

*Посвящается Лесли,  
чья любовь и советы —  
дар для меня*

*Tracy Martin*

# How To Diagnose and Repair **Automotive Electrical Systems**

*Трейси Мартин*

# Диагностика и ремонт автомобильного электрооборудования



Москва  
2017

УДК 629.331  
ББК 39.33-04  
М29

HOW TO DIAGNOSE AND REPAIR  
AUTOMOTIVE ELECTRICAL SYSTEMS  
(Motorbooks Workshop)

Tracy Martin

© Tracy Martin, 2005

First published in 2005 by Motorbooks, an imprint of MBI Publishing Company,  
Garlier Plaza, Suite 200, 380 Jackson Street, St. Paul, MN 55101-3885 USA  
All rights are reserved by Justin Lewis throughout the world if not otherwise stated.

**Мартин, Трейси.**

М29 Диагностика и ремонт автомобильного электрооборудования : [перевод с английского] / Трейси Мартин. — Москва : Издательство «Э», 2017. — 160 с. : ил. — (Подарочные издания. Автомобили).

ISBN 978-5-699-81597-5

Эта книга станет надежным помощником и незаменимым советчиком для каждого автолюбителя. Автор работал в международных компаниях в качестве практикующего механика, преподавателя, консультанта-диагноста. На страницах книги Мартин делится опытом, облачая его в простые и понятные каждому формы.

Материал организован по темам, что помогает находить нужную информацию. Теоретическая часть снабжена схемами, таблицами и фотографиями, благодаря чему информация становится наглядной и несложной в понимании. Вы получите необходимые теоретические знания и практические навыки в области ремонта автомобильного электрооборудования.

УДК 629.331  
ББК 39.33-04

ISBN 978-5-699-81597-5

© Перевод. Соков В.Ю., 2017  
© Оформление. ООО «Издательство «Э», 2017

# СОДЕРЖАНИЕ

	<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	<b>8</b>
<b>РАЗДЕЛ I.</b>	<b>ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ</b> .....	<b>10</b>
ГЛАВА 1.	<b>Закон Ома</b> .....	<b>10</b>
	«Три вещи» о 12-вольтовых цепях постоянного тока, о которых нужно знать .....	11
	И еще «три вещи» .....	15
	Взаимосвязь сопротивления и силы тока .....	18
	Цепи постоянного и переменного тока .....	19
	Математика? О, нет! .....	20
	Правила работы с тремя типами цепей .....	20
ГЛАВА 2.	<b>Проверка падения напряжения</b> .....	<b>26</b>
	Как проводится проверка .....	26
	Не используйте омметр .....	27
	Как вольтметр измеряет напряжение .....	28
	Динамическая проверка цепей .....	30
	Падение напряжения .....	32
	Много — это сколько? .....	34
	Обнаружение проблемных мест .....	35
	Тестируем, не задумываясь .....	36
<b>РАЗДЕЛ II.</b>	<b>ИНСТРУМЕНТЫ</b> .....	<b>37</b>
ГЛАВА 3.	<b>Инструменты для проверки электросистемы</b> .....	<b>37</b>
	Пробники .....	38
	Мультиметры .....	40
	Автоматический выбор диапазона измерений .....	41
	Особенности мультиметров Fluke .....	42
	Измерение силы тока .....	45
	Логические пробники .....	46
	Тестирование лампами Noid Light .....	47
	Регистраторы короткого замыкания типа Short Finder .....	47
	Соединительные провода и аксессуары .....	49
	Тестеры для проверки катушки .....	50
	Тестеры проверки искры .....	51
	Индикатор момента зажигания (стробоскоп) .....	51
	Тестеры аккумуляторных батарей (нагрузочные вилки) .....	53
	Осциллографы .....	53
	Инструмент для пайки .....	55

<b>РАЗДЕЛ III. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>58</b>
<b>ГЛАВА 4. Аккумуляторная батарея .....</b>	<b>58</b>
Химические реакции.....	59
Разряд.....	60
Электролит.....	61
Зарядка.....	62
Дополнительные характеристики АКБ.....	63
Типы батарей.....	63
Тестирование аккумуляторов. Проверка заряда.....	64
Динамическая проверка аккумулятора.....	67
Портативные тестеры аккумуляторов.....	67
<b>ГЛАВА 5. Система зарядки и пуска .....</b>	<b>69</b>
Система зарядки.....	69
Генераторы постоянного тока.....	70
Регуляторы напряжения генераторов постоянного тока.....	71
Генераторы переменного тока.....	72
Механические регуляторы напряжения генераторов переменного тока.....	76
Транзисторные электронные регуляторы напряжения.....	78
Встроенные и управляемые компьютером регуляторы напряжения.....	78
Индикаторы зарядки.....	78
Проверка генератора переменного тока.....	81
Общая проверка генератора.....	83
Тест на полное возбуждение.....	85
Общий тест на полное возбуждение.....	86
Генератор переменного тока General Motors с внешним регулятором напряжения.....	87
Генератор переменного тока General Motors DELCOTRON с внутренним регулятором напряжения.....	87
Генератор переменного тока DELCO-REMY CS.....	87
Генератор переменного тока Ford с внешним регулятором.....	89
Генераторы переменного тока Ford-Motorcraft IAR.....	89
Генератор переменного тока Chrysler с внешним регулятором напряжения.....	90
Генератор переменного тока Chrysler, управляемый компьютером.....	90
Проверка генератора постоянного тока и регулятора.....	90
Поляризация генератора.....	91
Мотор стартера.....	92
Втягивающее реле стартера.....	93
Проверка стартера.....	93

