

Глава 3. Измерения: что показывает цифра и чего прибор не видит

Получать достоверное число вместо догадки и не повредить ни прибор, ни себя

Мультиметр не ошибается — он отвечает на тот вопрос, который вы ему задали, и ровно в тот момент, когда щупы коснулись цепи. Ошибка почти всегда в вопросе, а не в приборе: напряжение измерено там, где нужно было падение под током; омметр поставлен на соединение, которое греется только под двумястами амперами; клещам поверили там, где на постоянном токе они показывают ноль по устройству, а не по неисправности. Эта глава — про то, какую величину, где и при каком токе надо измерить, чтобы число стало ответом; с чем это число сравнить; и как сделать это так, чтобы не пострадали ни вы, ни прибор, ни электроника лодки. Одно измерение здесь главное, и на него ссылается вся книга: падение напряжения под реальным рабочим током.

ПОСЛЕ ЭТОЙ ГЛАВЫ ВЫ СМОЖЕТЕ

- Посчитать, сколько ватт выделяется в одном соединении под током, и объяснить, почему дефект спит при малом токе и просыпается под стартером или лебёдкой.
- Пользоваться тремя режимами мультиметра, которые решают все задачи книги, и отличать призрачное напряжение от настоящего.
- Различать токовые клещи двух устройств по надписи на корпусе и знать, какой ток клещами измерить нельзя.

- Найти плохой контакт падением напряжения под реальным током — щупами на концах участка либо двумя измерениями под одной нагрузкой — по карте с точками А–Е.
- Сравнить показание с порогом: напряжение покоя батареи, падение на трассе, падение на одном соединении.
- Прочитать шунт и монитор банка, провести нагрузочный тест свинцовой батареи и назвать, чего эти числа не говорят.
- Измерять безопасно: одна рука, прибор проверен на заведомо живом источнике до и после, режим тока — только там, где ток заведомо мал; знать, что не измеряют никогда.

Что нужно знать из других глав: что на лодке опасно и что нет (→ 1.1), карта источников и порядок обесточивания (→ 1.7), четыре уровня «Сам или мастер» (→ 1.8), как узнать шунт и выключатель батареи в лицо (→ 2.2). Базу — ток, напряжение, сопротивление, мощность, мультиметр по кнопкам — даёт → Прил. F.

3.1 Закон Ома на лодке: клемма как паяльник

3.2 Мультиметр: три режима, которые решают всё

3.3 Токовые клещи (clamp meter): два прибора под одним названием

3.4 Падение напряжения (voltage drop) под реальным током

3.5 Пороги: с чем сравнивать показание

3.6 Нагрузочный тест (load test) батареи и чтение шунта (shunt)

3.7 Безопасность измерений

3.8 На борту

3.1. Закон Ома на лодке: клемма как паяльник

Почему соединение, которое прозвонка показывает целым и которое выглядит целым, греется до оплавления — и почему этого не видно, пока вы не включите тяжёлую нагрузку? Потому что тепло в соединении растёт не с током, а с квадратом тока, а на лодке ток в тяжёлых цепях — сотни ампер. В доме чайник на 2 kW

берёт из сети 230 V около 9 A, и сопротивление контакта в вилке в сотые доли ома ничего не значит: 9 A через $0.01\ \Omega$ — это меньше десятой доли вольта и меньше ватта. В автомобиле те же сотни ампер стартера, что и на лодке, но кабель короткий, соединений на нём два-три, и живут они в сухом отсеке. На лодке при 12 V ту же мощность несёт ток в двадцать раз больший, чем при 230 V, соединений на пути к стартеру, лебёдке или инвертору — пять-шесть, и каждое стоит год за годом в солёном влажном воздухе и вибрирует. Закон Ома на лодке — это не формула из учебника, а один вопрос: сколько ватт выделится в одном соединении при рабочем токе этой цепи.

Пусть переходное сопротивление одного соединения — окисленной клеммы или наконечника, обжатого плоскогубцами, — выросло до $0.01\ \Omega$, а ток через него при прокрутке стартера — 200 A. Падение напряжения на этом соединении $200 \cdot 0.01 = 2\text{ V}$, а мощность $200^2 \cdot 0.01 = 400\text{ W}$ — и всё это выделяется в объёме одного наконечника. Столько отдаёт паяльник. Тот же контакт при токе 10 A даёт 0.1 V и 1 W: рука ничего не почувствует, вольтметр на панели ничего не покажет. Отсюда правило, из которого выведено главное измерение книги: дефект соединения существует всегда, а проявляется только под рабочим током, и искать его надо под рабочим током → 3.4 · с. 18.

Чтобы почувствовать масштаб числа $0.01\ \Omega$, сравните его с тем, что в цепи стартера сопротивляется току так, как заложено конструкцией. Внутреннее сопротивление одной батареи закрытого типа (AGM) с пластинами чистого свинца ёмкостью 100 Ah по данным изготовителя — $2.2\text{ m}\Omega$ при $20\text{ }^\circ\text{C}$ **MFR**: то есть одна окисленная клемма в этом примере сопротивляется току в четыре с половиной раза сильнее, чем вся батарея, и при пуске теряет больше напряжения, чем батарея на собственном сопротивлении.

Второе сравнение — норма на само соединение. Стандарт для систем постоянного тока допускает для разъёмного соединителя, который держится трением (friction-type), падение не больше 50 mV при токе 20 A **ABYC**, а это $2.5\text{ m}\Omega$: учебное соединение в

четыре раза хуже предела, установленного для соединителя малого тока, и стоит оно в цепи, где ток в десять раз больше.

ЦИФРЫ · СКОЛЬКО ПРОВОДА СТОИТ ОДНА КЛЕММА

Сопротивление медного проводника в стандарте считается формулой сечение в круговых милах (circular mils, CM) = $10.75 \cdot \text{ток} \cdot \text{длина} / \text{падение}$, где 10.75 — постоянная, представляющая удельное сопротивление меди, а длина — в футах туда и обратно; сечение 10 AWG (5.3 mm^2) по той же таблице — 10 380 круговых милов, 2/0 AWG (67 mm^2) — 133 100 **АВУС**. Из этой же формулы получается длина провода, у которой сопротивление равно 0.01Ω : для 10 AWG (5.3 mm^2) — $0.01 \cdot 10\,380 / 10.75 \approx 9.7 \text{ ft}$ (2.9 m), для 2/0 AWG (67 mm^2) — $0.01 \cdot 133\,100 / 10.75 \approx 124 \text{ ft}$ (38 m).

Пусть кабель стартера — 2/0 AWG (67 mm^2) длиной 6 m (20 ft) туда и обратно. Его сопротивление $10.75 \cdot 19.7 / 133\,100 \approx 0.0016 \Omega$, падение при 200 A — 0.32 V, тепло — 64 W на шести метрах меди, которая охлаждается всей поверхностью. Наконечник с сопротивлением 0.01Ω на том же токе теряет 2 V и греет 400 W в одной точке — вшестеро больше, чем весь кабель. Одна окисленная клемма равна почти сорока метрам лишнего кабеля.

ПОЧЕМУ ТАК

Почему растёт именно соединение, а не провод. Медь провода — сплошной металл, его сопротивление задано сечением и длиной и не меняется годами. В соединении ток проходит через точки касания двух поверхностей, и площадь этих точек — малая доля видимой площади наконечника. Всё, что уменьшает число и площадь точек касания, увеличивает сопротивление: плёнка окисла, которую соль и влага растят на нелужёной меди; винт, ослабший от вибрации; наконечник, обжатый плоскогубцами так, что медь не легла в него сплошным металлом. Дальше работает обратная связь: сопротивление выше — соединение греется — окисление идёт быстрее — сопротивление ещё выше. Граница модели: при малом токе та же обратная связь не запускается, потому что нет тепла, — соединение может стоять с сотыми долями ома годами и питать картплоттер без единого признака, а потом за один пуск двигателя перезагрузить его: об этом — → 13.5. Поэтому один и тот же дефект в цепи электроники — неудобство, а в цепи стартера или инвертора — пожар.

На своей лодке вы проверяете это одним способом: наконечник под рабочим током должен оставаться холодным, а падение напряжения на нём — доли или единицы милливольт, а не десятки милливольт и не десятые доли вольта; как именно это измерить — → 3.4 · с. 18, с чем сравнить — → 3.5 · с. 26.

3.2. Мультиметр: три режима, которые решают всё

Какие три режима мультиметра решают все задачи этой книги — и почему прибор, который «показал напряжение», мог показать вам то, чего в цепи нет? Мультиметр (digital multimeter, DMM) — главный и почти единственный прибор, которым вы работаете сами — → 2.8. У него десяток положений переключателя, но задачи лодки закрывают три: постоянное напряжение — «сколько вольт здесь»; постоянное напряжение в милливольтовом диапазоне под током — «сколько теряется на этом участке»; переменное напряжение — «есть ли здесь переменный ток, которого быть не должно».

Остальные режимы вспомогательные, и у каждого есть слепая зона, о которой вы обязаны знать раньше, чем поверите цифре.

Таблица 3.1. Режимы мультиметра: на какой вопрос отвечает и чего не показывает

Режим	На какой вопрос отвечает	Чего не показывает и где ловушка
Постоянное напряжение, V_{DC}	Напряжение батареи, любой точки цепи постоянного тока относительно минуса	Не показывает ток и состояние соединения. На проводнике, к которому не подключён потребитель, может показать призрачное напряжение — Рис. 3.1 · с. 9; напряжение поперёк обрыва при подключённом потребителе — настоящее
Постоянное напряжение, mV_{DC} , под током	Падение напряжения на участке: щупы на его концах, пока по нему идёт рабочий ток	На обесточенной цепи ноль ничего не значит; при одном щупе на потребителе, а не на концах участка — это не падение
Переменное напряжение, V_{AC}	Есть ли переменное напряжение на входе панели переменного тока после снятия всех источников: ожидается 0 V, в режиме LoZ — доли вольта	Призрачное напряжение от соседней живой жилы снимается только режимом LoZ: от призрака в нём остаются доли вольта, а вольт и больше — источник не снят; без LoZ любое показание, кроме 0 V, означает, что источник не снят. Измерение внутри стороны переменного тока — за границей книги → 17.8
Сопротивление, Ω , и прозвонка (continuity)	Цел ли путь; есть ли обрыв; какой провод куда идёт	Только на обесточенной цепи. Сотые доли ома не видит: щупы сами дают десятые. Прозвонка пищит и на одной уцелевшей жиле из девятнадцати
Ток, A, прибор в разрыв	Ток до номинала гнезда — 10 A; ток покоя банка	Питание снимается до включения прибора в цепь; стартер и тяжёлые нагрузки при приборе в разрыве не включают; щупы в гнезде A на живой цепи — короткое замыкание через прибор → 3.7 · с. 39

Три режима

Первый режим — постоянное напряжение. Им вы читаете батарею, клеммы потребителя, точки карты источников: что живо, что снято, сколько вольт на банке. Второй режим — то же постоянное напряжение, но в самом нижнем диапазоне: 600.0 mV с разрешением 0.1 mV **MFR** — такой диапазон есть не у каждого прибора, и до покупки его проверяют в характеристиках. В этом диапазоне вы измеряете падение напряжения на участке под током, и разрешение здесь важнее точности: пороги, с которыми вы будете сравнивать показание, лежат между сотыми долями вольта и половиной вольта → 3.5 · с. 26, а прибор различает десятые доли милливольт — запас не меньше чем в сто раз. Третий режим — переменное напряжение: главное измерение на стороне переменного тока, которое книга оставляет вам, — убедиться, что после снятия берега, инвертора и генераторной установки на входе панели переменного тока $0\text{ V} \rightarrow 1.7$; делается оно по правилам раздела → 3.7 · с. 39, там же — второе, необязательное: проверка прибора на розетке лодки при подключённом берегу. Измерение истинного действующего значения (True RMS) имеет значение только там, где форма напряжения не синусоида, — на выходе инвертора → 17.6; ни одно измерение этой книги — 0 V на входе панели, напряжение батарей, падения под током — от него не зависит.

Омметр и прозвонка (continuity) — вспомогательные режимы, и оба работают только на обесточенной цепи: измерять сопротивление и прозванивать цепь под напряжением запрещено **MFR**. Прибор в этом режиме сам пропускает через цепь малый ток и считает сопротивление по падению; внешнее напряжение ломает расчёт и сжигает вход. Почему омметр не находит плохой контакт даже на обесточенной цепи — → 3.4 · с. 18. Режим тока с прибором в разрыве цепи нужен для тока покоя банка и для мелких потребителей; его граница — номинал гнезда, и о нём в разделе о клещах → 3.3 · с. 13.

Призрачное напряжение (ghost voltage)

Прибор показывает десятки вольт переменного на жиле, которую вы считали снятой, или 12 V постоянного на проводе, к которому не подключён ни один потребитель, — и оба показания честные: между щупами в момент касания это напряжение есть. Причина — в устройстве входа. Входное сопротивление (input impedance) обычного мультиметра — 10 МΩ, чтобы прибор не влиял на измеряемую цепь; такой вход берёт из цепи микроамперы, и любой источник, способный дать микроамперы, покажется на дисплее полноценным напряжением **MFR**. На лодке таких источников два, и они разные для двух сторон.

На стороне переменного тока это наводка: живая жила и снятая жила лежат рядом в одном жгуте и образуют конденсатор; через ёмкость между ними переменный ток проходит, и на снятой жиле прибор с высоким входом видит до 80–85 % напряжения соседней живой жилы **MFR**. На лодке этот случай живёт в жгутах берегового питания и инвертора: вы сняли берег, а инвертор остался включён — и на входе панели переменного тока прибор показывает десятки вольт. На стороне постоянного тока источник другой: утечка на провод, у которого нет потребителя. Выключатель в OFF, но в нём стоит светодиод подсветки; предохранитель снят, но в блоке стоит индикатор сгоревшего предохранителя; прибор на конце провода отключён разъёмом или перегорел. Через светодиод, индикатор или вход электроники — путь в десятки килоом — микроамперы для входа 10 МΩ проходят свободно, и на висящем проводе прибор показывает почти все 12 V; тока за ними — микроамперы. Разница между этими 12 V и настоящими в одном: настоящие держат напряжение под нагрузкой, призрачные исчезают от первой же.

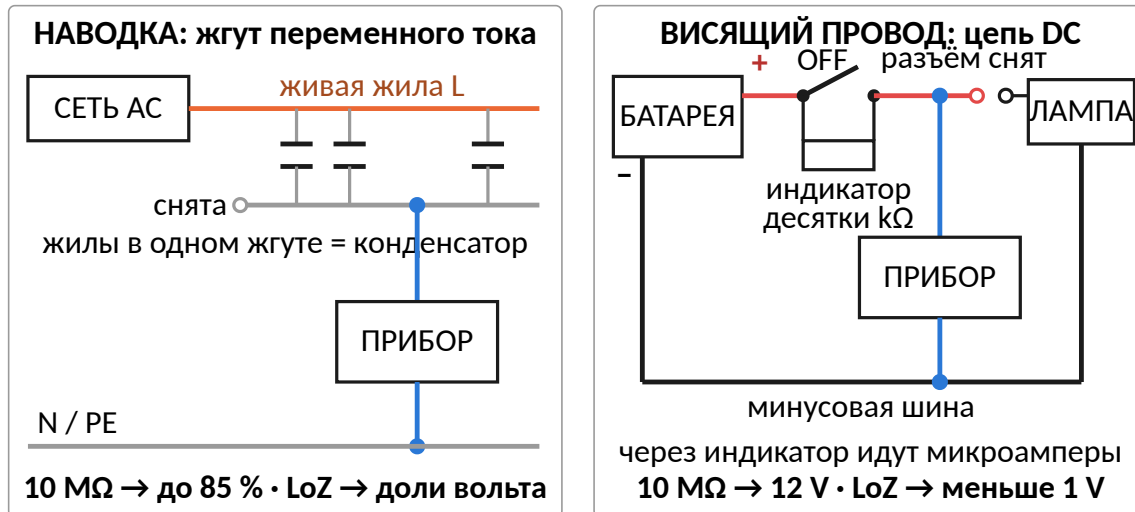


Рис. 3.1. Призрачное напряжение в двух видах. Слева — наводка: снятая жила лежит в одном жгуте с живой, ёмкость между ними пропускает переменный ток, и вход 10 MΩ показывает десятки вольт. Справа — утечка на провод без потребителя: выключатель в OFF, но через его индикатор — десятки килоом — микроамперы для входа 10 MΩ проходят свободно, и на проводе, с которого снят разъём лампы, прибор показывает 12 V, которые не дадут тока. В обоих случаях вход LoZ нагружает источник, и от призрачного напряжения остаются доли вольт; настоящее остаётся. Щупы в обеих панелях стоят в одних и тех же точках.

