

Высшее профессиональное образование

**В. С. Волков**

# **ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

Учебное пособие



Транспорт

УДК 621(075.8)  
ББК 31.26я73  
В676

**Рецензенты:**

зав. кафедрой «Транспортные машины» Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, д-р техн. наук,  
проф. *Ю. Ф. Устинов*;  
директор автомобильно-дорожного института Пензенского государственного университета архитектуры и строительства,  
канд. техн. наук, проф. *Э. Р. Домке*

**Волков В. С.**

**В676** Электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. С. Волков. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 208 с.

ISBN 978-5-7695-5749-1

Изложены сведения по устройству, принципам действия, рабочим характеристикам и аналитическим соотношениям различных систем, приборов и устройств электрического и электронного оборудования транспортных и транспортно-технологических машин. Приведены правила эксплуатации и обслуживания представленных приборов и устройств. Рассмотрены возможные пути совершенствования данных электрических систем.

Для студентов высших учебных заведений. Может быть полезно специалистам в области эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин.

УДК 621(075.8)  
ББК 31.26я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Волков В. С., 2010  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010  
ISBN 978-5-7695-5749-1 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

## **ВВЕДЕНИЕ**

Высокопроизводительная работа транспортных и транспортно-технологических машин в современных условиях невозможна без функциональной поддержки сложных электронных и электротехнических устройств. В конструкции таких машин электрическая энергия требуется для пуска двигателя, передачи световой и звуковой информации другим участникам движения о габаритных размерах и направлении движения машины, освещения дороги и зоны технологических работ. Посредством электрической энергии производится воспламенение рабочих зарядов в цилиндрах двигателей, работающих на легких видах топлив, осуществляется контроль текущего состояния отдельных агрегатов и систем, передача оператору информации о текущих показателях агрегатов, узлов и систем, наступлении предельного состояния по износу и видам нагружения отдельных наиболее ответственных деталей.

В некоторых случаях посредством электронных приборов осуществляется управление рабочими процессами отдельных систем, например поиском оптимальной величины угла опережения зажигания или ликвидацией блокировки колес при торможении. В современных условиях электронное оборудование позволяет при необходимости производить дистанционное управление транспортным средством, контролировать связь с оператором, а также выполнять некоторые навигационные функции по ориентации на местности или поиску машины.

Электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин представляет собой сложный комплекс электрических и электронных систем, который может быть условно рассмотрен в виде следующих составных частей:

- система электроснабжения потребителей энергии бортовой сети;
- электропусковая система;
- система воспламенения рабочего заряда и управления подачей топлива;
- светотехническое оборудование;
- контрольно-диагностическое оборудование;
- вспомогательное оборудование.

Работоспособность приборов электрооборудования должна обеспечиваться в достаточно тяжелых условиях при сильно запыленном воздухе, постоянной вибрации и резких температурных перепадах. При этом надежность электрооборудования должна превосходить надежность механических узлов и агрегатов машины.

## СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

---

### 1.1. Общие сведения

Система электроснабжения включает в себя источники электрической энергии, предназначенные для питания потребителей, установленных на транспортной или транспортно-технологической машине. В состав системы электроснабжения обычно входят в качестве источников энергии генераторная установка и аккумуляторная батарея, работающие параллельно в условиях взаимного дополнения в зависимости от режима работы автомобиля или трактора, а также элементы коммутационной аппаратуры и соединительные провода.

При работающем двигателе генераторная установка является основным источником электрической энергии, которая кроме питания потребителей обеспечивает подзаряд аккумуляторной батареи. При неработающем двигателе обеспечение питания потребителей переходит к аккумуляторной батарее. Кроме того, аккумуляторная батарея должна обеспечивать возможность надежного пуска двигателя электрическим стартером.

Привод генератора осуществляется от коленчатого вала двигателя посредством клиноременной передачи, в связи с чем генератор работает в условиях непрерывно изменяющейся частоты вращения ротора. Ток нагрузки генератора также может изменяться в довольно широких пределах в зависимости от числа и мощности включенных потребителей. Для автоматического поддержания напряжения генератора на заданном уровне независимо от скоростного режима двигателя и тока нагрузки в систему генераторной установки вводится регулятор напряжения, осуществляющий функцию стабилизатора напряжения бортовой сети автомобиля или трактора. В некоторых случаях в данную систему вводят защитные реле, осуществляющие защиту генератора от перегрузки по току и от обратного тока при неработающем двигателе.

### 1.2. Генераторные установки

Генераторная установка предназначена для электропитания всех имеющихся потребителей и подзаряда аккумуляторной батареи при

работающем двигателе во всем диапазоне его скоростного режима. Существующие конструкции генераторных установок рассчитаны на номинальное напряжение 14 или 28 В, однако в некоторых случаях возможна установка двухуровневой системы, когда электропитание основной части потребителей осуществляется от сети напряжением 14 В, а для питания электропусковой системы дизеля используется участок сети напряжением 28 В.

Включение генераторной установки в бортовую сеть осуществляется по однопроводной схеме, предусматривающей соединение отрицательного полюса «-» с металлическим корпусом машины, а разветвление положительного полюса «+» посредством проводов. В отдельных случаях при наличии неэлектропроводной несущей системы машины или для снижения уровня радиопомех может применяться двухпроводная система, предусматривающая передачу обоих полюсов по проводам.

В качестве основных требований к генераторным установкам предъявляется обеспечение высокой надежности и стабильности выходных характеристик в условиях вибронагруженности, широких диапазонов рабочей температуры и влажности воздуха, повышенной химической агрессивности и загрязненности среды.

### 1.2.1. Генераторы

Генератор должен обеспечивать электропитание бортовой сети постоянным током. Однако преобразование механической энергии в электрическую энергию возможно только на основе переменного тока. В современных условиях выпрямление переменного тока или преобразование его в постоянный осуществляется посредством полупроводниковых выпрямительных диодов. В прошлом, до широкого распространения полупроводниковых приборов, выпрямление переменного тока в генераторах производилось посредством щеточно-коллекторного узла, в составе генератора постоянного тока.

В генераторных установках транспортных и технологических машин возможно применение следующих типов генераторов:

- генераторов постоянного тока с самовозбуждением;
- генераторов переменного тока с электромагнитным возбуждением;
- бесконтактных генераторов переменного тока с первичным возбуждением от постоянных магнитов.

**Генераторы постоянного тока** в настоящее время считаются морально устаревшими в связи с присущими им недостатками, однако их достоинства допускают возможность их использования в некоторых специфических условиях.

Генератор постоянного тока представляет собой конструкцию в виде трубчатого стального корпуса с размещенными в ней обмотками возбуждения (полюсными башмаками). Якорь генератора разме-

щается в роторе, укрепленном на подшипниках и вращающемся внутри корпуса. Силовые обмотки якоря расположены в роторе и подключены соответственно к противоположным полюсам (ламелям) коллектора. Ток генератора снимается с коллектора якоря посредством угольных токосъемников (щеток).

Для обеспечения самовозбуждения корпус генератора должен быть изготовлен из полосовой низкоуглеродистой стали с содержанием углерода до 0,1 %. Сердечник якоря для уменьшения нагрева от вихревых токов должен быть изготовлен в виде набора штампованных из электротехнической стали пластин, напрессованных на рифленый стальной вал. Коллектор изготавливается из штампованных медных пластин, изолированных между собой миканитовыми прокладками. В качестве регулятора напряжения генератора постоянного тока используется вибрационный регулятор, содержащий электромагнитные обмотки и контактный прерыватель, вследствие чего такой регулятор может пропускать ток возбуждения не более 3 А. Это ограничивает электрическую мощность генераторов постоянного тока на уровне 250... 300 В · А, что для современных транспортных машин явно недостаточно.

Генератор постоянного тока нуждается в защите от обратного тока, когда его напряжение становится ниже электродвижущей силы (ЭДС) аккумуляторной батареи и генератор может в таком случае переключиться в режим работы электродвигателя. Для предотвращения такого явления в схеме его включения необходимо применять реле обратного тока, исключающее возможность утечки тока с батареи на генератор. В современных условиях реле обратного тока может быть заменено полупроводниковым диодом большой мощности, включаемом между генератором и батареей.

При больших токах нагрузки генератора возможен перегрев его силовой обмотки, в связи с чем генератор постоянного тока нуждается в наличии реле ограничения тока, осуществляющего защиту генератора от перегрузки по току.

Указанные обстоятельства позволяют определить следующую группу недостатков, препятствующих широкому использованию генераторов постоянного тока:

- ограниченная мощность генератора при его значительной массе;
- технологическая сложность в изготовлении;
- значительный расход медных сплавов на коллектор;
- низкий коэффициент полезного действия (КПД), уменьшающийся с повышением частоты вращения ротора из-за искрения в коллекторе;
- потребность в частом и дорогостоящем техническом обслуживании;
- необходимость защиты генератора от обратного тока и от перегрузки.

К достоинствам генератора постоянного тока следует отнести:

- наличие рекуперации, позволяющей работу в едином блоке со стартером (в виде династартера);
- сохранение работоспособности при эксплуатации в зоне повышенного радиационного загрязнения.

Недостатки, присущие генераторам постоянного тока, во многом устраняются в конструкциях современных генераторов переменного тока.

**Генераторы переменного тока с электромагнитным возбуждением** известны в течение довольно длительного времени, однако их использование в качестве источников тока на автомобилях сдерживалось отсутствием соответствующих выпрямительных систем. С появлением в промышленном производстве мощных малогабаритных германиевых и кремниевых диодов стало возможным создание автомобильных генераторов переменного тока с встроенными блоками выпрямителей.

Достоинствами генераторов переменного тока с электромагнитным возбуждением следует считать:

- практически не ограничиваемую никакими внешними факторами мощность при относительно малой массе генератора;
- малый уровень радиопомех;
- простоту конструкции;
- незначительную трудоемкость в обслуживании;
- стабильность характеристик в течение длительного срока эксплуатации.

Недостатком генератора рассматриваемого типа можно считать невозможность работы генератора без подключения аккумуляторной батареи ввиду необходимости принудительного возбуждения. Кроме того, при отключении батареи от генератора при работающем двигателе возможен необратимый тепловой пробой выпрямительных диодов и некоторых элементов регулятора напряжения.

Генератор переменного тока с электромагнитным возбуждением (рис. 1.1) может быть представлен в виде конструкции с неподвижным статором, в котором размещена силовая обмотка якоря, вращающегося внутри него ротора, содержащего обмотку возбуждения. Контакты обмотки возбуждения подключены к двум латунным кольцам, расположенным на валу ротора и изолированным от «массы». Ток возбуждения подается на эти кольца посредством двух угольных щеток. Статор генератора для уменьшения действия вихревых токов выполняется из набора пластин электротехнической стали, изолированных одна от другой. Ротор генератора состоит из нескольких пар клювообразных полюсов, от которых на статор поступает магнитный поток возбуждения.

При включении замка зажигания на обмотку возбуждения подается ток от аккумуляторной батареи. Проходя по обмотке возбуждения, ток создает магнитный поток возбуждения, который распреде-

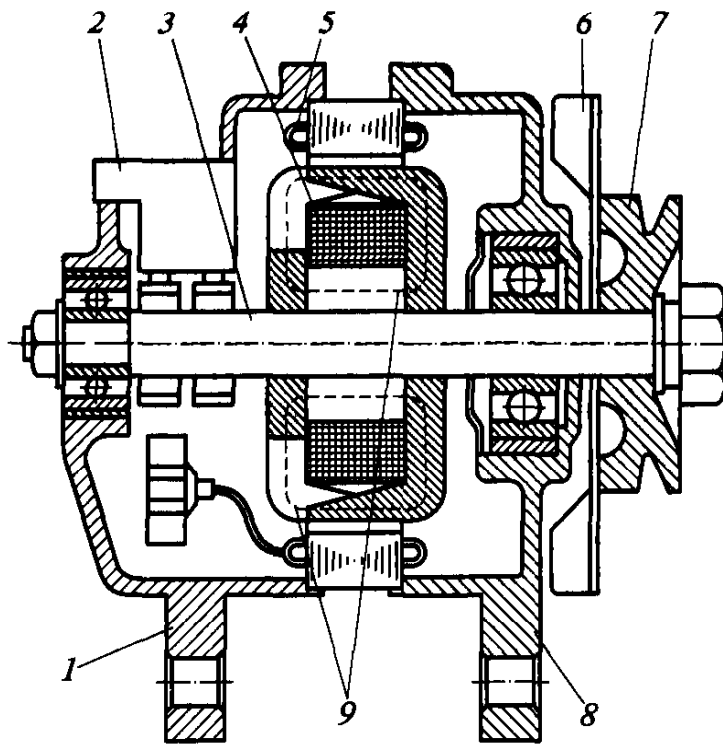


Рис. 1.1. Генератор переменного тока с электромагнитным возбуждением: 1 — задняя часть корпуса; 2 — щеткодержатель; 3 — вал ротора; 4 — обмотка возбуждения; 5 — силовая обмотка (обмотка якоря); 6 — крыльчатка охлаждения; 7 — приводной шкив; 8 — передняя часть корпуса; 9 — направление движения магнитного потока

ляется по клювообразным полюсам одной полярности. Выходя из полюсов, магнитный поток пересекает воздушный зазор, входит в клювообразные полюса другой полярности и замыкается через втулку ротора и вал.

Электрическая схема включения такого генератора переменного тока в бортовую сеть автомобиля представлена на рис. 1.2.

При вращении ротора под каждым зубцом статора проходит попеременно то положительный, то отрицательный полюс магнита, т. е. магнитный поток, пересекающий обмотку статора, изменяется по величине и направлению по закону, близкому к синусоидальному. В обмотках каждой фазы будет индуцироваться переменная по величине и направлению ЭДС.

Характер изменения ЭДС в проводниках обмотки статора зависит от кривой распределения магнитной индукции в зазоре, определяемой формой полюса. Для формы полюса желателен такой вид, чтобы график изменения ЭДС был близок к синусоиде.

При двухполупериодной схеме выпрямления тока и звездообразном соединении обмоток генератора в каждый момент времени работает тот диод первой группы, у которого анодный вывод в это время имеет наибольший положительный потенциал относительно нулевой точки  $N$ , а вместе с ним — диод второй группы, у которого



катодный вывод имеет наибольший по абсолютной величине отрицательный потенциал относительно этой же точки. Частота пульсаций выпрямленного напряжения при этом равна удвоенному числу фаз генератора, т. е. шесть пульсаций за период.

При звездообразном соединении обмоток статора зависимость между линейным  $U_{л}$  и фазным  $U_{ф}$  напряжением определяется по формуле

$$U_{л} = \sqrt{3}U_{ф}.$$

Линейный ток  $I_{л}$  в данном случае равен фазному  $I_{ф}$ :  $I_{л} = I_{ф}$ .