ГЛАВА 6.	<b>Система зажигания</b> .....	<b>96</b>
	Как из 12 вольт получается 100 000 вольт.....	97
	Катушки зажигания .....	97
	Общая проверка катушки зажигания.....	99
	Прерыватель и конденсатор.....	101
	Электронные и компьютерные системы зажигания .....	102
	Триггеры .....	105
	Модули зажигания .....	107
	Общая проверка модулей зажигания.....	107
	Тестирование методом подмены .....	108
	Вторичная цепь зажигания .....	116
ГЛАВА 7.	<b>Система топливного впрыска</b> .....	<b>119</b>
	Карбюраторы .....	120
	Электронная система топливного впрыска.....	120
	Общие принципы работы EFI .....	121
	Тестирование датчиков .....	125
	Датчики MAP General Motors .....	130
	Датчики MAP Ford Motor Company .....	130
	Датчики MAP Chrysler .....	131
	Датчики массового расхода воздуха (MAF).....	132
	Топливные форсунки и их импульс.....	134
<b>РАЗДЕЛ IV.</b>	<b>ОБЩАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ</b> .....	<b>136</b>
ГЛАВА 8.	<b>Электрические схемы</b> .....	<b>136</b>
	Чтение электрических схем.....	137
	Практические примеры работы с электрическими схемами.....	141
	Ответы .....	142
ГЛАВА 9.	<b>Устранение неполадок в электросистемах</b> .....	<b>147</b>
	Логика? Какая логика? .....	147
	«Неработающий стартер»: тематическое исследование .....	147
	Плохая «масса».....	151
	Взаимодействие (перемыкание) цепей .....	153
	Паразитные токи.....	155
	<b>ИСТОЧНИКИ</b> .....	<b>157</b>
	<b>АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ</b> .....	<b>159</b>

# ПРЕДИСЛОВИЕ

**Н**есмотря на то что тема автомобильной электрики всегда буквально очаровывала меня, мне понадобилось почти четверть века, чтобы взяться за написание этой книги. Многие годы я работал в своем гараже с автомобилями самых различных марок. Часто работа была долгой и трудной, совершалась методом проб и ошибок. Приходилось выяснять, что исправно, а что нет, действуя по кратчайшему пути. Мне было необходимо найти способ разбить этот процесс на короткие этапы, простые для восприятия и понятные обычному человеку, не искушенному в вопросах механики и электрики. К счастью, меня обучали одни из лучших специалистов по ремонту автомобилей, и это сделало процесс несколько проще. Многие методы обучения, используемые для передачи технической информации в этой книге, я позаимствовал у своих друзей и коллег. Постепенно накапливая опыт, я зачастую поражался, насколько неоправданно сложным представляется все, что связано с автомобильной электрикой, электроникой и диагностическим тестированием. В этой книге я постараюсь развеять этот миф.

В начале 1980-х годов я работал лаборантом на одном крупном предприятии в Южной Калифорнии. Оно стало одним из немногих первопроходцев и новаторов в проектировании, конструировании и производстве турбокомпрессоров для дизелей и автомобильного рынка. Кроме того, у этой компании был крупнейший испытательный центр на всем Западном побережье. В начале 1980-х многие автопроизводители начали использовать преимущества турбонаддува двигателей. Так я оказался в нужное время в нужном месте, и мне представилась отличная возможность воочию наблюдать развитие новых технологий и их внедрение в производство транспортных средств. Работая именно в этой среде, я получил представление о некоторых из самых ранних систем электронного управления двигателем, их режимах работы и проблемах, которые зачастую являлись настоящей «зубной болью».

Вместе с другим техническим персоналом я устанавливал тестируемые двигатели на различные испытательные стенды и монтировал всю электронику на обычной фанерной доске, находящейся рядом с силовой установкой. В процессе совершенствования все двигатели — как карбюраторные, так и инжекторные — неизбежно ломались и требовали ремонта. Поскольку не существовало никаких сервисных документов, автомобильные инженеры являлись единственным источником информации о том, как



должны работать эти системы. И когда мы спрашивали у инженеров-разработчиков, почему что-то пошло не так, как ожидалось, чаще всего они отвечали примерно следующее: «Система, созданная на базе самой современной электроники, не могла сломаться просто сама по себе. Она спроектирована профессиональными инженерами-электриками. Должно быть, вы что-то не так установили при сборке». Но, несмотря на то что такие условия трудно было назвать идеальными для изучения автомобильной электроники, я и мои коллеги продолжали получать технические знания и опыт.