Правило: напряжение на проводе, к которому не подключён потребитель, проверяется входом с низким сопротивлением — режимом LoZ, если он у прибора есть: его вход около 3 kΩ вместо 10 MΩ нагружает источник, наводка и утечка исчезают, настоящее напряжение остаётся **MFR**.

Если LoZ у прибора нет — на стороне 12 и 24 V измерьте ещё раз, подключив параллельно щупам лампу накаливания на напряжение вашей системы: 12 V на 12-вольтовой, 24 V на 24-вольтовой, — лампа на 12 V под 24 V перегорает. С призрачным напряжением лампа не загорится и показание упадёт к нулю, с настоящим — загорится и показание останется **PRACTICE**. На стороне переменного тока без LoZ призрачное напряжение от настоящего не отличают: любое показание, кроме 0 V, означает, что источник не снят, — искать его по карте → 1.7; лампу к переменному току не подключают. Две границы правила. Первая: напряжение, которое прибор читает поперёк обрыва — между двумя концами сгоревшего предохранителя или разомкнутого выключателя при

подключённом потребителе, — настоящее: прибор оказался последовательно с потребителем на батарее, и в LoZ это напряжение не исчезает; на этом построен шаг маршрута «помпа молчит» → 12.2. Вторая: на выходах датчиков, на шине данных и на входах электроники ни LoZ, ни лампы не ставят — для них 3 kΩ и тем более лампа уже нагрузка, а не измерение; там остаётся обычный вход.

ПОЧЕМУ ТАК

Почему высокоомный вход показывает то, чего нет, а низкоомный — нет. Любой источник имеет собственное сопротивление, и напряжение на его выводах делится между этим сопротивлением и тем, что к нему подключено. У наводки через ёмкость жгута собственное сопротивление — мегаомы: вход 10 MΩ с ним сравним, и половина или больше напряжения достаётся прибору; вход 3 kΩ в сотни и тысячи раз меньше, и на нём остаются десятые доли вольта против полного напряжения сети. У утечки через индикатор выключателя то же самое: пусть её путь — 50 kΩ. Для входа 10 MΩ это почти ничто, и прибор видит $12 \cdot 10\,000 / 10\,050 \approx 11.9$ V; для входа 3 kΩ делитель даёт $12 \cdot 3 / 53 \approx 0.7$ V. А если к тому же проводу подключена лампа с нитью в единицы ом, те же 50 kΩ отдадут на неё милливольты — поэтому призрак живёт только на проводе без потребителя, а поперёк обрыва при подключённом потребителе прибор читает настоящую батарею. Граница модели: LoZ отличает наводку и утечку от настоящего напряжения, но не отличает от них слабый настоящий источник — солнечную панель в сумерках, разряженный конденсатор: и тот и другой «просаживаются». Признак настоящего источника — он держит напряжение под известной нагрузкой; проверка лампой на стороне 12 и 24 V это и делает.

Категория безопасности прибора (CAT): почему на лодке это не формальность

На корпусе мультиметра стоит надпись вроде «CAT III 600 V», и это не диапазон измерения, а класс защиты: категория измерения (measurement category, CAT) по стандарту на безопасность измерительных приборов определяет уровень импульса

напряжения, который прибор обязан выдержать без дуги внутри, — импульса, который приходит в цепь от коммутации и от разряда молнии в сети **MFR**. Категории четыре, и они привязаны к месту в электроустановке, а не к напряжению: CAT I — защищённые электронные цепи, не связанные с сетью напрямую; CAT II — нагрузки, подключённые к розетке; CAT III — стационарная часть установки от щита до розеток, включая распределительные панели; CAT IV — от источника питания здания до первого выключателя, способного отключить всё. Чем ближе к источнику, тем меньше сопротивление сети и тем больший ток даст тот же импульс. Число рядом с категорией — рабочее напряжение, для которого этот класс защиты проверен.

Отсюда правило выбора: прибор берётся по самой тяжёлой категории, в которой он может оказаться, и с рабочим напряжением не ниже того, что там есть **MFR**.

Для лодки категорию задаёт сторона переменного тока, потому что на стороне 12 V импульсов сети нет. Обе системы мира — 120/240 V и 230 V — ниже 600 V; бортовой ввод, главный автомат и панель переменного тока — стационарная часть установки, то есть CAT III по смыслу определений; изготовитель приборов называет минимум для измерений на живой цепи — CAT III 600 V **MFR**. Прибор с такой надписью закрывает любой причал. Почему на лодке это не формальность: измерять 0 V на входе панели переменного тока приходится в сырости и среди металла — поэтому руки сухие, под ногами не вода, а прибор не ниже CAT III 600 V: если импульс придёт по береговому кабелю в момент касания, между вами и дугой останется только корпус прибора.

ЦИФРЫ · CAT — ЭТО ЭНЕРГИЯ ИМПУЛЬСА, А НЕ ВОЛЬТЫ

Категорию проверяют испытательным импульсом от источника с заданным сопротивлением; пары «импульс / сопротивление источника» по данным изготовителя приборов такие **MFR** :

Таблица 3.2. Испытательный импульс по категориям

Надпись на приборе	Импульс	Сопротивление источника	Ток импульса
CAT II 600 V	4 000 V	12 Ω	333 A
CAT II 1000 V	6 000 V	12 Ω	500 A
CAT III 600 V	6 000 V	2 Ω	3 000 A
CAT III 1000 V	8 000 V	2 Ω	4 000 A
CAT IV 600 V	8 000 V	2 Ω	4 000 A

Ток импульса — арифметика: $6\,000\text{ V} / 2\ \Omega = 3\,000\text{ A}$ против $6\,000\text{ V} / 12\ \Omega = 500\text{ A}$. Поэтому «CAT II 1000 V» не заменяет «CAT III 600 V»: у них одинаковый импульс, но у второго в шесть раз больше ток, который прибор обязан пережить. Читайте категорию, а не большее число вольт.

Категория написана и на щупах: щупы — той же категории, что прибор, а для живых измерений — наконечники с открытым металлом не длиннее 4 mm **MFR**.

Внутри прибора стоят два предохранителя — для гнезд миллиампер и ампер — на 1000 V, быстродействующие, с песчаным наполнением, которое гасит дугу; номиналы — 0.44–0.8 A для гнезда миллиампер и 10–11 A для гнезда ампер **MFR**; номинал вашего прибора напечатан у гнезда и в его характеристиках. Что они делают и почему на их место нельзя ставить стеклянный предохранитель из магазина, — → 3.7 · с. 39.

КАЖЕТСЯ РЕШЕНИЕМ	ЧТО ВЫЯСНИТЬ ДО ПОКУПКИ	ЧТО РЕШАЕТ ЗАДАЧУ
Купить прибор с самым длинным списком функций: температура, ёмкость, частота, связь с телефоном.	Четыре свойства: диапазон 600 mV с разрешением 0.1 mV; вход LoZ; надпись CAT III 600 V на приборе и на щупах; гнездо 10 A с предохранителем на 1000 V внутри.	Любой прибор с этими четырьмя свойствами закрывает всё, что в этой книге делается самому. Остальные функции не мешают, но и не решают ни одной задачи лодки.

3.3. Токовые клещи (clamp meter): два прибора под одним названием

Почему клещи, которые в доме показывают ток любой розетки, на лодке показывают ноль на кабеле стартера во время прокрутки — и какой ток клещами измерить нельзя вовсе? Потому что под одним названием и в одном корпусе продаются два разных прибора, и различаются они тем, что стоит в губках. Дома весь ток переменный, и годятся любые клещи; в автомобиле ток постоянный, но там его редко измеряют клещами; на лодке ток в тяжёлых цепях — постоянный, и клещи с трансформатором в губках покажут на нём ноль при любом токе. Это не неисправность прибора: он исправен и не для этого.

Клещи первого устройства — с трансформатором тока (current transformer, CT). Губки из ферромагнитного материала охватывают проводник и вместе с ним образуют трансформатор, в котором измеряемый проводник — первичная обмотка из одного витка, а катушки на губках — вторичная; клещи с трансформатором тока реагируют только на переменный ток **MFR**. Трансформатор передаёт только изменение магнитного потока: постоянный ток создаёт в губках неизменный поток, во вторичной обмотке ничего не наводится, и на дисплее ноль — на кабеле стартера под

двумястами амперами, на выходе солнечного контроллера, на проводе лебёдки.

Клеши второго устройства — с датчиком Холла (Hall effect). Губки такие же, но в них есть зазор, и в зазоре стоит полупроводниковый датчик, напряжение на котором пропорционально магнитному полю; постоянное поле концентрируется в сердечнике так же, как притягивает к железу постоянный магнит, и датчик его видит **MFR**. Такие клещи измеряют и переменный, и постоянный ток, и узнаются по надписи «DC A» или символу постоянного тока рядом с амперами на переключателе.

Это стоит одного действия: датчик видит и поле Земли, и намагниченность губок, поэтому перед измерением постоянного тока показание обнуляют кнопкой ZERO (у части приборов — REL) при сомкнутых губках без проводника; ненулевое показание до измерения означает, что обнуление нужно **MFR**. Пропущенное обнуление оставляет на дисплее ток там, где его нет, и этот ток неотличим от тока покоя. Губки на кабель стартера ставят на изолированном участке у батарейного ящика — не у клемм и не в моторном отсеке во время прокрутки: там вращаются маховик и ремни.

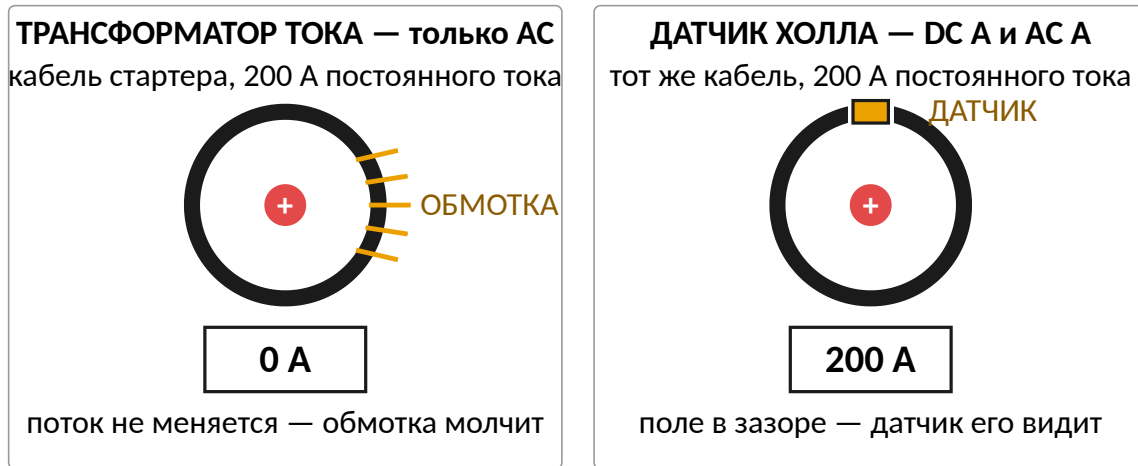


Рис. 3.2. Один и тот же кабель стартера под током 200 А постоянного тока в губках двух приборов. Слева — клещи с трансформатором тока: сердечник замкнут, ток в его катушке наводится только изменением потока, и на постоянном токе дисплей показывает ноль. Справа — клещи с датчиком Холла: в зазоре сердечника стоит датчик, напряжение на котором пропорционально полю, и постоянный ток он видит. Второй прибор узнаётся по надписи «DC А» и требует обнуления перед измерением.

Что попадает в губки

Клещи показывают сумму токов всех проводников внутри губок с учётом направления. Если внутри один проводник — это его ток. Если внутри плюс и минус одного потребителя — токи равны и направлены встречно, и клещи показывают ноль: токи противоположных направлений взаимно вычитаются, и в губки помещают один проводник **MFR**. Ноль на двухжильном кабеле помпы — норма, а не обрыв. У этого свойства есть и полезная сторона: клещи вокруг всех рабочих проводников берегового шнура сразу показывают ток, который ушёл мимо своего обратного провода, — ток утечки; это измерение стороны переменного тока, клещами тока утечки с разрешением в доли миллиампера, и оно разбирается там, где живёт «выбивает на причале» → 17.3.

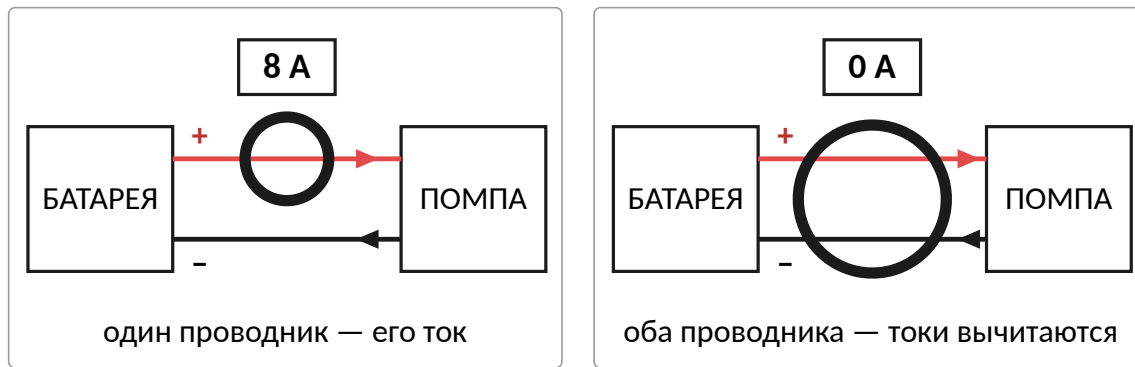


Рис. 3.3. Одна помпа, одни клещи с датчиком Холла, два положения губок. Вокруг одного плюсового провода — ток помпы, здесь учебные 8 А. Вокруг плюса и минуса вместе — ноль: два равных встречных тока вычитаются; стрелки на проводах — направление тока. Ноль на двухжильном кабеле — норма, а не обрыв.

