовой клеммы батареи А ток идёт через главную защиту у клеммы — её выход В — по кабелю к выключателю батареи; с выходной клеммы выключателя С питающий провод панели (feeder) несёт его к главному автомату панели, а за ним — на плюсовую шину D. От шины расходятся ветви: у каждой свой автомат или предохранитель, с его выхода E провод идёт к плюсовой клемме прибора F. Обратно ток возвращается своим проводом: от минусовой клеммы прибора G на минусовую шину H и оттуда кабелем на минус батареи. Мимо выключателя, прямо от

клеммы батареи через свою защиту, питаются цепи в обход выключателя — на схеме трюмная помпа.

На схеме у каждой защиты стоит номинал, у каждого провода — сечение, и каждая пара проходит триаду → 4.3 · с. 16. Пусть это учебная лодка 12 V. Защита у батареи 100 A стоит на кабеле 4 AWG (21 mm^2) с допустимым током 160 A. Главный автомат панели 50 A ограничивает ток всей панели. Каждый автомат ветви выбран по проводу и по прибору: 10 A на помпе пресной воды с проводом 14 AWG (2.1 mm^2), 5 A на огнях с проводом 16 AWG (1.3 mm^2), 15 A на вентиляторе трюма, который берёт 12 A, с проводом 12 AWG (3.3 mm^2), 15 A на розетке с проводом 14 AWG (2.1 mm^2). Защита трюмной помпы 7.5 A стоит у клеммы батареи: эта цепь живёт при выключателе в OFF → 12.1.

Главный автомат панели — тот, через который питается вся её шина; его номинал не больше того, на что рассчитана сама панель, и не больше допустимого тока питающего провода АВУС. Число панели стоит на её этикетке и в её документе, и если они расходятся, верно меньшее.

Питающий провод панели выбирается так, чтобы при полном токе панели падение напряжения на нём не превышало 3 % АВУС — 0.36 V при 12 V; как посчитать сечение, — → 5.4. Защищает его защита у батареи, а не главный автомат: автомат стоит в конце питающего провода.

С лицевой стороны панели без инструмента проверяются три вещи — доступ, подписи и место. Доступ: панель стоит там, где до автоматов и предохранителей можно дотянуться быстро и без инструмента, а к её клеммной стороне можно подойти для осмотра, не разбирая корпус лодки; напряжение системы указано на панели постоянно ISO.

Подписи: каждый выключатель и автомат подписан по назначению АВУС — позиция без подписи или с подписью от руки говорит, что эту цепь кто-то добавил и её надо проследить.

Место: панель не ставят в моторный отсек бензиновой лодки и в отсек свинцовых батарей: изготовители морских панелей прямо пишут, что автоматы в них не взрывозащищены и способны поджечь пары бензина, пропана и газы свинцовых батарей **MFR**. Что ставить в такой отсек — → 4.6 · с. 37.

Одна особенность новых панелей касается триады напрямую. Панель приходит с автоматами одного номинала на всех позициях — у одного изготовителя это 15 А, выбранные, чтобы реже менять автоматы при монтаже, — и инструкция требует проверить, хватает ли этого номинала каждой ветви, и заменить недостаточный **MFR**. Обратного случая — автомат больше, чем выдерживает провод ветви или чем требует изготовитель прибора, — инструкция не называет, и его проверяете вы, по триаде: так устроен разобранный пример в → 4.3 · с. 16.

Как прочитать свою панель

Прочитать свою панель — значит ответить на четыре вопроса, не снимая её. Первый: какой автомат главный и какой у него номинал. Второй: сколько ветвей и что на каждой — по подписям; позиция без подписи — повод проследить провод. Третий: номинал каждой ветви против сечения её провода; сечение напечатано на изоляции провода с тыльной стороны панели. Если на той же панели есть сторона переменного тока, до того как открыть панель, снимите её целиком по карте источников: берег (панель OFF, колонка OFF, вилка из колонки), инвертор OFF, генераторная установка заглушена → 1.7. Четвёртый: что питается мимо панели — цепи в обход выключателя со своей защитой у батареи → 12.1. Ответы — в паспорт лодки → 2.3.

Минус каждой ветви идёт своим проводом на минусовую шину панели, и минусовую шину не путают с шиной заземления: на шину заземления приходят зелёные или зелёно-жёлтые провода корпусов приборов, которые в норме тока не несут, а минусовая несёт рабочий ток всех ветвей **MFR**.

Минус прибора на каркас панели, на её металлическую рамку или на ближайший металл — ошибка при любом корпусе лодки: система постоянного тока на лодке двухпроводная **АВУС**. На металлическом корпусе цена этой ошибки выше, и правило звучит словами 1.4: корпус — проводник, но не путь тока; каждый минус — проводом до шины; связь потенциала минуса с корпусом — в одной точке, вторая точка и любой ток через корпус — ошибка → 1.4.

РАЗ В СЕЗОН · ГЛАВНАЯ ЗАЩИТА И ПАНЕЛЬ ПОД НАГРУЗКОЙ

Включите то, что работает у вас на ходу, — огни, электронику, помпу пресной воды. У батареи кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом. Пока нагрузка работает, измерьте в милливольтном диапазоне падение на соединениях главной защиты у батареи: щупы на клемме А и основании держателя, затем на выходной шпильке держателя и наконечнике кабеля в точке В. Затем то же — на соединении наконечника с клеммой главного автомата панели; если на той же панели есть сторона переменного тока, до того как открыть панель, снимите её целиком по карте источников → 1.7. На исправном соединении под рабочим током изготовитель приборов называет нормой 0.00 V на шкале вольт **MFR** — в милливольтном диапазоне это доли или единицы милливольт; десятки милливольт — соединение под нагрузкой греется → 3.5. Запишите числа в паспорт с датой и нагрузкой: рост показания при той же нагрузке через сезон — первый признак окисла. Включённую для измерения нагрузку верните в обычный режим.

Что бывает на скрутке за панелью

Тыльная сторона панели — место, где за годы копятся чужие решения: провод нового прибора, подключённый «на время», скрутка вместо наконечника, пятый наконечник на шпильке. Каждое из них работает, пока ток мал, и каждое либо греется под нагрузкой → 3.1, либо оставляет провод без своей защиты. Все они

видны глазами (Рис. 4.6 · с. 35), и у каждой есть правило, которое она нарушает (Табл. 4.5 · с. 36).

Смотреть на тыльную сторону панели — «Сам при условии»: если на той же панели есть сторона переменного тока, до того как открыть панель, её снимают целиком по карте источников — берег (панель OFF, колонка OFF, вилка из колонки), инвертор OFF, генераторная установка заглушена → 1.7. Постоянный ток при этом можно оставить: он нужен для измерений под нагрузкой. Трогать соединения постоянного тока — только при выключателе батареи в OFF и 0 V на плюсовой шине D при включённом главном автомате панели; провода цепей в обход выключателя, если они заведены на панель, при этом остаются живыми и снимаются своими предохранителями у батареи.

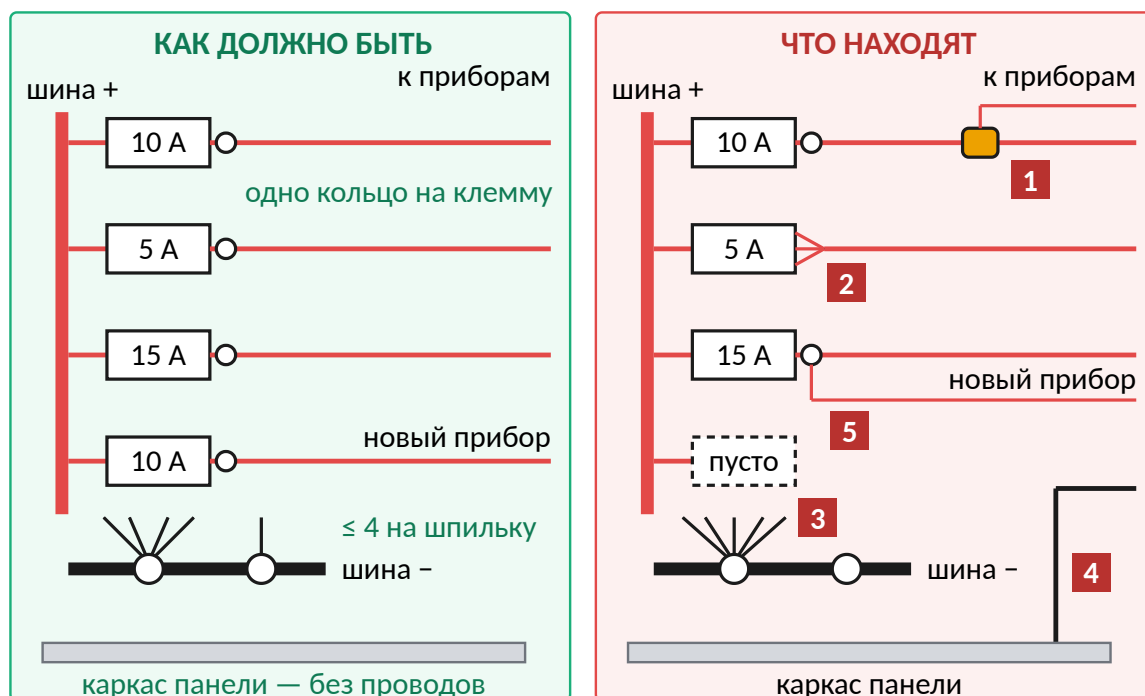


Рис. 4.6. Тыльная сторона панели на одной геометрии: слева как должно быть, справа что находят. Номера — строки Табл. 4.5: 1 — скрутка с колпачком и добавленный провод; 2 — голый провод без наконечника; 3 — пять наконечников на шпильке; 4 — минус на каркасе панели; 5 — новый прибор вторым проводом на чужом автомате при пустой позиции рядом.

Новый прибор подключается на свою позицию с автоматом по триаде, минус — на минусовую шину. Если свободной позиции нет,

прибор получает отдельный блок предохранителей со своим питанием и своей защитой у источника, а не второй провод на клемму соседнего автомата. Как обжать наконечник и что делать с проводом без маркировки — → 5.6, → 5.2. На своей лодке откройте тыльную сторону панели — сторона переменного тока, если она на той же панели, снята по карте источников → 1.7, — сфотографируйте её и сверьте фотографию с Табл. 4.5 · с. 36: каждая находка — строка в паспорте.