Несколькими годами позже широкое использование обычных карбюраторных систем начинает постепенно сходить на нет, а их место занимают электронные системы впрыска топлива (называемые также «инжекторные системы», или просто «инжекторы»). Методам их диагностики и ремонта я обучал своих коллег-механиков (теперь их принято называть техниками). Мне приходилось преподавать во многих транснациональных корпорациях, включая Sun,

Allen, Nissan и Snap-On. Как правило, эти занятия проходили в вечерние часы, после целого дня работы с автомобилями. Довольно часто мне приходилось видеть группы студентов, которые предпочли бы сбежать домой и поужинать, чем просиживать штаны в классной комнате на скучных лекциях. Пробудить их заинтересованность и способность воспринимать информацию было делом, мягко говоря, не самым простым. Вот таким образом я приобрел бесценный опыт инновационных способов передачи информации, многие из которых и применил при написании этой книги.

Помимо преподавательской деятельности мне повезло поработать консультантом в уникальном и интересном деле, известном как Automotive Data Systems (ADS) в Калифорнии. Эта передовая компания осуществляла автомобильную диагностику по телефону горячей линии. Механики звонили и получали немедленные персональные советы в режиме реального времени о том, как диагностировать и устранить конкретную неисправность на конкретной машине, они получали все необходимые инструкции по той или иной технологической операции. Благодаря этому проекту удалось собрать поистине удивительную базу данных: в ней находится больше 30 000 записей, относящихся к конкретным годам, маркам и моделям транспортных средств и их неисправностям. В результате специалисты ADS были способны дать точные рекомендации клиентам в 95% случаев. Благодаря этой базе данных и ежедневной практике я смог синтезировать большой объем информации об электрических автомобильных системах, их диагностике и ремонте. Я навсегда в долгу перед парнями, которых встретил в этой компании, они всегда щедро делились (и продолжают делиться) со мной своими знаниями и опытом. К сожалению, компания, хотя до сих пор и находится в бизнесе, поглощена крупным поставщиком решений для рынка послепродажного обслуживания, и большинство специалистов теперь работают у крупного корейского автопроизводителя в Южной Калифорнии. Надеюсь, что они нашли там свою диагностическую «нирвану».

Наконец, не могу не добавить, что последние 25 лет жизни рядом со мной находилась моя супруга. На нашем первом свидании она обнаружила меня в гараже, где я разбирался с недавно приобретенным «Корветом» 1964 года. Это должно было стать для нее знаме-

нием. Тем не менее она не разочаровалась во мне. За это я навсегда в долгу перед ней, особенно за усилия, приложенные к тому, чтобы вдохнуть в меня радость жизни, сделать счастливым и полезным для других людей. Не представляю, где бы я был без нее — вероятно, черпал бы жизненную силу из другого источника, все равно мечтая о такой женщине, как она.

Безусловно, практический опыт работы кое-чему меня научил, но чем дольше я размышлял, тем больше понимал, что не знаю еще очень многого. Поэтому я хотел бы поблагодарить некоторых людей, которые помогали мне на протяжении многих лет, особенно с написанием этой книги.

В первую очередь я хочу поблагодарить человека по прозвищу Тек. Он был моим главным наставником во время моего недолгого пребывания на должности преподавателя автошколы, а также стал основателем упомянутой системы ADS. Его советы — как технические, так и носящие личный характер — на долгие годы стали для меня бесценным источником вдохновения, развития и практического профессионального роста. Без него я, более чем уверен, представлял бы сейчас из себя значительно меньше. Моя следующая благодарность Курту Муру и Дэйву Беллаверу, которые, используя свои связи, открыли мне доступ к значительной части технической информации, содержащейся в этой книге. Не могу не упомянуть и Майка МакЭлфреша — своего бывшего коллегу, технического секретаря и в целом энтузиаста автомобилей из ADS. Без его неоценимого вклада в техническую редактуру, думаю, вы посмеялись бы над некоторыми страницами. К счастью, он щедро уделил время книге, и его готовность всегда прийти на помощь спасла меня (очень надеюсь) от профессионального конфуза. Спасибо, Майк, за помощь. Наконец, я еще раз вернусь к своей жене, невероятное терпение которой, навыки пронизательного редактора и, порой, острые замечания (ОЙ!), сделали книгу лучше. Хотел бы поблагодарить ее от всей души и пообещать, что больше не буду просить ее перечитать «еще только один разок».

В заключение я хотел бы сказать: надеюсь, что вы, мой читатель, получите некоторые знания и практические навыки, которые помогут вам обрести уверенность в собственных силах при решении проблем с электрооборудованием автомобилей.

*Трейси Мартин*

# РАЗДЕЛ I

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**П**ервый раздел предназначен для элементарного объяснения общей теории электричества, понятия постоянного тока и того, как электроэнергия работает в автомобиле. Для этого совсем не нужно знать глубинную физическую сущность электричества, эти лишними подробностями и так изобилуют многие книги. Однако его базовое понимание необходимо для практических навыков работы при диагностике и ремонте электрооборудования, будь то легковой автомобиль или грузовик.