При трехфазном исполнении силовой (якорной) обмотки генератора и двухполупериодном выпрямлении переменного тока частота пульсаций  $f_{п}$  выпрямленного напряжения в 6 раз превосходит частоту переменного напряжения генератора  $f$ :

$$f_{п} = 6f = \frac{6pn}{30} = 0,2pn,$$

где  $p$  — число пар полюсов;  $n$  — частота вращения ротора,  $\text{мин}^{-1}$ .

**Бесконтактные по цепи возбуждения генераторы** позволяют работать системе электроснабжения без аккумуляторной батареи, в связи с чем их используют в основном в тракторных системах, где пуск двигателя осуществляется от специального двигателя внутреннего сгорания. Аккумуляторная батарея в таком случае использует-

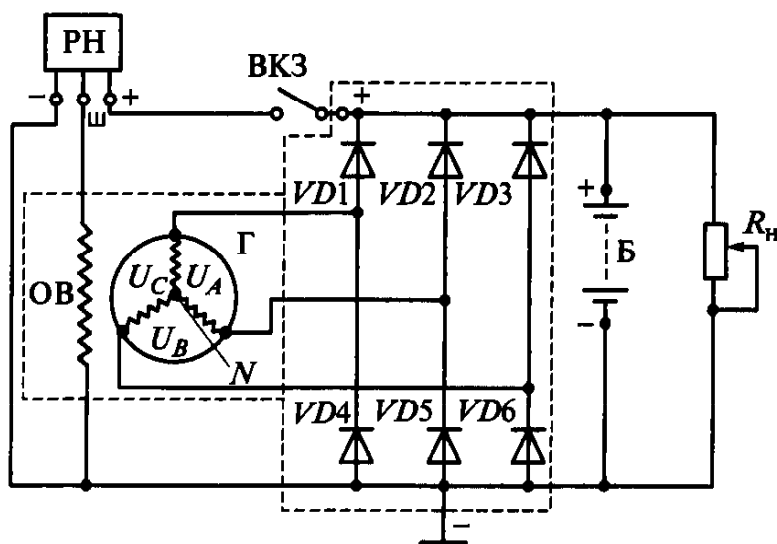


Рис. 1.2. Схема включения генератора переменного тока с электромагнитным возбуждением:

Г — генератор;  $VD1 - VD6$  — выпрямительные диоды; Б — аккумуляторная батарея; ВКЗ — включатель зажигания;  $R_{н}$  — резистор, эквивалентный нагрузке от потребителей; ОБ — обмотка возбуждения генератора; РН — регулятор напряжения;  $U_A, U_B, U_C$  — фазные напряжения;  $N$  — нулевая точка

ся в качестве источника энергии для питания приборов освещения и вспомогательного оборудования при неработающем двигателе. В настоящее время бесконтактные генераторы с электромагнитным возбуждением существуют двух типов: индукторные генераторы и генераторы с укороченными клювами ротора, у которых вращающейся частью является только ротор, имеющий две подшипниковые опоры.

Включение индукторного генератора в бортовую сеть автомобиля производится согласно рис. 1.2.

Типичными примерами индукторных генераторов являются имеющиеся в производстве мод. 21.3701 и 49.3701. Трудоемкость обслуживания таких генераторов сведена лишь к поддержанию работоспособности подшипников опор ротора и контролю за состоянием соединительных клемм.

В качестве перспективных следует считать конструкции индукторных генераторов переменного тока с электромагнитным возбуждением, которые из-за отсутствия щеточно-кольцевых контактов имеют более высокие показатели надежности и минимальную трудоемкость в обслуживании.

Общим недостатком, свойственным бесконтактным по цепи возбуждения генераторам, следует считать их увеличенную массу из-за необходимости использования постоянных магнитов в роторе для обеспечения свойства самовозбуждения.

**Рабочие характеристики генераторов** определяют зависимости показателей их работы от входных факторов. Существует несколько разновидностей рабочих характеристик генераторов, основными из которых являются внешняя, скоростная регулировочная и токоскоростная. По указанным характеристикам можно осуществлять подбор генератора к базовой технической системе, а также проводить диагностические и исследовательские работы.

*Внешняя характеристика* есть зависимость напряжения генератора от силы тока нагрузки  $U_r = f(I_r)$  при постоянном скоростном режиме ( $n = \text{const}$ ). Для самовозбуждающегося генератора характеристика снимается при отключенном регуляторе напряжения, когда на обмотку возбуждения поступает фактическое напряжение генератора.

*Скоростная регулировочная характеристика* есть зависимость силы тока возбуждения  $I_b$  от частоты  $n$  вращения ротора. Характеристика позволяет определить диапазон изменения тока возбуждения в зависимости от частоты вращения ротора при ступенчатом изменении тока нагрузки и постоянном напряжении.

Снижение тока возбуждения при возрастании частоты вращения ротора в данном случае происходит в соответствии с работой регулятора напряжения, создающего дополнительное сопротивление в цепи питания обмотки возбуждения генератора и тем самым уменьшающего ее магнитный поток.

**Токоскоростная характеристика** (рис. 1.3) есть зависимость тока генератора  $I_r$ , подаваемого на питание нагрузки, от частоты  $n$  вращения ротора. Характеристика снимается при условии, что весь ток генератора идет на питание нагрузки и напряжение является постоянным.

При включении генератора в цепь питания нагрузки в обмотке статора (в якоре) возникает ток

$$I_r = \frac{E_r}{\sqrt{(R_a + R_n)^2 + X_L^2}} = \frac{C_x n \Phi}{\sqrt{(R_a + R_n)^2 + (C_x n)^2}};$$

где  $E_r$  — ЭДС генератора;  $R_a$  — активное сопротивление обмотки статора;  $R_n$  — сопротивление нагрузки;  $X_L$  — индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_L = 2\pi f L = \frac{\pi p n L}{30} = C_x n;$$

где  $f$  — частота переменного тока в статоре;  $L$  — индуктивность обмотки статора;  $C_x$  — машинная постоянная;  $\Phi$  — магнитный поток в зазоре между ротором и статором.

Все современные генераторы транспортных и технологических машин обладают свойством самоограничения максимального тока и не требуют защиты от перегрузки по току. Это свойство самоограничения тока генератора проявляется в двух случаях: при увеличении тока якоря и при росте частоты вращения ротора.

**Рост тока нагрузки** вызывает соответствующее увеличение тока, проходящего через обмотки якоря (статора), что в свою очередь вызывает рост магнитного потока статора  $\Phi_c$ , направленного против магнитного потока возбуждения  $\Phi_b$ , исходящего от ротора, в результате чего магнитный поток в зазоре между ротором и статором  $\Phi = \Phi_b - \Phi_c$  уменьшается. При этом снижается наполнение магнитным потоком обмоток якоря, расположенного в статоре, что вызывает соответствующее ограничение тока  $I_r$ , отдаваемого генератором.

**С увеличением частоты вращения ротора  $n$**  увеличивается частота  $f$  переменного тока, возникающего в обмотках якоря (стато-

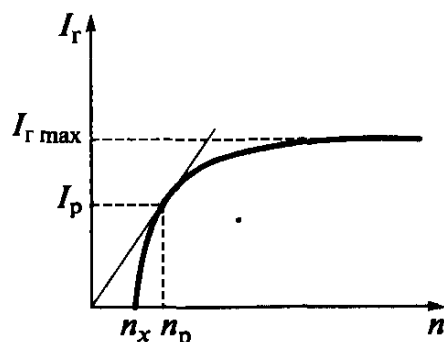


Рис. 1.3. Токоскоростная характеристика генератора

ра), что вызывает увеличение индуктивного сопротивления  $X_L$  статора, что также ограничивает ток, отдаваемый генератором.

С достаточной точностью токоскоростная характеристика генератора может быть аппроксимирована уравнением

$$I_{\Gamma} = I_{\Gamma \max} \left( 1 - e^{-\frac{n_x - n}{n}} \right) \text{ при } n \geq n_x,$$

где  $I_{\Gamma \max}$  — максимальное значение силы тока генератора;  $n_x$  — частота вращения ротора, соответствующая началу отдачи тока генератором.

Расчетные значения силы тока генератора  $I_p$  и частоты вращения ротора  $n_p$  можно определить, если из начала координат провести касательную к токоскоростной характеристике. Точка касания прямой и характеристики определяет расчетные значения  $I_p$  и  $n_p$ . Пользуясь расчетными величинами силы тока  $I_p$  и частоты вращения ротора  $n_p$ , можно осуществить подбор генератора из условия обеспечения электропитания током  $I_p$  всех включенных потребителей автомобиля при движении ночью в городе при неблагоприятных погодных условиях со скоростью 50 км/ч на прямой передаче. Коррекция расчетной частоты вращения ротора  $n_p$  может быть произведена путем изменения передаточного числа привода генератора от коленчатого вала двигателя.

**Оценочные показатели генераторов** позволяют согласовывать показатели их работы с характеристиками двигателя и базовых систем потребителей энергии.

Электрическая мощность генератора  $P_{\Gamma}$ , В·А, определяется как произведение напряжения генератора  $U$ , В, на его ток  $I_{\Gamma}$ , А, отдаваемый на питание потребителей:

$$P_{\Gamma} = UI_{\Gamma}.$$

Коэффициент полезного действия генератора  $\eta_{\Gamma}$  представляет собой отношение электрической мощности  $P_{\Gamma}$  к механической мощности  $P_M$ , затрачиваемой на привод генератора:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{P_{\Gamma}}{P_M}.$$

В генераторах постоянного тока наблюдается снижение КПД при увеличении частоты вращения ротора из-за искрения в щеточно-коллекторном узле. В генераторах переменного тока КПД практически не зависит от скоростного режима.

В некоторых случаях для оценки использования материалов применяется коэффициент использования массы  $k_m$ , Вт/кг, представля-

ющий собой отношение максимальной мощности генератора  $P_{г\max}$ , Вт, к его массе  $m_g$ , кг:

$$k_m = \frac{P_{г\max}}{m_g} = \frac{UI_{г\max}}{m_g}.$$

Удельный коэффициент использования материалов генератора [36]  $k_{уд}$ , В·А·мин/кг, учитывает его работу в режиме расчетных значений тока и частоты вращения ротора:

$$k_{уд} = \frac{UI_g}{m_g n_p} = \frac{P_p}{m_g n_p},$$

где  $P_p$  — расчетная электрическая мощность генератора;  $I_p$ ,  $n_p$  — расчетные значения соответственно силы тока генератора и частоты вращения его ротора, определяемые по его токоскоростной характеристике.

### 1.2.2. Регуляторы напряжения

В основу принципа автоматического регулирования напряжения генераторов положен процесс функционального изменения магнитного потока возбуждения со следящим действием по уровню требуемого напряжения. Такие факторы, как частота вращения ротора, ток нагрузки, могут быть переменными и в свою очередь вызывать изменения магнитного потока возбуждения, однако этот поток в любом случае должен быть таким, чтобы обеспечивать величину напряжения генератора в пределах заданного уровня, с колебаниями, как правило, не более  $\pm 0,5$  В.

Для выполнения указанной задачи в схемы систем электроснабжения вводится специальное устройство — регулятор напряжения, осуществляющий функцию стабилизатора напряжения бортовой сети транспортной или технологической машины.

При разных частотах вращения ротора и переменных нагрузках постоянство напряжения можно получить изменением магнитного потока возбуждения, определяемого функционально изменяемой величиной тока возбуждения. При этом ток возбуждения должен быть тем меньше, чем выше частота вращения ротора генератора. Кроме того, при возрастании тока нагрузки генератора ток его возбуждения должен увеличиваться.

В современной практике получили распространение регуляторы, осуществляющие прерывание (уменьшение) тока возбуждения с определенной частотой, когда переменной величиной является время включения в цепь возбуждения генератора добавочного резистора.



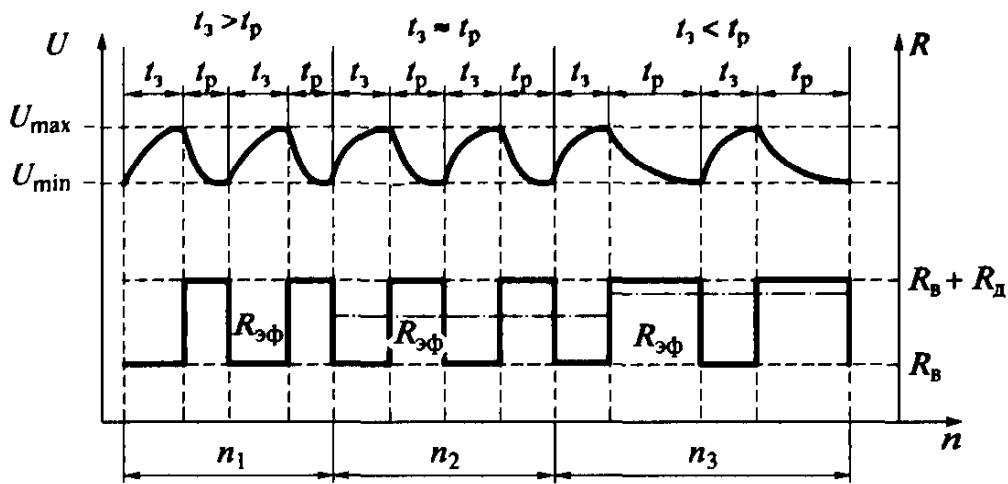


Рис. 1.5. Процесс регулирования напряжения  $U$  при разных значениях частоты вращения ротора  $n_1, n_2, n_3$  ( $n_1 < n_2 < n_3$ )

Ток возбуждения генератора определяется как отношение напряжения бортовой сети  $U$  к сопротивлению цепи возбуждения  $R_{\text{в}}$ . При неработающем регуляторе сопротивление цепи возбуждения определяется в основном сопротивлением обмотки возбуждения генератора и ток возбуждения генератора определяется по формуле

$$I_{\text{в}}^{\text{н}} = \frac{U}{R_{\text{в}}}.$$

При работающем регуляторе напряжения, когда контакты  $K$  разомкнуты, сопротивление цепи возбуждения генератора определяется как сумма сопротивлений обмотки возбуждения  $R_{\text{в}}$  и добавочного резистора  $R_{\text{д}}$  и ток возбуждения генератора определяется по формуле

$$I_{\text{в}}^{\text{р}} = \frac{U}{R_{\text{в}} + R_{\text{д}}}.$$

Исходя из рассмотренного процесса напряжение генератора при работе с регулятором будет иметь колебательный характер, представленный на рис. 1.5.

Частота вибрации контактов есть отношение

$$f = \frac{1}{T},$$

где  $T$  — период замыкания контактов.

При замкнутых контактах напряжение генератора  $U$  возрастает до максимальной величины  $U_{\max}$ , далее контакты размыкаются и напряжение снижается до минимального значения  $U_{\min}$ . Период замыка-

ния контактов определяется как сумма времени замкнутого  $t_3$  и разомкнутого  $t_p$  состояния контактов:

$$T = t_3 + t_p.$$

Если рассматривать работу регулятора для различных частот вращения ротора, то можно обнаружить, что при увеличении частоты вращения ротора время замкнутого состояния контактов  $t_3$  уменьшается, а время  $t_p$  их разомкнутого состояния соответственно увеличивается. Сопротивление цепи возбуждения при этом изменяется скачкообразно от  $R_B$  до  $R_B + R_D$ .