Чего клещи не измеряют: ток покоя

Клещи — прибор для ампер, а не для миллиампер, и это следует из их характеристик (datasheet). У клещей класса «до 600 А» младший диапазон — 60.00 А с разрешением 10 мА и погрешностью $\pm(2\% + 8 \text{ единиц младшего разряда})$ **MFR**. Переведите это в амперы: при показании 1.00 А неопределённость $\pm(0.02 + 0.08) = \pm 0.10$ А, при 0.50 А — ± 0.09 А, при 0.20 А — ± 0.084 А. Ток покоя (parasitic draw) банка — то, что лодка потребляет на стоянке при выключенной панели, — лежит в десятках и сотнях миллиампер. Десятки миллиампер целиком внутри погрешности клещей, а в сотнях погрешность сравнима с самим показанием: при 0.20 А — почти половина числа на дисплее. Поэтому ток покоя клещами не измеряют: в этой задаче они годятся только как отсев — найти потребителя, который ест целые амперы, обходя провода по одному. Сам ток покоя измеряется мультиметром в разрыв минусового провода — не на клемме батареи: работа инструментом на клемме — уровень «Мастер» → 1.8; где сделать разрыв на вашей лодке и как — в разделе о «садится за ночь» → 7.3.

У мультиметра в разрыве цепи своя граница — номинал гнезда, 10 или 11 А, он написан у гнезда, и предохранитель за ним — на 1000 В **MFR**. Прибор включается в цепь последовательно и только после того, как питание цепи снято; стартер и тяжёлые нагрузки при приборе в режиме тока не включают, а начинают с гнезда 10 А. В

этом режиме между щупами прибора — доли ома, и всё, что прошло бы через цепь, пройдёт через него; о ловушке щупов в гнезде А на живой цепи — → 3.7 · с. 39.

Так на лодке складываются четыре порядка величины, и у каждого свой прибор. Миллиамперы — ток покоя, датчики, память приборов — только мультиметром в разрыв. Единицы и десятки ампер — помпа, освещение, холодильник, зарядное — клещами с датчиком Холла на одном проводнике. Сотни ампер — стартер, лебёдка, инвертор — шунтом и монитором → 3.6 · с. 31 или, если нужен не ток, а состояние соединения, падением напряжения под этим током → 3.4 · с. 18. Тысячи ампер — короткое замыкание банка — не измеряют ничем: их считают по данным изготовителя батареи и под них выбирают разрывную способность защиты → 4.4.

ПОЧЕМУ ТАК

Почему у клещей с датчиком Холла младший разряд «плавает». Датчик стоит в зазоре сердечника и измеряет поле, а поле от одного провода с током в 100 мА на расстоянии губок в десятки раз слабее поля Земли и остаточной намагниченности сердечника; обнуление вычитает их в момент нажатия кнопки, но температура, поворот прибора и щелчок губок сдвигают ноль обратно на десятки миллиампер. Поэтому у клещей этого устройства погрешность записана в характеристиках как проценты плюс единицы младшего разряда — вторая часть и есть этот дрейф. Граница модели: существуют клещи для токов утечки с разрешением в доли миллиампера, но это прибор стороны переменного тока с другим сердечником и другой ценой; для тока покоя постоянного тока путь один — прибор в разрыв.

КАЖЕТСЯ РЕШЕНИЕМ	ЧТО ВЫЯСНИТЬ ДО ПОКУПКИ	ЧТО РЕШАЕТ ЗАДАЧУ
Клещи покажут, куда уходит ток на стоянке, и найдут утечку.	Погрешность на младшем диапазоне: $\pm(2\% + \text{единицы младшего разряда})$ при разрешении 10 mA — это $\pm 0.1\text{ A}$ при 1 A. Сколько потребляет ваша лодка на стоянке — амперы или десятки миллиампер.	Клещи с надписью DC A — для тока потребителей в амперах и для отсева крупного потребителя. Ток покоя — мультиметром в разрыв → 7.3; падение на соединении — мультиметром в милливольтах → $3.4 \cdot \text{с. 18}$.

3.4. Падение напряжения (voltage drop) под реальным током — главное измерение книги

Как найти соединение, которое греется, если омметр показывает на нём ноль, а напряжение на батарее «нормальное»? Одним способом, и он единственный: измерить, сколько напряжения теряется на участке цепи в тот момент, когда по нему идёт рабочий ток. Это измерение называется падением напряжения (voltage drop), и на него ссылается вся книга — от наконечника литиевого банка → 1.1 до приёмки работы мастера → 18.6.

ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПОД РЕАЛЬНЫМ РАБОЧИМ ТОКОМ

Плохой контакт ищется измерением падения напряжения (voltage drop) на участке под реальным рабочим током цепи — двумя способами, и они равноценны: два измерения под одной и той же нагрузкой — напряжение на источнике и напряжение на потребителе, разность — то, что теряет трасса; либо одно измерение — щупы на двух концах проверяемого участка, пока по нему идёт ток, и прибор показывает потери на этом участке напрямую. Напряжение на одном потребителе само по себе падение не показывает. Омметр сотые доли ома не видит.

Физика измерения — в разделе → 3.1 · с. 2: дефект соединения существует всегда, но напряжение на нём появляется только вместе с током, и растёт оно с током линейно, а тепло — с квадратом. Вольтметр на батарее показывает напряжение батареи, а не то, что дошло до стартера; вольтметр на стартере без тока покажет те же 12.6 V, потому что без тока ни на одном соединении ничего не теряется. Поэтому в правиле два слова несут весь смысл: «под током» и «на участке». Щупы ставятся на два конца того куска цепи, о котором вы спрашиваете, — клемма и наконечник, вход и выход выключателя, два конца кабеля, — и нагрузка в это время работает. Прибор показывает разность потенциалов между щупами, то есть ровно то, что этот участок отнял у потребителя.

Оба способа из правила ведут к одному числу разными путями. Два измерения под одной нагрузкой — напряжение на клеммах батареи и напряжение на клеммах потребителя, пока он работает, — дают сумму потерь всей трассы туда и обратно; это первый вопрос: «есть ли потери вообще и сколько». Щупы на концах участка отвечают на второй вопрос: «где именно». Дальше трасса делится пополам, пополам и ещё раз, пока участок с потерями не окажется одним соединением; в тяжёлой цепи таких участков пять-шесть, и карта на Рис. 3.4 называет их буквами один раз на всю главу.

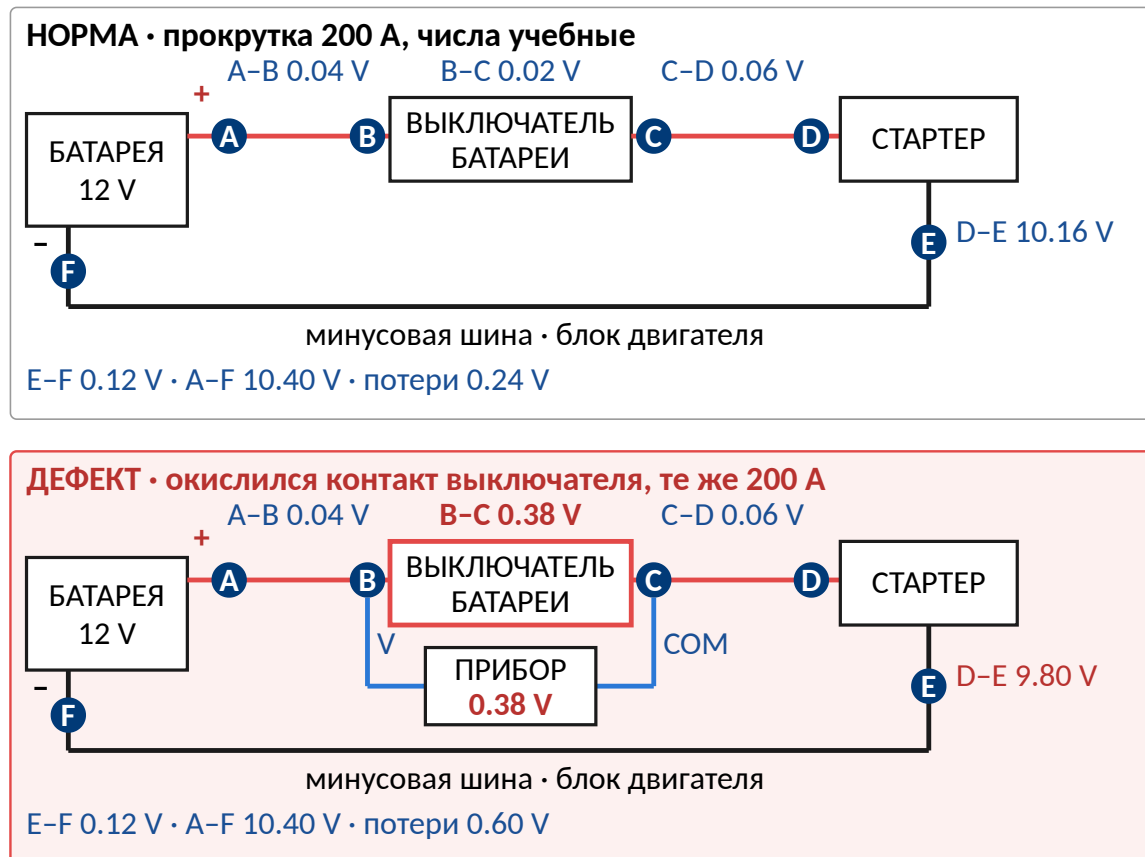


Рис. 3.4. Карта падения напряжения на цепи стартера — одна геометрия, два состояния. Точки: А — плюсовая клемма батареи, В и С — вход и выход выключателя батареи, D — плюсовая клемма стартера, E — минус стартера на блоке двигателя, F — минусовая клемма батареи. Числа учебные, при прокрутке 200 А. Вверху норма: на каждом участке сотые доли вольта, сумма потерь 0.24 V. Внизу тот же ток и окисленный контакт выключателя: участок В-С теряет 0.38 V, стартер получает 9.80 V вместо 10.16; прибор поперёк В и С — щупы на двух концах участка под током — показывает эти 0.38 V напрямую. Ни одно другое падение на участках не изменилось — поэтому дефект и находят участком, а не «вообще». У кабеля стартера защиты может не быть — это исключение стандарта → 4.2; на этой карте её нет. Те же буквы — в шагах процедуры ниже и в ответах самопроверки.

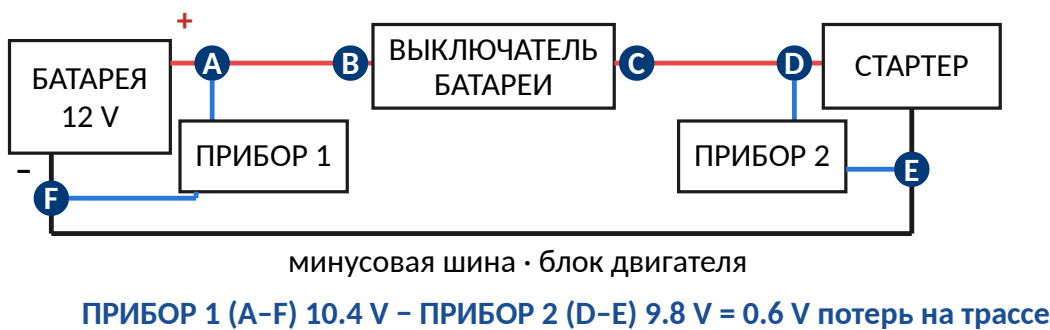
ДВА ИЗМЕРЕНИЯ ПОД ОДНОЙ НАГРУЗКОЙ · та же прокрутка 200 А

Рис. 3.5. Второй способ на той же геометрии: два измерения под одной и той же нагрузкой. Прибор 1 стоит на клеммах батареи (A-F), прибор 2 — на клеммах стартера (D-E), оба читаются в один и тот же момент прокрутки; разность — сумма потерь всей трассы. Одним прибором это делается двумя прокрутками подряд с записью каждого числа. Где именно потери — отвечает уже первый способ: щупы на концах участка.

ПОЧЕМУ ТАК · ПОЧЕМУ ОММЕТР НЕ НАХОДИТ ПЛОХОЙ КОНТАКТ

Омметр измеряет сопротивление собственным током — от батарейки прибора, миллиамперы, — и считает его по падению на щупах. Батарейка омметра не даёт тока, который в норме течёт через цепь, поэтому проверка омметром не обнаруживает препятствия так же точно, как измерение падения напряжения; падение меняется с током, и пока цепь не работает, измерить его нельзя **MFR**. К этому добавляется разрешение. Младший диапазон омметра — 600.0 Ω с шагом 0.1 Ω и погрешностью, которая у нуля составляет несколько десятых ома; сами щупы дают от 0.2 до 0.5 Ω , и режим относительного измерения (REL) вычитает их, но не их разброс от нажима руки. Искомые 0.01 Ω в двадцать-пятьдесят раз меньше того, что прибор способен различить, — омметр их не видит по определению, а не по неисправности. Прозвонка ещё грубее: сигнал звучит при сопротивлении ниже 50 Ω , и одна уцелевшая жила из девятнадцати в перетёртом кабеле пишит так же, как целый кабель. Граница правила: омметр остаётся прибором для обрыва — «путь есть или нет» и «этот провод — тот самый», и на обесточенной цепи он это делает надёжно; специальные приборы, которые пропускают через соединение амперы и считают микроомы, существуют, но это инструмент мастера, а не омметр мультиметра.

Процедура: карта падения на тяжёлой цепи

Ниже — процедура для цепи стартера, потому что в ней самый большой ток и самые заметные потери; та же карта с теми же буквами работает для лебёдки, подруливающего устройства и инвертора — с одной поправкой: в этих цепях между C и D стоит держатель защиты, и он даёт ещё один участок для щупов. У кабеля стартера защиты может не быть — это исключение стандарта → 4.2; если держатель в цепи стартера стоит, он даёт такой же участок. Для цепи помпы или огней карта та же, только буквы стоят на держателе предохранителя и клеммах потребителя, а нагрузка включается штатным выключателем — так сделан маршрут «помпа молчит» → 12.2.

Двигатель не должен завестись, пока щупы на клеммах: запуск блокируется по руководству вашего мотора; цепь запуска и её блокировки — → 9.5. Прокрутка — 4–5 секунд, не дольше, с паузой между попытками **MFR**. Кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом, очки надеты — условия работы у клемм из карты → 1.1. Красный щуп — в гнезде V, не в гнезде A; переключатель — на постоянном напряжении. Щупы с зажимами-крокодилами закрепляются на точках до команды «крути», их провода уложены в стороне от ремней и маховика; зажим на шпильке D не должен касаться корпуса стартера — это короткое замыкание кабеля батареи. Во время прокрутки руки — вне моторного отсека: вращаются маховик и ремни. Помощник крутит по вашей команде. Включите запись наименьшего и наибольшего значения (MIN/MAX): в шагах 2 и 3 читается MIN, в шагах 4 и 5 — MAX. AutoHOLD, если он у прибора есть, годится только для падения на участке, в шагах 4 и 5: там до прокрутки прибор показывает ноль, и первое устойчивое показание — это показание под током. Обычная кнопка HOLD не годится ни там, ни здесь: она замораживает то, что на дисплее в момент нажатия, то есть число до прокрутки. Дисплей читается после прокрутки, а не во время неё. Что не опасно: 12 V на зажимах — током не бьёт. Опасны металл между клеммами и вращение. Признак, что всё под

контролем: двигатель прокручивается и не заводится, показание зафиксировано, руки свободны.

ЧТО ИЗМЕНИЛОСЬ ПЕРЕД ПРОБЛЕМОЙ?

После замены батареи или клемм · после зимовки или долгой стоянки · после работ на выключателе батареи или на проводке в отсеке · после воды в отсеке батарей или в трюме · после установки нового прибора на ту же батарею · без заметных изменений — тогда это возраст соединений.