Детальное изучение теории электричества гораздо более сложная и громоздкая задача, нежели та практическая прикладная часть, которая предлагается в этой книге. Поэтому я заранее приношу извинения читателям, обладающим более глубокими познаниями в электротехнике и электронике, поскольку книга

содержит некоторые вольности в трактовках и определениях с научной точки зрения. Мы начнем с самых основ, доступных пониманию каждым. Глава 1 посвящена закону Ома и рассматривает, как работает электросистема автомобиля с напряжением 12 вольт. Затем, в главе 2 рассказывается о проверке падения напряжения и о том, как следует практически применять полученные данные в контексте решения реальных проблем. Фактически все, описываемое в этой книге, базируется на элементах теории, изложенной в главах 1 и 2. Таким образом, если при чтении более сложных разделов, посвященных, например, электрическим схемам или диагностике системы впрыска топлива (инжектора), возникнут те или иные вопросы, может оказаться полезным снова просмотреть содержание двух первых глав.

## ГЛАВА 1

# ЗАКОН ОМА

**П**оскольку миллиарды электронов, несущихся по проводу со скоростью света, невозможно увидеть и, для большинства людей, даже трудно себе представить, многие люди пугаются ремонта электроники и электротехники при обслуживании автомобилей. В отличие от разборки и чистки карбюратора, замены спутившего колеса, крепления аксессуаров на автомобиль — ремонт электрооборудования действительно более интеллектуальное занятие. Однако это не является ни невозможной, ни даже трудновыполнимой задачей. Электрические системы могут озадачить, когда наблюдаешь, как бывалый специалист с электронной аппаратурой, ставя диагноз автомобилю, долго и сосредоточенно размышляет. Вы представляете, что вам придется повторить весь процесс, и сталкиваетесь с «электрическим кошмаром». Тем не менее один маленький секрет позволяет легко применить полученные навыки, необходимые при диагностике «щелкающего» стартера, потускневшей фары, глохнущего двигателя или любой другой загадочной проблемы. И этот секрет только в одном — в практике.

Большинство из нас осознают необходимость практических занятий, особенно если дело касается спорта, игры в бейсбол, езды на мотоциклах, посещения бассейна или боулинга. Все, что требует опреде-

ленного набора навыков, с приобретением опыта дается значительно легче. Для примера, предположим, что вы редко берете в руки бейсбольную биты, тогда и шансы на успех в игре будут крайне незначительны. Ведь всем известно, что чем меньше практики, тем длиннее путь к достижению успеха.

Если в один прекрасный день ваш автомобиль не завелся, вряд ли стоит бросаться к нему с новым цифровым вольтметром в руках: начальных технических знаний может оказаться недостаточно. Предварительно стоило бы попрактиковаться, поработав с прибором на исправной цепи. Когда с вашим автомобилем что-то случится, подобный опыт будет полезен и все ремонтные работы окажутся намного проще, чем виделись изначально.

Применяя теорию электричества в жизни, вы будете знать, какие значения должны быть на дисплее мультиметра (вольтметра, амперметра, омметра) при исправной цепи, еще до подключения к неисправной. При этом необходимо понимание того, что означают цифры на индикаторе, ибо они лишь визуализируют невидимую проблему. Практикуясь на рабочих цепях, параметры которых заранее известны, вы поймете алгоритмы поиска неисправности и, разбив общую цепь на участки, выявите ее причины. Все это достаточно просто.



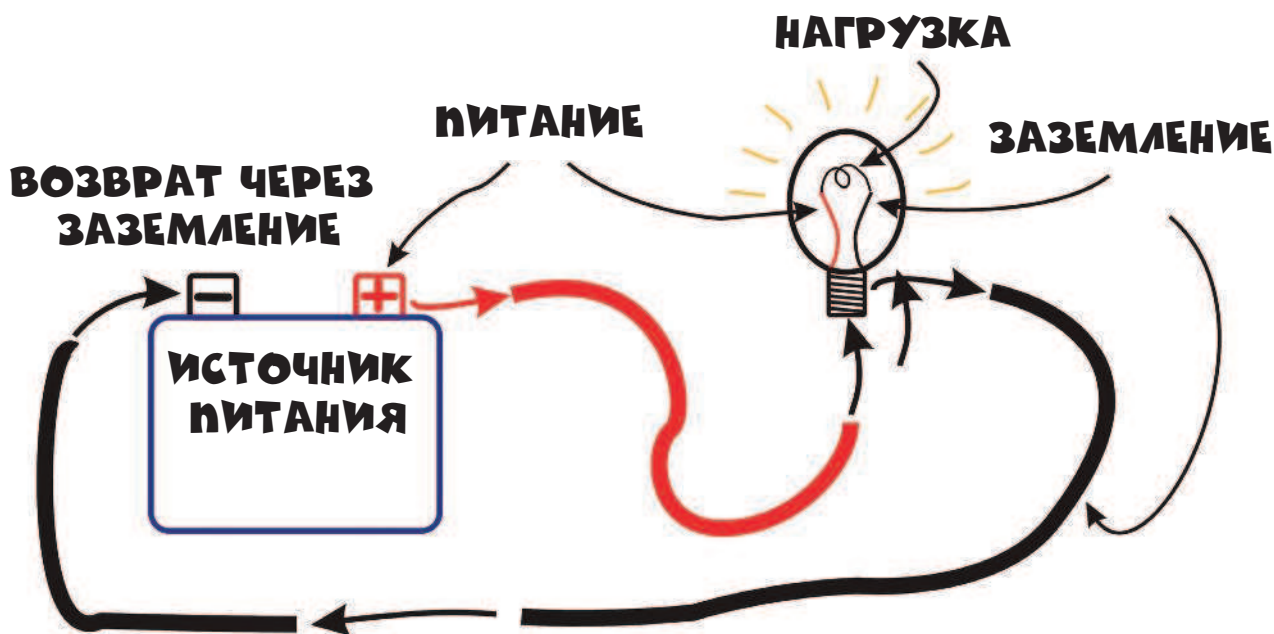
Простой 12-вольтовый аккумулятор, провода и лампочки составляют основную цепь постоянного тока