Среднее эффективное значение сопротивления цепи возбуждения  $R_{эф}$  определяется как среднее арифметическое значение пульсирующего сопротивления:

$$R_{эф} = \frac{R_B t_3 + (R_B + R_D) t_p}{t_3 + t_p} = \frac{R_B (t_3 + t_p) + R_D t_p}{t_3 + t_p} = R_B + R_D \tau_p,$$

где  $\tau_p = \frac{t_p}{t_3 + t_p}$  — относительное время разомкнутого состояния кон-

тактов.

Текущее значение тока возбуждения

$$I_B = \frac{U}{R_{эф}} = \frac{U}{R_B + \tau_p R_D}.$$

Относительное время разомкнутого состояния контактов  $\tau_p$  (рис. 1.6) изменяется от нуля, когда регулятор не работает ( $n_{min}$ ), до единицы, когда ток возбуждения уменьшается до величины, соответствующей постоянно включенному добавочному резистору ( $n_{max}$ ).

При увеличении частоты вращения ротора свыше  $n_{max}$  ток возбуждения и напряжение генератора начнут возрастать, так как сопротивление цепи возбуждения будет не в состоянии уменьшиться до требуемого уровня при таком режиме. Из этого следует вывод, что величина добавочного резистора определяет максимальную частоту

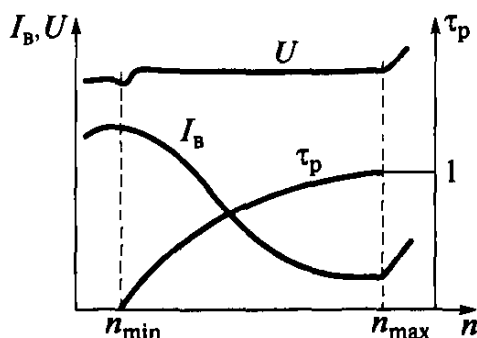


Рис. 1.6. Скоростная характеристика генератора, работающего с регулятором напряжения



срабатывания регулятора напряжения и, следовательно, максимальную частоту вращения ротора, до которой возможно регулирование напряжения.

Увеличением величины добавочного резистора  $R_d$  можно увеличить частоту  $n_{\max}$ , однако следствием этого является увеличение величины  $\Delta U$  пульсации регулируемого напряжения. Соответственно для уменьшения величины  $\Delta U$  желательно подбирать величину резистора  $R_d$  наименее возможной исходя из обеспечения требуемого скоростного режима генератора.

Изменение напряжения  $U$  генератора, работающего с вибрационным регулятором напряжения, возможно осуществлять посредством изменения задающего элемента — регулировкой натяжения пружины якорька: при увеличении усилия пружины напряжение будет возрастать, при ослаблении — уменьшаться.

Системы генераторов с вибрационными регуляторами в настоящее время являются весьма несовершенными из-за присущих им недостатков:

- малой частоты срабатывания контактов;
- нестабильности выходных характеристик вследствие магнитного гистерезиса сердечника обмотки и влияния окружающей температуры;
- малого срока службы контактов из-за постоянного искрения;
- невозможности пропускания через контакты больших токов возбуждения из-за их ограниченной разрывной мощности.

В качестве достоинства вибрационного регулятора может рассматриваться сохранение его работоспособности при действии в зоне повышенной радиационной загрязненности среды, когда полупроводниковые системы выходят из строя.

Разрывная мощность контактов

$$P_k = I_v^2 R_d$$

для вольфрамовых контактов обычно не превышает  $150 \text{ В} \cdot \text{А}$ .

Увеличение мощности потребителей регуляторов напряжения в современных транспортных и транспортно-технологических машинах вызвало необходимость создания генераторов соответствующей мощности, причем создание генераторов повышенной мощности с сохранением малых токов возбуждения в настоящее время является пока что невыполнимой задачей. Повышение мощности генераторов невозможно без увеличения тока их возбуждения, что в свою очередь предъявляет дополнительные требования к конструкции регуляторов. Для выполнения таких требований необходимо либо значительно усложнять конструкцию вибрационного регулятора, либо переходить к использованию полупроводниковых элементов.

**Бесконтактный дискретный регулятор напряжения** позволяет ликвидировать недостатки, присущие вибрационному регулятору.

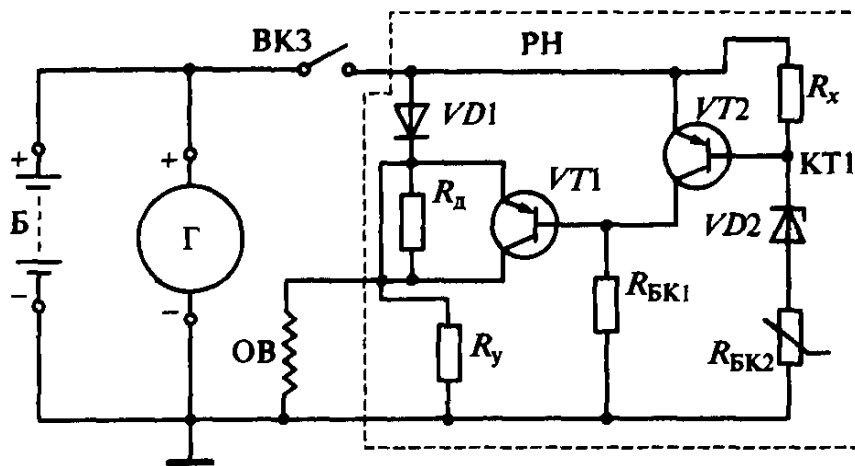


Рис. 1.7. Принципиальная схема бесконтактного дискретного регулятора напряжения

Роль чувствительного элемента в данном регуляторе напряжения РН выполняет стабилитрон  $VD2$  (рис. 1.7). Задающим элементом является цепь резисторов: ускоряющего  $R_y$  и базово-коллекторного  $R_{БК2}$ . В схему включены также мощный диод  $VD1$  и базово-коллекторный резистор  $R_{БК1}$  исполнительного транзистора  $VT1$ .

При работе генератора  $\Gamma$  в режиме, когда его напряжение ниже  $U_{min}$ , стабилитрон  $VD2$  закрыт (не пробит), вследствие чего на базе транзистора  $VT2$  имеется положительный потенциал и он закрыт. На базу транзистора  $VT1$  подается отрицательный потенциал, и он открыт. Ток возбуждения в этом случае наибольший.

При повышении напряжения генератора выше  $U_{min}$  напряжение  $U_{к.т}$  на базе транзистора  $VT2$ , соединенной с контрольной точкой  $КТ1$ , повышается. При превышении напряжения  $U_{к.т}$  напряжения пробоя стабилитрона  $U_{ст}$  ( $U_{к.т} > U_{ст}$ ) стабилитрон  $VD2$  переходит в режим пробоя, в результате чего на контрольной точке  $КТ1$  появляется отрицательный потенциал, что вызывает открытие транзистора  $VT2$  и подачу на базу транзистора  $VT1$  положительного потенциала (транзистор  $VT1$  закрывается). В цепь возбуждения включается добавочный резистор  $R_d$ . Ток возбуждения при этом уменьшается, уменьшая магнитный поток возбуждения генератора, что вызывает снижение его напряжения и напряжения на контрольной точке  $КТ1$ , отчего стабилитрон  $VD2$  переходит в режим одностороннего пропускания тока. Это вызывает закрытие управляющего транзистора  $VT2$ , в результате чего происходит открытие выходного транзистора  $VT1$ . Процесс повторяется с частотой более 300... 500 Гц, отчего колебания напряжения в бортовой сети значительно уменьшаются.

Транзистор  $VT2$  — высокочастотный, малой мощности, является управляющим, а транзистор  $VT1$  — низкочастотный, большой мощности — управляемым, выходным, так как он осуществляет регулирование тока возбуждения. Оба транзистора работают в ключевом режиме «Закрит» — «Открит».

Чтобы изменить напряжение генератора, нужно изменить потенциал на контрольной точке делителя напряжения КТ1. Для этого необходимо изменить величины резисторов  $R_x$  или  $R_{BK2}$ . В качестве элемента  $R_x$  можно использовать переменный резистор с соответствующей шкалой регулировки напряжения генератора или, например, с положениями «Зима» — «Лето», так как напряжение бортовой сети в холодное время года желательно иметь на более высоком уровне, чем в теплое время года.

К достоинствам такого регулятора напряжения генератора следует отнести высокую надежность, стабильность выходных характеристик и практически неограниченный срок службы. Недостатками рассмотренной схемы являются влияние на напряжение генератора температуры окружающей среды и относительно малый диапазон изменения частоты вращения ротора от  $n_{\min}$  до  $n_{\max}$ . Для устранения данных недостатков необходимо усложнение схемы — одним из вариантов является интегральный регулятор напряжения, получивший достаточно широкое распространение.

Появлению интегральных регуляторов напряжения в автотракторных системах электроснабжения предшествовали разработка и внедрение в радиоэлектронных системах интегральных микросхем, в которых объединялось большое количество полупроводниковых элементов с требуемыми характеристиками. При этом появилась возможность объединить все элементы в один блок, что позволило резко сократить размеры и массу прибора, значительно повысить надежность его работы и стабильность выходных характеристик. Впервые электронные регуляторы напряжения на основе микросхем были внедрены в автомобилестроение фирмами Bosch в Германии и Lucas в Великобритании. В отечественном автомобилестроении получили распространение интегральные регуляторы индекса 3702, разработанные на базе мод. Я-112 и Я-120, предназначенных для работы в генераторных установках с номинальным напряжением соответственно 14 и 28 В.

**Интегральный регулятор напряжения** имеет рабочий процесс, принципиально мало чем отличающийся от ранее рассмотренных рабочих процессов дискретных регуляторов. Измерительным элементом интегрального регулятора напряжения типа Я-112А (рис. 1.8) является стабилитрон  $VD1$ , который в зависимости от уровня регулируемого напряжения  $U$  может находиться в одном из двух состояний: пробитом или непробитом (закрытом). Регулятор выполнен на основе использования кремниевых полупроводниковых элементов, допускающих более стабильную работу при больших температурных нагрузках. В микросхеме используются транзисторы типа  $n-p-n$ . В отличие от ранее рассмотренных схем регулятор напряжения включается между обмоткой возбуждения ОВ и «массой». Обе щетки обмотки возбуждения генератора Г изолированы от «массы».

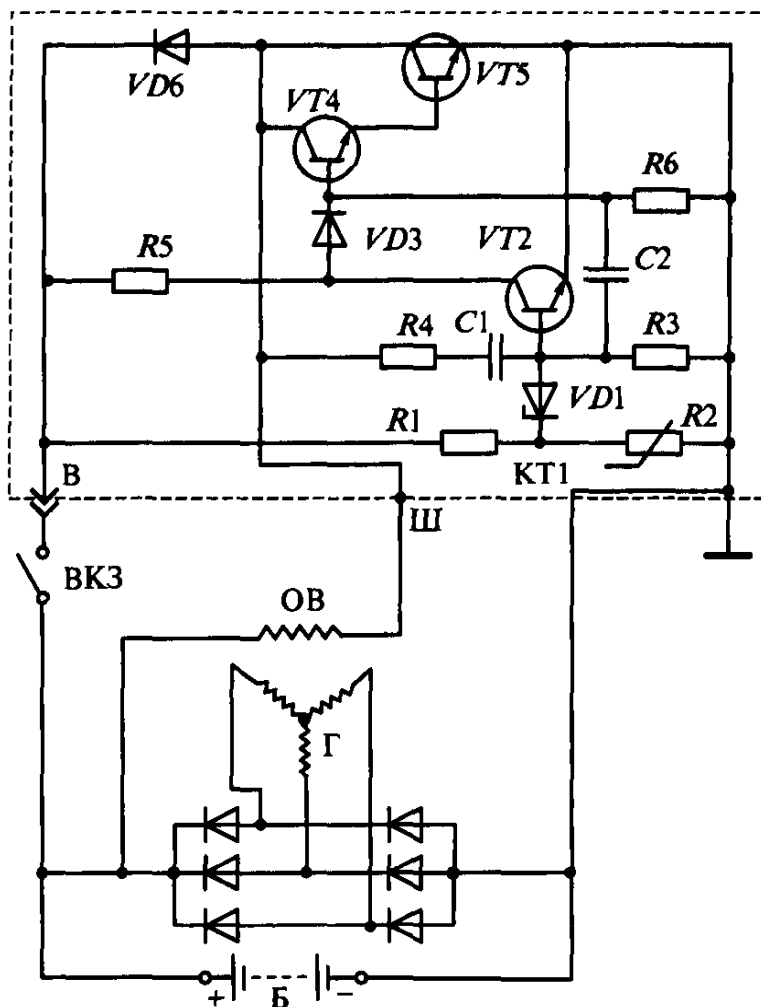


Рис. 1.8. Принципиальная схема интегрального регулятора напряжения

При напряжении генератора ниже порогового  $U_{\min}$  стабилитрон  $VD1$  находится в закрытом (непробитом) состоянии. При этом управляющий транзистор  $VT2$  закрыт, поскольку на его базу не подается положительный потенциал. Соответственно транзистор  $VT4$  открыт, поскольку на его базу подается положительное напряжение по цепи  $R5 - VD3$ . Такое состояние промежуточного транзистора  $VT4$  способствует открытию выходного транзистора  $VT5$ . При открытом выходном транзисторе  $VT5$  регулятора ток возбуждения проходит от положительного полюса генератора (аккумуляторной батареи Б) через обмотку возбуждения  $ОВ$ , открытый транзистор  $VT5$  и замыкается на «массу», т. е. достигает наибольшей величины. Это способствует росту магнитного потока возбуждения, что соответствующим образом повышает напряжение генератора.

При повышении напряжения генератора выше порогового  $U_{\min}$  напряжение на контрольной точке  $КТ1$  делителя напряжения превысит напряжение пробоя стабилитрона, в результате чего стабилитрон перейдет в пробитое (открытое) состояние. В этом случае по цепи через резистор  $R1$  и пробитый стабилитрон  $VD1$  на базу управляемого транзистора  $VT2$  будет подано положительное напряжение, отчего он переключится в открытое состояние. Открытие транзистора

*VT2* влечет за собой поочередное закрытие промежуточного *VT4* и выходного *VT5* транзисторов. Ток возбуждения генератора при этом уменьшится, и величина его будет определяться величиной сопротивления коллекторно-эмиттерного перехода не полностью закрытого выходного транзистора *VT5*.