Таблица 4.5. Что находят за панелью, почему это опасно и как должно быть

Находка	Что происходит	Как должно быть	Пометка
1 · Скрутка под колпачком или изолентой, в том числе с добавленным проводом	Контакт держится на упругости и трении; вибрация и окисел поднимают сопротивление, соединение греется под током; добавленный провод тоньше и защищён чужим номиналом	Наконечник, обжатый инструментом; скрутки с колпачком не применяются	АВУС
2 · Голый провод под винтом или на шпильке	Жилы расплющиваются и расходятся из-под винта, часть жил не несёт ток, контакт ослабевает	Каждый провод — с наконечником	ISO
3 · Пять и больше наконечников на одной шпильке	Гайка прижимает стопку, нижние наконечники ослабевают первыми	Не больше четырёх на шпильку; дальше — соседняя шпилька, перемычка или медная шина	ISO
4 · Минус прибора на каркасе панели или на ближайшем металле	Рабочий ток идёт по металлу панели и её крепежу; на металлическом корпусе — ещё и по корпусу	Каждый минус — своим проводом на минусовую шину → 1.4	АВУС
5 · Провод нового прибора вторым на клемме чужого автомата	Новый провод защищён номиналом чужой цепи; если этот номинал больше допустимого тока нового провода, провод без защиты; при отказе отключаются оба прибора	Своя позиция и номинал по триаде → 4.3 · с. 16	—

Находка	Что происходит	Как должно быть	Пометка
6 · Открытая вилка вместо кольца	При ослабшем винте вилка выскальзывает из-под него	Кольцо или захватная вилка	ABYC
7 · Кольцо больше шпильки	Кольцо прижато краем, площадь контакта мала, соединение греется	Размер кольца равен размеру шпильки	ABYC
8 · Открытая шейка наконечника рядом с соседним проводом	Касание соседнего провода или металла — короткое замыкание	Шейка закрыта изоляционной трубкой или барьером	ISO

4.6. Взрывозащищённость (ignition protection) в отсеках с бензином

Какие приборы на вашей лодке обязаны быть взрывозащищёнными — и как понять, что конкретный прибор таков? Причина требования — в физике бензина: его пар образует горючую смесь при любой температуре, какая бывает в трюме, он тяжелее воздуха и стекает в нижнюю часть отсека **MFR**. Искру дают контакты реле и выключателей, щётки моторов, сгорающая вставка предохранителя, дуга размыкающегося автомата. Взрывозащищённый прибор (ignition protected) устроен так, что эта искра смесь снаружи не поджигает → 1.1. Если в отсеке уже пахнет бензином, первое действие — включить только вентилятор трюма, больше ничего не включать и не выключать, открыть люки, искать течь → 1.1.

Где требуется

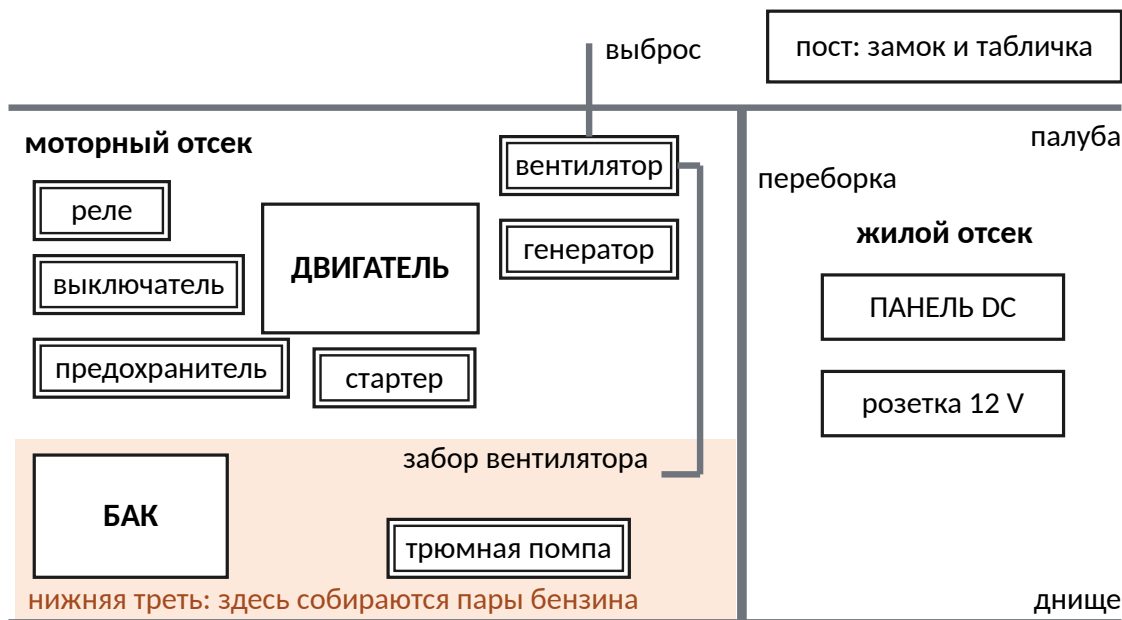
Требование привязано не к типу мотора, а к пространству. Источник искры в отсеке, где стоит бензиновый двигатель, бензобак или соединения и фитинги бензиновой топливной системы, обязан быть взрывозащищённым, если он не изолирован от источника бензина. Требование не действует на лодке, где единственное топливо — дизель, и на подвесной мотор, установленный снаружи или в отсеке, открытом наружу **ABYC**.

Исключение освобождает сам подвесной мотор, а не отсек с баком: лодка с подвесным мотором и встроенным баком в закрытом отсеке под требование попадает.

ISO требует того же в любом отсеке, где могут скопиться взрывоопасные пары: с двигателем с искровым зажиганием, с его баком, с соединениями топливной линии между ними — и в отсеке, открыто сообщаемся с таким; исключение — отсек, открытый наружу не меньше чем на 0.34 m^2 на каждый кубометр объёма **ISO**.

Регламент распространяет требование на лодки со стационарным бензиновым двигателем и проверяет его прямо: электрический компонент при своих номинальных напряжении и токе не должен поджечь окружающую смесь пропана с воздухом 4.25–5.25 %, если он не изолирован от источника бензина **CFR**. Изолирован компонент в трёх случаях: между ним и источником стоит переборка по всей высоте и ширине открытого пространства: до высоты 12 in (305 mm) или трети её высоты, что меньше, она без отверстий и держит воду, а выше отверстия допустимы только для проводов, труб, воздухопроводов, механизмов, дверей и люков, с зазором вокруг каждого не больше $1/4 \text{ in}$ (6 mm); он стоит ниже источника и защищён от стекающего топлива и паров — или выше, и между ними палуба или закрытый короб; между ними не меньше 2 ft (0.6 m) пространства, открытого наружу.

Для вас из этого следует одно рабочее правило. В отсеке с бензиновым двигателем, бензобаком или соединениями топливной линии каждый электрический прибор — стартер, генератор двигателя, реле, выключатель батареи, держатель предохранителя, автомат, вентилятор трюма, трюмная помпа, реле разделения заряда — взрывозащищённый; прибор, который таким не является, переносится за переборку или над палубу либо заменяется. На лодке, где единственное топливо — дизель, требования нет, но электрика там та же, и остальные правила этой главы действуют полностью; бензиновая генераторная установка или бензобак мотора тузика в закрытом рундуке делают отсек, где они стоят, отсеком с бензином.



двойная рамка — прибор обязан быть взрывозащищённым

Рис. 4.7. Отсек со стационарным бензиновым двигателем. В двойной рамке — приборы, которые стоят в одном пространстве с двигателем, баком и соединениями топливной линии и потому обязаны быть взрывозащищёнными: реле, выключатель батареи, предохранитель, стартер, генератор двигателя, вентилятор трюма, трюмная помпа. Панель и розетка за переборкой, которая отвечает условиям изоляции, требования не имеют. Пары бензина тяжелее воздуха и собираются внизу; забор вентилятора — в нижней трети отсека, выше уровня воды в трюме. На лодке с подвесным мотором та же картина относится к закрытому отсеку со встроенным баком.

Как узнать защищённую деталь

Изготовитель обязан промаркировать изделие или указать его взрывозащищённость в документации **ABYC**. Поэтому признак ищется в четырёх местах — на корпусе, на этикетке, на упаковке и в документе изготовителя, а сама надпись — «Ignition Protected» или обозначение испытания: «SAE J1171 MARINE», «UL 1500 Marine-Ignition Protected», «ISO 8846 MARINE». Нет маркировки ни на корпусе, ни в документе — прибор в этом отсеке считается незащищённым.

Проверка ведётся по изделию, а не по слову «морской» в названии. У одного и того же изготовителя одна и та же функция выпускается и с защитой, и без неё: держатель Class T на меньшие токи отмечен

как взрывозащищённый, на большие — нет, и изготовитель поясняет, что такие устройства в моторном отсеке с бензиновым двигателем обязаны быть защищёнными. Автоматы морских распределительных панелей изготовители прямо называют не взрывозащищёнными **MFR**.

Чего не ставить

В такой отсек не ставят автомобильное реле, бытовой или каютный вентилятор, помпу для дома, рубильник с открытыми ножами — любой прибор без маркировки взрывозащиты. Изготовитель каютных вентиляторов прямо отвечает, что его вентиляторы на взрывозащищённость не сертифицированы и не испытаны, мотор у них щёточный, и в моторном отсеке применять их он не рекомендует **MFR**. Замена прибора в таком отсеке — на прибор с той же функцией и с маркировкой взрывозащиты, и уровень этой работы назван в → 4.8 · с. 44.

Вентилятор трюма и табличка у замка зажигания

Отсек со стационарным бензиновым двигателем со стартером либо открыт наружу, либо продувается вытяжным вентилятором; забор вентилятора — в нижней трети отсека, выше уровня воды, которая стоит в трюме; если отсек продувается вентилятором, у каждого замка зажигания на виду стоит табличка с текстом «WARNING—GASOLINE VAPORS CAN EXPLODE. BEFORE STARTING ENGINE OPERATE BLOWER FOR 4 MINUTES AND CHECK ENGINE COMPARTMENT BILGE FOR GASOLINE VAPORS.» — пары бензина могут взорваться; перед пуском двигателя включите вентилятор на 4 минуты и проверьте, нет ли паров бензина в трюме моторного отсека **CFR**. Сам вентилятор стоит в этом отсеке, значит, обязан быть взрывозащищённым; его маркировка проверяется на обходе лодки, до того как на него придётся положиться.

Лодка с подвесным мотором и встроенным баком: отсек с баком, где стоит прибор без взрывозащиты, регламент требует проветривать естественной вентиляцией **CFR**, и это требование относится к лодкам с любым бензиновым мотором, включая

подвесной. Вентиляция требования взрывозащищённости не заменяет: прибор в отсеке с баком — взрывозащищённый, а незащищённый переносится или заменяется. На своей лодке найдите на каждом приборе в моторном и топливном отсеке маркировку взрывозащиты и запишите в паспорт те, на которых её нет.

4.7. Обычное или морское? Автомобильный предохранитель, бытовой автомат

Можно ли поставить на лодку предохранитель из автомагазина или автомат из домашнего щитка? Защита — та деталь, где «обычное» и «морское» различаются не названием, а физикой и надписью на корпусе. Проверка одна на все случаи: на изделии или в документе его изготовителя названо напряжение постоянного тока не ниже напряжения вашей системы и разрывная способность при нём — не ниже тока короткого замыкания в месте установки → 4.4 · с. 22; номинал проходит триаду → 4.3 · с. 16; автомат взводится только рукой и размыкается, даже когда его рычаг держат включённым; в отсеке с бензином есть маркировка взрывозащиты → 4.6 · с. 37. Изделие, которое выполняет все условия, годится, откуда бы ни пришло; не выполнило хотя бы одно — не годится, как бы ни называлось.