### «ТРИ ВЕЩИ» О 12-ВОЛЬТОВЫХ ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА, О КОТОРЫХ НУЖНО ЗНАТЬ

Все электроприборы автомобиля являются частью общей цепи. Другими словами, цепь — это схема, по которой соединяются и управляются входящие в нее электрические компоненты. Компоненты, как правило, подразделяются по системным категориям (хотя и не всегда). Например, в систему освещения входят фары, задние фонари, противотуманные фары и лампы освещения салона; система зарядки включает в себя генератор, регулятор напряжения (если тако-

вой используется) и аккумуляторную батарею; типовая система впрыска топлива (инжектор) состоит из электронного блока управления двигателем (ЭБУ), различных датчиков и исполнительных устройств.

Внутри каждой системы содержатся отдельные цепи, которые управляют конкретными электрическими компонентами. Например, передние фары и задние фонари являются частью системы освещения, но каждый из этих компонентов работает через самостоятельную цепь, входящую в состав данной системы. Говоря иначе, мы имеем дело с «системой внутри системы» (или подсистемой), что создает определенные



**Рис. 1-1.** Три элемента в цепи постоянного тока 12 вольт: (1) положительный полюс батареи и красный провод являются источником питания, (2) устройство нагрузки или нагрузка нити накала: внутри лампочка и — (3) черный провод для возвращения заземления

трудности для механиков и техников, когда они сталкиваются с неполадками электрооборудования.

Для диагностирования неполадок неисправная цепь должна быть полностью изолирована (и от общей системы, и от других исправных цепей внутри своей подсистемы).

Столкнувшись с ремонтом электрооборудования, владельцы, как правило, обращаются к схемам, ошибочно полагая, что они помогут определить конкретные неисправные участки цепи. Такой подход можно сравнить с поиском иголки в стоге сена. Электрические схемы не выделяют и не распознают неработоспособные цепи. На самом деле они изображают всю подсистему (например, освещения) или электрооборудование автомобиля в целом. Не правда ли, пугающий подход, если вы не знаете, что именно искать?

При правильной идентификации цепи и ее последующей изоляции нужно просто подключить к ней вольтметр и заранее предвидеть показания прибора. Это совсем несложно и нестрашно, когда вы понимаете «три вещи», которые составляют основу работы 12-вольтовых цепей постоянного тока. Если какая-нибудь из этих «вещей» отсутствует — цепь перестает работать. Может, это и не столь очевидно при первом взгляде на полную схему электрооборудования или на жгуты проводов под капотом, однако дело обстоит

именно так. Эти «вещи» легко идентифицируются как основные компоненты 12-вольтовых цепей постоянного тока, особенно если знаешь, что искать.

Итак, пора их назвать. Чтобы цепь работала, нам необходимы: источник питания, нагрузка и «масса».

### Источник питания

Само собой разумеется, что каждый электрический компонент для того, чтобы функционировать, должен иметь источник питания. Вся электрическая энергия, необходимая, чтобы элементы цепи выполняли свою работу, обеспечивается источником питания. Электроны (невидимые человеческому глазу частицы), упорядоченно перемещаясь вдоль проводника, взаимодействуют между собой и передают энергию из одной точки в другую, обеспечивая, таким образом, питание цепи. Начиная свой путь от положительной клеммы аккумулятора, электроны передвигаются по цепи. Любые проблемы с подключением питания повлияют на всю электрическую цепь. Кажется, все предельно просто, но зачастую и профессиональные механики, и любители проводят множество часов, пытаясь понять, почему что-то не работает, хотя причина кроется в перегоревшем предохранителе.