Уменьшение тока возбуждения влечет за собой уменьшение магнитного потока возбуждения и соответствующее снижение напряжения генератора. При уменьшении напряжения генератора снижается напряжение на контрольной точке КТ1 делителя, отчего стабилитрон *VD1* снова переходит в закрытое (непробитое) состояние, и процесс повторяется с определенной частотой порядка 200... 300 Гц.

Диод *VD3* улучшает процесс запираания выходного и промежуточного транзисторов *VT4* и *VT5* вследствие дополнительного падения напряжения на этом диоде.

Диод *VD6* осуществляет гашение токов самоиндукции, возникающих в обмотке возбуждения генератора при переключениях регулятора, а также защищает выходной транзистор *VT5* от перенапряжения в момент его переключения в режим отсечки тока.

Емкостно-резистивная цепь обратной связи *R4* — *C1* повышает четкость переключения транзисторов регулятора и уменьшает время их перехода из одного состояния в другое. Цепь *R3* — *C2* — *R6* осуществляет роль сглаживающего фильтра напряжения на базе транзистора *VT2* от колебаний, обусловленных работой схемы выпрямителя генератора.

Для ликвидации влияния на напряжение генератора окружающей температуры в одно из плеч делителя включен терморезистор *R2*.

Современная технология изготовления микросхем позволяет осуществлять конструктивное исполнение регулятора в виде замкнутого герметичного объема на металлической пластине — основании регулятора. Активные элементы схемы выполняются в виде защищенных блоков, пассивные (резисторы, конденсаторы, провода) — по толсто пленочной технологии на керамической основе. При изготовлении схема регулятора настраивается на требуемый уровень напряжения методом лазерной подгонки. Регулятор выполняется в пластмассовом корпусе с тремя выводами, обычно имеющими обозначения типа В, Ш и «—», и размещается в щеткодержателе генератора. Напряжение генератора при эксплуатации не регулируется, ремонту такой регулятор не подлежит.

Для надежной работы электронных регуляторов необходима их приспособленность к работе в условиях нарушения нормальных режимов работы — кратковременная и длительная работа при отключенной аккумуляторной батарее, искрение в контактах стартера при пуске двигателя, нарушение контактных соединений в цепи возбуждения. В связи с этим повышенные требования предъявляются к цепям фильтрации управляющих напряжений и прежде всего к выходному транзистору, который должен выдерживать возникающие

при аномальных режимах импульсные перегрузки по напряжению, способные достигать 150... 200 В.

Интегральные регуляторы напряжения могут быть применены при работе не только со щеточными генераторами электромагнитного возбуждения, но и с любыми другими генераторами, имеющими обмотку возбуждения, питаемую от бортовой сети. В частности, на тракторах МТЗ, Т-150К и других широкое распространение получили генераторы комбинированного возбуждения типа Г-306, 15.3701. Начальное возбуждение таких генераторов производится от постоянных магнитов, а регулирование напряжения осуществляется интегральным регулятором Я-112А, который воздействует на ток возбуждения (подмагничивания).

К достоинствам интегрального регулятора напряжения следует отнести не только его малые габаритные размеры и массу, но и высокую точность регулирования напряжения с незначительными колебаниями не более  $\pm 0,2$  В. Посредством терморезистора  $R_2$  производится коррекция напряжения генератора в зависимости от окружающей температуры. При повышении температуры напряжение генератора несколько снижается, а при ее понижении — возрастает.

Электрическая схема и рабочий процесс интегрального регулятора напряжения типа Я-120 практически не отличаются от рассмотренных для регулятора Я-112А. Разницу составляют лишь отличия номиналов элементов, прежде всего стабилитрона, обуславливающих применимость данного регулятора в генераторных установках с номинальным напряжением 28 В. Кроме того, некоторые модификации регулятора Я-120, в частности Я-120М, имеют вывод для подключения посезонного переключателя уровня регулируемого напряжения.

## **1.3. Аккумуляторные батареи**

### **1.3.1. Общие сведения**

Аккумуляторные батареи, используемые в системах электроснабжения транспортных и транспортно-технологических машин, выполняют роль источника электрической энергии, обеспечивающего питание потребителей при неработающем двигателе или недостаточной мощности генератора в заданном нагрузочном режиме. Тип аккумуляторной батареи исходя из ее рабочих характеристик определяется условиями разряда батареи в стартерном режиме при пуске двигателя. Аккумуляторные батареи, рассчитанные на восприятие нагрузки от системы электростартерного пуска двигателя, называются стартерными. Аккумуляторная батарея komponуется из соединенных последовательно аккумуляторов, как правило шести, каждый из которых представляет собой химический источник тока.

В отличие от гальванических элементов, допускающих однократный разряд, аккумуляторы имеют свойство многократного повторения разрядно-зарядных циклов при длительном сохранении эксплуатационных характеристик.

К стартерным аккумуляторным батареям предъявляются следующие основные требования:

- способность отдачи больших разрядных токов при возможно меньшем падении напряжения, особенно при низких температурах;
- минимальное внутреннее сопротивление;
- быстрое восстановление емкости в процессе заряда;
- возможно большая емкость при наименьших габаритных размерах и массе;
- высокая надежность при минимальной трудоемкости обслуживания;
- безвредность для окружающей среды, отсутствие агрессивного воздействия на автотракторные материалы;
- минимальная стоимость.

Исходя из перечисленных требований в автотракторном электрооборудовании могут быть применены аккумуляторные батареи на базе свинцовых кислотных или щелочных аккумуляторов.

Щелочные аккумуляторы могут быть железоникелевыми, никель-кадмиевыми, серебряно-цинковыми, литий-галлидовыми.

Основным достоинством железоникелевых и никель-кадмиевых аккумуляторов является их высокая долговечность — количество рабочих разрядно-зарядных циклов достигает 1 500 и более. В то же время высокое удельное сопротивление материалов пластин, а также щелочного электролита по сравнению с кислотным определяют значительное внутреннее сопротивление таких аккумуляторов. Это обстоятельство является главным препятствием на пути их использования в качестве стартерных. Кроме того, указанные аккумуляторы несколько дороже свинцовых и требуют более высоких затрат на обслуживание в процессе эксплуатации.

Серебряно-цинковые аккумуляторы имеют очень малую величину внутреннего сопротивления, благодаря чему их можно было бы использовать в качестве стартерных, однако они имеют высокую стоимость и небольшой срок службы. Количество рабочих циклов разряда-заряда обычно не превышает 100 — 150 [5], что при эксплуатации определяет их работоспособность в течение 8 — 10 мес.

Существенным недостатком щелочных железоникелевых и никель-кадмиевых аккумуляторов, препятствующим их применению на транспортных машинах, может рассматриваться «эффект памяти», заключающийся в снижении емкости и энергозапаса при заряде после неполного разряда. Для восстановления энергозапаса таких аккумуляторов требуется проведение нескольких контрольно-тренировочных циклов полного разряда с последующим полным зарядом.

Данного недостатка лишены свинцовые кислотные и некоторые типы щелочных аккумуляторов.

Литий-галлидовый аккумулятор, не имеющий значимого «эффекта памяти», имеет относительно малую величину внутреннего сопротивления и достаточно длительный срок службы, однако в настоящее время его конструкция для стартерного исполнения находится в стадии разработки.

Наибольшее распространение в качестве стартерных получили свинцовые кислотные аккумуляторные батареи, имеющие относительно малую величину внутреннего сопротивления, а также достаточно большой срок службы, составляющий величину порядка 300—400 циклов [5]. Отсутствие «эффекта памяти» позволяет проводить заряд таких аккумуляторов при любой степени их разряженности.

### **1.3.2. Физико-химический процесс свинцового кислотного аккумулятора**

Свинцовый кислотный аккумулятор является химическим возобновляемым источником тока, работающим согласно следующей структурной схеме [10]:



В данном случае в качестве восстановителя используется губчатый свинец Pb, а в качестве окислителя — диоксид свинца PbO<sub>2</sub>.

Электролитом служит водный раствор серной кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> плотностью 1,22... 1,3 кг/л в зависимости от климатической зоны эксплуатации. Условная запись рассматриваемой электрохимической системы может быть представлена в виде



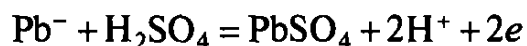
Физико-химические процессы, происходящие в кислотном аккумуляторе, основаны на явлении поляризации электродов при электролизе, т.е. создании разницы потенциалов между электродами. При погружении в электролит пластины из губчатого свинца от активной массы будут отщепляться положительно заряженные ионы свинца и переходить в электролит. При этом пластина будет накапливать отрицательный потенциал. По мере протекания такого процесса будет возрастать разность потенциалов пластины и электролита, следовательно, будет увеличиваться давление растворенных в электролите положительных ионов свинца на пластину (осмотическое давление). Вследствие увеличения осмотического давления переход положительных ионов свинца в электролит замедлится и в определенный момент времени прекратится, так как произойдет равно-



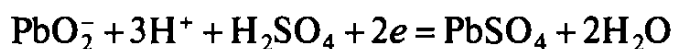
весие между силой электростатической упругости растворения свинца, с одной стороны, и силами, обусловленными действиями электростатического поля и давления растворенных в электролите положительных ионов, — с другой. Пластина аккумулятора при этом считается заряженной.

При погружении в электролит положительной пластины с активной массой из диоксида свинца активная масса в ограниченном количестве будет переходить в электролит, где при соединении с водной частью электролита ионизируется на четырехвалентные ионы свинца  $Pb^{4+}$  и одновалентные отрицательные ионы гидроксида  $OH^-$ . Четырехвалентные ионы свинца, осаждаясь на активной массе пластины, образуют положительный потенциал пластины относительно электролита. Равновесие сил, стимулирующих и замедляющих рассматриваемый процесс ионизации, происходит таким же образом, как и для случая погружения в электролит отрицательной пластины. Сернокислотная часть электролита диссоциирует в воде на ионы  $H^+$  и  $HSO_4^-$ . В связи с этим химическая реакция в аккумуляторе при его разряде может быть описана следующими уравнениями:

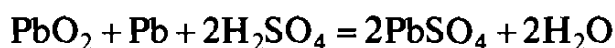
на отрицательной пластине



на положительной пластине



общая токообразующая реакция в аккумуляторе



При разряде аккумулятора сернокислотная часть электролита расходуется на образование воды и сульфата свинца на пластинах аккумулятора (рис. 1.9). При заряде аккумулятора химическая реакция протекает в обратном направлении.

Одним из основных показателей, характеризующих степень разряженности аккумулятора, является плотность электролита, которая повышается по мере заряда аккумулятора и снижается по мере его разряда.

Рабочий процесс свинцового кислотного аккумулятора помимо основной рассмотренной реакции сопровождается также нежелательными побочными реакциями, уменьшающими КПД рабочих процессов и снижающими работоспособность аккумуляторной батареи. Одной из таких побочных реакций является электролиз водной части электролита, в результате которого на пластинах аккумулятора происходит газовыделение кислорода на положительной и водорода на отрицательной. Газовыделение на пластинах происходит главным

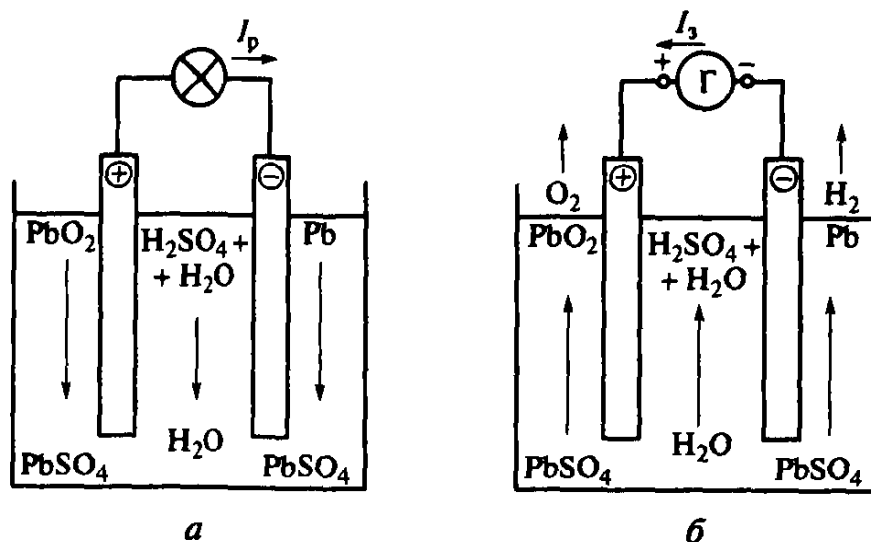


Рис. 1.9. Схема рабочего процесса свинцового кислотного аккумулятора: *a* – при разряде; *б* – при заряде;  $I_p$ ,  $I_3$  – сила тока разряда и заряда соответственно

образом при заряде аккумулятора, а также в небольшой степени при их хранении в рабочем состоянии и разряде. Этот процесс определяется разностью между потенциалом пластины и напряжением начала газовыделения (перенапряжением газа). Чем больше перенапряжение газа, тем интенсивнее идет газовыделение. На величину напряжения начала газовыделения большое влияние оказывают примеси некоторых металлов, содержащиеся в материале активной массы пластин. При этом активная масса пластин аккумулятора должна содержать примеси, повышающие напряжение начала газовыделения, иначе раннее начало газовыделения будет приводить к быстрому снижению уровня электролита и необходимости частой его доливки.

### 1.3.3. Конструкция аккумуляторных батарей

Как указывалось ранее, аккумуляторная батарея состоит из нескольких (как правило, шести) последовательно соединенных аккумуляторов. Все токоведущие части батареи выполняются из металла, стойкого к воздействию серной кислоты.

*Пластины* аккумуляторов отливаются из свинцовых сплавов в виде прямоугольных профилированных решеток, в которые вмазывается паста, образующая при формировании пластины ее активную массу. Активная масса положительных пластин в большей степени участвует в химических превращениях, отчего решетки таких пластин более подвержены коррозии и для придания им большей прочности выполняются более толстым сечением. Общая толщина заполненных активной массой пластин зависит от расчетных нагрузочных режимов и срока службы батареи и находится в пределах 1,5... 2,6 мм.

При этом большая величина относится к аккумуляторным батареям, устанавливаемым на автомобилях с дизелями [36].

Для улучшения стартерных характеристик аккумуляторных батарей желательно увеличение суммарной площади поверхности активной массы, что обычно достигается увеличением числа пластин в аккумуляторе при уменьшении их толщины до размера, обеспечивающего их механическую прочность. Решетка пластины должна обеспечивать равномерное распределение плотности тока по всей поверхности активной массы, в связи с чем наиболее желательна форма пластины близкая к квадратной.

Посредством бареток положительные и отрицательные пластины объединяются в соответствующие *полублоки* (рис. 1.10). Баретка имеет борн 2 и мостик 3, к которому припаиваются ушки пластин с требуемым расстоянием между пластинами. Борн является токоотводящим электродом полублока пластин.