ОБЫЧНОЕ ИЛИ МОРСКОЕ? • ВСТАВКА

Автомобильный ножевой предохранитель. Вставка того же типоразмера, что стоит в морских блоках предохранителей: 32 V постоянного тока, разрывная способность 1 000 А **MFR**. В ветви после главной защиты она годится, если ток короткого замыкания в месте установки не выше 1 000 А. Этот ток считают по внутреннему сопротивлению батарей из документа их изготовителя и сопротивлению пути от батареи до этого места и обратно, либо читают в документе изготовителя панели или блока проверенную комбинацию с главной защитой → 4.4 • с. 22. Одного питающего провода для этого мало: короткий толстый провод от большого банка оставляет на панели больше 1 000 А. Блок предохранителей прямо у большого банка — вопрос к мастеру по документу блока. У батареи — нет: там тысячи ампер.

Вывод: в ветвях, по расчёту

ОБЫЧНОЕ ИЛИ МОРСКОЕ? • ДЕРЖАТЕЛЬ

Автомобильный держатель в разрыв провода. Держатель — отдельное изделие со своим пределом. У держателей в разрыв провода изготовитель ограничивает длительный ток меньшим из двух чисел — длительным током самого держателя или 80 % номинала вставки, а выводы у них тонкие **MFR**; вставка больше той, под которую рассчитан держатель, плавит держатель раньше, чем сгорит сама. В трюме к этому добавляется окисел латунного контакта, поэтому там нужен держатель с лужёными контактами и уплотнённой крышкой → 12.2, а взрывозащищённость у держателя есть, только если она написана в его документе.

Вывод: по документу держателя

ОБЫЧНОЕ ИЛИ МОРСКОЕ? · БЫТОВОЙ АВТОМАТ

Автомат из щитка переменного тока. Постоянный ток гасить труднее: у переменного тока дуга гаснет сама в каждом переходе тока через ноль, сто или сто двадцать раз в секунду, а у постоянного такого нуля нет, и автомат обязан довести ток до нуля сам. Автомат без номинала постоянного тока на это не рассчитан: изготовитель бытовых автоматов прямо пишет, что такие автоматы — только для сети переменного тока, а номинал постоянного тока есть лишь у отдельных исполнений той же серии и напечатан на их этикетке **MFR**. Признак — не «бытовой» или «морской», а маркировка постоянного тока на самом изделии. Она — первое условие, а не разрешение: исполнение с номиналом постоянного тока проходит ещё остальные условия — разрывную способность, триаду, ручной взвод со свободным расцеплением, взрывозащищённость в отсеке с бензином.

Вывод: без номинала DC — нет

ОБЫЧНОЕ ИЛИ МОРСКОЕ? · АВТОМАТ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ВОЗВРАТОМ

Автомобильный автомат с автоматическим возвратом (auto reset). Такой автомат сам включается после срабатывания и, пока неисправность не устранена, щёлкает туда и обратно; его изготовитель эксплуатацию в таком режиме не рекомендует **MFR**. При каждом возврате в неисправную цепь снова идёт ток короткого замыкания, а вы не узнаете, что цепь неисправна.

На лодке автомат обязан взводиться рукой и размыкаться даже тогда, когда его рычаг держат включённым **CFR**.

Вывод: только ручной взвод

На своей лодке прочитайте надписи на трёх изделиях — на вставке главной защиты, на любом держателе в трюме и на любом автомате, который ставили не на заводе: напряжение постоянного тока, разрывная способность, способ взвода. Изделие, у которого этих данных нет ни на корпусе, ни в документе, — строка в паспорте и вопрос к мастеру.

4.8. На борту

НА БОРТУ: ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО

Защита стоит там, где провод получает питание, и по номиналу не больше того, что выдерживает самый тонкий провод после неё. Ток короткого замыкания разрывает только она: всё, что лежит между источником и защитой, не защищено ничем, а номинал защиты выше допустимого тока провода оставляет перегрузку без ответа.

Что это значит

Жалобы на защиту бывают трёх видов — выбивает, греется, не выбивает, — и за каждой стоит своя физика. Таблица разводит похожие жалобы по признаку, который вы видите сами: в какой момент срабатывает, что именно греется, что осталось целым. Первая проверка в каждой строке — чтение надписей или измерение; деталь меняют только после неё.

Таблица 4.6. Что это значит: симптом → что происходит → первая проверка → кто

(точки — по Рис. 4.5)

Вы видите	Что происходит	Первая проверка	Кто
<i>Выбивает в ту же секунду, как включаете прибор</i>	Замыкание в проводе или приборе, пусковой бросок мотора или защита, характеристика которой не подходит к его пуску	Прибор выключить, автомат взвести один раз: выбивает без прибора — замыкание в проводе, разъёме или на входе прибора либо не держит сам автомат; больше не взводить, дальше мастер; держит — клещи на провод и одно включение прибора; снова выбило — автомат оставить выключенным и подписанным, маршрут «Выбивает», шаг 4	Сам → Мастер
<i>Выбивает через минуты или часы работы</i>	Перегрузка: на ветви больше одного прибора, мотор идёт тяжело; перегрет термический автомат или греет контакт на его клемме	Клещи DC на провод у выхода автомата Е до включения прибора; одно включение — ток, время до срабатывания, нагрев автомата: маршрут «Выбивает»	Сам
<i>Выбивает только в жару или в моторном отсеке</i>	Термический автомат в жаре срабатывает при меньшем токе	Одно включение по маршруту «Выбивает»: ток ниже 80 % номинала, контакт на клемме цел, номинал не выше допустимого тока провода в моторном отсеке (Табл. 4.3 · с. 18) — автомат из жары или магнитно-гидравлический того же номинала → 4.4 · с. 22; номинал выше — маршрут «Не выбивает»	Сам при условии

Вы видите	Что происходит	Первая проверка	Кто
<i>Прибор на 15 А в розетке на 15 А выбивает через десятки минут работы</i>	Длительная нагрузка на границе номинала греет защиту; термический автомат в тепле срабатывает ниже номинала, реальный ток прибора бывает выше надписи	Ток прибора против 80 % номинала; прибор меньше или своя цепь → 4.3 · с. 16	Сам
<i>Выбил главный автомат панели после установки нового прибора</i>	Сумма токов ветвей выше номинала главного автомата или замыкание в новой проводке	Сложить токи включённого; клещи на питающий провод панели	Сам
<i>Новую вставку поставили — сгорела снова</i>	Замыкание или перегрузка в цепи, пусковой бросок или вставка меньше требования изготовителя прибора — по одному срабатыванию не различить	Третий раз не ставить, больший тем более; цепь без питания и подписана; номинал против требования изготовителя прибора → 4.3 · с. 16 — в запись для мастера	Мастер
<i>Автомат щёлкает сам: отключается и включается</i>	Автомат с автоматическим возвратом на неисправной цепи	Цепь выключить; на корпусе автомата найти способ взвода: автоматический возврат — автомат меняется на автомат с ручным взводом и свободным расцеплением, номинал по триаде, напряжение постоянного тока не ниже напряжения системы → 4.7 · с. 41; цепь — маршрут «Выбивает»	Сам при условии

Вы видите	Что происходит	Первая проверка	Кто
<i>Греется держатель, автомат или наконечник, а защита не срабатывает</i>	Плохой контакт: тепло в точке соединения растёт с квадратом тока	Падение под током на двух сторонах соединения; маршрут «Греется» → 3.4; соединение у батареи — мастер	Сам при условии
<i>Тёплый держатель при нагрузке почти на номинале</i>	Защита у предела длительного режима: длительный ток выше 80 % номинала греет вставку и держатель	Ток клещами: выше 80 % — лишний прибор на свою позицию или номинал и провод заново по триаде; ниже — на какую вставку рассчитан сам держатель → 4.7 · с. 41	Сам
<i>Провод горячий по длине, а защита держит</i>	Номинал защиты выше допустимого тока провода, тонкий отвод, для которого общий номинал велик, или провод в жгуте и в жаре	Номинал против сечения по Табл. 4.3 · с. 18; маршрут «Не выбивает»; защита у батареи — мастер	Сам при условии
<i>Дым или искра у батареи, а предохранитель цел</i>	Замыкание до защиты, на проводе без защиты или перегрев соединения на клемме	Снять ток по порядку пожара → 1.7, дальше — мастер	СТОП
<i>Прибор сгорел, а предохранитель цел</i>	Защита бережёт провод, а не прибор: неисправный прибор может сгореть при токе, который провод выдерживает и защита не обязана отключать	Номинал против требования изготовителя прибора: выше — ставится требуемый → 4.3 · с. 16; совпадает — защита выбрана верно, причину ищут в приборе	Сам
<i>У литиевой батареи главная защита — ANL или стекло</i>	Разрывная способность ниже тока КЗ банка или не подтверждена	Документ батареи и надпись на вставке; Class T → 11.2	Мастер

Маршрут «Выбивает»

Если при срабатывании был дым, запах горелой изоляции или корпус, который не держит рука, автомат не взводите и новую вставку не ставьте: снимите ток по порядку пожара → 1.7, дальше — аварийная страница «Дым». Маршрут ниже — только без этих признаков. Точки — по Рис. 4.5 · с. 31; всё, что делается на панели, — после выключателя батареи, а у батареи вы только читаете надписи и меняете впервые сгоревший предохранитель цепи в обход выключателя в держателе, который открывается без ключа, по условиям «Сам при условии»: кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла. Автомат ветви взводится один раз, и включение прибора после этого взвода — единственное испытание цепи под током: ток, время до срабатывания и нагрев автомата вы узнаете за это одно включение, поэтому клещи надеваются до него. Сработал автомат снова — цепь остаётся выключенной, и дальше решает то, что вы записали. Ещё одно включение бывает только после замены самого автомата или после переноса лишнего прибора с ветви (шаги 4 и 6) — один раз, как проверка по функции. Шаги 3–5 делаются с тыльной стороны панели: если на той же панели есть сторона переменного тока, до того как открыть панель, снимите её целиком — берег (панель OFF, колонка OFF, вилка из колонки), инвертор OFF, генераторная установка заглушена → 1.7.

ЧТО ИЗМЕНИЛОСЬ ПЕРЕД ПРОБЛЕМОЙ?

После установки нового прибора или провода · после того, как в ветвь добавили нагрузку · после дождя или мойки · после стоянки в жару · после переключения источника или пуска двигателя · без заметных изменений. Ответ подсказывает, что проверить первым, — разъем после мойки, место автомата после жары, — но причину подтверждает шаг маршрута.

ВЫБИВАЕТ: ТОЧКИ Е И F НА РИС. 4.5 · С. 31

- 1 Прочитайте, что именно сработало: автомат какой ветви, главный автомат панели или защита у батареи; запишите, что было включено в эту минуту.

Вы увидите: Сработала одна ветвь — ищите в ней, шаг 2. Главный автомат панели — сложите токи всего, что было включено, и сравните с его номиналом: выше — лишнее выключите, двигатель заглушен, выключатель батареи в OFF; нет дыма, запаха гари, горячего корпуса — взведите главный автомат один раз и верните выключатель батареи в рабочее положение; ниже номинала или сработал снова — не взводите, шаг 7. Главная защита у батареи — «Мастер», шаг 7. Предохранитель цепи в обход выключателя у батареи в держателе, который открывается без ключа, вы меняете один раз тем же номиналом и типом — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла (уровень «Сам при условии», → «Сам или мастер» · с. 2); прижатый гайкой на шпильке — «Мастер»; сгорел снова — шаг 7.