КАРТА ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ: ТОЧКИ А-F НА РИС. 3.4

- 1** Прибор в режим постоянного напряжения, щупы в гнездах V и COM. Зажимы на клеммы батареи A и F, без прокрутки. Вы увидите: Напряжение батареи, например 12.6 V, — прибор жив и щупы целы; это проверка на заведомо живом источнике, с которой начинается любое измерение → 3.7 · с. 39.
- 2** Зажимы там же, на A и F. Команда помощнику: прокрутка 4–5 секунд. Запишите наименьшее показание (MIN). Вы увидите: Батарея под током просела, пусть до 10.4 V. Какая доля жалобы на батарею, а какая на трассе, покажет шаг 3: если потери трассы в норме, а стартер крутит вяло, — дело в самой батарее: зарядить и провести нагрузочный тест по его условиям → 3.6 · с. 31. Изношенная батарея даёт ту же жалобу, что и плохой контакт. Порог нагрузочного теста к минимуму прокрутки не прикладывают: ток и время у этих двух нагрузок разные.
- 3** Зажимы на клеммы стартера: красный на D, чёрный на E — корпус стартера или блок двигателя; руки из отсека. Снова прокрутка 4–5 секунд, запишите наименьшее показание. Вы увидите: Пусть 9.8 V. Разность с шагом 2 — $10.4 - 9.8 = 0.6 \text{ V}$ — это сумма потерь всей трассы туда и обратно. С чем её сравнить — → 3.5 · с. 26: для цепи стартера всего не больше 0.5 V **MFR** ; больше — потери есть, ищем где.
- 4** Переключите прибор в милливольтовый диапазон. Красный зажим — на ту точку пары, откуда приходит ток: на плюсовой стороне — ближе к батарее, на минусовой — на блок двигателя. Для каждой пары — зажимы на точки, прокрутка, после неё прочитайте MAX: сначала красный

на А, чёрный на D — вся плюсовая сторона; затем красный на E (блок двигателя), чёрный на F (минусовая клемма батареи) — вся минусовая.

Вы увидите: Пусть A-D 0.48 V, E-F 0.12 V; сумма 0.60 V сходится с шагом 3 — карта замкнулась. Сторона с большим числом — та, где дефект: здесь плюсовая. MAX около нуля, а MIN со знаком «-» — зажимы стоят наоборот: падение — это число MIN без знака, повторять прокрутку не нужно. OL — падение больше диапазона, переключите на следующий диапазон постоянного напряжения.

- 5** Делите плюсовую сторону — красный зажим на точке ближе к батарее, — по прокрутке на каждую пару с записью MAX: A и B — кабель с двумя наконечниками; B и C — контакты выключателя; C и D — кабель до стартера. Вы увидите: Пусть A-B 0.04 V, B-C 0.38 V, C-D 0.06 V. Участок с наибольшим числом — дефект: выключатель батареи. На исправном соединении под током прибор показывает доли или единицы милливольт; на исправном выключателе батареи под прокруткой — сотые доли вольта, то есть десятки милливольт: это узел, а не одно соединение, и его доля из 0.3 V плюсовой стороны $\rightarrow 3.5 \cdot \text{с. 26}$.

- 6** Найденный участок — соединение, которое надо разбирать. Решите по уровню: соединение после выключателя батареи — «Сам при условии»: выключатель в OFF и 0 V на его выходной клемме C; клеммы батареи — плюсовая и минусовая, — кабель до выключателя и сам выключатель со стороны батареи — «Мастер»: их нельзя обесточить. Наконечник массы на блоке двигателя (E) — «Сам при условии»: выключатель батареи в OFF, и между блоком и каждой плюсовой клеммой рядом — шпилькой стартера D, выходной клеммой генератора двигателя — 0 V; напряжение есть — «Мастер» $\rightarrow 3.8 \cdot \text{с. 47}$.

Вы увидите: Тёплый или горячий на ощупь наконечник или корпус выключателя после серии прокруток — тот же ответ, что дал прибор; потрогайте тыльной стороной ладони.

ВЕРНУТЬ ЛОДКУ В РАБОЧЕЕ СОСТОЯНИЕ

Зажимы сняты со всех точек, провода щупов из моторного отсека убраны. Блокировка запуска снята — предохранитель, разъём или шнур на месте, как было по руководству мотора; выключатель батареи в рабочем положении; колпачок на плюсовой клемме; щупы из гнезд, переключатель прибора в OFF. Запустите двигатель и убедитесь, что он заводится. Все записанные числа — в паспорт лодки с датой: через сезон они станут вашей нормой для сравнения.

РАЗОБРАННЫЙ ПРИМЕР: «НА БАТАРЕЕ 12.6 V, А КРУТИТ ВЯЛО»

Условие. Пусть на клеммах батареи без нагрузки 12.6 V, батарея прошла нагрузочный тест, а стартер крутит медленно. Ток прокрутки — пусть 200 A. Что определяет решение: не напряжение батареи, а то, сколько из него доходит до стартера под током, — то есть измерение двумя способами по карте Рис. 3.4. Измерение: под прокруткой A–F 10.4 V, D–E 9.8 V — трасса теряет 0.6 V при допустимых не больше 0.5 V; делением сторон — A–B 0.04, B–C 0.38, C–D 0.06, E–F 0.12 V. Результат: 0.38 V на контактах выключателя батареи — почти две трети всех потерь. Что число значит: $0.38 \text{ V} / 200 \text{ A} = 0.0019 \text{ } \Omega$ — сопротивление меньше двух тысячных ома, которое омметр никогда бы не показал; при этом $0.38 \cdot 200 = 76 \text{ W}$ греют контакты выключателя при каждом пуске, и выключатель, тёплый после трёх прокруток, подтверждает прибор рукой. Стартеру при этом досталось 9.8 V вместо 10.16 — оттого и вяло. Решение — не новая батарея и не толстый кабель, а выключатель: его чистка или замена, и это работа на стороне батареи — «Мастер».

Тот же ход в цепи, где ток мал, даёт те же буквы и другие пороги: у навигационных огней или картплоттера нет прокрутки, нагрузка включается штатным выключателем, и сравнивать сумму потерь трассы надо не с 0.5 V, а с процентом от напряжения: 3 % для цепей, где падение важно, и 10 % для остальных → 3.5 · с. 26. Что это за цепи и как по падению рассчитать сечение нового провода —

- 5.4; как проверить своими руками уже сделанное соединение —
→ 5.8.

3.5. Пороги: с чем сравнивать показание

С чем сравнить «12.3 V» на батарее или «0.25 V» на кабеле, чтобы число стало ответом? Само по себе показание не говорит ничего: 12.3 V — это и полная батарея под лампой, и полупустая в покое, и литиевая на любом проценте. Порогов в этой главе три семейства, и у каждого своё условие измерения, без которого сравнение не имеет смысла: напряжение батареи — в покое, под зарядом или под нагрузкой; падение на трассе — под рабочим током, в процентах от напряжения системы; падение на одном элементе — под рабочим током, в милливольтках. Все три собраны в одну таблицу, чтобы вы находили порог на месте измерения, а не искали его по книге.

Таблица 3.3. Пороги: что измеряете · при каком условии · с чем сравнивать (буквы точек — по карте Рис. 3.4 · с. 20)

Что измеряете	Условие	С чем сравнивать	Пометка
Напряжение свинцовой батареи в покое → уровень заряда (SOC)	Без заряда и без нагрузки: с пробками — не меньше 6 h, лучше 24; AGM — не меньше 4 h; около 25 °C	Таблица изготовителя вашей батареи; ориентир для двух химий — Табл. 3.4 · с. 28: 100 % — 12.73 V (с пробками) или выше 12.78 V (AGM); 50 % — 12.10 или 12.18 V	MFR
Напряжение на клеммах при работающем зарядном, генераторе двигателя, солнце	Источник работает	Диапазон заряда изготовителя вашей батареи; для двух химий: с пробками — заряд 14.4–14.8 V, поддержание 13.5 V; AGM — 14.3 ± 0.1 и 13.3 ± 0.1 V. Это напряжение источника, а не уровень заряда батареи	MFR

Что измеряете	Условие	С чем сравнивать	Пометка
Напряжение литиевой батареи LiFePO ₄	Любое	Уровень заряда по напряжению не читается: батарея на 80 % показывает почти то же, что на 30 %. Границы — заряд 14.2–14.6 V, отключение по низкому напряжению 10 V; между ними — монитор банка	MFR
Потери всей трассы под рабочим током: A–F минус D–E (или щупы на концах трассы)	Потребитель работает штатно	3 % от напряжения системы — 0.36 V при 12 V, 0.72 V при 24 V — для главных фидеров панели, вентиляторов трюма, электроники, навигационных огней и других цепей, где падение важно; 10 % — 1.2 V при 12 V, 2.4 V при 24 V — для остального	ABYC
Цепь стартера под прокруткой: A–F минус D–E	Прокрутка 4–5 s без запуска	Всего не больше 0.5 V; плюсовая сторона A–D — около 0.3 V; минусовая E–F — не больше 0.2 V	MFR
Один элемент цепи под рабочим током: щупы на его концах	Ток идёт	По данным изготовителя приборов для автомобильной цепи 12 V: соединение — 0.00 V (в милливольтном диапазоне — доли или единицы милливольт; десятки — соединение греется); провод или кабель — 0.20 V; выключатель обычной цепи — 0.30 V; масса — 0.10 V; в слаботочных цепях провод и выключатель — 0.10 V. Выключатель батареи под током стартера — сотые доли вольта (десятки милливольт), его доля из 0.3 V плюсовой стороны	MFR
Свинцовая батарея под нагрузочным тестом	Заряжена; ½ CCA; 15 s	Не ниже 9.6 V при 21 °C и теплее; ниже — по температуре, Табл. 3.5 · с. 33 (→ 3.6 · с. 31)	MFR

Что измеряете	Условие	С чем сравнивать	Пометка
Ток по шунту	Щупы на сигнальных винтах	Милливольты на шунте × (номинальный ток / номинальные милливольты); шунт 500 A / 50 mV: 1 mV = 10 A (→ 3.6 · с. 31)	арифметика

Напряжение батареи: покой, заряд, нагрузка

Напряжение покоя (open-circuit voltage) свинцовой батареи связано с уровнем её заряда, и изготовители публикуют эту связь таблицей. Условие — покой: для батареи с пробками — не меньше 6 часов без заряда и нагрузки, лучше 24; для AGM — не меньше 4 часов; температура около 25 °C **MFR**. Пока батарея не отдохнула, на клеммах остаток напряжения заряда или просадка от нагрузки, и таблица не работает. Вторая тонкость — химия: одна и та же половина заряда читается как 12.10 V у батареи с пробками и как 12.18 V у AGM, и разница между двумя химиями растёт вниз по шкале — от сотых долей вольта вверху до двух десятых внизу (при 10 % — 0.19 V), поэтому таблица берётся у изготовителя своей батареи; две колонки Табл. 3.4 · с. 28 — ориентир для двух химий, чтобы вы видели масштаб. Как эта шкала устроена и почему после мотора вольтметр «врёт» — → 6.2.

Таблица 3.4. Напряжение покоя свинцовой батареи 12 V и уровень заряда — две химии, данные изготовителей

Уровень заряда	С пробками (flooded), V	AGM, V
100 %	12.73	выше 12.78
80 %	12.50	12.54
70 %	12.37	12.42
50 %	12.10	12.18
30 %	11.81	11.94
20 %	11.66	11.82
10 %	11.51	11.70

Показание при подключённом источнике — другая величина. 13.2 V и выше на клеммах при работающем зарядном, генераторе двигателя или солнечном контроллере — это напряжение источника в фазе поддержания или заряда, и об уровне заряда оно не говорит; сравнивать его надо с диапазоном, который изготовитель батареи задаёт для заряда: у батарей с пробками — заряд 14.4–14.8 V, поддержание 13.5 V; у AGM — 14.3 ± 0.1 и 13.3 ± 0.1 V **MFR**. Что делать, если источник даёт не то, — зарядное устройство → 9.3, несколько источников сразу → 9.4.

У литиевой батареи LiFePO₄ связи «напряжение — заряд» для вольтметра нет. Её напряжение почти не меняется на большей части разряда: батарея на 80 % заряда показывает почти то же напряжение, что и на 30 %, под нагрузкой читается ниже, в покое выше, и единственный точный способ знать уровень заряда — монитор, который считает ток во времени **MFR**. Вольтметр на литии отвечает только на два вопроса: не ушла ли батарея к границе — отключению по низкому напряжению — и заряжает ли источник в диапазоне изготовителя. Всё остальное — в главе о литии → 11.1.

Падение на трассе и падение на элементе

Норма на трассу написана в стандарте как норма для выбора сечения провода: проводники главных фидеров панели, вентиляторов трюма, электроники, навигационных огней и других цепей, где падение напряжения должно быть минимальным, рассчитываются на падение не больше 3 %; освещение, кроме навигационных огней, и цепи, где падение не критично, — не больше 10 % **ABYC**. В вольтах при 12 V это 0.36 V и 1.2 V, при 24 V — 0.72 V и 2.4 V, и считается это на всю длину туда и обратно. Как порог измерения та же норма применяется к сумме «провод плюс все соединения трассы»: если провод выбран по норме, а измеренные потери под рабочим током больше нормы, лишнее сидит в соединениях — и его находят делением трассы по карте → 3.4 · с. 18. Расчёт сечения по падению — метрической формулой и таблицами — → 5.4.

Для цепи стартера процент не работает: ток слишком велик и длится секунды, и порог здесь задан в вольтах: допустимые потери всей цепи — не больше 0.5 V, из них на плюсовой стороне около 0.3 V, на минусовой не больше 0.2 V; больше — коррозия, ослабленные клеммы или повреждённый кабель **MFR**.

Порог на один элемент — самый строгий, и он же самый полезный, потому что именно его вы сравниваете, когда щупы стоят на концах одного соединения. Изготовитель приборов даёт для автомобильной цепи 12 V наибольшие допустимые падения: на соединении — 0.00 V, на проводе или кабеле — 0.20 V, на выключателе — 0.30 V, на соединении с массой — 0.10 V, а в слаботочных цепях на проводе и выключателе — 0.10 V **MFR**. На лодке эти числа — ориентир для соединений и выключателей обычных цепей; выключатель батареи под током стартера или инвертора держит сотые доли вольта, то есть десятки милливольт, — его доля из 0.3 V всей плюсовой стороны: 0.25 V на нём под 200 A — это 50 W в пластиковом корпусе при каждом пуске; под инвертором на 100 A тот же контакт теряет 0.125 V и греет 12.5 W — вчетверо меньше, но без перерыва, часами. Для проводов порог — расчёт по норме на трассу → 5.4.

ПОЧЕМУ ТАК · ПОЧЕМУ НА СОЕДИНЕНИИ 0.00 V, А НА ПРОВОДЕ 0.20 V

У провода есть длина, и он сопротивляется току так, как заложено его сечением и длиной, — это учтено при выборе сечения, и 0.20 V на кабеле означают, что кабель делает то, что заложено. У соединения длины нет: две поверхности прижаты друг к другу, и всё, что вы читаете на нём в милливольтном диапазоне, — сопротивление контакта, которого при исправном обжиме и затяжке быть не должно. Отсюда 0.00 V на шкале вольт как норма. Граница правила: под током стартера даже безупречное болтовое соединение кабеля 2/0 AWG (67 mm²) показывает доли или единицы милливольт — это не ноль на дисплее, а 0.00 V в масштабе порога; десятки милливольт на одном соединении под рабочим током — уже контакт, который греется, и разбирать его надо. Второй способ отличить норму от дефекта, когда чисел под рукой нет, — сравнение с таким же соединением той же цепи под тем же током: два наконечника на одном кабеле обязаны показывать одно и то же.