Пластины в полублоках соединяются параллельно. Число пластин и их размеры определяют суммарную площадь активной массы пластин полублока, что, в свою очередь, определяет емкость аккумулятора. Полублоки пластин объединяются в *блоки*, где положительные и отрицательные пластины разделяются сепараторами 1. Как указывалось ранее, активное вещество положительных пластин в большей степени участвует в химической реакции. При симметричной электрохимической нагрузке на положительные пластины они меньше деформируются. Исходя из того что крайние пластины блока работают практически только одной внутренней стороной, целесообразно отрицательные полублоки пластин изготавливать с числом пластин на одну больше, чем у положительных полублоков. При этом крайними в блоке являются отрицательные пластины.

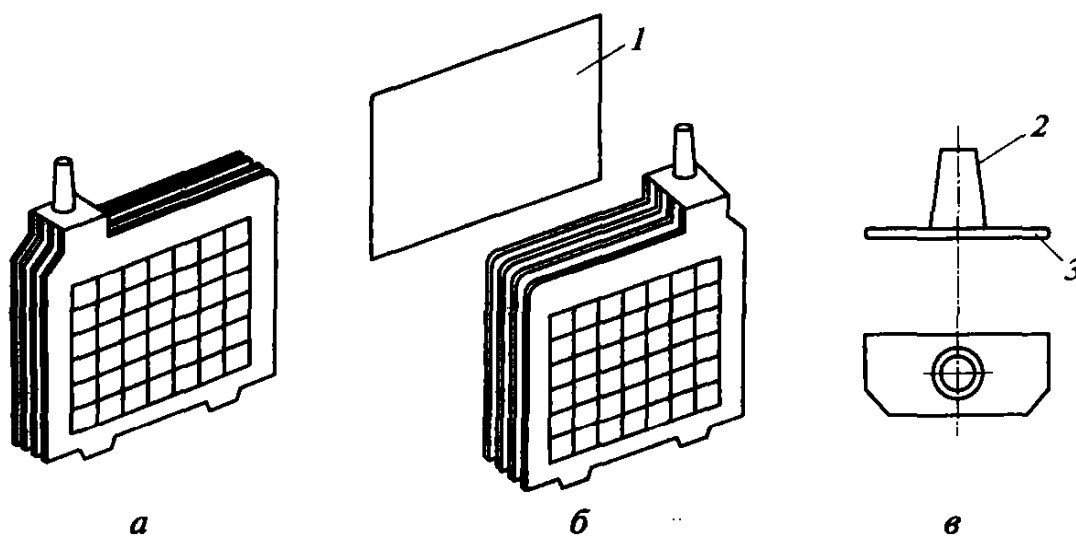


Рис. 1.10. Полублоки пластин:

*a* — положительных; *b* — отрицательных; *в* — баретка; 1 — сепаратор; 2 — борн; 3 — мостик

Основным назначением *сепаратора* является электрическая изоляция пластин полублоков разноименной полярности. Сепараторы должны изготавливаться из нейтрального кислотостойкого механически прочного материала. Способность отдачи больших разрядных токов при возможно меньшем падении напряжения в значительной мере зависит от возможности циркуляции электролита между порами активной массы положительных и отрицательных пластин аккумулятора, в связи с чем к материалу сепаратора предъявляется требование высокой пористости. В современных условиях производства в качестве материала сепараторов используется мипор, мипласт и поровинил. Мипор, или микропористый эбонит, изготавливается на основе натурального каучука с органическими добавками. Мипласт, или микропористый полихлорвинил, имеет в своей основе полихлорвиниловую смолу. Промышленно выпускаемые сепараторы из указанных материалов имеют толщину от 1,1 до 1,9 мм с интервалом 0,2 мм [36].

Наиболее высокой пористостью обладают поровиниловые сепараторы, изготавливаемые на основе полихлорвиниловой смолы с добавками циклогексана и крахмала. Использование таких сепараторов позволяет повысить разрядную мощность аккумуляторной батареи при низких температурах.

Аккумуляторная батарея имеет конструктивное исполнение в виде *моноблока*, разделенного герметичными перегородками на три или шесть ячеек. В каждой из ячеек размещается блок пластин аккумуляторов.

Моноблоки стартерных аккумуляторных батарей изготавливают из материалов, обеспечивающих герметичность, теплоустойчивость и морозоустойчивость, кислотоупорную стойкость, механическую прочность. Обычно в качестве таких материалов может использоваться эбонит, термопласт, полипропилен, полистирол. В современных условиях наиболее предпочтительными являются полиэтилен и полипропилен, допускающие определенную степень прозрачности.

Научные исследования, направленные на совершенствование эксплуатационных и конструктивных свойств аккумуляторов, привели к созданию аккумуляторных батарей, не требующих эксплуатационных расходов (*необслуживаемых аккумуляторных батарей*). Основной задачей при этом являлось ограничение электролиза водной части электролита путем поднятия напряжения начала газовой выделения при выполнении решеток пластин из соответствующих сплавов, снижающих электролиз воды.

Для повышения механической прочности свинцовых решеток пластин в сплав свинца добавляется сурьма в количестве 4,5... 6 % от общей массы, однако такая добавка способствует снижению напряжения начала газовой выделения, что приводит к раннему началу «кипения» аккумулятора и необходимости периодической доливки дистиллированной воды в электролит. Изготовление решеток пластин из

свинца с добавками кальция и олова повышает напряжение начала газовой выделения без заметного снижения их механической прочности, однако при этом значительно возрастает риск разрушения аккумулятора при глубоких разрядах.

В качестве оптимального решения при создании необслуживаемых аккумуляторных батарей было признано целесообразным для изготовления решеток положительных пластин использовать свинцовый сплав с добавкой 1,25 % сурьмы и 1,5 % кадмия, для решеток отрицательных пластин — свинцово-кальциево-оловянистый сплав [10].

Пластины одной полярности, как правило положительные, помещаются в конвертообразных сепараторах. Это позволяет разместить блок пластин на дно ячейки моноблока, так как осыпание отработавшего шлама от активной массы не может привести к их короткому замыканию. Верхняя граница уровня электролита должна быть на высоте не менее 35...40 мм над верхней границей решеток. Это необходимо для того, чтобы пузырьки газов, возникающие от сведенного к минимуму электролиза воды, при заряде аккумулятора, не доходя до верхней части электролита, растворялись в его составе. Такая конструкция позволяет почти полностью исключить испарение водной части электролита.

Соединение аккумуляторов в батарее осуществляется через перегородки моноблока. Такое решение способствует экономии материалов на изготовление межэлементных перемычек, снижению внутреннего сопротивления батареи, однако не позволяет контролировать состояние работоспособности каждого аккумулятора посредством нагрузочной вилки. Снижению внутреннего сопротивления батареи также способствует использование в материале решеток свинцово-кальциево-оловянистых сплавов и сплавов с малым содержанием сурьмы.

Для предотвращения инверсного (обратного) включения аккумуляторной батареи размеры положительного и отрицательного выводов имеют соответствующую маркировку и разные стандартизированные размеры.

Конструкция и параметры выпускаемых промышленностью аккумуляторных батарей стандартизированы, в соответствии с действующей системой стандартизации принята следующая система их *маркировки*. Первая цифра (3 или 6) означает число последовательно соединенных аккумуляторов в батарее, в соответствии с чем можно определить ее номинальное напряжение (6 или 12 В), буквы СТ означают, что батарея может работать в стартерном режиме разряда. Последующие цифры определяют номинальную емкость в 20-часовом режиме разряда в ампер-часах (А·ч). Следующие буквы содержат сведения о материалах моноблока (Э — эбонит, Т — термопласт, П — полипропилен, полиэтилен) и сепараторов (М — мипласт, Р — мипор, С — стекловолокно, П — пластипор). Например, батарея

6СТ55ТР: число аккумуляторов — 6; номинальное напряжение — 12 В; номинальная емкость — 55 А · ч в 20-часовом разрядном режиме; материал моноблока — термопласт; материал сепараторов — мипор.

#### **1.3.4. Состав электролита для кислотных аккумуляторов**

Как указывалось ранее, в качестве электролита в свинцовых кислотных аккумуляторах используется водный раствор серной кислоты  $H_2SO_4$  плотностью 1,22... 1,3 кг/л в зависимости от температуры среды, которая определяется временем сезона и характеристикой климатической зоны.

К химическому составу кислоты, используемой для приготовления электролита, предъявляется ряд требований исходя из необходимости ликвидации каких-либо побочных химических процессов взаимодействия материалов решеток и активной массы пластин с содержащимися в электролите примесями. Такими примесями, способными вызывать реакции, сопровождаемые снижением работоспособности аккумулятора с последующим разрушением решеток пластин, могут быть различные соли железа, алюминия, меди, органических соединений. В то же время наличие примесей сурьмы, олова, кальция в электролите практически не вызывает нежелательных явлений в работе свинцовых аккумуляторов.

Серная кислота, применяемая для приготовления электролита, должна иметь маркировку «Аккумуляторная» — это означает, что в данной кислоте отсутствуют нежелательные для свинцовых аккумуляторов примеси, но могут содержаться другие элементы, не влияющие на работу аккумуляторов. В некоторых случаях допускается использование кислоты с маркировкой «Чистая», однако при этом по сопроводительной ведомости содержания примесей необходимо проводить проверку отсутствия нежелательных примесей, прежде всего солей железа и алюминия. Такие же требования химической чистоты предъявляются и к водной части электролита. Для разведения кислоты до требуемой плотности используется дистиллированная вода, приготовленная по технологии, исключающей любой ее контакт с металлическими или содержащими соединения металлов поверхностями. Хранение электролита и его составляющих производится в стеклянных или пластиковых резервуарах. При приготовлении электролита необходимо вливание кислоты в воду, а не наоборот во избежание закипания и разбрызгивания электролита.

При эксплуатации аккумуляторов должна быть исключена возможность контакта с электролитом любых металлических, прежде всего железосодержащих, предметов для исключения безвозвратного разрушения пластин.

Плотность электролита, заливаемого в аккумуляторы и находящегося в заряженном аккумуляторе, зависит от времени года и клима-

Таблица 1.1

**Плотность электролита, соответствующая климатическим зонам**

Климатический район	Средняя зимняя температура воздуха	Время года	Плотность электролита при +25 °С, кг/л	Рекомендуемое напряжение генератора, В
Очень холодный	-50...-30	Зима	1,30	14,8
		Лето	1,26	13,8
Холодный	-30...-15	Круглогодично	1,28	14,2
Умеренный	-15...-8	»	1,27	14,0
Теплый	-10...-4	»	1,26	13,8
Жаркий	-4...0	»	1,25	13,6

тической зоны, характеризуемой изменением среднемесячной температуры (табл. 1.1). В районах с большой разницей зимних и летних температур требуется сезонная коррекция плотности электролита и напряжения генератора.

**1.3.5. Основные характеристики аккумуляторной батареи**

Электродвижущая сила аккумуляторной батареи  $E_6$ , состоящей из нескольких последовательно соединенных аккумуляторов  $n_a$ , определяется как произведение ЭДС одного аккумулятора  $E$  на число аккумуляторов:

$$E_6 = En_a.$$

Электродвижущая сила аккумулятора зависит только от физико-химических свойств веществ, участвующих в электрохимическом процессе данного источника тока, и не зависит от массы активных материалов, формы и размеров электродов. Электродвижущая сила аккумулятора определяется как разность равновесных потенциалов положительного  $\varphi^+$  и отрицательного  $\varphi^-$  электродов

$$E = \varphi^+ - \varphi^-$$

В отсутствие тока разряда, вследствие чего она всегда положительна.

Потенциал электрода  $\varphi$  есть разность между потенциалом данного электрода и потенциалом эталонного электрода сравнения, в качестве которого используется электрод из пластины, частично погру-

женной в сернокислотный электролит с определенными параметрами плотности, давления и температуры.

При разряде аккумулятора и соответственном уменьшении его ЭДС потенциалы электродов сближаются, при заряде — раздвигаются. Для проведения инженерных расчетов ЭДС свинцового кислотного аккумулятора с достаточной достоверностью может быть определена по формуле [2]

$$E = 0,84 + \rho_{25},$$

где  $\rho_{25}$  — величина, выраженная в вольтах, численно равная плотности электролита, кг/л, приведенной к температуре +25 °С.

**Напряжение аккумуляторной батареи** при разряде любого аккумулятора  $U_a^p$  ниже ЭДС  $E$  на величину падения напряжения, обусловленного величинами разрядного тока  $I_p$  и сопротивления нагрузки  $R_n$ :

$$U_a^p = E - I_p R_n.$$

При заряде аккумулятора зарядное напряжение  $U_a^z$  выше ЭДС на величину падения напряжения от прохождения зарядного тока  $I_z$  через аккумулятор:

$$U_a^z = E + I_z R_a,$$

где  $R_a$  — внутреннее сопротивление аккумулятора.

**Внутреннее сопротивление аккумулятора**  $R_a$  можно рассматривать в виде двух составляющих:

$$R_a = R_o + R_n,$$

где  $R_o$  — омическое сопротивление, определяемое суммой сопротивлений электролита  $R_{эл}$ , сепараторов  $R_c$ , активной массы  $R_m$ :

$$R_o = R_{эл} + R_c + R_m;$$

$R_n$  — сопротивление электродной поляризации аккумулятора.

**Поляризация** есть изменение потенциала электрода под действием прохождения тока от исходного равновесного потенциала  $\phi$  (без тока) до нового потенциала  $\phi_1$  (под током). В качестве измерителя поляризации может рассматриваться модуль разности потенциалов электродов аккумулятора под током и без него:

$$M_n = |\phi_1 - \phi|.$$

Так как электродами аккумулятора являются полублоки положительных и отрицательных пластин, модуль разности потенциалов



будет существовать для каждого вида полублоков, что можно рассматривать как  $M_{\pi}(+)$  и  $M_{\pi}(-)$ . Сумма модулей  $M_{\pi}(+)$  и  $M_{\pi}(-)$  есть ЭДС поляризации аккумулятора:

$$E_{\pi} = M_{\pi}(+) + M_{\pi}(-).$$

Поляризация аккумулятора обусловлена рядом причин, среди которых местные изменения концентрации электролита вблизи поверхностей пластин; пассивация пластин, т. е. образование на рабочих поверхностях небольших слоев сульфата свинца; затраты энергии на восстановление кристаллов оксида свинца на положительных пластинах и т. д. В значительной мере поляризация зависит от плотности токов (заряда или разряда), приходящихся на единицу суммарной площади активной массы, соответствующей полярности полублока пластин. Так как процесс поляризации аккумуляторной батареи при прохождении через нее тока приводит к дополнительным потерям энергии, сопротивление поляризации  $R_{\pi}$  можно рассматривать как часть общего сопротивления аккумулятора  $R_a$ , т. е. как отношение суммы модулей разности потенциалов пластин аккумулятора к соответствующему току. Сопротивление поляризации:

при разряде аккумулятора

$$R_{\pi,р} = \frac{M_{\pi}(+) + M_{\pi}(-)}{I_p};$$

при заряде аккумулятора

$$R_{\pi,з} = \frac{M_{\pi}(+) + M_{\pi}(-)}{I_з}.$$

Напряжение аккумулятора при его разряде  $U_p$  и заряде  $U_з$

$$U_p = E - I_p(R_0 + R_{\pi,р}); \quad U_з = E + I_з(R_0 + R_{\pi,з}).$$

Процесс поляризации аккумулятора носит неустановившийся, изменяющийся во времени характер, связанный с нарушением равновесного состояния электролита после подключения тока к аккумулятору и стремлением электролита после такого включения к переходу в равновесное состояние. Длительность и величина сопротивления поляризации зависит от величины тока и окружающей температуры. Обычно длительность поляризации протекает в течение нескольких секунд.