- 2 Выключите прибор этой ветви его собственным выключателем или разъёмом и взведите автомат один раз.

Вы увидите: Автомат держит — в проводе от Е до F, в разъёме и на входе прибора до его выключателя сейчас нет замыкания на минус. Обрыв и плохой контакт этим не проверяются: их ищут падением напряжения под нагрузкой → 3.4. Дальше — шаг 3. Автомат выбивает без прибора — замыкание в проводе, разъёме или на входе прибора до его выключателя либо не держит сам автомат; второй раз не взводите: шаг 7.

- 3 Пока прибор ещё выключен, наденьте обнулённые токовые клещи постоянного тока (DC A) → 3.3 на провод у выхода автомата Е — на оба провода, если их на этой клемме два.

Вы увидите: Ноль — на ветви сейчас ничего не работает. Не ноль — на этой позиции питается что-то ещё: запишите этот ток, он сложится с током прибора. Два провода на одной клемме — второй прибор на чужом автомате (Табл. 4.5 · с. 36, строка 5). Клещи остаются на проводе: следующий шаг — единственное включение прибора на этой цепи.

- 4** Включите прибор и, глядя на клещи, запишите ток, пока прибор работает, — наибольший, если он менялся, — и время от включения до срабатывания.

Вы увидите: Выбивает в момент включения — это второе срабатывание: прибор больше не включайте, автомат оставьте выключенным и подписанным. Бросок при включении показание клещей не успевает поймать: он длится доли секунды. Сравните номинал автомата с тем, что требует изготовитель прибора → 4.3 · с. 16. Номинал меньше требуемого — эта причина устраняется заменой защиты: выключатель батареи в OFF, на плюсовой шине D при включённом главном автомате панели — 0 V; тогда автомат меняется на требуемый номинал, если тот проходит триаду, уровень «Сам при условии». После замены — одно включение прибора как проверка по функции, клещи на проводе: прибор работает, а ток не выше указанного изготовителем. Сработал и новый автомат — цепь остаётся выключенной и подписанной, дальше мастер, шаг 7; второго включения нет. Номинал тот же или больше — по номиналу причину не определить: это может быть замыкание в приборе, характеристика защиты, которая не подходит к пуску мотора → 4.4 · с. 22, или ослабший автомат; различает их мастер по вашей записи — шаг 7. Прибор работает, автомат держит — не выключая прибор, переходите к шагу 5. Сработал через секунды или минуты — это тоже второе срабатывание: автомат выключен и подписан, ток и время записаны; шаг 5 — сразу, шаг 6 — по записи.

- 5** Пока прибор работает, измерьте в милливольтном диапазоне падение на соединении наконечника с клеммой автомата E, щупы на клемме и на наконечнике, а через несколько минут работы потрогайте тыльной стороной ладони корпус автомата и наконечник. Если автомат сработал раньше, чем вы успели измерить, потрогайте их сразу после срабатывания.

Вы увидите: Доли или единицы милливольт — контакт на клемме цел: шаг 6. Десятки милливольт и больше — контакт на клемме греет автомат изнутри: соединение разбирают по маршруту «Греется», шаг 3. Измерить не успели, а наконечник заметно горячее корпуса автомата — запишите это, шаг 7; не горячее — шаг 6, но падение на клемме остаётся не измеренным.

6 Сравните наибольший записанный ток с номиналом автомата.

Вы увидите: Длительный ток выше 80 % номинала — защита работает на пределе своего длительного режима, а выше номинала — за ним → 4.3 · с. 16; какая из трёх причин, показывает запись. В шаге 3 клещи показали не ноль или ток по ходу вырос ступенькой — на ветви больше одного прибора: лишний переносится на свою позицию → 4.5 · с. 30; после переноса — одно включение ветви как проверка по функции, сработал снова — шаг 7. Ток одного прибора выше указанного его изготовителем — прибор работает тяжелее, чем рассчитан: шаг 7. В пределах указанного — ветвь рассчитана впритык: номинал и провод выбираются заново по триаде; больший номинал на том же проводе не ставится. Ток ниже 80 % — по одному этому числу автомат не меняют. Сработал в момент, когда прибор включился сам, — помпа по реле давления, компрессор холодильника, — это пуск, бросок которого клещи не показывают: шаг 7. Падение на клемме в шаге 5 измерить не успели — шаг 7. Контакт на клемме цел по этому измерению, а автомат стоит в жарком месте — термический автомат в жаре срабатывает раньше номинала: меняется его место или тип при том же номинале, если этот номинал проходит триаду по допустимому току провода в этом отсеке → 4.4 · с. 22. Контакт цел, жары нет, прибор сам не перезапускался — остаётся автомат, и эта причина устраняется его заменой: выключатель батареи в OFF, на плюсовой шине D при включённом главном автомате панели — 0 V; тогда он меняется на такой же номинал и тип, уровень «Сам при условии» «Сам или мастер» · с. 2. После замены — одно включение прибора как проверка по функции, клещи на проводе; сработал и новый автомат — цепь остаётся выключенной и подписанной, дальше мастер, шаг 7; второго включения нет. Автомат за время наблюдения не сработал вовсе — срабатывание зависело от того, что было включено вместе с прибором: сравните с записью шага 1.

7 Оставьте цепь выключенной, подпишите её и передайте мастеру запись: что сработало, при чём, ток, время до срабатывания, номинал и требование изготовителя прибора.

Вы увидите: Цепь выключена и подписана — повторного тока короткого замыкания не будет. Новый взвод и новая вставка здесь ничего не проверяют: нужен поиск замыкания, проверка прибора и характеристики защиты или работа инструментом под напряжением.

ВЕРНУТЬ ЛОДКУ В РАБОЧЕЕ СОСТОЯНИЕ

Клещи и щупы сняты, панель закрыта; сторона переменного тока, если вы её снимали, возвращена по карте источников → 1.7. Исправная ветвь — автомат во включённом положении, прибор в рабочем режиме; неисправная — автомат выключен и подписан «не включать» с причиной. Выключатель батареи, если вы выключали его, чтобы заменить автомат или перенести прибор, возвращается в рабочее положение, когда работа закончена или неисправная ветвь отделена своим выключенным автоматом и подписана; сработавшую главную защиту у батареи до мастера не взводят и не меняют. Если сработавшая цепь — трюмная помпа, лодку без присмотра не оставляйте: откачивайте ведром или ручной помпой, пока цепь не восстановлена. Если это вентилятор трюма в отсеке бензинового двигателя, двигатель не пускайте, пока вентилятор снова не работает: табличка у замка зажигания требует его работы перед пуском → 4.6 · с. 37. Запись в паспорте: что срабатывало, ток, время до срабатывания, номинал, решение.

Маршрут «Греется»

Если соединение дымит, изоляция оплавляется или корпус не держит рука, сначала снимите ток по порядку пожара → 1.7, дальше — аварийная страница «Дым». Маршрут ниже — только без этих признаков, под рабочей нагрузкой. Если горячее место за панелью, а на той же панели есть сторона переменного тока, до того как открыть панель, снимите её целиком по карте источников → 1.7; у батареи кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла.

ЧТО ИЗМЕНИЛОСЬ ПЕРЕД ПРОБЛЕМОЙ?

После работ на этой цепи или на батарее · после установки нового прибора · после мойки или дождя · после зимовки или долгой стоянки · без заметных изменений — тогда первым проверяется то, что стареет само: соединения под током.

ГРЕЕТСЯ: ТОЧКИ А, В, D, Е НА РИС. 4.5 · С. 31

- 1** Пока нагрузка работает, найдите тыльной стороной ладони, что именно греется: провод по всей длине, одно соединение, корпус держателя или автомата. У батареи — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, не касаясь двух клемм одновременно. За панелью — только после того, как сторона переменного тока на той же панели снята по карте → 1.7: берег (панель OFF, колонка OFF, вилка из колонки), инвертор OFF, генераторная установка заглушена.

Вы увидите: Провод тёплый по всей длине — греет ток, а не контакт: шаг 4.
Горячая одна точка — контакт: шаг 2.
- 2** Под той же нагрузкой измерьте в милливольтном диапазоне падение на горячем соединении, щупы на двух его сторонах (за панелью — при снятой стороне переменного тока, шаг 1): на клемме автомата D или E и на наконечнике провода; у главной защиты — на клемме батареи A и основании держателя (кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом), затем на выходной шпильке держателя и наконечнике кабеля в точке B.

Вы увидите: Доли или единицы милливольт — контакт цел, греет ток: шаг 4.
Десятки милливольт и больше — плохой контакт → 3.5: шаг 3.
- 3** Решите по месту, кто разбирает соединение.

Вы увидите: После выключателя батареи — на панели, на автомате, на приборе — «Сам при условии»: сторона переменного тока на той же панели снята, выключатель батареи в OFF и 0 V на плюсовой шине D при включённом главном автомате панели. Клемма батареи, держатель главной защиты, кабель до выключателя, цепи в обход выключателя до их предохранителя — «Мастер»: их нельзя обесточить.
- 4** Наденьте клещи постоянного тока на греющийся провод при работающей нагрузке и сравните ток с допустимым током провода по его маркировке (Табл. 4.3 · с. 18) и с

НОМИНАЛОМ ЗАЩИТЫ.

Вы увидите: Номинал защиты выше допустимого тока провода — перегрузку между этими двумя числами защита не отключит никогда: маршрут «Не выбивает», шаг 2. Номинал не выше, а ток выше допустимого тока провода — ветвь перегружена, и защита отключит её со своей выдержкой; почему ток так велик, разбирает маршрут «Выбивает», шаг 6. Номинал не выше, ток в пределах, а провод горячий — проверьте, не идёт ли он в жгуте или в моторном отсеке, где допустимый ток ниже → 5.3.

5

Если греется сам держатель или автомат, а контакты целы, сравните ток с 80 % номинала защиты.

Вы увидите: Длительный ток выше 80 % номинала — защита работает на пределе своего длительного режима и греется сама. На ветви больше одного прибора — лишний переносится на свою позицию → 4.5 · с. 30; ток одного прибора выше указанного его изготовителем — вопрос к прибору, для мастера; в пределах указанного — номинал и провод выбираются заново по триаде → 4.3 · с. 16. Ниже 80 % — причина не в величине тока: проверьте, на какую вставку рассчитан сам держатель — в держателе под меньшие вставки стоит большая → 4.7 · с. 41, — и нет ли жары вокруг автомата → 4.4 · с. 22.

ВЕРНУТЬ ЛОДКУ В РАБОЧЕЕ СОСТОЯНИЕ

Щупы и клещи сняты; крышки держателей и колпачки клемм на месте; сторона переменного тока, если вы её снимали, возвращена по карте источников → 1.7. Нагрузка выключена, если соединение будете разбирать, или в рабочем режиме, если оно цело. Если вы выключали выключатель батареи, чтобы разобрать соединение, он возвращается в рабочее положение, когда соединение собрано, — а пока оно разобрано, только если его цепь отделена своим выключенным автоматом или вынутой вставкой и подписана «не включать». Разобрано и не собрано соединение питающего провода панели — выключатель батареи остаётся в OFF до ремонта: своей защиты, которую вы могли бы выключить, у этого провода нет, а цепи в обход выключателя, трюмная помпа, работают от батареи → 12.1. Показания — в паспорт с датой и нагрузкой: через сезон то же соединение сравнивается с этим числом.