ЦИФРЫ · ЧТО СТОИТ ЗА ПОРОГОМ В ВАТТАХ

Пусть ток прокрутки 200 A. Норма 0.3 V на плюсовой стороне — это $0.3 \cdot 200 = 60 \text{ W}$, распределённые по двум кабелям, четырём наконечникам и выключателю батареи, и ни один из них от этого не греется. Потери 1 V на той же стороне — 200 W, и если они сидят в одном соединении, это паяльник из раздела → 3.1 с. 2. Трасса помпы в перечень цепей стандарта с порогом 3 % не входит, но для неё недодача напряжения — недодача подачи, поэтому сравнивайте её потери с тем же порогом. При токе 8 A 3 % — это 0.36 V и $0.36 \cdot 8 \approx 3 \text{ W}$ на всю трассу: греть нечему, но помпа получает 11.6 V вместо 12 и качает заметно меньше; здесь порог защищает не провод, а работу потребителя.

3.6. Нагрузочный тест (load test) батареи и чтение шунта (shunt)

Что говорит число на нагрузочной вилке и число на мониторе банка — и чего ни то ни другое не говорит? Оба числа честные и оба

отвечают на узкий вопрос. Нагрузочный тест отвечает, способна ли заряженная свинцовая батарея отдать ток стартера, не провалившись ниже порога; ёмкости в ампер-часах, тока покоя и причины ночного разряда он не знает. Монитор банка считает ток во времени и показывает ампер-часы и процент; ёмкость батареи он не измеряет — её вводят руками, — и всё, что подключено мимо его шунта, для него не существует. Раздел о том, как получить каждое из этих чисел и не поверить ему больше, чем оно стоит.

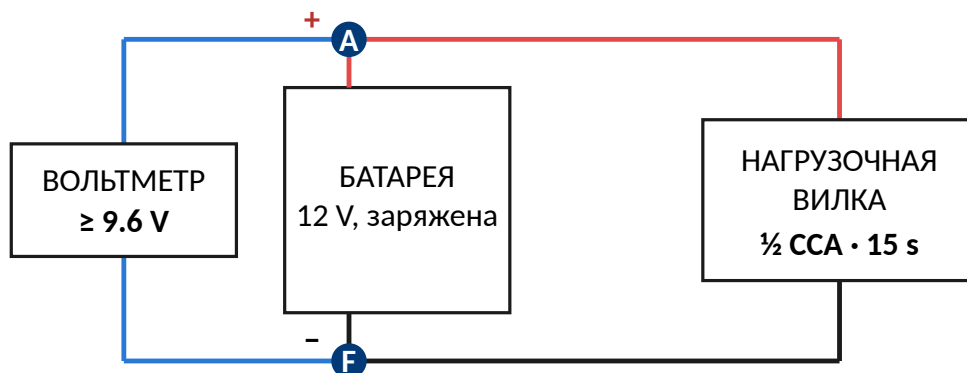
Нагрузочный тест свинцовой батареи

Нагрузочная вилка (load tester) — это мощный резистор с вольтметром и таймером, который на несколько секунд нагружает батарею током в сотни ампер и показывает, до какого напряжения она просела. Процедура: батарея заряжена — при напряжении покоя ниже 12.4 V её сначала полностью заряжают, потому что разряженную батарею тестировать нельзя; нагрузка — половина тока холодной прокрутки (ССА) с этикетки; длительность 15 секунд; напряжение читается на пятнадцатой секунде под нагрузкой и должно быть не ниже 9.6 V при температуре батареи 21 °C и выше **MFR**. Холодной батарее порог ниже — Табл. 3.5 · с. 33.

Правило повтора: ушло ниже порога — зарядить и повторить; провалилась второй раз — батарею менять **MFR**. Тест — для батареи с током холодной прокрутки (ССА) на этикетке; у батареи глубокого цикла без ССА состояние читается разрядом по времени → 6.6.

Таблица 3.5. Наименьшее напряжение 12 V батареи на 15-й секунде теста при ½ CCA — по температуре батареи

Температура	Не ниже, V
21 °C и выше	9.6
16 °C	9.5
10 °C	9.4
4 °C	9.3
-1 °C	9.1
-6 °C	8.9
-12 °C	8.7
-18 °C	8.5



читать на 15-й секунде под нагрузкой · порог 9.6 V при 21 °C и теплее
до теста батарея в покое показывает не ниже 12.4 V

Рис. 3.6. Нагрузочный тест: вилка нагружает батарею половиной тока холодной прокрутки на 15 секунд, вольтметр на тех же клеммах A и F читается на пятнадцатой секунде. Заряженная батарея при 21 °C и теплее держит не ниже 9.6 V. Тест отвечает на один вопрос — способна ли батарея отдать ток стартера — и не измеряет ёмкость в ампер-часах.

Условия — те же, что у любой работы у клемм → 1.1: кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, очки надеты. Батарея перед тестом заряжалась и выделяла водород: крышка отсека открыта; в отсеке с бензиновым двигателем или баком — вентилятор трюма четыре минуты, запаха бензина нет — только тогда прибор. Нагрузка вилки выключена, пока зажимы

ставятся и снимаются: под 400 А зажим искрит; зажимы по одному, минус последним на вход и первым на выход. Выключатель батареи — в OFF на время теста: под нагрузкой напряжение проседает до 9–10 V, и электроника на этом банке перезагрузится; помпа в обход выключателя это переживёт. В банке из нескольких батарей тест делается по одной: половина ССА одной батареи делится на все, и банк «проходит» с мёртвой батареей внутри; разъединение банка — работа на клеммах, «Мастер». Резистор вилки раскаляется за 15 секунд: корпус вилки не кладут на батарею и держат за рукоятку.

ЧТО ИЗМЕНИЛОСЬ ПЕРЕД ПРОБЛЕМОЙ?

После зимовки · после глубокого разряда — батарею «посадили в ноль» · после замены зарядного или смены его профиля · после долгой стоянки без заряда · после установки нового потребителя · без заметных изменений — тогда это возраст батареи.

НАГРУЗОЧНЫЙ ТЕСТ: ТОЧКИ А И F НА РИС. 3.6

- 1** Мультиметром измерьте напряжение покоя на клеммах А и F: батарея без заряда и без нагрузки не меньше 6 часов (AGM — не меньше 4).
Вы увидите: 12.4 V и выше — тест можно делать. Ниже — сначала полный заряд, затем покой и снова этот шаг: разряженную батарею тест бракует так же, как изношенную.
- 2** Прочитайте на этикетке ток холодной прокрутки ССА; температуру батареи измерьте термометром у корпуса — на ощупь различимы только «тёплая» и «холодная», для таблицы этого мало; выставьте на вилке половину ССА.
Вы увидите: Например, ССА 800 А — нагрузка 400 А. Порог по температуре — Табл. 3.5 · с. 33.
- 3** Нагрузка вилки выключена. Зажимы вилки на клеммы: плюс на А, минус на F; вольтметр вилки или свой мультиметр — на те же клеммы.
Вы увидите: До нагрузки прибор показывает напряжение покоя.
- 4** Включите нагрузку на 15 секунд по таймеру и прочитайте

напряжение на пятнадцатой секунде, не раньше.

Вы увидите: Не ниже порога для этой температуры — батарея отдаёт ток стартера. Ниже — шаг 5.

5

Ниже порога: снимите нагрузку, полностью зарядите батарею, дайте ей отдохнуть и повторите шаги 1–4.

Вы увидите: Второй провал — батарею менять; она прошла — первый провал был недозарядом, и искать надо источник заряда или ток покоя → 7.3.

ВЕРНУТЬ ЛОДКУ В РАБОЧЕЕ СОСТОЯНИЕ

Нагрузка вилки выключена; зажимы сняты — минус первым на выход: сначала минусовой зажим, затем плюсовой; колпачок на плюсовой клемме; вилка остывает не на батарее. Батарея — на заряд: тест отнял часть заряда. Выключатель батареи и потребители — в положение, которое было до теста. Результат с датой и температурой — в паспорт лодки.

Чего тест не говорит. Он не измеряет ёмкость: батарея, которая отдаёт 400 А на 15 секунд, может иметь половину ампер-часов с этикетки, и вилка этого не покажет — ёмкость проверяется только разрядом по времени: постоянным током 25 А до 10.5 V с записью минут, и эти минуты сравнивают с резервной ёмкостью (reserve capacity) — числом минут при 25 А из данных изготовителя батареи **MFR**; что из этого можно измерить самому — → 6.6. Он не отличает разряженную батарею от изношенной — обе проваливаются под нагрузкой, и только полный заряд с повтором разводит их; поэтому условие теста — «сначала зарядить». Он не находит ток покоя и не объясняет, почему батарея села за ночь, — это отдельный маршрут → 7.3. Что ещё можно узнать о состоянии батареи самому и когда её пора менять — → 6.6.

Литиевую батарею LiFePO₄ нагрузочной вилкой не испытывают. Ток из неё ограничивает встроенная защита — BMS: у батареи 100 Ah продолжительный ток разряда по данным изготовителя — 100 А **MFR**, а вилка при половине «ССА» просит сотни; защита либо отключит батарею, либо ограничит ток, и число на вилке расскажет

о пороге защиты, а не о батарее. Состояние литиевого банка читается монитором и по данным BMS — → 11.4.

ПОЧЕМУ ТАК · ПОЧЕМУ ТЕСТ НЕ ОТЛИЧАЕТ РАЗРЯЖЕННУЮ ОТ ИЗНОШЕННОЙ

Под нагрузкой напряжение батареи проседает на её внутреннем сопротивлении: чем оно выше, тем глубже провал при том же токе. У изношенной батареи сопротивление выросло из-за сульфатации и потери активной массы — навсегда. У разряженной оно выросло временно: чем меньше заряда, тем меньше активных участков пластин и тем выше сопротивление. Вилка видит только провал и не знает его причину. Полный заряд возвращает разряженной батарее её сопротивление, а изношенной — нет; отсюда повтор после заряда как единственный способ развести два случая. Граница: температура делает то же самое, что разряд, — холодная батарея сопротивляется сильнее, и порог по таблице ниже; тест при 0 °C по порогу для 21 °C бракует исправную батарею.

Шунт и монитор банка

Шунт (shunt) — калиброванная перемычка в минусе банка, по падению напряжения на которой монитор считает ток; узнать его в лицо и отличить от шины — → 2.2. На корпусе написаны два числа, и они означают одно: при номинальном токе на перемычке падает номинальное напряжение. Распространённый шунт на обоих рынках — 500 A / 50 mV: перемычка из манганина — сплава, сопротивление которого почти не меняется с температурой, — с сопротивлением, которое получается из этих чисел, — $0.050 / 500 = 0.0001 \Omega$, сто микроом; продолжительно изготовитель этого шунта допускает 66 % номинала **MFR**. На каждый ампер на перемычке падает 0.1 mV, то есть 1 mV — это 10 A. Это значит, что мультиметр в милливольтном диапазоне на сигнальных винтах шунта показывает ток напрямую: 12.0 mV — это 120 A, 2.5 mV — 25 A.

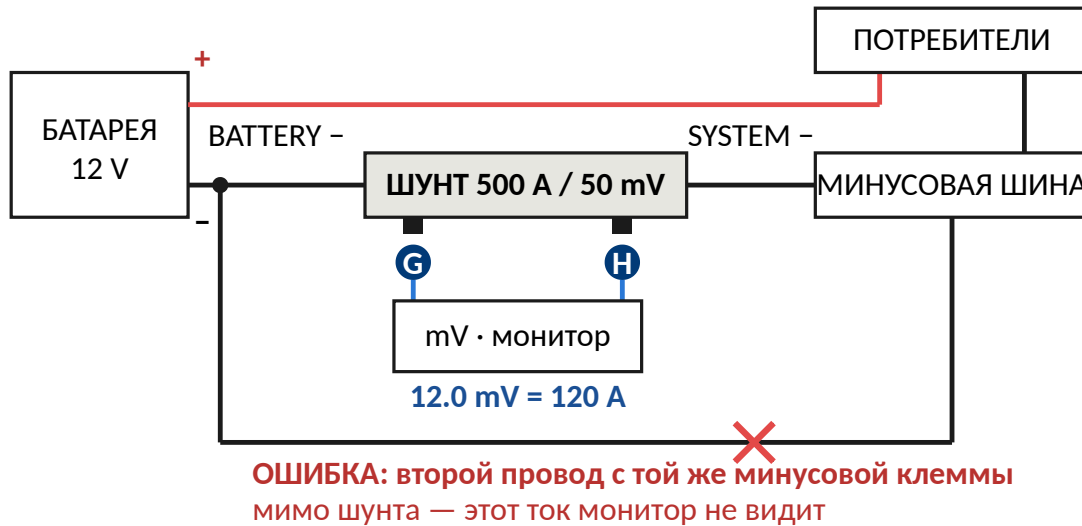


Рис. 3.7. Шунт стоит в разрыве минуса банка: сторона BATTERY – к клемме батареи, сторона SYSTEM – к минусовой шине, и через перемычку идёт весь ток банка. Ток читается по сигнальным винтам G и H — не по силовым болтам: 12.0 mV на шунте 500 A / 50 mV — это 120 A. Внизу — ошибка, из-за которой монитор врёт: второй провод с минусовой клеммы батареи на шину мимо шунта; его ток не проходит через перемычку, и монитор его не считает. На минусовой клемме батареи должен быть только один провод — к шунту.

Щупы ставятся на сигнальные винты G и H, а не на силовые болты. На болтах к падению на перемычке прибавляется падение на двух силовых соединениях, и под большим током оно того же порядка, что сам сигнал; сигнальные винты сидят на теле перемычки за пределами этих соединений. У шунта со встроенной электроникой монитора наружных сигнальных винтов нет — мультиметром в милливольты читается только открытый шунт, а закрытый читается его монитором. Перед тем как считать, прочитайте шунт: маркировок много, и пересчёт милливольт в амперы задаёт именно она.

Пусть на корпусе написано 100 A / 75 mV. Тогда сопротивление $0.075 / 100 = 0.00075 \Omega$, на каждый ампер — 0.75 mV, и те же 12.0 mV на нём — уже 16 A, а не 120. Монитор, в который ввели «500 A / 50 mV» для такого шунта, покажет в семь с половиной раз больший ток и ампер-часы, правдоподобные и неверные. Первое, что проверяется у чужого монитора, — совпадает ли номинал шунта в настройках с надписью на корпусе → 7.6.

Мультиметр на шунте видит десятки ампер, но не ток покоя: его разрешение в милливольтном диапазоне — 0.1 mV, то есть 1 А на шунте 500 А / 50 mV. Монитор читает ту же перемычку с разрешением 0.01 А — это одна миллионная вольта, микровольт **MFR**. Поэтому ток покоя читают по монитору, если он есть, а без монитора — мультиметром в разрыв, и никак не мультиметром на шунте → 7.3.

Монитор банка (battery monitor) не измеряет ничего, кроме тока и напряжения; всё остальное он считает: монитор непрерывно измеряет ток в батарее и из неё, интегрирует его по времени и получает ампер-часы, снятые с батареи или возвращённые в неё; процент заряда — расчёт из этих ампер-часов относительно ёмкости, которую вы ввели в настройках как число с этикетки — двадцатичасовую ёмкость C20, — с поправками на ток разряда и на потери при заряде **MFR**.

Отсюда три вещи, которых монитор не знает. Он не знает, что батарея постарела: введённая ёмкость не уменьшается сама, и «50 %» на старой батарее — половина ёмкости, которой давно нет. Он не знает, где ноль отсчёта, пока не увидит полный заряд: синхронизация (synchronisation) происходит, когда напряжение достигло заданного, ток заряда упал ниже заданной доли ёмкости и это продержалось заданное время; без регулярной синхронизации процент дрейфует из-за малых погрешностей **MFR**. И он не знает о токе, который прошёл мимо шунта.