При нагружении аккумуляторной батареи стартерными токами с увеличением тока разряда время и величина сопротивления поляризации уменьшаются. Снижение величины  $R_{\pi,р}$  при увеличении разрядного тока происходит по зависимости, близкой к экспоненциаль-

ной. При понижении температуры увеличивается вязкость электролита, в результате чего время поляризации и величина  $R_{п.р}$  увеличиваются. Так как батарею можно рассматривать в виде цепи последовательно соединенных аккумуляторов, сопротивление поляризации батареи есть произведение сопротивления поляризации одного аккумулятора на число аккумуляторов  $n_a$ :

$$\text{при разряде } R_{п.р}^6 = R_{п.р} n_a;$$

$$\text{при заряде } R_{п.з}^6 = R_{п.з} n_a.$$

**Омическое сопротивление батареи**  $R_0^6$  определяется суммой сопротивлений электролита в аккумуляторах  $R_{эл}$ , сепараторов  $R_c$ , активной массы  $R_m$ , соединительных элементов  $R_3$ :

$$R_0^6 = R_{эл} + R_c + R_m + R_3.$$

Данное сопротивление носит более стабильный характер, мало изменяющийся с течением времени при разряде или заряде батареи. При разряде батареи омическое сопротивление увеличивается, при заряде — уменьшается, зависимость близка к экспоненциальной, повышение температуры при неизменной степени разряженности батареи вызывает снижение ее омического сопротивления. Соответственно при снижении температуры батареи ее омическое сопротивление возрастает, что прежде всего объясняется увеличением сопротивления электролита, которое при изменении температуры от +30 до  $-40^\circ\text{C}$  увеличивается более чем в 8 раз [10].

**Емкость аккумуляторной батареи** в разрядном режиме  $C_p$  можно рассматривать как количество электричества  $Q_p$ , которое можно получить от полностью заряженной батареи при ее разряде до определенного конечного напряжения за время разряда  $T_p$ . Количество электричества, выделяемое во внешнюю цепь:

$$Q_p = \int_0^{T_p} I_p dT.$$

Соответственно полная разрядная емкость может рассматриваться как максимальное количество электричества, выделяемое за время разряда.

Если величина разрядного тока постоянная, то разрядная емкость аккумуляторной батареи может быть представлена в виде произведения

$$C_p = I_p T_p.$$

Согласно действующим нормативным требованиям определение номинальной емкости аккумуляторной батареи производится при непрерывном 20-часовом разряде током  $I_p = 0,05 C_{20}$  при температу-

ре электролита  $t_{эл} = +25^\circ\text{C}$  до напряжения 1,75 В на одном аккумуляторе.

Аналогичным образом определяется зарядная емкость батареи  $C_3$  при постоянном зарядном токе

$$C_3 = I_3 T_3,$$

где  $T_3$  — время заряда батареи.

В последовательную цепь батареи можно включать аккумуляторы только одной емкости. В эксплуатации при уменьшении емкости одного из аккумуляторов от каких-либо причин он выходит из строя, вызывая отказ в работе всей батареи.

Емкость аккумуляторных батарей измеряется в ампер-часах. Для сравнения с емкостью электрических конденсаторов, измеряемой в фарадах, можно получить следующее соотношение. Как известно,  $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$  или  $1 \text{ А} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Кл}$ . По определению [35]  $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В}$ . При переводе количества электричества за 1 ч при напряжении 1 В получается, что  $1 \text{ А} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Ф}$  и аккумуляторную батарею емкостью  $55 \text{ А} \cdot \text{ч}$  можно заменить батареей конденсаторов емкостью  $198\,000 \text{ Ф}$ , что в современных условиях займет объем порядка  $10 \text{ м}^3$ .

На емкость аккумуляторов в значительной мере оказывают влияние такие факторы, как разрядный и зарядный токи, плотность и температура электролита, размеры пластин, характеристики разрядно-зарядного режима и др.

При повышении разрядного тока происходит значительное снижение емкости аккумуляторной батареи вследствие поляризационной пассивации некоторой площади активной массы пластин из-за отложений на поверхности пластин сульфата свинца, в результате чего некоторая часть рабочей площади пластин изолируется от циркуляции электролита. Чем выше разрядный ток, тем активнее протекает рассмотренный процесс, тем заметнее снижение емкости батареи.

Емкость аккумуляторной батареи уменьшается при снижении окружающей температуры, что связано с увеличением вязкости электролита и замедлением его проникновения в поры активной массы пластин. При этом уменьшается степень электролитической диссоциации, отчего возрастает внутреннее сопротивление электролита  $R_{эл}$  и, следовательно, омическое сопротивление  $R_0^6$  батареи, что способствует дополнительному падению ее напряжения при питании нагрузки.

С учетом поправки на изменение температуры окружающей среды емкость аккумуляторной батареи  $C_T$  можно определить по формуле

$$C_T = C_{25} [I + \alpha(t_{эл} - 25)],$$

где  $C_{25}$  — номинальная разрядная емкость батареи при температуре  $+25^\circ\text{C}$ ,  $\text{А} \cdot \text{ч}$ ;  $I$  — разрядный ток батареи,  $\text{А}$ ;  $\alpha$  — температурный ко-

коэффициент изменения емкости, обычно  $\alpha = 0,01$ ;  $t_{эл}$  — температура электролита, °С.

С увеличением пористости активных масс пластин и сепараторов улучшаются процессы диффузии электролита, что обуславливает повышение емкости батареи. Повышение емкости батареи возможно за счет уменьшения толщины пластин аккумуляторов, что способствует более равномерной работе наружных и внутренних слоев активной массы, однако уменьшение толщины пластин не должно осуществляться за счет снижения механической прочности решеток.

При разряде аккумуляторов происходит снижение плотности их электролита. По разности между существующей плотностью электролита  $\rho$  и номинальной  $\rho_n$ , соответствующей полностью заряженному аккумулятору при температуре  $+25^\circ\text{C}$ , можно определить степень его разряженности

$$\Delta C_p = \frac{\rho - \rho_n}{0,16} 100 \%$$

В эксплуатации повышением плотности электролита можно достичь некоторого увеличения емкости аккумуляторов, однако это снизит срок их службы вследствие активизации химической реакции, ускоряющей разрушение активной массы.

Существенное влияние на емкость аккумуляторов оказывает разрядно-зарядный режим. При больших токах разряда или заряда емкость снижается в результате действия поляризационных процессов. При наличии «отдыха» при прерывистых циклах разряда емкость батареи повышается.

**Энергозапас аккумуляторной батареи** есть максимальное количество энергии, выделяемое во внешнюю цепь при разряде батареи от начального  $U_{н.р}$  до конечного  $U_{к.р}$  напряжения за время  $T_p$ :

$$W_p = \int_0^{T_p} U_p I_p dT.$$

При принятии допущения о равенстве разрядного напряжения  $U_p$  полусумме начального  $U_{н.р}$  и конечного  $U_{к.р}$  напряжений, а также при проведении разряда батареи током постоянной величины, можно получить следующее выражение для определения энергозапаса батареи:

$$W_p = U_{с.р} I_p T_p = U_{с.р} C_p,$$

где  $U_{с.р}$  — среднее разрядное напряжение батареи,  $U_{с.р} = 0,5(U_{н.р} + U_{к.р})$ .

Аналогичным образом можно определить энергию, необходимую для заряда батареи при токе постоянной величины:

$$W_3 = U_{c.3} I_3 T_3 = U_{c.3} C_3,$$

где  $U_{c.3}$  — среднее зарядное напряжение батареи,  $U_{c.3} = 0,5(U_{н.3} + U_{к.3})$ ;  $U_{н.3}$ ,  $U_{к.3}$  — соответственно начальное и конечное зарядное напряжение.

По отношению величин  $W_p$  и  $W_3$  можно получить коэффициент отдачи батареи по энергии

$$\eta_W = \frac{W_p}{W_3}.$$

Аналогично можно получить коэффициент отдачи батареи по емкости

$$\eta_C = \frac{C_p}{C_3}.$$

Определение необходимых данных для расчета коэффициентов  $\eta_W$  и  $\eta_C$  необходимо проводить при температуре электролита  $+25^\circ\text{C}$ . Коэффициенты отдачи характеризуют совершенство конструкции аккумуляторной батареи, при этом коэффициент отдачи по емкости, находящийся в пределах  $\eta_C = 0,94 \dots 0,96$  [5], учитывает потери на электролиз водной части электролита и на саморазряд аккумуляторов. Коэффициент отдачи по энергии  $\eta_W = 0,75 \dots 0,85$  [5] имеет несколько меньшую величину, поскольку он учитывает кроме указанных потери на тепловыделение и протекание неустановившихся процессов при включении и выключении батареи.

**Вольт-амперная и мощностная характеристики батареи** необходимы для определения показателей работы батареи, по которым возможна оценка ее работоспособности в режиме питания электрического стартера при пуске двигателя.

*Вольт-амперная характеристика* аккумуляторной батареи есть зависимость ее напряжения от величины разрядного тока  $U_6 = f(I_p)$ .

*Мощностная характеристика* представляет собой зависимость разрядной мощности батареи от разрядного тока  $P_6 = f(I_p)$ .

Для экспериментального определения указанных характеристик батарея включается на питание нагрузки аналогично включению аккумулятора с разницей в том, что сопротивление нагрузки  $R_n$  изменяется от бесконечно больших величин до нуля. По показаниям амперметра и вольтметра производится построение вольт-амперной характеристики  $U_6 = f(I_p)$ .

Мощность, выделяемая батареей при разряде, есть произведение напряжения батареи на разрядный ток:  $P_6 = U_6 I_p$ .

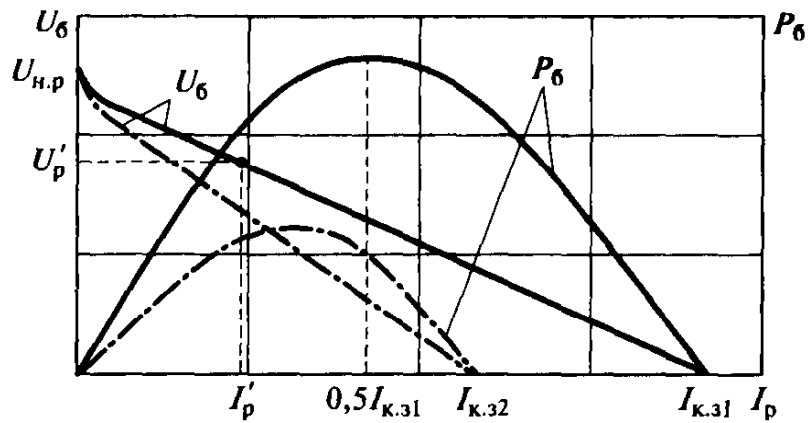


Рис. 1.11. Вольт-амперная и мощностная характеристики аккумуляторной батареи:

— — — — при температуре  $-25^{\circ}\text{C}$ ; — — — — при температуре  $+25^{\circ}\text{C}$

Как видно из рис. 1.11, вольт-амперная характеристика близка к линейной зависимости, а мощностная — к параболической.

На протекание разрядных процессов в аккумуляторах батареи значительное влияние оказывает температура электролита, в связи с чем снятие указанных характеристик целесообразно проводить при нескольких температурных значениях, в частности необходимы характеристики, снятые при температуре  $+25^{\circ}\text{C}$ , а также при отрицательной температуре. При понижении температуры электролита наблюдается значительное снижение величины тока короткого замыкания  $I_{к.з}$  и мощности, выделяемой при разряде батареи.

Незначительная нелинейность вольт-амперной характеристики наблюдается при небольшом токе разряда  $I_p$  и когда разрядный ток близок к току короткого замыкания  $I_{к.з}$ . Наличие таких участков объясняется нелинейностью внутреннего сопротивления батареи за счет изменения его поляризационной составляющей (в начале — при переходе электролита в равновесное состояние, в конце — за счет значительной пассивации активной массы пластин).

Наличие нелинейных участков на вольт-амперной характеристике батареи в весьма незначительной мере затрагивает величины показателей работы батареи, в связи с чем с достаточной для инженерных расчетов точностью экспериментальную вольт-амперную характеристику можно заменить линейной, проходящей по двум точкам: начальному разрядному напряжению  $U_{н.р}$  и току короткого замыкания  $I_{к.з}$ . Прямая, проведенная через указанные точки, является расчетной вольт-амперной характеристикой батареи.

Внутреннее сопротивление батареи  $R_6$  по такой характеристике есть отношение начального разрядного напряжения  $U_{н.р}$  к току короткого замыкания:

$$R_6 = \frac{U_{н.р}}{I_{к.з}}$$

Поскольку  $U_6 = R_6 I_p$ , активная мощность батареи при ее разряде

$$P_6 = U_6 I_p = I_p^2 R_6,$$

где  $R_n$  — сопротивление нагрузки.

Текущее напряжение батареи  $U_6$  есть разность между начальным разрядным напряжением и падением напряжения от нагрузки:

$$U_6 = U_{н.р} - I_p R_6.$$

Учитывая, что  $U_6 = I_p R_6$ ,

$$U_{н.р} = I_p (R_6 + R_n) \text{ или } I_p = \frac{U_{н.р}}{R_6 + R_n}.$$

Тогда мощность батареи  $P_6 = I_p^2 R_6$  можно определить по формуле

$$P_6 = \frac{U_{н.р}^2 R_6}{(R_6 + R_n)^2},$$

из которой видно, что максимальная мощность батареи может быть достигнута при равенстве сопротивлений нагрузки и батареи:  $R_n = R_6$ .

$$\text{Отсюда } P_{6\max} = \frac{U_{н.р}^2}{4R_6} = \frac{U_{н.р} I_{к.з}}{4}, \text{ поскольку } R_6 = \frac{U_{н.р}}{I_{к.з}}.$$

При этом максимальной мощности батареи соответствуют ток  $I_p = 0,5 I_{к.з}$  и напряжение  $U_6 = 0,5 U_{н.р}$ .

Определенную трудность в построении вольт-амперных характеристик составляет экспериментальное определение тока короткого замыкания батареи  $I_{к.з}$ . Однако его можно рассчитать, получив экспериментально координаты какой-либо точки ( $U'_p$ ;  $I'_p$ ) на характеристике.