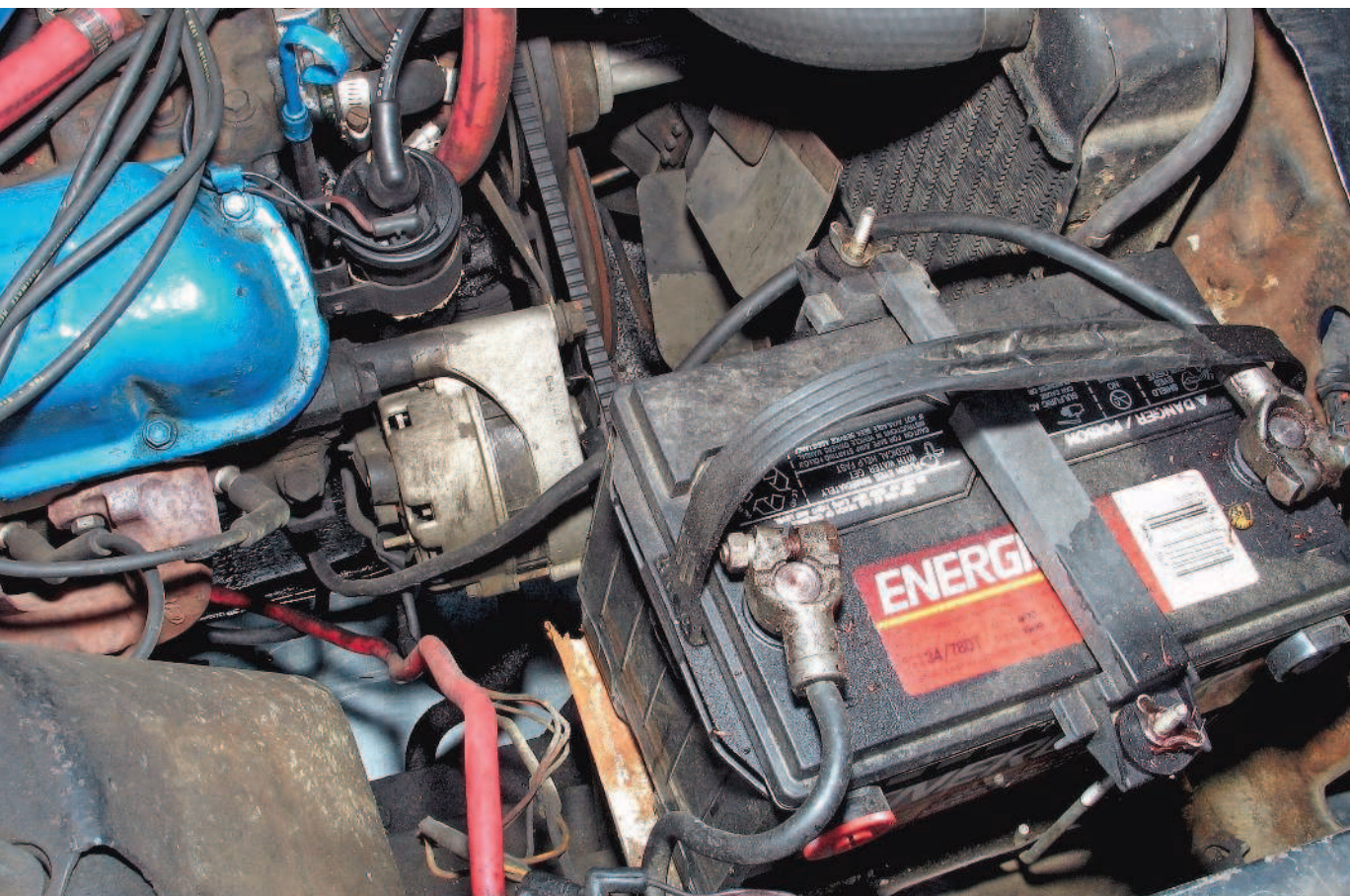
Основными источниками питания всех электрических цепей транспортного средства являются аккумулятор и (или) генератор. Провода, подключенные к положительной клемме аккумулятора или к выходной клемме генератора, также рассматриваются как источники питания. К этой же категории можно отнести все реле, предохранители, в том числе плавкие вставки, и распределители, поскольку и они обеспечивают электрические компоненты питанием, участвуя в их соединении с плюсовой клеммой аккумулятора. Существует и другая дополнительная терминология. Источники питания иногда называют «плюсом», «питанием», «положительным полюсом», а то и просто «напругой».