Маршрут «Не выбивает»

Если провод или держатель дымит, изоляция оплавляется или у батареи искрило, сначала снимите ток: двигатель заглушен, выключатель батареи в OFF, если горячее место после него; если до него — по порядку пожара → 1.7 и аварийная страница «Дым». Маршрут — после, когда цепь холодная и снята. Если провод или защита за панелью, а на той же панели есть сторона переменного тока, до того как открыть панель, снимите её целиком по карте источников → 1.7; у батареи кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла.

ЧТО ИЗМЕНИЛОСЬ ПЕРЕД ПРОБЛЕМОЙ?

После ремонта или удлинения провода · после замены вставки или автомата — номинал мог стать больше · после установки нового прибора на ту же ветвь · после работ за панелью · без заметных изменений.

НЕ ВЫБИВАЕТ: ПРОВОД ОТ Е К F НА РИС. 4.5 · С. 31

- 1 При выключенной нагрузке прочитайте номинал защиты этой цепи и маркировку на изоляции провода: сечение и температуру. Если маркировка видна только с тыльной стороны панели, сторона переменного тока на той же панели снята по карте → 1.7.

Вы увидите: Три числа для триады. Маркировки на проводе нет — номинал по нему не выбирается: сечение определяет мастер → 5.2.

- 2 Сравните номинал с допустимым током провода по Табл. 4.3 · с. 18.

Вы увидите: Номинал больше допустимого тока — защита этот провод не защищает: перегрузка между двумя числами не отключается никогда. Автомат ветви на панели меняется на номинал по триаде — «Сам при условии»; защита у батареи — «Мастер».

- 3** Пройдите провод глазами от защиты к горячему месту и посмотрите, нет ли на нём отвода или наставки более тонким проводом.

Вы увидите: Отвод или наставка тоньше основного провода без своего держателя — сравните номинал общей защиты с допустимым током тонкого провода по Табл. 4.3 · с. 18. Не выше — отвод защищён этой же защитой. Выше — отвод не защищён: прибор на отводе получает свою защиту — свою позицию на панели или отдельный блок предохранителей → 4.5 · с. 30, — либо общий номинал уменьшается до допустимого тока отвода, если такой номинал проходит триаду для всей остальной цепи → 4.3 · с. 16.

- 4** Пройдите провод от горячего места в другую сторону — до батареи или шины — и найдите его защиту.

Вы увидите: Провод дошёл до клеммы батареи без держателя или до шины, номинал защиты перед которой выше его допустимого тока, — незащищённый плюс: первая строка в паспорте, работа мастера → 4.2 · с. 9. Защита у начала провода есть, и её номинал проходит триаду по самому тонкому проводу (шаги 2 и 3) — провод греет не ток мимо защиты, а контакт или условия прокладки. Дыма и оплавления не было — маршрут «Греется» под рабочей нагрузкой; были — цепь остаётся выключенной и подписанной, дальше мастер.

- 5** Если сгорел прибор, а защита цела, сравните номинал защиты с тем, который требует изготовитель прибора.

Вы увидите: Номинал выше требования изготовителя — ставится требуемый → 4.3 · с. 16. Совпадает — защита выбрана верно; причина — в самом приборе, и ищет её мастер или изготовитель прибора.

ВЕРНУТЬ ЛОДКУ В РАБОЧЕЕ СОСТОЯНИЕ

Нагрузка выключена до замены защиты или провода; цепь, оставленная без питания, подписана «не включать» с причиной; найденное — в паспорте; сторона переменного тока, если вы её снимали, возвращена по карте источников → 1.7. Выключатель батареи, если вы выключали его, возвращается в рабочее положение, только когда цепь, оставленная без питания, отделена своей выключенной защитой — автомат ветви выключен или вставка вынута — и подписана. Повреждён питающий провод панели или кабель до выключателя батареи — выключатель остаётся в OFF до ремонта: включённый, он снова подаст питание на повреждённый питающий провод, а через повреждённый кабель пустит ток всей панели. Кабель до выключателя под напряжением при любом его положении, и работа на нём — «Мастер». Цепи в обход выключателя, трюмная помпа, при этом работают от батареи → 12.1. После замены — проверка по функции: прибор работает, а провод и защита под нагрузкой через несколько минут холодные.

Сам или мастер**САМ ИЛИ МАСТЕР • ЗАЩИТА ОТ СВЕРХТОКА**

СТОП • Дым, запах горелой изоляции, оплавленный держатель или провод, который не держит рука; искра или дуга у батареи; запах бензина в отсеке, где вы собрались что-то включать, выключать или менять.

Что сделать в эту минуту: Дым и нагрев — снять ток по порядку пожара → 1.7, дальше аварийная страница «Дым»; автомат не взводить, вставку не менять. Запах бензина — включить только вентилятор трюма, больше ничего не включать и не выключать, открыть люки, искать течь → 1.1. Признак, что под контролем: дым прекратился и провод остывает; запаха нет после четырёх минут вентиляции.

МАСТЕР • Работа на участке до защиты у батареи: установка защиты на провод без неё, перенос или замена держателя и наконечника на клемме; снятие и замена предохранителя, прижатого гайкой на шпильке у батареи, — ANL, MEGA, MRBF, Class T: ключ на шпильке

под напряжением батареи; замена главной защиты банка и переход на Class T; установка, перенос и замена держателя защиты цепи в обход выключателя; поиск замыкания в проводе; предохранитель, который сгорает снова, и автомат, который срабатывает при повторном включении; работа на кабеле до выключателя батареи. Участок до защиты, шпильки держателей у батареи и кабель до выключателя нельзя обесточить, а смена типа или номинала главной защиты меняет статус лодки → 1.8.

Если мастера нет: 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. Сработавшую главную защиту у батареи до мастера не взводите и не меняйте: панель остаётся без питания, выключатель батареи в OFF, трюмная помпа работает по цепи в обход выключателя → 12.1. Предохранитель цепи в обход выключателя на шпильке сгорел впервые, а без него стоит трюмная помпа, — 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; цепь, которая выбивает без прибора, оставьте выключенной и подпишите; повреждён питающий провод панели или кабель до выключателя — выключатель батареи остаётся в OFF, а трюмная помпа в обход выключателя работает от батареи → 12.1; если выключенная цепь — трюмная помпа — откачка ведром или ручной помпой, и лодку без присмотра не оставлять. Большой номинал «до берега» не ставьте. В автономке — временное восстановление функции с записью «что сделать по возвращении» → 19.5.

Когда мастер вправе отступить: Защита дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm) — если ближе её поставить нельзя и мастер называет причину, а весь участок до неё в сплошной трубчатой оболочке: до 72 in (1.83 m; ISO — 1.8 m) от клеммы батареи и до 40 in (1.02 m; ISO — 1 m) от другого источника **АВУС** — видно по гофре или коробу без разрывов. Номинал выше допустимого тока провода — только если равного ему стандартного номинала нет или пусковой ток мотора не даёт поставить меньший, и никогда как ответ на «выбивает»: мастер называет причину и документ и показывает расчёт на бумаге; регламент для цепей ниже 50 V допускает до 150 % значения своей таблицы → 4.3 · с. 16, а для лодки, построенной по

ISO, такого отступления нет. Номинал защиты мотора — по документу изготовителя прибора. Отступление названо, показано и записано в паспорт.

САМ ПРИ УСЛОВИИ •

- Кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом, клеммы вы не трогаете, — тогда поиск незащищённого плюса у батареи и измерение падения на соединениях главной защиты: проследить провода от плюсовой клеммы, измерить расстояние до защиты лентой из ткани или пластика, прочитайте надписи на главной защите, поставьте щупы.
- Сторона переменного тока на той же панели снята — берег (панель OFF, колонка OFF, вилка из колонки), инвертор OFF, генераторная установка заглушена → 1.7, — и вы ничего не отсоединяете, — тогда прослеживание проводов, чтение маркировки, осмотр, ток клещами и падение напряжения за панелью; постоянный ток остаётся для измерений под нагрузкой.
- Выключатель батареи в OFF и 0 V на плюсовой шине D при включённом главном автомате панели, а для блока предохранителей в обход выключателя — снят его предохранитель у батареи; вставка сгорела впервые или причина найдена по маршруту «Выбивает», — тогда замена сгоревшей вставки на панели или в блоке предохранителей тем же номиналом и типом.
- Лишнее выключено, двигатель заглушен, выключатель батареи в OFF; нет дыма, запаха гари и горячего корпуса, — тогда взвод главного автомата панели, один раз, затем выключатель батареи в рабочее положение; сработал снова — не взводить, звать мастера.
- Нет дыма, запаха гари и горячего корпуса, прибор выключен, — тогда взвод автомата ветви, один раз; включение прибора после него — единственное испытание, клещи на проводе до включения; сработал снова — автомат остаётся выключенным и подписанным.

- Выключатель батареи в OFF и 0 V на плюсовой шине D при включённом главном автомате панели; сторона переменного тока на той же панели снята по карте → 1.7; цепи в обход выключателя, заведённые на панель, сняты своими предохранителями у батареи, — тогда замена автомата ветви на панели на номинал по триаде — не выше допустимого тока самого тонкого провода и не выше требования изготовителя прибора, замена автомата с автоматическим возвратом на автомат с ручным взводом, подтяжка и переделка соединений на панели. После замены автомата — одно включение прибора как проверка по функции; сработал и новый — цепь остаётся выключенной и подписанной, дальше мастер.
- Держатель открывается без ключа — крышку снимают рукой, вставку вынимают рукой или съёмником; кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла; предохранитель сгорел впервые или причина найдена по маршруту «Выбивает», — тогда замена предохранителя в этом держателе у батареи на цепи в обход выключателя тем же номиналом и типом. Предохранитель, прижатый гайкой на шпильке, — «Мастер».
- Выключатель батареи в OFF, 0 V на клеммах прибора, отсек провентилирован и запаха бензина нет, — тогда замена прибора после выключателя батареи в отсеке с бензином на прибор той же функции с маркировкой взрывозащиты.

САМ • Обход лодки глазами, ничего не открывая и не отсоединяя: подписи и номиналы на лицевой стороне панели, надписи взрывозащиты в отсеках, потемнение и оплавление держателей и автоматов снаружи; триада на бумаге; ток клещами постоянного тока на проводе работающего прибора вне панели, после выключателя батареи; запись в паспорт.

На чужой лодке уровней три: кнопки и выключатели — да, включая один взвод автомата после выключения прибора; инструмент, замена вставок и автоматов — нет, последствия достанутся следующему экипажу; серая зона — только с разрешения базы по телефону. Полный разбор — → 2.6.