При принятии допущения о линейности вольт-амперной характеристики ток короткого замыкания

$$I_{к.з} = I_+ n_+ = \frac{U_{н.р} I_p}{U_{н.р} - U_p},$$

где  $I_+$  — условный ток короткого замыкания, приходящийся на одну положительную пластину;  $n_+$  — число положительных пластин в одном аккумуляторе.

С учетом поправок на изменение температуры электролита  $t_{эл}$  и степени разряженности батареи ее условное начальное напряжение,

приведенное к температуре электролита +25 °С, определяется по формуле [2]

$$U_{н.р} = m(2,02 + 0,00136t_{эл} - 0,001\Delta C_p),$$

где  $m$  — число аккумуляторов в батарее;  $\Delta C_p$  — степень разряженности батареи, %.

### 1.3.6. Заряд аккумуляторных батарей

Осуществление заряда аккумуляторной батареи возможно при ее подключении к любому источнику постоянного тока, каким может быть генератор или выпрямительное зарядное устройство, с напряжением, превышающим напряжение батареи. Зарядный ток в таком случае для любого момента заряда может быть определен по формуле

$$I_3 = \frac{U_3 - U_6}{R_6 + R_{пр}},$$

где  $U_3$  — напряжение источника зарядного тока;  $U_6$  — напряжение батареи;  $R_6$  — внутреннее сопротивление батареи;  $R_{пр}$  — сопротивление подводящих проводов.

Величину  $R_{пр}$  можно принимать равной нулю, однако погрешность от такого допущения тем значительнее, чем длиннее провода и больше зарядный ток.

Из приведенной формулы видно, что заряд батареи может проводиться при соблюдении неравенства  $U_3 > U_6$ . При равенстве величин напряжений зарядного устройства и батареи ток, проходящий через батарею, равен нулю. Если напряжение  $U_3$  меньше величины  $U_6$ , то происходит разряд батареи.

При проведении заряда аккумуляторных батарей в качестве переменных величин могут быть зарядное напряжение  $U_3$  и зарядный ток  $I_3$ , в соответствии с чем в современной практике приняты следующие способы заряда батарей:

- при постоянном зарядном токе ( $I_3 = \text{const}$ ) зарядное напряжение переменное ( $U_3 = \text{var}$ );
- при постоянном зарядном напряжении ( $U_3 = \text{const}$ ) зарядный ток переменный ( $I_3 = \text{var}$ );
- комбинированный заряд при переменных величинах  $U_3$  и  $I_3$ .

Напряжение батареи по мере ее заряда повышается, постепенно приближаясь к предельной величине 2,5 В [1] на одном аккумуляторе и 15 В для батареи. Для батарей обычного типа при напряжении  $U_3 > 13,9 \dots 14,3$  В в аккумуляторах начинается газовыделение. При проведении заряда батареи, когда напряжение превышает 14,5 В, в аккумуляторах вследствие увеличения интенсивности электрохими-



ческих процессов значительно возрастает температура электролита, что вызывает коррозионные разрушения решеток пластин и снижение срока службы батареи, поэтому такой зарядный режим возможен при токе  $I_3$  не выше  $0,05C_{20}$ .

В автомобильных системах электроснабжения заряд аккумуляторных батарей происходит при постоянном напряжении. В связи с этим при подключении к системе значительно разряженной батареи ее начальный зарядный ток может достигать больших величин, однако по мере заряда батареи от генератора этот зарядный ток быстро уменьшается, не вызывая в аккумуляторах заметных разрушающих процессов. Кроме того, при низких температурах последствия от кратковременного заряда большими начальными токами приобретают еще меньшую значимость.

При наличии в системе электроснабжения аккумуляторной батареи среднее напряжение устанавливается на уровне, при котором не должно быть интенсивного газовыделения из аккумуляторов. Если исходить из того, что для районов с умеренным климатом с требуемой плотностью электролита 1,25... 1,27 кг/л газовыделение начинается при напряжении 2,3 В на аккумуляторе, среднее регулируемое напряжение генератора должно быть на уровне 13,8... 14 В. В таком случае будет осуществляться 90... 95%-ный уровень заряда батареи, что вполне допустимо для существующих условий эксплуатации транспортных машин. При наличии в системе электроснабжения аккумуляторной батареи с более высоким напряжением начала газовыделения среднее напряжение генератора может быть увеличено до уровня 14... 14,2 В для возможности осуществления более полного заряда батареи.

В случае необходимости осуществления заряда батареи в течение нескольких минут допускается проведение так называемого форсированного заряда токами, близкими по величине к стартерным. При этом основная опасность для аккумуляторов заключается в резком повышении температуры электролита и образовании очагов газовыделения на поверхностях активной массы пластин. При проведении форсированного заряда необходимо принимать меры, снижающие последствия от таких явлений, как охлаждение батареи, встряхивание ее, прерывание зарядного тока, его кратковременный реверс.

При проведении форсированных зарядов необходимо учитывать, что их частое повторение вызывает чрезмерное разрыхление активной массы, в результате чего заметно снижается срок службы батареи.

### **1.3.7. Неисправности аккумуляторов**

При эксплуатации аккумуляторных батарей в условиях внешних воздействий в аккумуляторах могут возникнуть неисправности, ухудшающие работу батареи либо выводящие ее из строя.

**К внешним неисправностям** можно отнести окисление или излом выводных клемм, повреждение корпуса батареи.

*Окисление выводных клемм* возникает вследствие контакта их металла с кислородом воздуха. Для предотвращения окисления при установке батареи на место эксплуатации следует нанести на клеммы защитное консистентное покрытие, например технический вазелин.

При *изломах выводных клемм* восстановление работоспособности батареи возможно путем наплавки таких клемм, что не всегда целесообразно из-за технических трудностей.

Устранить *повреждения корпуса* возможно путем заклепки трещин или сплавления их краев.

**К внутренним неисправностям** относятся необратимая сульфатация пластин, инверсия (или перемена полярности пластин), разрушение пластин, ускоренное выпадение активной массы с последующим коротким замыканием пластин, отрыв пластин от баретки.

*Необратимая сульфатация* представляет собой образование крупных кристаллов сульфата свинца, заполняющего поры активной массы пластин, в результате чего затрудняется контакт электролита с их поверхностью. Причинами необратимой сульфатации могут быть:

- длительный разряд стартерными токами;
- длительное хранение в разряженном состоянии в условиях положительных температур при снижении ЭДС одного аккумулятора ниже 1,95 В;
- наличие электролита высокой плотности, не соответствующей имеющимся условиям эксплуатации.

При прозрачном корпусе аккумуляторной батареи сульфатацию можно обнаружить в виде белого налета, покрывающего рабочую поверхность пластин.

В случае появления необратимой сульфатации резко возрастает внутреннее сопротивление аккумуляторов. При установке такой батареи на заряд в ее аккумуляторах газовыделение начинается при малой плотности электролита и небольших значениях зарядного тока. Возможность восстановления работоспособности батареи зависит от глубины проникновения кристаллов сульфата свинца в поры активной массы пластин.

В случае незначительной необратимой сульфатации для восстановления работоспособного состояния батареи следует зарядить ее токами  $I_3 = (0,001 \dots 0,005)C_{20}$  в течение 30... 50 ч до заметного повышения плотности электролита, после чего подключить батарею на заряд током  $I_3 = 0,05C_{20}$  до окончания заряда. При возникновении чрезмерной сульфатации пластин в одном из аккумуляторов батареи такие действия необходимо проводить отдельно для данного аккумулятора.

Большой эффект дает следующий способ восстановления работоспособности сульфатированных батарей [17]. Производится слив электролита из аккумуляторов с последующей промывкой и запол-

нением их дистиллированной водой. После этого батарея подключается на заряд током  $I_3 = 0,05C_{20}$ , который продолжается до достижения плотности образующегося в аккумуляторах электролита 1,12 кг/л. Далее производится повторный слив образовавшегося электролита и заполнение аккумуляторов дистиллированной водой. После этого батарея вновь подключается на заряд указанным током на период не менее 4 ч. При повышении плотности электролита в течение указанного времени такой цикл может быть повторен. Если повышения плотности электролита не происходит, то заряд батареи прекращается, электролит сливается, после чего производится заполнение аккумуляторов электролитом плотностью, требуемой для полностью заряженных аккумуляторов. Далее осуществляется заряд батареи током  $I_3 = 0,05C_{20}$  при напряжении 2,7 В на одном аккумуляторе в течение 2 ч.

*Инверсия*, или перемена полярности пластин, может возникнуть при глубоком разряде отдельных аккумуляторов батареи. Это происходит вследствие того, что один из аккумуляторов батареи, имеющий пониженную емкость, разряжается первым и при дальнейшем разряде других аккумуляторов начинает заряжаться в обратном направлении. Внешним проявлением такой неисправности является пониженное напряжение батареи.

Для восстановления работоспособности батареи инверсированный аккумулятор необходимо разрядить до нулевого напряжения и после этого подключить его на заряд по известному режиму током  $I_3 = 0,05C_{20}$ . Для повышения емкости такого аккумулятора допускается проведение одного или двух так называемых контрольно-тренировочных циклов разряда током  $I_p = 0,1C_{20}$  с последующим зарядом током  $I_3 = 0,05C_{20}$  до напряжения 2,7 В с наличием перезаряда в течение 2 ч.

*Разрушение пластин* аккумуляторов происходит вследствие их коррозии, причинами которой могут быть:

- наличие в электролите посторонних примесей;
- оголение пластин вследствие понижения уровня электролита;
- длительный перезаряд, особенно малыми токами;
- частое проведение контрольно-тренировочных циклов;
- длительное хранение сухозаряженных батарей в сухом без электролита состоянии (более 4 лет).

Наличие частых разрядов батарей стартерными токами, а также форсированных зарядов токами большой величины может вызвать коробление пластин аккумуляторов вследствие возникающей при этом неравномерности электрохимической реакции по поверхности пластин, что также способствует их разрушению.

*Ускоренное выпадение активной массы* положительных пластин может быть вызвано следующими причинами:

- длительные перезаряды, а также заряды при температуре электролита выше +40 °С;

- замерзание электролита;
- сильная вибрация;
- наличие в материале активной массы посторонних примесей.

Длительный перезаряд батарей возникает при повышенном напряжении бортовой сети вследствие нарушения работы регулятора напряжения.

В аккумуляторных батареях с пластинчатой сепарацией электродов выпавшая из пластин активная масса оседает в специальные шламоуловители, расположенные ниже уровня опоры пластин. При значительном выпадении активной массы ее частицы могут достичь нижнего уровня пластин и вызвать их короткое замыкание. Внешним проявлением такой неисправности является повышенный саморазряд аккумуляторов.

В аккумуляторных батареях с конвертообразной сепарацией, у которых пластины одной полярности полностью изолированы от пластин противоположной полярности, возможность короткого замыкания пластин исключается.

*Отрыв пластин от бареток* в полублоках аккумуляторов может произойти по причине некачественной пайки места соединения пластины с бареткой, неправильной, с перекосом, установки блоков пластин в баки аккумуляторов при сборке или повышенной вибрацией батареи. Внешним проявлением неисправности является резкое снижение емкости одного из аккумуляторов с последующей его инверсией. Восстановление работоспособности батареи в таком случае возможно, как правило, только заменой отказавшего аккумулятора на заведомо исправный.

#### 1.4. Параллельная работа генератора и аккумуляторной батареи

В любой системе электроснабжения транспортной или технологической машины генератор и аккумуляторная батарея включены параллельно и работают в условиях взаимного дополнения на питание нагрузки от потребителей.

В соответствии с существующими требованиями современный генератор при работе двигателя в режиме холостого хода должен обеспечивать питание системы зажигания, приборов, габаритных огней и отопителя при малой частоте вращения коленчатого вала двигателя. Характеристики работы системы электроснабжения зависят от режима работы двигателя и тока нагрузки от потребителей.

Для случая, когда напряжение генератора выше напряжения батареи, ток генератора  $I_{\Gamma}$  расходуется на питание потребителей  $I_{\text{н}}$  и подзаряд батареи  $I_3$ :

$$I_{\Gamma} = I_{\text{н}} + I_3.$$

Это соответствует положительному зарядному балансу, поскольку мощности, развиваемой генератором, хватает на питание нагрузки и подзаряд батареи.

При возрастании тока нагрузки напряжение генератора уменьшается до уровня ЭДС батареи. Ток заряда при этом становится равным нулю, и ток генератора расходуется только на питание нагрузки:  $I_r = I_n$ . Это соответствует нулевому зарядному балансу. В случае дальнейшего возрастания тока нагрузки напряжение генератора уменьшается ниже ЭДС батареи, и на питание нагрузки будет расходоваться ток от генератора и батареи:  $I_n = I_r + I_p$  — начнется отрицательный зарядный баланс.

При изменении частоты вращения ротора изменяется мощность генератора, что соответствующим образом изменяет условия баланса.

Определение мощности генератора производится по току потребителей для наиболее неблагоприятного режима движения. Для автомобилей общетранспортного назначения таким режимом может быть ночная езда в городе зимой при включенных стеклоочистителях со скоростью 50 км/ч на прямой передаче. В таких условиях генератор должен обеспечивать нулевой зарядный баланс. При этом требуемый максимальный ток генератора

$$I_{r \max} = I_n K_n,$$

где  $I_n$  — суммарный ток нагрузки от потребителей, включаемых в указанных условиях транспортной работы;  $K_n$  — коэффициент запаса, для легковых автомобилей  $K = 1,15$ , для грузовых автомобилей  $K = 1,25$ .

Необходимая мощность генератора  $P_r$  в таком случае определится как произведение номинального напряжения бортовой сети  $U_n$  на требуемый максимальный ток  $I_{r \max}$  генератора:

$$P_r = U_n I_{r \max}.$$

Передаточное число привода генератора  $i_r$ , определяемое как отношение частоты вращения коленчатого вала двигателя  $n_d$  к частоте вращения ротора  $n$ :

$$i_r = \frac{n_d}{n},$$

выбирается исходя из условий отдачи тока генератором в режиме работы двигателя на холостом ходу при обеспечении питания системы зажигания и габаритных огней.

По найденным значениям мощности  $P_r$ , требуемого максимального тока  $I_{r \max}$  с учетом передаточного числа  $i_r$  привода производится выбор конкретного типа генератора из номенклатуры промышленно выпускаемых.

Генератор переменного тока не нуждается в защите от обратного тока, поскольку выпрямительный блок диодов  $VD1 - VD6$  (см. рис. 1.2) обеспечивает пропускание тока генератора только в прямом направлении. Появление значительного обратного тока в такой системе возможно только в случае пробоя одного или нескольких диодов, что является отказом генератора, вызывающим необходимость его ремонта.