### Нагрузка

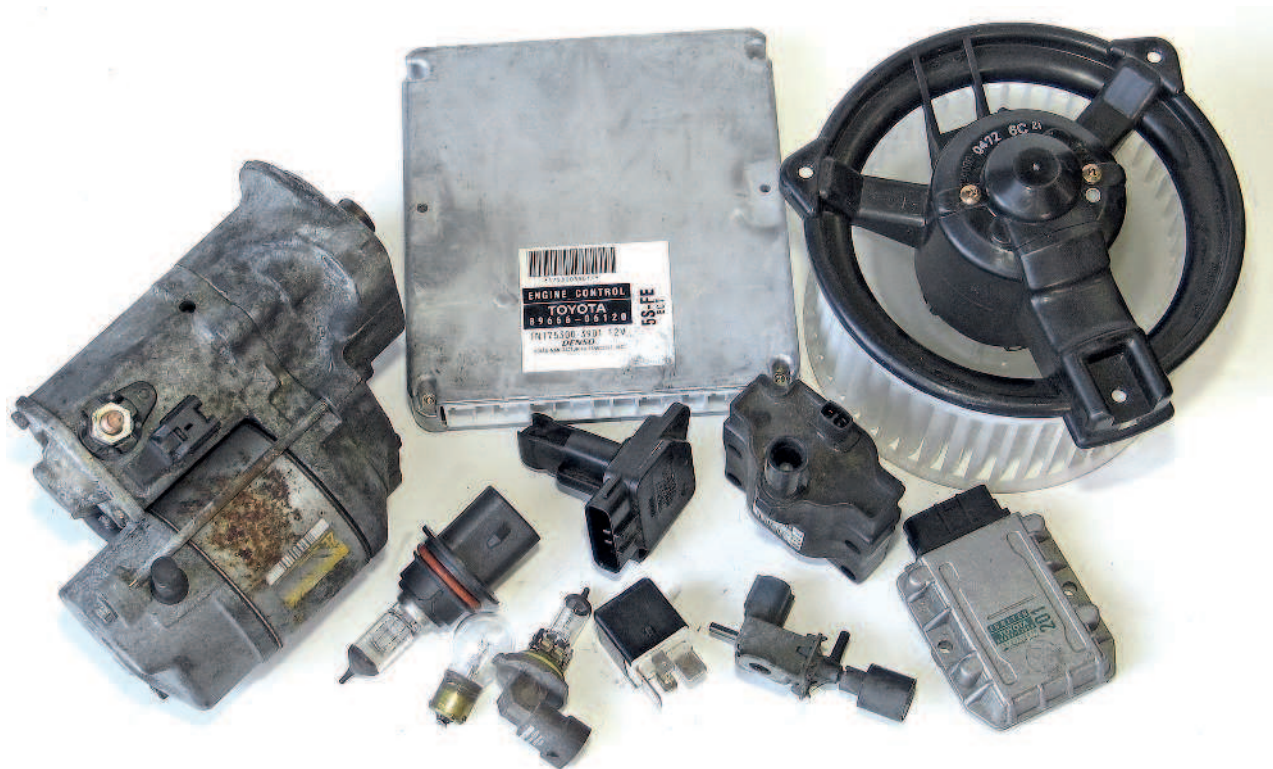
Нагрузкой в электрической цепи считается любой компонент, который потребляет электрическую энергию (такой компонент также называется потребителем или приемником). Нагрузка создает сопро-

тивление движению электронов по цепи (обладает сопротивлением). В большинстве случаев нагрузка представляет собой проводники различной длины, размера и формы, а также их сочетания. Примерами нагрузки могут служить электродвигатели, лампы, реле, катушки и свечи зажигания, электромагниты, электронные блоки. В электросистему автомобиля входят сотни таких устройств, все они выполняют определенную функцию и являются частью конструктивной схемы.

Однако есть и такие разновидности нагрузки, без которых мы вполне могли бы обойтись. Это широчайшая гамма от коррозии и ослабленных электрических соединений до поврежденной изоляции проводов и изношенных контактов в переключателях и реле. Они носят паразитный характер, так как создают излишнее сопротивление, повышают расход энергии и оказывают нежелательное воздействие на электрические цепи. Хуже всего, что эти нагрузки не показаны на схемах, и их необходимо искать самосто-



Во всех автомобилях есть два источника питания – аккумулятор и генератор переменного тока (или генератор постоянного тока в более старых моделях)



Эти компоненты могут казаться разными, но все они выполняют функцию нагрузочных устройств, создающих сопротивление электронам

ательно! (В главе 2, посвященной тестированию падения напряжения, будет рассказано, как именно это делается.)

### «Масса»

Упрощенно говоря, «масса» представляет собой путь, по которому электроны «возвращаются» обратно в батарею после использования нагрузкой. В этом качестве выступают любые металлические части кузова, двигателя, трансмиссии или рамы транспортного средства (откуда, собственно, и пошло русское название) и присоединенные к ним провода. Их иногда ошибочно называют «минусом», ввиду того, что они используются в качестве второго провода в обычных электросхемах и подключены к отрицательному полюсу аккумулятора. Почему это название ошибочно, я расскажу чуть позже.