Что сказать мастеру

ЧТО СКАЗАТЬ МАСТЕРУ

Лодка построена по ABYC: «Бортовой банк 12 V. С плюсовой клеммы идёт провод 4 AWG (21 mm²) к лебёдке без защиты, около 20 in (0.5 m) до её выключателя. Нужно: защита не дальше 7 in (175 mm) от клеммы по проводу; номинал не меньше тока лебёдки, не больше допустимого тока провода и не больше того, что требует изготовитель лебёдки; разрывная способность при 12 V — не ниже тока короткого замыкания банка по данным изготовителя батареи; держатель изолированный, в отсеке с бензином — с маркировкой взрывозащиты».

Лодка построена по ISO — та же задача её числами: «защита не дальше 200 mm от клеммы; дальше — только в трубчатой оболочке и не дальше 1.8 m; номинал не выше допустимого тока самого тонкого провода цепи». Защита в 175 mm выполняет и это требование.

Принять по трём признакам: держатель на месте, расстояние по проводу измерено при вас, номинал и разрывная способность читаются на вставке; под нагрузкой лебёдки держатель и наконечники холодные, а падение на соединениях — милливольты; паспорт обновлён в тот же день.

ЧТО ЗАПОМНИТЬ

- Предохранитель защищает провод, а не прибор. Прибор с неисправностью может сгореть при целой защите, и это не отказ защиты: она отвечает за провод.
- Перегрузку защита отключает с выдержкой — от секунд до часов. Короткое замыкание рядом с батареей даёт десятки номиналов и отключается за сотые доли секунды; замыкание в конце длинного тонкого провода даёт несколько номиналов и отключается за секунды. Ток примерно на треть выше номинала вставка держит до получаса, и провод обязан это выдержать.

- Каждый плюсовой провод защищён не дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm) от точки, где он получает питание; если ближе нельзя, в сплошной трубчатой оболочке — до 72 in (1.83 m; ISO — 1.8 m) от клеммы батареи и до 40 in (1.02 m; ISO — 1 m) от другого источника. Без защиты — только кабель стартера, прямо или через выключатель батареи. Участок до защиты — «Мастер».
- Триада: ток нагрузки $\leq$ номинал защиты $\leq$ допустимый ток самого тонкого провода. Требуется изготовитель прибора меньше — ставится меньший, один предохранитель на оба требования.
- Разрывная способность главной защиты — не ниже тока короткого замыкания банка при его напряжении. Литий — Class T; BMS — не защита от сверхтока; предохранитель на клемме — только в изолированном держателе.
- Выбивает — сначала причина: взвод один раз, клещи на провод до включения прибора, одно включение, три числа триады. Длительный ток выше 80 % номинала — защита на пределе; в жаре термический автомат срабатывает раньше; больший номинал не устраняет ни то, ни другое.
- За панелью: не больше четырёх наконечников на шпильку, каждый провод с наконечником, минус — проводом на шину, новый прибор — на свою позицию.
- В отсеке с бензиновым двигателем, баком или топливными соединениями каждый прибор взрывозащищён — по маркировке, а не по слову «морской».

Самопроверка

1. **Вопрос-прогноз.** На Рис. 4.5 · с. 31 в ветви помпы пресной воды окислилось соединение наконечника с клеммой автомата в точке E. До измерения решите: при работающей помпе как изменятся два показания по сравнению с исправной цепью — падение между плюсовой шиной D и наконечником провода в точке E и напряжение на клеммах помпы F-G, — и сработает ли

автомат?

Ответ: пусть до окисла между D и наконечником в E было 0.02 V, а на помпе 12.4 V, и пусть окисел добавил на своём соединении 0.3 V. Тогда D–E вырастет до 0.32 V, F–G упадёт почти на столько же — до 12.1 V. Ток помпы при этом не растёт, а немного падает, поэтому автомат не сработает: на соединении выделяется $0.3 \cdot 5 = 1.5$ W, и оно греется, пока защита молчит. Так выглядит «греется, а не выбивает»: номинал здесь ни при чём, дефект находят падением под током.

- 2. Пример с пропуском из 4.3.** Вентилятор трюма берёт 4.3 A, изготовитель требует предохранитель 7.5 A, провод 14 AWG (2.1 mm^2) идёт через моторный отсек. Какой допустимый ток провода и какой номинал?

Ответ: допустимый ток 14 AWG (2.1 mm^2) в моторном отсеке — 29.8 A (Табл. 4.3 · с. 18). Номинал — 7.5 A: изготовитель требует меньше, чем допускает провод, и ставится меньший. Триада: $4.3 \text{ A} \leq 7.5 \text{ A} \leq 29.8 \text{ A}$. Сам вентилятор стоит в отсеке бензинового двигателя и обязан быть взрывозащищённым → 4.6 · с. 37.

- 3. На вашей лодке.** У каждой батареи сосчитайте провода на плюсовой клемме и измерьте по каждому расстояние до первой защиты мерной лентой из ткани или пластика, а не металлической рулеткой; кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, клеммы не трогаете. Запишите: куда идёт провод, расстояние, есть ли оболочка.

Ответ проверяется так: у каждого провода, кроме кабеля стартера — прямо или через выключатель батареи, который питает стартер, — защита не дальше 7 in (175 mm; ISO — 200 mm) по проводу, либо весь участок в сплошной трубчатой оболочке и не дальше 72 in (1.83 m; ISO — 1.8 m). Провод без защиты — первая строка паспорта и работа мастера; до неё цепь не нагружают, кроме трюмной помпы с целой изоляцией → 12.8.

- 4. На вашей лодке.** Выберите одну ветвь панели и выпишите три числа: ток прибора — с этикетки или клещами постоянного тока под нагрузкой, номинал автомата, сечение и температуру изоляции провода; если маркировка провода видна только за панелью, а на той же панели есть сторона переменного тока, до того как открыть панель, снимите её целиком по карте

источников → 1.7. Найдите в документе прибора номинал, которого требует изготовитель.

Ответ проверяется так: триада выполнена, если ток $\leq$ номинал $\leq$ допустимый ток самого тонкого провода по Табл. 4.3 · с. 18, а номинал не больше требования изготовителя. Номинал защиты выше допустимого тока провода или выше требования изготовителя — автомат меняется на меньший; длительный ток выше 80 % номинала — защита работает на пределе: лишний прибор переносится на свою позицию, иначе номинал и провод выбираются заново по триаде.

5. **На вашей лодке** со стационарным бензиновым двигателем или встроенным бензобаком. Найдите маркировку взрывозащиты на каждом приборе в этом отсеке — на корпусе, этикетке или в документе — и табличку вентилятора у замка зажигания.

Ответ проверяется так: у каждого прибора в отсеке маркировка есть; на лодке со стационарным бензиновым двигателем табличка стоит на виду у каждого замка зажигания. Прибор без маркировки нигде — переносится за переборку или заменяется; уровень работы — по «Сам или мастер» этого раздела.

6. Бортовой банк — две литиевые батареи 12.8 V по 100 Ah в параллель; изготовитель указывает для каждой внутреннее сопротивление 2 mΩ. Главной защитой предлагают предохранитель на клемме. Что ответить?

Ответ: каждая батарея даёт в замыкание порядка $12.8 / 0.002 \approx 6\,400$ A, две в параллель — около 12 800 A, а предохранитель на клемме разрывает при 14 V не больше 10 000 A. Нужна защита с разрывной способностью не ниже тока короткого замыкания банка — Class T, 20 000 A постоянного тока → 11.2.

7. Предохранитель на клемму поставили прямо на шпильку, без держателя: «так короче». Что не так?

Ответ: шпилька и гайка соединяют клемму A с кабелем в точке B мимо плавкой перемычки, и цепь остаётся без защиты при любом токе (Рис. 4.4 · с. 27). Такой предохранитель ставится только в изолированном держателе.

8. Сосед советует: «Автомат выбивает — поставь 30 A вместо 10 A». Провод ветви — 16 AWG (1.3 mm²). Что произойдёт?

Ответ: 30 А больше допустимого тока провода — 25 А вне моторного отсека: перегрузка между 25 и 30 А не отключится никогда, и провод будет греться часами. Причину срабатывания это не устраняет. Сначала — маршрут «Выбивает»: взвод один раз, клещи на провод до включения прибора, одно включение, три числа триады.

9. Лодка с подвесным мотором, бензобак встроен в закрытый отсек под палубой кокпита, там же стоит автомобильное реле трима. Нужна ли взрывозащищённость?

Ответ: да. Исключение для подвесного мотора освобождает сам мотор, а не отсек с баком; реле без маркировки взрывозащиты переносится из отсека или заменяется защищённым. Отсек с баком и незащищённым прибором регламент к тому же требует проветривать естественной вентиляцией.

Термины главы

overcurrent protection, OCPD

защита от сверхтока — предохранитель или автоматический выключатель; защищает провод, а не прибор

fuse

предохранитель — плавкая вставка, которая размыкает цепь необратимо

circuit breaker

автоматический выключатель, автомат — защита, которую можно взвести снова

ampacity

допустимый ток провода — наибольший ток, который провод несёт долго без перегрева изоляции

overload

перегрузка — ток выше номинала без замыкания, от десятой доли сверх него до нескольких номиналов; защита отвечает с выдержкой — от секунд до часов

short circuit

короткое замыкание — плюс на минус без нагрузки; ток ограничен сопротивлением батареи и провода: рядом с батареей — десятки номиналов и сотые доли секунды до отключения, в конце длинного тонкого провода — несколько номиналов и секунды

AIC, interrupting rating

разрывная способность — наибольший ток короткого

замыкания, который защита разрывает, не разрушаясь; указывается при напряжении

prospective short-circuit current

ожидаемый ток короткого замыкания — ток, который батарея даёт в замыкание, пока защита не сработала; его задают батарея и путь до места замыкания

current-limiting fuse

токоограничивающий предохранитель — срабатывает так быстро, что пропускает ток меньше ожидаемого; права ставить после него защиту с меньшей разрывной способностью не даёт

trip-free

свободное расцепление — автомат размыкается при сверхтоке, даже если рычаг держат во включённом положении

manual reset • auto reset

ручной взвод — на лодке обязателен; автоматический возврат — автомобильный автомат, который включается сам

thermal breaker

термический автомат — биметаллическая пластина; в жару срабатывает раньше номинала

hydraulic-magnetic breaker

магнитно-гидравлический автомат — катушка с гидравлической задержкой; номинал почти не меняется с температурой

inrush current

пусковой ток — бросок тока мотора в первое мгновение, в несколько раз больше рабочего

terminal fuse, MRBF

предохранитель на клемме — пластина на шпильке клеммы батареи; только в изолированном держателе

Class T

тип предохранителя с высокой разрывной способностью — у трёх изготовителей 20 000 А постоянного тока в диапазоне токов у батареи; практический выбор для главной защиты литиевого банка

ANL • MEGA • MIDI

типы болтовых предохранителей; разрывная способность — число конкретного изделия, а не типа

ATO / ATC • MAXI

ножевые предохранители; для ветвей после главной защиты, где ток короткого замыкания не выше их разрывной способности

AGC / 3AG

стеклянные предохранители старых панелей; разрывная способность — сотни или тысяча ампер, у двух изготовителей только при переменном 32 V; главной защитой — никогда

fuse holder

держатель предохранителя — отдельное изделие со своим током, напряжением и взрывозащищённостью