Правило монтажа, из которого следует правило проверки: на стороне батареи шунта и на самой минусовой клемме батареи не должно быть никаких других подключений — любая нагрузка или зарядное, подключённые туда, исключаются из расчёта уровня заряда **MFR**. Поэтому первый вопрос к монитору, который «врёт», задаётся не в настройках, а у батареи: сколько проводов сидит на минусовой клемме. Один — к шунту — норма. Второй — любой: помпа, зарядное, минус инвертора, «масса» на блок двигателя, — и ток по нему для монитора не существует; такой провод переносится на сторону SYSTEM –, а перенос провода на клемме батареи — работа на стороне, которую нельзя обесточить, то есть

«Мастер» → 1.8. До переноса проверяется номинал шунта: он не ниже наибольшего тока, который через него пойдёт, — стартера, инвертора, лебёдки, — а продолжительно допустима доля номинала по данным изготовителя шунта: у шунта из этого раздела — 66 %, то есть 330 А из 500. Тонкий второй минус опасен и сам по себе: при ослабшем болте шунта весь ток лодки уходит в него, а защиты на нём нет. Настройки монитора — ёмкость, напряжение синхронизации, хвостовой ток (tail current), показатель Пейкерта (Peukert exponent) — и как вернуть уплывший процент к правде, — → 7.6.

ЦИФРЫ · ШУНТ В ЦИФРАХ

Шунт 500 А / 50 mV: сопротивление $0.050 / 500 = 0.0001 \Omega$; 0.1 mV на ампер; при полном токе 500 А на нём падает 0.05 V и выделяется $0.05 \cdot 500 = 25 \text{ W}$ — потребители этого не замечают, шунт греется; продолжительно 66 % — 330 А. Мультиметр с разрешением 0.1 mV различает на нём 1 А; монитор с разрешением 0.01 А читает 1 μV . Чужой шунт другой маркировки считается тем же ходом: ток = милливольты $\times$ (номинальный ток / номинальные милливольты).

3.7. Безопасность измерений

Как измерять так, чтобы не пострадать самому, не сжечь прибор и не сжечь электронику лодки, — и что не измеряют никогда? Опасность здесь приходит не оттуда, куда вы смотрите. Бортовая сеть 12 или 24 V током не бьёт, и щупы в режиме напряжения на клеммах батареи, на панели постоянного тока и на любом потребителе грозят в худшем случае сгоревшим предохранителем прибора — пока металл щупа или зажима не ляжет между плюсом и массой у батареи или стартера → 1.1. Опасны три другие вещи: металл между плюсом батареи и массой — щуп или зажим, кольцо, ключ или сам прибор в режиме тока; переменный ток, к которому вы подошли с щупами, не сняв все его источники; и прибор, который показал ноль, потому что он мёртв, а не потому, что напряжения нет.

Энергия за клеммой: руки, металл, прибор в режиме тока

Одна батарея AGM с пластинами чистого свинца ёмкостью 100 Ah по данным изготовителя отдаёт в короткое замыкание 5 000 А **MFR**; литиевая той же ёмкости — не меньше ($\rightarrow$ 1.1), и её клеммы всегда под напряжением: металл и инструмент на батарею не кладут. Главная защита банка стоит у клеммы, но после неё: участок от клеммы до защиты ничем не ограничен, и ваш щуп, кольцо и упавший ключ находятся именно на нём.

Отсюда первое условие любого измерения у батареи: кольцо и часы сняты до того, как открыт ящик, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, а щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом $\rightarrow$ 1.1. То же требование стоит в правилах охраны труда электриков: проводящие украшения — браслеты часов, кольца, цепочки — не носят там, где они могут коснуться открытых частей под напряжением; часы и украшения снимают перед работой на живой цепи. Где обязана стоять защита и почему участок до неё — уровень «Мастер», — $\rightarrow$ 4.2.

Второе условие — режим прибора. Мультиметр в режиме тока — это доли ома между щупами: он рассчитан стоять в разрыве цепи и пропускать через себя весь её ток. Если красный щуп остался в гнезде A, а вы ставите щупы на клеммы батареи или параллельно живой цепи, вы замыкаете цепь через прибор: это повреждает проверяемую цепь и сжигает предохранитель прибора; стартер и тяжёлые нагрузки при приборе в режиме тока не включают **MFR**. Единственное, что стоит между таким замыканием и дугой у вас в руках, — предохранитель внутри прибора: на 1000 V, быстродействующий, с песчаным наполнением, которое гасит дугу. Стекланный предохранитель из магазина на его место не годится: он не гасит дугу, а становится её продолжением. Привычка, которая закрывает обе ловушки: закончив измерение тока, красный щуп сразу возвращается в гнездо V, а переключатель — в положение напряжения; перед каждым касанием цепи взгляд на гнездо и на переключатель.

Одна рука и три точки

Правило одной руки: щупы держат одной рукой, вторая — в кармане или вне панели и не касается металла: так меньше вероятность замкнуть цепь через грудь и сердце **MFR**. На стороне 12 V правило избыточно, на стороне переменного тока обязательно, а привычка одна, и вырабатывается она на безопасной стороне. К нему же — очки, когда вы работаете у батареи: брызги металла при дуге летят в лицо.

Проверка прибора до касания — «три точки» (three-point test): прибор проверяют на заведомо живом источнике, затем измеряют проверяемую цепь, затем снова проверяют на заведомо живом источнике; так подтверждается, что прибор исправен и до, и после измерения **MFR**. Причина проста и неприятна: мультиметр с оборванным щупом, севшей батареей или сгоревшим предохранителем показывает ноль, и этот ноль на дисплее неотличим от «напряжения нет». На лодке заведомо живой источник один и всегда под рукой — клеммы батареи: напряжение банка на дисплее подтверждает щупы, гнезда и вход прибора. Чего оно не подтверждает — положение переключателя: прибор, сбитый с $V_{\sim}$ на $V_{=}$, на живой сети покажет 0 V, а батарея потом «подтвердит», что он жив. Поэтому третья опора — взгляд на переключатель и гнезда перед самым касанием: $V_{\sim}$, щупы в V и COM. Не подтверждает батарея и сам тракт переменного напряжения внутри прибора: его подтверждает только известное переменное напряжение. На лодке это розетка при подключённом берегу там, где её гнезда пропускают щуп, — щупы той же категории, что прибор, руки сухие, по одному щупу в гнездо, одной рукой; либо проверочный источник (proving unit) — прибор, который выдаёт известное напряжение именно для такой проверки. Розетки с защитными шторками щуп не пропускают, и к их клеммам за проверкой не лезут — это внутренность стороны переменного тока.

Перед проверкой — осмотр: щупы без трещин и открытого металла у ручек, разъёмы сидят плотно, корпус цел; прибор, который ведёт себя странно, не используют **MFR**.

ТРИ ТОЧКИ — ПОРЯДОК ПРИ ИЗМЕРЕНИИ 0 V НА ВХОДЕ ПАНЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1. Если гнёзда розетки лодки пропускают щуп — пока берег подключён: переключатель на V~, щупы по одному в гнёзда, одной рукой. Напряжение сети на дисплее — тракт переменного напряжения прибора цел. Ноль — розетка без питания или тракт прибора неисправен: проверьте на розетке, от которой сейчас что-то работает; снова ноль — этим прибором сторону переменного тока не проверяют. Розетка со шторками — этот шаг пропускается.
2. Прибор в режиме постоянного напряжения, щупы в гнёздах V и COM, одной рукой — на клеммах батареи: кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом. Напряжение банка на дисплее — щупы, гнёзда и вход целы.
3. Снять все источники переменного тока по карте: берег — выключатель берега на панели OFF, автомат на колонке OFF, вилка из колонки, затем из бортового ввода; инвертор — OFF, затем его предохранитель у батареи, если держатель открывается без ключа, — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла; прижатый гайкой на шпильке снимает мастер → 1.8, до этого клеммы и кабель инвертора считаются живыми; генераторная установка заглушена → 1.7.
4. Взгляд на прибор: переключатель на V~, щупы в V и COM. Одной рукой, вторая вне панели: щупы на вход панели переменного тока — после переключателя источников (Рис. 1.4). Показание 0 V, в режиме LoZ — доли вольта, — вход панели мёртв; вольт и больше — источник не снят: искать его по карте → 1.7.

5. Прибор снова на клеммы батареи — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом, — переключатель в постоянное напряжение — напряжение банка. Теперь ноль из шага 4 — не обрыв щупа, не сгоревший предохранитель и не севшая батарейка прибора; тракт переменного напряжения подтверждён, если был пройден шаг 1. Шаг 1 пропущен — ноль подтверждает щупы и вход, но не тракт переменного тока прибора; источники держит снятыми карта → 1.7.

ВЕРНУТЬ ЛОДКУ В РАБОЧЕЕ СОСТОЯНИЕ

В обратном порядке: предохранитель и выключатель инвертора; берег — вилка в лодку, затем в колонку, автомат на колонке ON, выключатель берега на панели ON; генераторная установка — по её руководству. Индикатор обратной полярности не горит, кнопка TEST на защитном отключении срабатывает — взведите его: кнопкой RESET, если она есть, или рукояткой в ON → 1.7. Если в шаге 1 вы проверяли розетку — снова на неё: напряжение сети подтверждает, что тракт переменного напряжения был исправен и во время измерения. Переключатель прибора в OFF.

△ ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК ПРИ ИЗМЕРЕНИИ

К стороне переменного тока щупы подходят только после того, как сняты все её источники по карте → 1.7, прибором не ниже CAT III 600 V, проверенным на заведомо живом источнике до и после измерения по порядку «Три точки»; щупы одной рукой, вторая не касается металла. Клеммы батареи подтверждают щупы и вход прибора, тракт переменного напряжения — только известное переменное напряжение, шаг 1 «Трёх точек»; без шага 1 ноль подтверждает щупы и вход, а источники держит снятыми карта → 1.7. Единственное исключение — проверка прибора в гнездах розетки при подключённом берегу, шаг 1 порядка «Три точки»: щупы в гнездах лицевой стороны, не в корпусе розетки и не за её панелью. Под контролем: 0 V на входе панели переменного тока — панель и всё после неё

мертвы; каждый источник подтверждается отдельно: вилка берегового кабеля вынута из колонки и из бортового ввода — снят берег; предохранитель инвертора у батареи в руке — снят инвертор; генераторная установка заглушена; розетки инвертора, если у него свои, — по карте → 1.7. Не опасно: сторона 12 и 24 V током не бьёт, и щупы в режиме напряжения можно ставить на любые её точки; опасность там другая — металл щупа или зажима между плюсом и массой у батареи и стартера → 3.4 · с. 18.

Чего не измеряют никогда

Таблица 3.6. Чего не измеряют никогда — и что вместо этого

Не делают	Что произойдёт	Что вместо
Сопrotивление и прозвонка на цепи под напряжением	Внешнее напряжение попадает на измерительный вход, и он сгорает; показание в любом случае бессмысленно	Снять источник по карте → 1.7, потом омметр; плохой контакт — падением под током → 3.4 · с. 18
Мегомметр на собранной цепи	Сотни вольт на входах электроники, датчиков, помп и зарядных, для которых предел — десятки вольт	Только кабель, отсоединённый с обоих концов, — уровень «Мастер» → 16.3
Мультиметр в разрыве цепи при прокрутке стартера, под лебёдкой или инвертором	Сотни ампер через прибор с пределом 10 А: предохранитель прибора, при плохом предохранителе — дуга в руках	Шунт и монитор → 3.6 · с. 31; состояние соединений — падение под током → 3.4 · с. 18
Щупы в гнезде А на клеммах батареи или параллельно живой цепи	Короткое замыкание через прибор	Красный щуп в гнездо V сразу после измерения тока; взгляд на гнездо перед каждым касанием

Не делают	Что произойдёт	Что вместо
Внутри стороны переменного тока: клеммы ввода, внутренности панели, коробки соединений — кроме одного измерения: 0 V на входе панели после снятия всех источников	Это граница книги: там нет действия, которое вы можете подтвердить измерением и снять целиком	Только 0 V на входе панели после снятия всех источников; остальное — заказ мастеру → 17.8
Любое измерение в отсеке, где пахнет бензином	Щелчок переключателя прибора — искра; горючая смесь в трюме взрывается	Вентилятор трюма четыре минуты, запаха нет — потом прибор → 1.1

МЕГОММЕТР — ГРАНИЦА САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Мегомметр (insulation tester) даёт на кабель сотни вольт и применяется только на кабеле, отсоединённом с обоих концов, без электроники, датчиков и помп, — на собранной цепи никогда; это граница самостоятельных работ в этой книге. Исключений у этого правила нет — правило 90/10 → 1.9 к нему не применяется. Что и как проверяет мастер этим прибором и какие числа он вам покажет — → 16.3.

ПОЧЕМУ ТАК

Почему мегомметр сжигает электронику, а не проверяет её. Изоляцию проверяют напряжением во много раз выше рабочего, потому что дефект изоляции — влага в жилах, трещина, перетёртая оплётка — при 12 V даёт микроамперы, которые ни один прибор не отличит от нуля, а при сотнях вольт — измеримый ток утечки. Но напряжение прибора не различает, куда ему течь: через дефект изоляции или через вход картплоттера, обмотку датчика, электронику помпы и зарядного, у которых предел — десятки вольт. На собранной цепи мегомметр находит дефект изоляции и одновременно создаёт десяток новых — в каждом приборе, оставшемся подключённым. Кабель, снятый с обоих концов, — единственное состояние, в котором напряжению некуда идти, кроме изоляции; и снять кабель с обоих концов на лодке — уже работа на клеммах, которые нельзя обесточить. Поэтому граница проходит не по прибору, а по состоянию цепи, и исключений у правила нет.

Дуга на батарее не случится, пока кольцо снято и щуп стоит в гнезде V. Прибор не покажет ложный ноль, пока вы проверяете его на заведомо живом источнике до и после и смотрите на переключатель перед касанием: клеммы батареи подтверждают щупы и вход, тракт переменного напряжения — только известное переменное напряжение, розетка лодки в шаге 1 «Трёх точек»; без шага 1 ноль подтверждает щупы и вход, а источники держит снятыми карта → 1.7. Переменный ток не достанет вас, пока вы подходите к нему одной рукой после снятия всех источников — и только к входу панели, а к живой сети — только щупами в гнезда розетки, чтобы проверить прибор. Электроника лодки переживёт любую проверку, пока мегомметр остаётся прибором мастера на отсоединённом кабеле.

3.8. На борту

НА БОРТУ: ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО

Прибор показывает то, что есть между щупами в момент касания, и только это. Вопрос — какая величина ответит на ваш вопрос, на каком участке и при каком токе — ставится до того, как щупы коснулись цепи: напряжение без тока не показывает потерь, омметр не даёт рабочего тока, а клещи на двух проводах показывают ноль по устройству.

Что это значит

Любой маршрут поиска в этой книге начинается с одного вопроса, и он задаётся раньше, чем в руки взят прибор. Вопрос — не «что сломалось», а «что изменилось перед тем, как появилась проблема». Ответ на него не называет причину; он указывает, куда поставить щупы первыми.

ЧТО ИЗМЕНИЛОСЬ ПЕРЕД ПРОБЛЕМОЙ?

После установки прибора · после зарядки · после дождя · после стоянки · после переключения источника · без заметных изменений. Ответ направляет к первой проверке — к тому месту, которое трогали, мочили, заряжали или переключали, — и не объявляется причиной: причину подтверждает измерение. «Без заметных изменений» — тоже ответ: тогда первым проверяется то, что стареет само, — соединения под током и батарея.