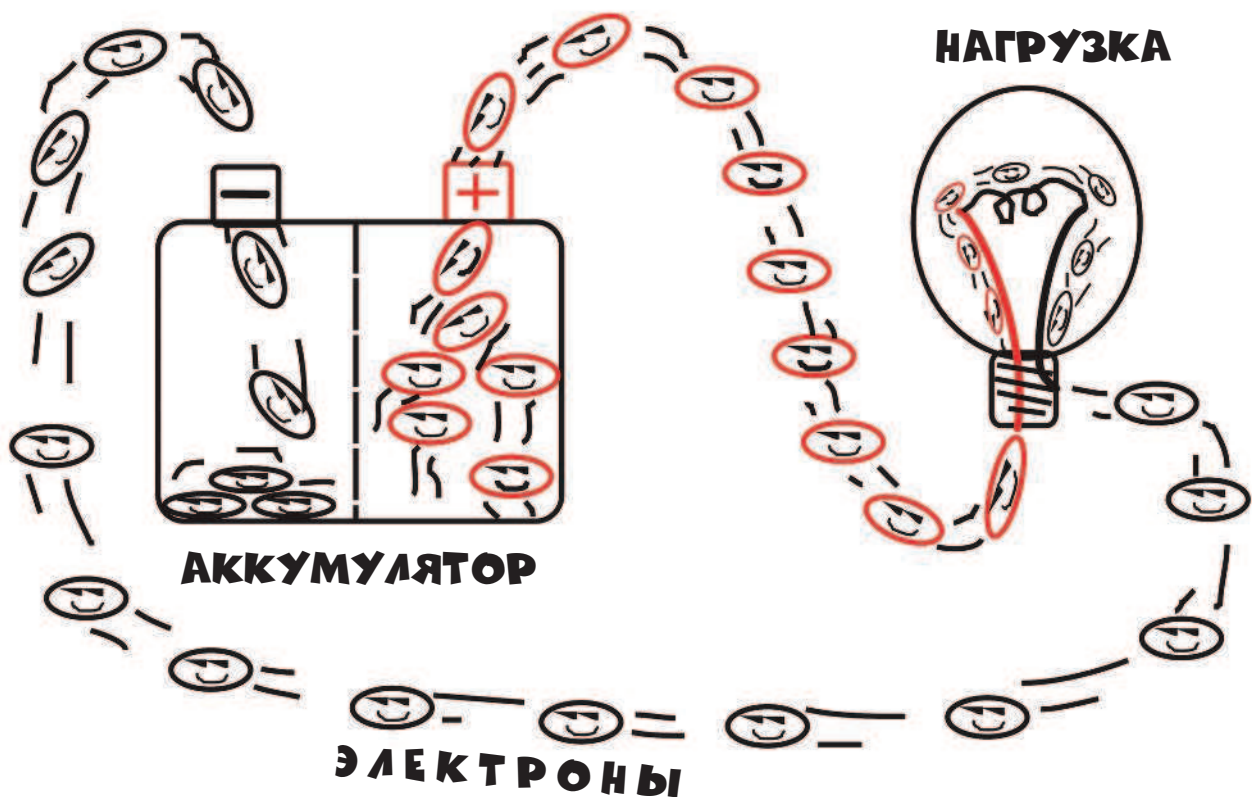
В англоязычной литературе встречается термин Ground Return («возврат через землю»), и на схемах имеется обозначение GND (Ground — земля). В электронике также используется термин «земля» — узел цепи, потенциал которого условно принимается за ноль, и все напряжения в системе отсчитываются от потенциала этого узла. Но в ав-

томобильной отрасли это все же принято называть «массой».

Последовательность движения электронного потока по маршруту источник—нагрузка—«масса» называют полным циклом. Если в цепи отсутствует хотя бы одна «вещь» из трех перечисленных, цепь перестанет функционировать.

Поскольку электроны в цепи невидимы, трудно получить представление о том, что именно происходит внутри системы. Рассмотрим простейшую 12-вольтовую цепь, состоящую из аккумулятора, лампочки и провода. Единственным визуальным подтверждением того, что цепь работает, является загорание лампочки. Если же все подключено, но лампочка не горит, специалист может сделать вывод, что отсутствует какая-то одна из «трех вещей».

Давайте взглянем на эту концепцию немного по-другому. Удобный способ осмысления происходящего внутри рабочей электрической цепи — сравнить провод со шлангом, по которому течет вода. Представьте себе емкость, наполненную водой, со встроенным внутренним насосом. Через патрубок и присоединенный к нему шланг эта емкость подключена к какому-то устройству (к нагрузке). Вода



**Рис. 1-2.** Счастливые рабочие электроны выходят из батареи и, перемещаясь через нагрузочное устройство, возвращаются к батарее через заземление — таким образом замыкая схему

откачивается из этого бака, под давлением попадает на нагрузку, и при этом выполняется какая-то полезная работа. Находясь под тем же давлением, вода из нагрузки попадает в обратный шланг (в нашем случае это «масса»), отправляется назад в бак, после чего цикл повторяется.

Для того чтобы процесс оставался непрерывным, вода должна возвращаться в емкость с той же скоростью, с какой была откачана. Поток электронов в цепи действует аналогичным образом. По бортовой цепи от источника питания частицы перемещаются к полезной нагрузке, обеспечивая ее энергией и заставляя выполнить определенный вид работы. После этого электроны через «массу» возвращаются в аккумулятор.

### И ЕЩЕ «ТРИ ВЕЩИ»

Вы уже догадались, что все не может быть так просто! Неужели достаточно отслеживать только три вышеупомянутых понятия? Не беспокойтесь, осталось не очень много.

Источник питания, нагрузка и «земля» — физические объекты, их можно увидеть и пощупать руками. В дополнение к этим трем физическим объектам существуют еще три понятия, менее осязаемые. Понимание их значимости и взаимосвязи так же важно, как и понимание «трех вещей», о которых говорилось раньше. К счастью, результат их взаимодействия можно наблюдать.

Следующими «тремя вещами» являются: напряжение, сила тока и сопротивление.

Говоря абстрактно, напряжение следует воспринимать, как «давление» электричества в цепи, силу тока — как количество электричества, а сопротивление — как ограничение для движения потока электронов. Эти три понятия представляют электрические величины для отображения процессов, происходящих «внутри» рабочего контура. Ясное представление о том, как напряжение, сила тока и сопротивление взаимосвязаны, дает однозначную оценку правильности (или неправильности) функционирования той или иной электрической цепи.