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

pigtail

вывод прибора — провод, выходящий из его корпуса; короче 7 in (175 mm) защищается предохранителем цепи

cranking motor conductor

кабель стартера — провод от батареи к стартеру, прямо или через выключатель батареи; единственная цепь от батареи, которая идёт без защиты

bus bar

шина — общая точка соединения нескольких проводов

panelboard, switchboard

панель, распределительный щит — сборка автоматов, выключателей и шин

main breaker • branch circuit

главный автомат панели — первый на шине; ветвь — цепь одного прибора со своей защитой

feeder

питающий провод панели — от выключателя батареи до главного автомата; падение не больше 3 %

grounding bus

шина заземления — для зелёных проводов корпусов приборов; в норме без тока, с минусовой шиной не путать

ignition protected

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

exhaust blower

вытяжной вентилятор трюма — забор в нижней трети отсека; 4 минуты перед пуском

open to the atmosphere

открытый наружу отсек — по ISO не меньше 0.34 m² открытой площади на кубометр объёма

wire nut

скрутка с колпачком — на лодке не применяется

ring terminal · captive spade

наконечник-кольцо · захватная вилка — допустимые формы наконечника на винте и шпильке

Источники главы

1. 33 CFR Part 183, Subpart I — Electrical Systems (eCFR, дата обращения 2026-09-26): § 183.402 — определение сплошной оболочки (sheath); § 183.401 — область: лодки с бензиновым двигателем, кроме подвесного; § 183.410 — взрывозащищённость, смесь пропана 4.25–5.25 %, условия изоляции, требования к изолирующей переборке (с); § 183.425, Table 5 — допустимый ток проводника, колонки 105 °C и 75 °C; § 183.455 — автомат с ручным взводом и свободным расцеплением или предохранитель, у источника или в 7 in (175 mm), 40 in (1.02 m) в оболочке, номинал до 150 % для цепей ниже 50 V, исключения; § 183.460 — 72 in (1.83 m) от батареи, кабель стартера, лодки постройки до 1 августа 1985 года, самоограничивающие генераторы: <https://www.ecfr.gov/current/title-33/chapter-I/subchapter-S/part-183/subpart-I>; § 183.455 по изданию CFR-2025 (Revised as of July 1, 2025): <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2025-title33-vol2/xml/CFR-2025-title33-vol2-sec183-455.xml>
2. 33 CFR Part 183, Subpart K — Ventilation (eCFR, дата обращения 2026-09-26): § 183.601 — лодки с любым бензиновым двигателем; § 183.610 (a), (d), (f) — вытяжной вентилятор, забор в нижней трети отсека, текст таблички у замка зажигания; § 183.620 (a)(3) — естественная вентиляция отсека с баком и незащищённым компонентом: <https://www.ecfr.gov/current/title-33/chapter-I/subchapter-S/part-183/subpart-K>
3. ABYC E-11 AC and DC Electrical Systems on Boats, July 2008 — выдержки, Paneltronics: 11.10.1.1.1 с исключениями 1–5 (7 in (175 mm), 72 in (1.83 m) и 40 in (1.02 m) в оболочке, кабель стартера, выводы короче 7 in (175 mm), самоограничивающий генератор); 11.10.1.5.1–11.10.1.5.6 (автомат свободного расцепления с ручным взводом, предохранитель перед автоматом для разрывной способности, его тип и номинал — по изготовителю автомата); 11.4.15 и 11.5.3.1 (взрывозащищённость и где она требуется); 11.5.2.1 и 11.5.2.2.8 (подписи, маркировка «marked or identified by the manufacturer»); 11.14.2.6 (падение 3 % для питающего провода панели); 11.14.2.7.1 (CM = K·I·L/E, K = 10.75) и Table XI (круговые милы по AWG); действующая редакция — E-11-2025 (<https://webstore.ansi.org/standards/abyc/abyc112025>): <https://www.paneltronics.com/images/technical/E11Excerpts.pdf>
4. Blue Sea Systems, ABYC Excerpts (E-9 / E-10; E-10 — 12/96): E-9.5.1 двухпроводная система; E-9.12.1 защита моторов, семь часов при

заторможенном роторе; E-9.12.3.1 ветвь защищена главной защитой или своей; E-9.12.4 главная защита панели — не выше нагрузки панели или допустимого тока питающего провода; E-9.12.7 встроенная защита прибора; E-9.12.8 выводы короче 7 in (175 mm); E-9.17.12.5, .7, .10, .11 — кольцо или захватная вилка, скрутки с колпачком не применяются, не больше четырёх на шпильке, наконечник по размеру шпильки:

https://sbo.sailboatowners.com/downloads/Hunter_gen_41598472.pdf

5. ABYC, Ignition Protection, страница ABYC (дата обращения 2026-07-07) — маркировки взрывозащищённых изделий: «Ignition Protected», «SAE J1171 MARINE», «UL 1500 Marine-Ignition Protected», «ISO 8846 MARINE»:
<https://abycinc.org/ignition-protection/>
6. BoatHowTo, ABYC wire size and ampacity tables («Courtesy ABYC») — допустимый ток провода с изоляцией 105 °C вне моторного отсека и в нём:
https://boathowto.com/wiresize/wiresize_tables_abyc.pdf
7. BS EN ISO 10133:2017 (дословное издание ISO 10133:2012) Small craft — Electrical systems — Extra-low-voltage d.c. installations: 3.7 оболочка — сплошное трубчатое покрытие; 8.1 — 200 mm, 1.8 m и 1 m в оболочке, провод короче 200 mm, самоограничивающие генераторы; 8.2 — номинал не выше допустимого тока самого тонкого провода цепи; 8.3; 9.1 и 9.3 — доступ к панели и маркировка напряжения; 10.3, 10.4, 10.7, 10.9 — наконечник на каждом проводе, кольцо или захватная вилка, изоляция шейки, не больше четырёх на шпильке; 12.1 — взрывозащищённость, открытый отсек 0.34 m² на m³:
<https://content.yudu.com/web/1oc76/0A1qulm/BSENISO101332017/html/15.html>
;
<https://content.yudu.com/web/1oc76/0A1qulm/BSENISO101332017/html/16.html>
;
<https://content.yudu.com/web/1oc76/0A1qulm/BSENISO101332017/html/17.html>
8. ISO 13297:2020 Small craft — Electrical systems — Alternating and direct current installations, ознакомительный фрагмент (iTeh): 5.3 — защита у источника разрывает ток перегрузки раньше, чем тепло повредит изоляцию проводов:
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/69551/4f5da7667b4642e2880fe10a27cd4c70/ISO-13297-2020.pdf>
9. Professional BoatBuilder, N. Calder, The ABCs of OCP: Keeping Wiring Safe as Complex Onboard Systems Proliferate, Oct/Nov 2018 — следующий стандартный номинал не выше 150 %, главная защита панели не выше 100 % (пересказ стандарта): <https://www.bwi.org/bwicontest/files/3130-ocp.pdf>
10. Blue Sea Systems, DC Main Overcurrent Protection Requirements, article 99, 2003-12-30 — приборы, подключённые прямо к батарее, защищаются по тому же правилу:
https://www.bluesea.com/support/articles/Circuit_Protection/99/DC_Main_Overcurrent_Protection_Requirements
11. Blue Sea Systems, Choosing Circuit Protection, article 95, 2006-05-23 — защита прежде всего бережёт провод; длительно не больше 80 % номинала; длительная перегрузка 110–150 % греет провод и защиту:
https://www.bluesea.com/support/articles/Circuit_Protection/95/Choosing_Circuit_Protection

12. Littelfuse, Fuseology (дата обращения 2026-09-26) — определение разрывной способности; предохранитель остаётся целым:
<https://www.littelfuse.com/assetdocs/littelfuse-fuseology?assetguid=c81c1a21-b903-44b6-b46d-180c48f7c3c5>
13. Victron Energy, Wiring Unlimited, rev 04 – 08/2026, раздел 4.6.1 — хотя бы один предохранитель с разрывной способностью не ниже возможного тока короткого замыкания литиевого банка:
<https://www.victronenergy.com/upload/documents/Wiring-Unlimited-EN.pdf>
14. Blue Sea Systems, MRBF Terminal Fuse 300A, p/n 5190 (дата обращения 2026-09-26) — 10 000 А при 14 V, 5 000 А при 32 V, 2 000 А при 58 V; не ставить прямо на клемму батареи:
https://www.blueseas.com/products/5190/MRBF_Terminal_Fuse_-_300A
15. Eaton, Bussmann series Marine rated battery fuse (MRBF) (дата обращения 2026-09-26) — те же числа разрывной способности: <https://www.eaton.com/us/en-us/catalog/emobility/marine-rated-battery-fuse.html>
16. Cooper Bussmann, Marine Rated Battery Fuse, datasheet (копия у дистрибьютора) — время срабатывания при 100, 135, 200, 350 и 600 %:
<https://assets.alliedelec.com/image/upload/v1631786560/Datasheets/6fe5ed5004b91724275098357f903bae.pdf>
17. Eaton, Bussmann series ATC blade fuses, Technical Data 2009, 12/2019 (дата обращения 2026-09-26) — 1–40 А, 32 V, 1 kA; время срабатывания при 23 °C, при 135 % у номиналов меньше 4 А — до 240 s; с ростом температуры вокруг вставка несёт меньший ток:
<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electrical-circuit-protection/fuses/data-sheets/bus-ele-ds-2009-atc.pdf>
18. Littelfuse, MEGA and MEGA Clear Top Bolt-down Fuses – Rated 32V, 07/01/2024 — 2 000 А при 32 V; время срабатывания:
<https://www.littelfuse.com/assetdocs/littelfuse-datasheet-mega-32v?assetguid=9fe0cd60-17bf-4fd7-b18d-977d32179af9>
19. Sensata Technologies, IAL/CEL/LEL Series Hydraulic Magnetic Circuit Protectors, Rev. 01/22/26 — время срабатывания задержек для постоянного тока; размыкание при удерживаемом рычаге:
<https://www.sensata.com/sites/default/files/a/sensata-ial-cel-lel-series-hydraulic-magnetic-circuit-protectors-datasheet.pdf>
20. Sensata Technologies, How Ambient Temperature Affects Hydraulic Magnetic Circuit Breakers and Thermal Breakers, WP-00019 Rev 05/05/26, APR 2024 — термический автомат на 10 А от 7 до 13 А по температуре; магнитно-гидравлический от –40 до +85 °C:
<https://www.sensata.com/sites/default/files/a/sensata-circuit-breaker-ambient-temperature-whitepaper.pdf>
21. E-T-A, Technical Information 2015/16 — термический, термомагнитный и магнитно-гидравлический механизмы: https://www.e-t-a.com/fileadmin/user_upload/USA/PDF-files/ENG_2015-16_Technical_Info.pdf
22. Blue Sea Systems, 187-Series Circuit Breaker 200A, p/n 7149, страница изделия и FAQ (дата обращения 2026-09-26) — 5 000 А при 14 V, 3 000 А при 28 V, 1 500 А