Таблица 3.7. Что это значит: симптом → что происходит → первая проверка → кто

Вы видите	Что происходит	Первая проверка	Кто
<i>На батарее 12.6 V, а стартер щёлкает или крутит вяло</i>	Напряжение без тока не показывает потерь: под прокруткой оно падает на соединениях, до стартера доходит меньше	Под прокруткой сначала A–F: проваливается ниже порога — батарея → 3.6 · с. 31; держится — затем D–E, разность больше 0.5 V — потери в трассе → 3.4 · с. 18	Сам при условии
<i>Огни тусклые или помпа качает слабо, на панели напряжение «нормальное»</i>	Падение на трассе под рабочим током; панель показывает напряжение до трассы, потребитель получает после	Два измерения под одной нагрузкой: клеммы батареи и клеммы потребителя; разность больше 3 % — 0.36 V при 12 V → 3.5 · с. 26	Сам при условии
<i>Прозвонил провод — целый, а прибор не работает или соединение греется</i>	Прозвонка подтверждает только «не оборван совсем»: одна жила пищит как целый кабель; сотые доли ома омметр не видит	Милливольты на этом участке под рабочим током, щупы на его концах → 3.4 · с. 18	Сам
<i>На проводе без потребителя есть напряжение, хотя всё выключено</i>	Призрачное напряжение: на переменном токе — наводка от соседней живой жилы; на 12 / 24 V — утечка через подсветку выключателя или индикатор предохранителя	На 12 / 24 V — то же измерение в LoZ или с лампой на напряжение системы (12 или 24 V) параллельно щупам: исчезло — призрак; осталось — источник по карте → 1.7. На переменном токе без LoZ любое показание, кроме 0 V, — источник не снят; в LoZ доли вольта — призрак, вольт и больше — источник не снят; лампу к переменному току не подключают	Сам при условии

Вы видите	Что происходит	Первая проверка	Кто
<i>Клещи показывают ноль на кабеле, по которому точно идёт ток</i>	Клещи с трансформатором тока не видят постоянный ток; либо в губках оба провода; либо не обнулены	Надпись «DC A» на приборе, один проводник в губках, кнопка ZERO перед измерением → 3.3 · с. 13	Сам
<i>Клещи показывают ток, а всё выключено</i>	Смещение нуля датчика Холла; ток покоя в миллиамперах клещами не измеряется	Снять клещи с провода: не ноль — нажать ZERO и повторить; ток покоя — мультиметром в разрыв → 7.3	Сам
<i>Монитор показывает 100 %, а батарея садится за час</i>	Процент — расчёт, а не измерение: введена ёмкость новой батареи, нет синхронизации или есть провод мимо шунта	Минусовая клемма батареи: один провод, к шунту; номинал шунта в настройках совпадает с корпусом → 3.6 · с. 31; настройки → 7.6	Сам
<i>Монитор показывает 50 %, а вольтметр 12.9 V</i>	Напряжение под зарядом — напряжение источника, не уровень заряда; либо это литий, у которого уровень по напряжению не читается	Подключён ли источник заряда: у батареи с пробками 12.9 V выше её 100 % (12.73 V); у AGM 100 % — это всё, что выше 12.78 V, и 12.9 V бывает у полной батареи или вскоре после заряда. Значит, идёт заряд, заряд снят недавно, это литий — или AGM полна, а монитор сбился и ждёт синхронизации → 7.6; снять заряд и нагрузку — батарее с пробками не меньше чем на 6 часов, AGM на 4 — и читать напряжение покоя по таблице изготовителя батареи → 3.5 · с. 26	Сам при условии

Вы видите	Что происходит	Первая проверка	Кто
<i>Батарея прошла нагрузочный тест, а утром не заводит</i>	Тест подтверждает способность отдать ток стартера сейчас; ёмкость и ночной расход он не измеряет	Ток покоя мультиметром в разрыв → 7.3; ёмкость — разрядом по времени → 6.6	Сам при условии
<i>Батарея не прошла нагрузочный тест</i>	Разряженная и изношенная проваливаются одинаково; тест их не различает	Полный заряд, покой, повтор теста; второй провал — замена → 3.6 · с. 31	Сам при условии
<i>Мультиметр показывает 0 V везде, даже на батарее</i>	Прибор мёртв: щуп оборван, батарейка села, щуп в гнезде А, сгорел предохранитель	Осмотр щупов и гнезд; в режиме Ω замкнуть щупы друг на друга — доли ома; иначе прибору нужен ремонт или предохранитель того же типа → 3.7 · с. 39	Сам
<i>Наконечник или клемма тёплые после пуска, изоляция потемнела</i>	Плохой контакт под током: десятые доли вольта и десятки ватт в одной точке	Милливольты на этом соединении под током; десятки милливольт и больше — разбирать: на стороне батареи «Мастер», после выключателя «Сам при условии» → 3.4 · с. 18	Сам при условии → Мастер

ПОЧЕМУ ТАК · ПОЧЕМУ ОТВЕТ НАПРАВЛЯЕТ, НО НЕ РЕШАЕТ

На лодке несколько источников энергии и десятки соединений, и симптом почти всегда допускает не одну причину: «садится за ночь» — это и ток покоя, и недозаряд, и монитор, который считает не то. Вопрос «что изменилось» отсекает большую часть карты сразу: прибор, установленный на прошлой неделе, дождь позавчера или переключение банка вчера дают первую точку для щупов с высокой вероятностью — но только вероятностью. Совпадение по времени не доказательство: помпа, замолчавшая после дождя, могла окислять разъём три сезона и умереть в дождь по случайности. Поэтому ответ ведёт к проверке, а не к выводу, и первая проверка в Табл. 3.7 · с. 48 — измерение, а не замена детали. Граница правила: если «что изменилось» указывает на работу, которую делал мастер, проверка та же — измерение, — а не разговор; число убедит обоих.

Сам или мастер**САМ ИЛИ МАСТЕР · ИЗМЕРЕНИЯ**

СТОП · Красный щуп в гнезде А, а прибор уже на клеммах батареи или на живой цепи; щупы на стороне переменного тока, источники которой вы не сняли, — кроме проверки прибора на лицевой стороне розетки по 3.7 · с. 39; запах бензина в отсеке, где вы собрались измерять; дым или запах горелого от прибора или от соединения под током.

Что сделать в эту минуту: Убрать щупы от цепи, не касаясь металла второй рукой; красный щуп в гнездо V, переключатель в положение напряжения. При запахе бензина — вентилятор трюма, прибор убрать, ничего не включать и не выключать → 1.1. Дым — снять ток по порядку пожара → 1.7, дальше аварийная страница «Дым». Признак контроля: щупы в руке, прибор в режиме напряжения, на клеммах батареи — напряжение банка.

МАСТЕР · Мегомметр — только на кабеле, отсоединённом с обоих концов. Любое измерение внутри стороны переменного тока. Разборка соединения на клемме батареи, на кабеле до выключателя или на выключателе со стороны батареи — их нельзя обесточить. Перенос провода с минусовой клеммы батареи на сторону шунта.

Прокрутка, если запуск нельзя заблокировать по руководству мотора.

Если мастера нет: Падение на стороне батареи не разбирать под напряжением; на пуск — второй банк, если есть; число и участок — в паспорт; в автономке — временное восстановление с записью «что сделать по возвращении» → 19.5.

Когда мастер вправе отступить: Минус двигателя мимо шунта, если номинал шунта ниже тока стартера, — монитор тогда не считает пуск. Отступление названо, показано на лодке и записано в паспорт с причиной.

САМ ПРИ УСЛОВИИ ·

- Напряжение на клеммах батареи — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом.
- Падение напряжения под током на цепи после выключателя — нагрузка включается штатным выключателем или тумблером, не перемычкой.
- Карта падения под прокруткой — запуск заблокирован по руководству мотора, зажимы поставлены до команды, руки вне моторного отсека, очки, прокрутка 4–5 секунд с паузами, красный щуп в гнезде V.
- Прибор в разрыве цепи — не на клемме батареи; ток заведомо меньше 10 А, питание снято на время подключения, стартер и тяжёлые нагрузки не включаются.
- Разборка наконечника массы на блоке двигателя — выключатель батареи в OFF, и между блоком и каждой плюсовой клеммой рядом — шпилькой стартера D, выходной клеммой генератора двигателя — 0 V.
- Нагрузочный тест — батарея свинцовая, с ССА на этикетке, заряжена и отдохнула, испытывается по одной; нагрузка вилки выключена при постановке и снятии зажимов; очки; вилка не лежит на батарее.
- 0 V на входе панели переменного тока — все источники сняты по карте; прибор не ниже CAT III 600 V проверен на заведомо живом источнике до и после по порядку «Три точки»; переключатель на V~; одна рука → 3.7 · с. 39.

- Проверка призрачного напряжения лампой на напряжение системы параллельно щупам — только на стороне 12 / 24 V.

CAM · Осмотр прибора и щупов; чтение таблицы изготовителя; клещи с датчиком Холла на одном проводнике потребителя; чтение тока и процента с монитора; проверка, что на минусовой клемме батареи один провод; запись каждого измерения с датой в паспорт лодки.

ЧТО СКАЗАТЬ МАСТЕРУ

Заказать словами — на примере из 3.4: «падение 0.38 V на выключателе батареи под прокруткой, точки В-С; почистить или заменить, показать милливольты на том же участке после работы».

Принять по двум признакам: на В-С под прокруткой — сотые доли вольта; корпус выключателя и наконечники после серии пусков холодные.

На чужой лодке уровней три: кнопки и выключатели — да; инструмент, включая щупы в разрыв цепи и зажимы нагрузочной вилки, — нет; вольтметр на клеммах и на розетке — серая зона, с разрешения базы по телефону. Полный разбор — → 2.6.

ЧТО ЗАПОМНИТЬ

- Тепло в соединении растёт с квадратом тока: 0.01 Ω под 200 A — это 2 V и 400 W, паяльник в одной точке; под 10 A — ничего. Дефект живёт всегда, а виден только под рабочим током.
- Три режима мультиметра решают всё: постоянное напряжение, милливольты под током, переменное напряжение на входе панели после снятия источников. Омметр и прозвонка — только на обесточенной цепи, и сотые доли ома они не видят.

- Призрачное напряжение — наводка в жгуте переменного тока или утечка на провод без потребителя на стороне 12 / 24 V — исчезает в режиме LoZ; лампа на напряжение системы параллельно щупам — только на стороне 12 / 24 V; на стороне переменного тока без LoZ любое показание, кроме 0 V, — источник не снят, в LoZ — вольт и больше. Напряжение поперёк обрыва при подключённом потребителе — настоящее.
- Категория CAT — это энергия импульса, которую прибор обязан пережить; для лодки — не ниже CAT III 600 V на приборе и на щупах.
- Клещи двух устройств: с трансформатором тока — только переменный ток; с датчиком Холла — «DC A», с обнулением. Один проводник в губках; оба — ноль. Ток покоя клещами не измеряется — только мультиметром в разрыв.
- Главное измерение книги: плохой контакт ищется падением напряжения под реальным рабочим током — два измерения под одной нагрузкой либо щупы на концах участка; напряжение на одном потребителе само по себе падение не показывает. Карта A–F: буквы одни на всю главу.
- Пороги: покой батареи — таблица своего изготовителя после покоя: с пробками не меньше 6 часов, AGM — 4; трасса — 3 % (0.36 V при 12 V) для критичных цепей и 10 % для остальных; стартер — всего не больше 0.5 V; соединение под током — доли или единицы милливольт, десятки — греется; выключатель батареи под стартером — сотые доли вольта; литий по напряжению не читается.
- Нагрузочный тест — $\frac{1}{2}$ CCA, 15 секунд, не ниже 9.6 V при 21 °C, только на заряженной свинцовой батарее; ёмкость он не измеряет. Монитор считает, а не измеряет: ёмкость введена руками, процент дрейфует без синхронизации, мимо шунта — ничего.

- **Безопасность:** кольцо и часы сняты; одна рука; прибор проверен на заведомо живом источнике до и после, взгляд на переключатель перед касанием; красный щуп в гнезде V, когда не измеряете ток. Никогда: омметр под напряжением, мегомметр на собранной цепи, прибор в разрыве под стартером, щупы внутри стороны переменного тока.

Самопроверка

1. **Вопрос-прогноз.** На Рис. 3.4 · с. 20 окислился контакт выключателя батареи. До измерения решите: какое из показаний под прокруткой вырастет — В-С или D-E, — какое упадёт и какое почти не изменится?

Ответ: вырастет В-С — падение на самом дефекте, в примере с 0.02 до 0.38 V. Упадёт D-E — то, что дошло до стартера: с 10.16 до 9.80 V, потому что потерянное на выключателе до стартера не доходит. Почти не изменится A-F — напряжение батареи под током: батарея та же, ток почти тот же. Так вы отличаете дефект трассы от слабой батареи: при слабой батарее просело бы именно A-F.

2. **На вашей лодке.** Снимите с бортового банка заряд и нагрузку не меньше чем на шесть часов (батареи AGM достаточно четырёх), измерьте напряжение покоя на клеммах — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом, — и найдите таблицу «напряжение — уровень заряда» изготовителя своей батареи. Запишите три числа: напряжение, уровень заряда по таблице, температуру.

Ответ проверяется так: для свинцовой батареи число попадает в строку таблицы — например, 12.5 V у батареи с пробками около 80 %, у AGM — между 75 и 80 %; для литиевой таблицы нет, и уровень заряда читается только с монитора — это тоже правильный результат задания. Если у свинцовой батареи на клеммах 13.2 V и выше — заряд не был снят: солнечный контроллер, зарядное или второй банк через реле остались подключены; найдите их по карте → 1.7. У литиевой напряжение в покое уровня заряда не показывает, и 13.2 V само по себе о подключённом заряде не говорит — снятие заряда проверяется по той же карте.

- 3. На вашей лодке.** Включите навигационные огни или помпу штатным выключателем и сделайте два измерения под этой нагрузкой: напряжение на клеммах батареи — кольцо и часы сняты, отсек проветрен, над батареей нет свободного металла, щупы не касаются двух клемм одним металлическим предметом, — и напряжение на клеммах потребителя.

Запишите разность.

Ответ проверяется так: для навигационных огней и электроники разность не больше 3 % от напряжения системы — 0.36 V при 12 V; для освещения каюты — не больше 10 %, 1.2 V. Больше — потери в трассе: делите её щупами на концах участков по карте → $3.4 \cdot c. 18$, начиная с держателя предохранителя и разъёмов.

- 4. На вашей лодке.** Найдите шунт монитора банка и посчитайте провода на минусовой клемме батареи, к которой он подключён. Прочитайте маркировку шунта и сравните с номиналом в настройках монитора.

Ответ проверяется так: на минусовой клемме один провод — к стороне BATTERY — шунта; маркировка на корпусе и номинал в настройках совпадают. Второй провод на клемме — ток мимо шунта, монитор его не считает; перенос провода — «Мастер». Несовпадение номинала — правдоподобные и неверные ампер-часы → 7.6.

- 5. Ваши клещи показывают 0.0 A на кабеле стартера во время прокрутки. Прибор неисправен?**

Ответ: нет, если на нём нет надписи «DC A» — это клещи с трансформатором тока, и постоянный ток они не видят по устройству. Если надпись есть — проверьте, что в губках один проводник, а не плюс и минус вместе, и что перед измерением нажата кнопка ZERO.

- 6. Омметр на обесточенном выключателе батареи показывает 0.3 Ω. Выключатель плохой?**

Ответ: показание ничего не доказывает — сами щупы и их контакт дают от 0.2 до 0.5 Ω, больше, чем может иметь исправный выключатель. Прикиньте, что значили бы 0.3 Ω в самом выключателе: ток через него не превысил бы $12 \text{ V} / 0.3 \Omega = 40 \text{ A}$ даже без остального сопротивления цепи, а стартеру нужны сотни ампер — двигатель бы не провернулся. Если двигатель при этом проворачивается, омметр показал щупы, а не выключатель.

Состояние выключателя проверяется только падением под прокруткой

между В и С: сотые доли вольта и меньше — исправен; десятые — разбирать.

7. На шунте с маркировкой 500 A / 50 mV мультиметр на сигнальных винтах G и H показывает 12.0 mV. Какой ток идёт через шунт? А если бы на корпусе стояло 100 A / 75 mV?

Ответ: 50 mV соответствуют 500 A, значит, 0.1 mV на ампер, и 12.0 mV — это 120 A. Для шунта 100 A / 75 mV на каждый ампер — 0.75 mV, и те же 12.0 mV — 16 A. Поэтому сначала читают маркировку, потом дисплей.

8. Свинцовая батарея при температуре 4 °C показала 9.3 V на пятнадцатой секунде теста при половине ССА. Она прошла?

Ответ: по таблице для 4 °C порог 9.3 V — на границе, батарея прошла; при 21 °C то же число означало бы провал. Но тест действителен только если до него батарея была заряжена — не ниже 12.4 V в покое; иначе сначала заряд, покой и повтор.

9. Прибор показал 0 V на входе панели переменного тока. Что ещё нужно сделать, прежде чем считать, что напряжения нет?

Ответ: проверить прибор на клеммах батареи в режиме постоянного напряжения после измерения — ноль на дисплее мёртвого прибора неотличим от нуля в цепи; вспомнить, что перед касанием переключатель стоял на V~, а щупы в V и COM — сбитый переключатель даёт 0 V на живой сети, и батарея этого не выявит; не подтверждает батарея и тракт переменного тока прибора — его подтверждает только розетка лодки в шаге 1 «Трёх точек». И помнить, что 0 V на входе панели доказывает одно: вход панели мёртв. Каждый источник подтверждается отдельно по карте → 1.7: вилка берегового кабеля вынута из колонки и из бортового ввода — снят берег; предохранитель инвертора у батареи в руке — снят инвертор; генераторная установка заглушена.

Термины главы

DMM

digital multimeter, мультиметр — прибор для напряжения, сопротивления и малого тока; главный прибор книги

voltage drop

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

voltage drop test

измерение падения под током: щупы на концах участка при работающей нагрузке либо два измерения под одной нагрузкой

input impedance

входное сопротивление прибора — 10 МΩ у высокоомного входа; определяет, покажет ли прибор призрачное напряжение

LoZ

low impedance, вход с низким сопротивлением около 3 кΩ — снимает призрачное напряжение, оставляет настоящее

ghost voltage

призрачное напряжение — наводка через ёмкость жгута переменного тока или утечка на провод без потребителя на стороне 12 / 24 V, видимая только высокоомному входу

CAT

measurement category, категория измерения — класс защиты прибора от импульса перенапряжения по месту в установке; для лодки не ниже CAT III 600 V

True RMS

измерение истинного действующего значения переменного напряжения;

имеет значение только там, где форма не синусоида, — на выходе инвертора; ни одно измерение книги от него не зависит

continuity

прозвонка — звуковой сигнал при сопротивлении ниже порога; подтверждает только отсутствие полного обрыва

REL / ZERO

относительное измерение — прибор вычитает текущее показание: сопротивление щупов в омметре, смещение датчика в клещах

clamp meter

токовые клещи — измерение тока по магнитному полю проводника в губках, без разрыва цепи

current transformer

трансформатор тока — устройство клещей, которое видит только переменный ток

Hall effect

эффект Холла — датчик в зазоре губок, напряжение на котором пропорционально полю; клещи «DC A»

parasitic draw

ток покоя — то, что банк отдаёт при выключенной панели;

измеряется мультиметром в разрыв, не клещами

SOC

state of charge, уровень заряда — доля оставшегося заряда в процентах; у свинца читается по напряжению покоя, у лития — только по монитору

open-circuit voltage

напряжение покоя — напряжение батареи без заряда и нагрузки после отдыха: с пробками не меньше 6 часов, AGM — 4

CCA

cold cranking amps, ток холодной прокрутки — число с этикетки стартерной батареи; половина его — нагрузка теста

reserve capacity

резервная ёмкость — минуты разряда током 25 А до 10.5 V по данным изготовителя; с ней сравнивают разряд по времени

flooded

батарея с пробками — свинцовая батарея с жидким электролитом; вторая распространённая свинцовая химия — AGM

circular mil, CM

круговой мил — единица площади сечения в формуле

стандарта; 10 AWG — 10 380 CM (5.3 mm²)

MIN/MAX • AutoHOLD

запись наименьшего и наибольшего значения и фиксация первого устойчивого показания под током — режимы для чтения после прокрутки; обычная кнопка HOLD для этого не годится: она замораживает число до прокрутки

load tester

нагрузочная вилка — резистор с вольтметром, нагружающий батарею на 15 секунд

shunt

шунт — калиброванная перемычка в минусе, по падению на которой монитор считает ток; читается по сигнальным винтам

battery monitor

монитор банка — прибор, интегрирующий ток по шунту во времени; ёмкость в него вводится руками

synchronisation

синхронизация монитора — момент, когда монитор принимает батарею за полную и обнуляет счёт; без неё процент дрейфует

tail current

хвостовой ток — доля ёмкости, ниже которой ток заряда считается признаком полной батареи; условие синхронизации

Peukert exponent

показатель Пейкерта — поправка монитора на то, что при большом токе разряда доступная ёмкость меньше

insulation tester

мегомметр — прибор, дающий на кабель сотни вольт; только на кабеле, отсоединённом с обоих концов, — уровень «Мастер»

three-point test

проверка «три точки» — прибор на заведомо живом источнике до и после измерения

Источники главы

1. Fluke, IEC category ratings: use the right tools for the job — определения CAT I-IV (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/safety/iec-category-ratings-use-the-right-tools-for-the-job>
2. Fluke, Guide to Digital Multimeter Safety — категории с током короткого замыкания, правило выбора категории, осмотр прибора, проверка на известном источнике (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/safety/multimeter-guide>
3. Megger, The Measurement Category (CAT) rating: Why it matters, 2025-03-15 — определения категорий по IEC 61010-2: <https://www.megger.com/en-us/safety/measurement-category>
4. Fluke, ABCs of Multimeter Safety, 05/2016 (копия на сервере дистрибьютора) — таблица испытательных импульсов и сопротивлений источника по категориям: <https://uk.rs-online.com/euro/img/global/pdf/cat-safety.pdf>
5. Fluke, Dual Impedance Digital Multimeters — вход выше 1 МΩ и LoZ около 3 кΩ, природа призрачного напряжения, 80–85 % (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/digital-multimeters/dual-impedance-digital-multimeters>
6. Klein Tools MM720, Instruction Manual, Rev 08/22 — CAT IV 600 V / CAT III 1000 V, вход 10 МΩ, LoZ выше 3 кΩ, диапазон 600.0 mV с разрешением 0.1 mV, диапазон 600.0 Ω с шагом 0.1 Ω и погрешностью $\pm(1.2 \% + 5)$, прозвонка ниже 50 Ω, предохранители 800 mA / 1000 V и 10 A / 1000 V, запрет измерения сопротивления под напряжением: https://data.kleintools.com/sites/all/product_assets/documents/instructions/klein/MM720_Manual_Web.pdf
7. Fluke 80 Series V Users Manual, Rev 2, 11/08 — вход 10 МΩ, разрешение 0.1 mV, предохранители 44/100 A и 11 A на 1000 V, прибор последовательно в цепь при снятом питании, предупреждение о щупах в токовом гнезде: <https://www.transcat.com/media/pdf/80vUserManual.pdf>

8. Fluke, What are Hall Effect (ac, dc) clamp meters? — зазор, датчик, постоянное поле, обнуление (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/clamps/inside-hall-effect-clamp-meters>
9. Fluke, Inside Current Transformer (ac) Clamp Meters — клещи с трансформатором тока реагируют только на переменный ток (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/clamps/inside-current-transformer-ac-clamp-meters>
10. Fluke, How to measure DC current with a clamp meter — встречные токи вычитаются, один проводник в губках (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/clamps/how-to-measure-dc-current-with-a-clamp-meter>
11. Klein Tools CL810, Instruction Manual — диапазоны 60.00 A / 600.0 A, разрешение 10 mA, $\pm(2.0 \% + 8 \text{ digits})$, CAT IV 600 V, обнуление REL/ZERO, один проводник в губках (дата обращения 2026-09-22): https://data.kleintools.com/sites/all/product_assets/documents/instructions/klein/CL810%20Manual_web.pdf
12. Fluke, How to find parasitic battery drain with a multimeter — гнездо 10 A, не крутить стартер в режиме тока (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/digital-multimeters/how-to-find-parasitic-battery-drain-with-a-multimeter>
13. Fluke, How to check starter circuit voltage drop with a multimeter — методика, прокрутка 4–5 секунд, пороги 0.2–0.5 V всего, около 0.3 V плюс, не больше 0.2 V минус (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/digital-multimeters/how-to-check-starter-circuit-voltage-drop-with-a-multimeter>
14. Fluke, Diagnosing voltage drop: Electrical automotive troubleshooting, application note 2418158 A-US-N Rev A, 1/2005 — батарейка омметра не даёт рабочего тока; пороги 0.00 V соединение, 0.20 V провод, 0.30 V выключатель, 0.10 V масса, 0.10 V в слаботочных цепях: <https://ttspec.com/wp-content/uploads/2018/06/fluke-voltag-drop-info.pdf> ; та же методика на странице Fluke: <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/automotive/electrical-automotive-troubleshooting>
15. Volkswagen Group of America, Technical Tip TT 97-20-01 Voltage Drop Testing Procedures, 2020-04-30 — сопротивление не измеримо омметром без нагрузки: <https://static.nhtsa.gov/odi/tsbs/2020/MC-10174571-0001.pdf>
16. Fluke, How to measure resistance — сопротивление щупов 0.2–0.5 Ω , режим REL, разряд конденсаторов (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/digital-multimeters/how-to-measure-resistance>
17. Выдержки из АВУС Е-11 (июль 2008), Paneltronics — Е-11.14.2.6 падение 3 % и 10 %, Е-11.14.2.7.1 формула $CM = K \times I \times L / E$ с $K = 10.75$, Table XI круговые милы по AWG; действующая редакция — Е-11-2025: <https://www.paneltronics.com/images/technical/E11Excerpts.pdf>
18. АВУС Е-9 Direct Current (DC) Electrical Systems on Boats, 1990 — соединители на трении (friction-type): падение не больше 50 mV при 20 A:

<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/001/abyc.E-09.1990.pdf>

19. Professional BoatBuilder, E. Sherman, Terminal Connector Compliance, 2016-09-01 — дословная цитата ABYC E-11: соединитель на трении (friction-type) — падение не больше 50 mV при 20 A, 6 lb (27 N) в течение одной минуты (дата обращения 2026-09-26): <https://www.proboat.com/2016/09/terminal-connector-compliance/>
20. Odyssey ODX-AGM31R (31R-PC2150S), Technical Data Sheet, 2022-04-19 — AGM с пластинами чистого свинца (TPPL), 100 Ah, ток короткого замыкания 5 000 A, внутреннее сопротивление 2.2 mΩ при 20 °C: <https://cdn.tayna.com/datasheets/Odyssey%2031R-PC2150S%20Battery%20Datasheet.pdf>
21. Victron Energy, Lithium Battery Smart, manual rev 21, 01/2026 — клеммы всегда под напряжением, металл и инструмент на батарею не класть: https://www.victronenergy.com/upload/documents/Lithium_Battery_Smart/15958-Manual_Lithium_Smart_Battery-pdf-en.pdf
22. Trojan Battery, Battery Maintenance — таблица напряжения покоя и уровня заряда 12 V, покой не меньше 6 часов, лучше 24; напряжения заряда 14.4 / 13.5 V (дата обращения 2026-09-22): <https://www.trojanbattery.com/tech-support/battery-maintenance/>
23. Lifeline Batteries, Technical Manual, Document 6-0101, Rev. F, 2019-05-06 — таблица напряжения покоя и уровня заряда, покой не меньше 4 часов при 25 °C; заряд 14.3 ± 0.1 / 13.3 ± 0.1 V; тест ёмкости разрядом 25 A до 10.5 V, минуты сравниваются с резервной ёмкостью (25 A rating): <https://lifelinebatteries.com/wp-content/uploads/2015/12/6-0101F-Lifeline-Technical-Manual-Final-5-06-19.pdf>
24. Battle Born Batteries, Understanding State of Charge (SOC) and Voltage in LiFePO4 Batteries, 2026-05-07 — плоская кривая, 80 % и 30 % при почти одном напряжении, монитор как единственный точный способ: <https://battlebornbatteries.com/blogs/academy/understanding-state-of-charge-soc-and-voltage-in-lifepo4-batteries>
25. Battle Born Batteries, BB10012 / BB10012H Manual, Rev. 037, 2026-07-29 — заряд 14.2–14.6 V, отключение по низкому напряжению 10 V, продолжительный ток 100 A: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0981/3924/2777/files/BB10012_BB1002H_Manual.pdf
26. East Penn Manufacturing, Battery Care & Maintenance, Form 0004, 02/26 — заряжать при напряжении ниже 12.4 V, нагрузка ½ CCA на 15 секунд, таблица наименьшего напряжения по температуре: <https://www.eastpennmanufacturing.com/wp-content/uploads/Battery-Care-Maintenance-0004.pdf>
27. Discover Battery, Load Testing Your Battery — ½ CCA, 15 секунд, выше 9.6 V; при провале зарядить и повторить, второй провал — замена (дата обращения 2026-09-22): <https://discoverbattery.com/support/learning-center/battery-101/load-testing-your-battery>

28. Blue Sea Systems, DC Digital Current Shunt 500 A, p/n 8255 — 500 A / 50 mV, манганин, продолжительно 66 % номинала:
https://www.blueseas.com/products/8255/DC_Digital_Current_Shunt_-_500A
29. Victron Energy, SmartShunt — datasheet (разрешение тока 0.01 A) и руководство: Operation (интеграл тока, синхронизация, дрейф), Installation (никаких других подключений на стороне батареи шунта), Configuration (ёмкость C20 для свинца), All features and settings (показатель Пейкерта, хвостовой ток, напряжение синхронизации):
<https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-SmartShunt-EN.pdf> ;
<https://www.victronenergy.com/media/pg/SmartShunt/en/operation.html> ;
<https://www.victronenergy.com/media/pg/SmartShunt/en/installation.html> ;
<https://www.victronenergy.com/media/pg/SmartShunt/en/configuration.html> ;
<https://www.victronenergy.com/media/pg/SmartShunt/en/all-features-and-settings.html>
30. Fluke, Top 10 Mistakes Electricians Make — одна рука в кармане, снимать часы и украшения, очки, песчаный предохранитель прибора, категория щупов (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/safety/10-dumb-things-smart-people-do>
31. Fluke, Best Safety Practices for Taking Live Measurements — метод трёх точек, одна рука, минимум CAT III 600 V, щупы с открытым металлом около 4 mm (дата обращения 2026-09-22): <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/electrical/safety-considerations-for-live-measurements-keep-your-eyes-on-the-job-at-hand>