- при 48 V; пусковой ток 470 % и 286 %, расчёт защиты на 5× и 3× около 0.5 s:
https://www.blueseas.com/products/7149/187-Series_Circuit_Breaker_-_Surface_Mount_200A ; https://www.blueseas.com/products/7149/187-Series_Circuit_Breaker_-_Surface_Mount_200A/FAQ
23. Blue Sea Systems, A-Series Toggle 50A, p/n 7230, и C-Series Toggle 20A, p/n 7353; Carling Technologies, C-Series datasheet, Rev 073126 — магнитно-гидравлические автоматы: 7 500 A при 65 V и 10 000 A при 80 V постоянного тока: https://www.blueseas.com/products/7230/A-Series_White_Toggle_Circuit_Breaker_-_Single_Pole_50A ; <https://www.blueseas.com/products/7353/> ; https://www.carlingtech.com/sites/default/files/documents/C-Series_datasheet.pdf
24. Blue Sea Systems, ANL Fuse 500A, p/n 5137 — 6 000 A при 80 V: https://www.blueseas.com/products/5137/ANL_Fuse_-_500_Amp ; Eaton, Bussmann series ANL, Technical Data 2024, 12/2015 — IR 2 700 A: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electrical-circuit-protection/fuses/data-sheets/bus-ele-ds-2024-anl.pdf> ; Victron Energy, MIDI, MEGA and ANL fuses datasheet — разрывная способность не указана: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-Midi,-Mega-and-ANL-fuses,-and-fuse-holders-EN-.pdf>
25. Blue Sea Systems, Class T Fuse 250A, p/n 5118 — 20 000 A при 125 V постоянного тока, для литиевых банок и банок с пластинами чистого свинца: <https://www.blueseas.com/products/5118/> ; Eaton, JLN Limitron Class T, Technical Data 1025, 07/2023 — 20 kA постоянного тока (15–600 A): <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electrical-circuit-protection/fuses/bussmann-series-branch-circuit-fuses/class-t/bus-ele-ds-1025-jln.pdf> ; Littelfuse, Class T Fuses JLLN Series, 08/06/2025 — 20 kA постоянного тока (35–1200 A), токоограничивающий (current-limiting): <https://www.littelfuse.com/assetdocs/jlln-datasheet?assetguid=3a7bc9bf-d932-4401-bdc7-b39f302195cf>
26. Eaton, AMG series bolt in automotive fuses, Technical Data 11320, 05/2024 — 2 500 A при 70 V: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electrical-circuit-protection/fuses/data-sheets/bus-ele-ds-11320-amg-series.pdf> ; Littelfuse, MIDI Style Bolt-down Fuses – Rated 32V, 07/01/2024 — 2 000 A при 32 V: <https://www.littelfuse.com/assetdocs/midi-32v-bolt-down-series-data-sheet?assetguid=b55e8034-180d-40f6-a0a7-bebc2d4a94f5> ; Littelfuse, MAXI Series Blade Fuses – Rated 32V, 01/06/2025 — 1 000 A при 32 V: <https://www.littelfuse.com/assetdocs/littelfuse-datasheet-299-maxi32v?assetguid=68b8bbe8-3e51-4c7b-bbda-3c71667f75f3> ; Blue Sea Systems, ATO/ATC Fuse 40A, p/n 5246 — 32 V, 1 000 A: https://www.blueseas.com/products/5246/ATO_ATC_Fuse_-_40_Amp
27. Eaton, AGC fast-acting glass tube fuses, Technical Data 2543, 04/2020 — 12–40 A только 32 V переменного тока, 1 000 A: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electronic-components/resources/data-sheet/eaton-agc-fast-acting-glass-tube-fuses-data->

- sheet.pdf ; Littelfuse, 312/318 Series 3AG, 06/20/25 — 300 А при 32 V переменного тока: <https://www.littelfuse.com/assetdocs/fuse-312-and-318-datasheet?assetguid=93d513cb-fafc-4adb-9054-e0a0cbcf2875>
28. Eaton, Bussmann series Automotive in-line fuse holders HHC/HHD, Technical Data 2107, 02/2021 — длительный ток держателя: номинал держателя или 80 % номинала вставки, что меньше:
<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electrical-circuit-protection/fuses/data-sheets/bus-ele-ds-2107-hhc-hhd.pdf>
29. Blue Sea Systems, ANL Fuse Block 35-300A, p/n 5005 — держатель на 32 V:
https://www.blueseasystems.com/products/5005/ANL_Fuse_Block_with_Insulating_Cover_-_35_to_300A ; Class T Fuse Block 225-400A, p/n 5502 — не взрывозащищён, пояснение об отсеках с бензиновым двигателем:
https://www.blueseasystems.com/products/5502/Class_T_Fuse_Block_with_Insulating_Cover_-_225_to_400A ; Class T Fuse Block 110-200A, p/n 5007100 — взрывозащищён: <https://www.blueseasystems.com/products/5007100/>
30. Odyssey ODX-AGM31R (31R-PC2150S), Technical Data Sheet, 2022-04-19 — 100 Ah, ток короткого замыкания 5 000 А:
<https://cdn.tayna.com/datasheets/Odyssey%2031R-PC2150S%20Battery%20Datasheet.pdf> ; NorthStar NSB-AGM31 Nominal Technical Specifications — 103 Ah, 5 000 А: <https://www.odysseybattery.com/wp-content/uploads/sites/2/NorthStar-NSB-AGM31.pdf>
31. Victron Energy, Lithium NG 12,8V battery manual, Rev 11 — 03/2026 — внутреннее сопротивление 2 мΩ (100 и 150 Ah) и 1 мΩ (200 и 300 Ah):
https://www.victronenergy.com/upload/documents/Lithium_NG_battery_12,8_V/173204-Lithium_NG_battery_manual-pdf-en.pdf
32. RELiON, Installation & Operation Manual, 06.13.18 — встроенная защита бережёт ячейки, но может дать искру и повредить кабель:
https://cdn.shopify.com/s/files/1/1952/0201/files/Relion_Lithium_Installation_Operation_Manual.pdf?51
33. Mastervolt, MLI Ultra Lithium-Ion Battery 12/1250, 24/1250 — User and Installation Manual, 10000018055/03, 02/2022 (копия изготовителя у дилера) — Class T или предохранитель на клемме с держателем, разрывная способность 15 kA; не ставить предохранитель на шпильку без изолированного держателя:
https://www.chmarine.com/content/Mastervolt/Mastervolt-USERMANUAL-MLIUltra1250-10000018055_01.pdf
34. Epoch Batteries, What Is a Class T Fuse and Why It Matters for High-Capacity Lithium Batteries, 2026-07-07 — заменять Class T на ANL или MIDI запрещено:
<https://www.epochbatteries.com/pages/what-is-a-class-t-fuse-and-why-it-matters-for-high-capacity-lithium-batteries>
35. Blue Sea Systems, DC Power Distribution Panel PN 8081 / 8082, Document 9863 Rev. H (копия на сервере изображений продавца) — автоматы 15 А на всех позициях, проверить и заменить недостаточные; питающий провод на 3 % при полном токе панели; минусовую шину не путать с шиной заземления; автоматы панелей не взрывозащищены:
<https://productimageserver.com/literature/ownersManual/13980OM.pdf> ;

- Microlog Technologies, DC Panels Installation, v02-16 — автоматы панелей не взрывозащищены: https://microlog-tech.com/PDF/DC_deluxe_installation.pdf
36. Fluke, Diagnosing voltage drop: Electrical automotive troubleshooting, application note 2418158 A-US-N Rev A, 1/2005 (копия у дилера) — 0.00 V на соединении под током: <https://ttspec.com/wp-content/uploads/2018/06/fluke-voltag-drop-info.pdf>
37. Jabsco (Xylem), Par-Max 3, 31395-2512-3A, Technical Data Sheet, rev. 9/28/2020 — наибольший ток 5 A, предохранитель 10 A, выводы 16 AWG (в документе изготовителя — 1.5 mm²) длиной 12 in (305 mm):
<https://www.xylem.com/siteassets/brand/jabsco/resources/technical-brochure/parmax-3-datasheet-31395-2512-3a.pdf> ; Jabsco, 31295/31395 Series Installation and Operation, Rev. L 05/2025 — номинал предохранителя на этикетке изделия:
<https://www.xylem.com/siteassets/brand/jabsco/resources/manual/31295-31395-32600-eries.pdf>
38. Rule (Xylem), 360-1100 GPH Bilge Pump Instruction Manual, 950-0547 Rev. C, 10/2022, и Standard bilge pumps model number table — 1100 GPH 12 V: 4.7 A при 13.6 V, предохранитель 7.5 A:
<https://www.xylem.com/siteassets/brand/rule/resources/manual/bilge-pump-standard-360-1100-gph.pdf> ;
<https://www.xylem.com/siteassets/brand/rule/resources/technical-brochure/standard-bilge-pumps-model-number-table.pdf> ; Rule, 3"-4" Inline Bilge Blower Instruction Manual, 950-0522 Rev. D, 07/2021 — 4.3 A при 13.6 V, предохранитель 7.5 A:
<https://www.xylem.com/siteassets/brand/rule/resources/manual/user-guide-in-line-blowers.pdf> ; Jabsco, Flexmount 35440 Instructions Manual M-1738 Rev. B, 09/2022 — 12 A, предохранитель 15 A:
<https://www.xylem.com/siteassets/brand/jabsco/resources/manual/35440-technical-data-sheet.pdf>
39. SEEKR by Caframo, FAQ (дата обращения 2026-09-26) — вентиляторы не испытаны на взрывозащищённость, щёточный мотор, в моторном отсеке не рекомендуются: <https://seekr.caframobrands.com/faq>
40. Bayliner, 2452 Classic Cruiser Owner's Manual Supplement, P/N 1718021, глава 12 — розетка 12 V на автомате 15 A для приборов не больше 15 A:
<https://www.manualslib.com/manual/815793/Bayliner-2452-Classic-Cruiser.html>
41. Global Companies LLC, Gasoline Unleaded With Ethanol, SDS, May 2016 (копия на сайте WV DEP) — точка вспышки -43 °C; пары тяжелее воздуха и скапливаются в низких местах: https://dep.wv.gov/daq/Documents/June%202019/053-00080_MSDS_13-3435.pdf
42. ABB, Circuit breakers for direct current applications, Technical Application Papers No. 5, 1SXU210206G0201, 02/2010 — у постоянного тока нет перехода через ноль, дугу гасит сам автомат:
<https://library.e.abb.com/public/de4ebee4798b6724852576be007b74d4/1SXU210206G0201.pdf>

43. Schneider Electric, FAQ FA112442 (8/8/2022) — автоматы без номинала постоянного тока только для 120/240 V переменного тока:
<https://www.se.com/us/en/faqs/FA112442> ; FAQ FA120732 (2/12/2026) — номинал постоянного тока только у отдельных исполнений, на этикетке UL:
<https://www.se.com/us/en/faqs/FA120732/>
44. Eaton, Bussmann series Automotive and hardware/home center product catalog, no. 5084, © 2018 — автомат Type I включается сам и циклирует, эксплуатация в таком режиме не рекомендуется:
<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electrical-circuit-protection/fuses/retail-product-profiles/bus-ele-cat-5084-full-line-retail.pdf>