При нормальной работе диодов допускается считать, что в генераторе переменного тока обратный ток отсутствует. Однако используемые в выпрямительных блоках генераторов кремниевые диоды не являются идеальными. В реальных диодах, выпускаемых промышленностью, не может быть обеспечено полное отсутствие обратной проводимости. В связи с этим при остановке двигателя в генераторах переменного тока может возникать обратный ток ничтожно малой величины, составляющей доли микроампер, что практически не вызывает никаких осложнений в работе системы электроснабжения и в ряде случаев может не учитываться.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие генераторы могут быть применены в конструкциях современных транспортных и технологических машин?
2. Как осуществляется процесс автоматического регулирования напряжения генератора?
3. Каким образом происходит самоограничение тока, отдаваемого генератором?
4. Как осуществляется физико-химический процесс в свинцовом кислотном аккумуляторе?
5. Какие требования предъявляются к серной кислоте при приготовлении электролита для аккумуляторов?

#### 2.1. Общие сведения

Качество работы пусковой системы двигателя транспортной или транспортно-технологической машины в значительной мере определяет уровень потребительских свойств всего изделия в целом, в связи с чем выбор вида пусковой системы исходя из ее рабочих характеристик имеет достаточно высокий уровень значимости в общем числе показателей работы конкретной модели машины.

Основным требованием, предъявляемым к пусковой системе, является обеспечение надежного пуска двигателя прежде всего при низких температурах без использования или с минимально возможным применением средств облегчения пуска двигателей. В качестве второстепенных могут рассматриваться требования возможно низких значений энергоемкости и материалоемкости, особенно в части использования дорогостоящих материалов, стоимости обслуживания в эксплуатации, а также высоких значений долговечности, ремонтнопригодности узлов пусковой системы и т. д.

Пусковые системы, пригодные к применению на автотракторных двигателях, по видам пусковых устройств можно условно подразделить на следующие типы:

- механические с использованием энергии человека;
- пневматические с использованием энергии сжатого воздуха;
- механические с использованием энергии пускового двигателя внутреннего сгорания малой мощности;
- электрические с использованием энергии аккумуляторной батареи.

Каждый из указанных типов пусковых систем может иметь механические устройства облегчения пуска двигателя, позволяющие осуществлять концентрацию энергии в более благоприятной форме, в частности пружинные или инерционные механические узлы приводных устройств, либо накопление импульса электрической энергии в батарее конденсаторов.

В зависимости от назначения наряду с пусковыми устройствами двигатель может дополнительно комплектоваться другими устройствами облегчения его пуска, в числе которых могут быть предпусковые подогреватели масла в смазочной системе двигателя и охлаждающей жидкости, подогреватели воздуха на впуске в двигатель,

многоискровые системы зажигания и др. Данные устройства имеют самостоятельное функциональное назначение и в данном пособии рассматриваются в ограниченном объеме.

## 2.2. Условия пуска двигателя

Пуск двигателя внутреннего сгорания транспортной или технологической машины обычно представляет собой проблему в условиях низких температур окружающей среды. В качестве осложняющих факторов при этом выступает повышение вязкости масла, создающее увеличенное сопротивление вращению коленчатого вала двигателя, ухудшение испаряемости или распыления топлива, ухудшение воспламеняемости рабочего заряда в цилиндрах двигателя.

В качестве **основного условия пуска двигателя** может рассматриваться превышение индикаторного момента двигателя  $M_i$  над моментом сопротивления вращению коленчатого вала двигателя  $M_{с.д}$  и моментом от сил инерции его подвижных деталей  $M_j$ :

$$M_i > M_{с.д} + M_j.$$

Если в данном выражении будет знак равенства, то двигатель будет давать вспышки в цилиндрах, но не запустится.

По отношению момента, развиваемого пусковым устройством или стартером,  $M_c$  к сумме моментов сопротивления вращению коленчатого вала двигателя и от сил инерции можно принять коэффициент  $K_{з.м}$  запаса момента пускового устройства

$$K_{з.м} = \frac{M_c}{M_{с.д} + M_j}.$$

В свою очередь момент  $M_{с.д}$  является функцией среднего давления трения в кривошипно-шатунном механизме двигателя и может быть определен по формуле [36]

$$M_{с.д} = 1,256 \cdot 10^{-4} p_{т.ср} Z_{ц} V_h,$$

где  $p_{т.ср}$  — среднее давление трения в двигателе;  $Z_{ц}$  — число цилиндров двигателя;  $V_h$  — рабочий объем двигателя.

Момент сопротивления вращению коленчатого вала двигателя можно рассматривать также как сумму моментов от сил трения в узлах трения двигателя  $M_T$  и момента от компрессии в цилиндрах  $M_r$ :

$$M_{с.д} = M_T \pm M_r.$$



Моменты  $M_T$  и  $M_r$  зависят от угла поворота коленчатого вала и частоты его вращения, причем момент от компрессии  $M_r$  на границе тактов сжатия и расширения меняет знак. Вследствие этого угловая скорость коленчатого вала при пуске двигателя принимает колебательный характер. Эти колебания тем заметнее, чем большую зависимость частоты вращения приводного вала от вращающего момента имеет пусковое устройство. В некоторой степени уменьшению такой зависимости, а следовательно, и снижению колебаний угловой скорости вращения коленчатого вала способствует увеличение массы маховика, что в силу понятных обстоятельств имеет соответствующие ограничения.

В качестве ориентира при расчетах пусковых систем можно использовать коэффициент  $K_{н.д}$  неравномерности вращения коленчатого вала при пуске двигателя, определяемый как отношение

$$K_{н.д} = \frac{\omega_{\min} - \omega_{\max}}{\omega_{\text{ср}}},$$

где  $\omega_{\max}$ ,  $\omega_{\min}$ ,  $\omega_{\text{ср}}$  — соответственно максимальная, минимальная и средняя угловая скорость коленчатого вала в течение одного периода.

Коэффициент  $K_{н.д}$  находится в пределах 0,1 ... 2 [36]: меньшие значения характерны для двигателей на легком топливе, большие — для дизелей.

Эмпирическое определение момента сопротивления вращению коленчатого вала двигателя для инженерных расчетов может быть осуществлено по формуле [36]

$$M_{с.д} = KAv^x n_d^y,$$

где  $K$  — постоянный коэффициент;  $A$  — коэффициент, характеризующий площадь поверхностей трения;  $v$  — вязкость масла, Ст;  $n_d$  — частота вращения коленчатого вала, мин<sup>-1</sup>;  $x$ ,  $y$  — показатели степени,  $x = 0,33 \dots 0,53$ ,  $y = 0,25 \dots 0,35$  (меньшие значения характерны для рядных двигателей, большие — для V-образных).

Коэффициент  $K$  изменяется в пределах от  $1,4 \cdot 10^{-12}$  до  $5,35 \cdot 10^{-12}$ : меньшие значения характерны для V-образных двигателей, большие — для рядных.

Коэффициент  $A$ , характеризующий площадь поверхностей трения, определяется по формуле

$$A = Z_{ц} d_{ц} h_{ц} S_{п} + \frac{Z_{ш} \pi d_{ш}^2 l_{ш} + Z_{к} \pi d_{к}^2 l_{к}}{2} + 0,05 \pi d_{ц} h_{п} (d_{к} + d_{ш}),$$

где  $d_{ц}$  — диаметр цилиндра;  $h_{ц}$  — высота рабочей поверхности цилиндра;  $S_{п}$  — ход поршня;  $Z_{ш}$ ,  $Z_{к}$  — число шатунных и коренных шеек коленчатого вала соответственно;  $d_{ш}$ ,  $d_{к}$  — диаметр шатунной и ко-

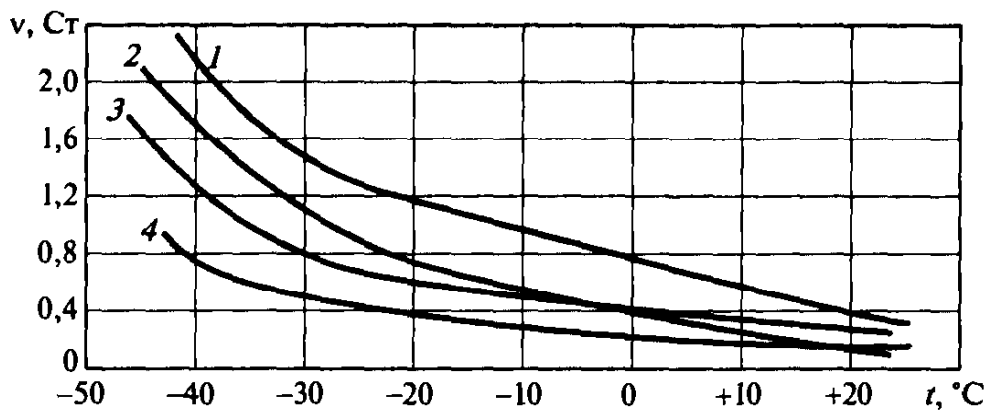


Рис. 2.1. Вязкостно-температурные характеристики моторных масел:  
 1 — M8B<sub>2</sub>; 2 — M8B<sub>1</sub>; 3 — M5<sub>3</sub>/10Г<sub>1</sub>; 4 — Hessol 10W30

ренной шеек коленчатого вала соответственно;  $l_{ш}$ ,  $l_k$  — длина рабочей поверхности шатунных и коренных шеек коленчатого вала соответственно;  $h_p$  — высота рабочей поверхности поршня.

Вязкость масла  $v$  в значительной мере зависит от температуры окружающей среды.

В работе [11] приводятся вязкостно-температурные характеристики масел (рис. 2.1), используемых в автомобильных и тракторных двигателях.

**Основными критериями оценки пусковых свойств двигателей** служат минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала  $n_{\min}$  и предельная температура холодного пуска двигателя  $t_{\text{пр}}$ . Одним из направлений конструкторских работ в части совершенствования пусковых свойств двигателей является снижение величин  $n_{\min}$  и  $t_{\text{пр}}$  до возможно меньших значений.

*Минимальная пусковая частота* есть частота вращения коленчатого вала, при которой возможен пуск двигателя посредством двух попыток продолжительностью 10 с для легкотопливных двигателей и 15 с для дизелей с интервалом между попытками не менее 1 мин [13].

*Предельная температура холодного пуска двигателя* определяется как наиболее низкая температура окружающего воздуха, при которой возможен гарантированный пуск двигателя. В современных условиях при использовании специальных зимних сортов моторных масел и топлив без применения средств облегчения пуска двигателей величина  $t_{\text{пр}}$  для легкотопливных двигателей составляет примерно  $-30 \dots -20 ^\circ\text{C}$ , для дизелей  $-25 \dots -15 ^\circ\text{C}$ . При более низких температурах возникает необходимость использования средств облегчения пуска двигателей.

Минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала двигателя и предельная температура холодного пуска зависят от многих факторов, среди которых фактическая температура пуска, число цилиндров двигателя, степень сжатия, угол опережения зажигания, угол

опережения впрыска в дизелях, коэффициент избытка воздуха, способ смесеобразования и др.

Из данных рис. 2.2 видно, что минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала двигателя в значительной мере возрастает при снижении температуры пуска, причем величина  $n_{\min}$  для дизелей намного выше, чем для легкотопливных двигателей. Увеличение числа цилиндров также понижает величину  $n_{\min}$ , что улучшает пусковые свойства двигателя. Определенное влияние на пусковые качества дизелей оказывает способ смесеобразования. Наличие предкамеры в системе смесеобразования способствует увеличению минимальной пусковой частоты вращения коленчатого вала двигателя, что является фактором, ухудшающим пусковые свойства двигателя.

Повышение степени сжатия в некоторой степени уменьшает величину  $n_{\min}$ , однако результаты экспериментальных исследований [10] свидетельствуют, что для дизелей повышение степени сжатия сверх некоторого предела приводит к повышению предельной температуры холодного пуска двигателя, следовательно, минимальной пусковой частоты вращения коленчатого вала. Оптимальной с позиций улучшения пусковых качеств дизелей следует считать величину степени сжатия, равную 17.

Угол опережения зажигания и угол опережения впрыска в дизелях оказывают существенное влияние на пусковые свойства двигателей, причем минимальным значениям частоты  $n_{\min}$  и температуры  $t_{\text{пр}}$  соответствуют определенные значения данных величин. Геометрические и мощностные параметры двигателей при пуске оказываются несущественными, и согласно данным работ [2] и [13] наилуч-

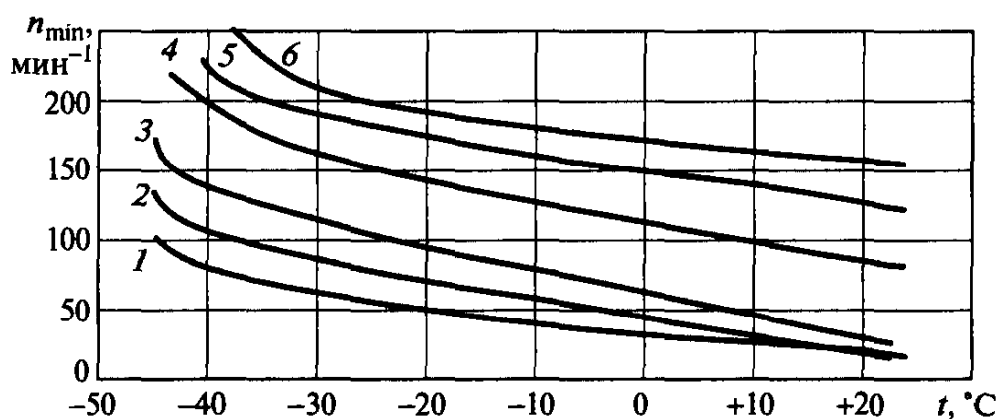


Рис. 2.2. Зависимость минимальной пусковой частоты вращения коленчатого вала от температуры пуска двигателя:

1 — восьмицилиндровый инжекторный двигатель со степенью сжатия 8,5; 2 — восьмицилиндровый инжекторный двигатель со степенью сжатия 6,7; 3 — четырехцилиндровый инжекторный двигатель со степенью сжатия 8,2; 4 — восьмицилиндровый дизель непосредственного впрыска; 5 — шестицилиндровый дизель непосредственного впрыска; 6 — шестицилиндровый дизель с предкамерой

шие условия для пуска двигателей на легком топливе создаются при величине угла опережения зажигания в пределах  $3 \dots 8^\circ$  до верхней мертвой точки. Для дизелей соответственно начальный угол опережения впрыска должен быть в пределах  $15 \dots 17^\circ$  до верхней мертвой точки. Выход за указанные пределы приводит к довольно резкому повышению величин  $n_{\min}$  и  $t_{\text{пр}}$ .

Увеличение цикловой подачи топлива у дизелей уменьшает минимальную пусковую частоту вращения коленчатого вала.

Для двигателей на легком топливе наименьшей величине  $n_{\min}$  соответствуют значения коэффициента избытка воздуха в пределах  $0,64 \dots 0,57$  [18].

Авторы научных работ [13], [36] рассматривают процесс пуска двигателя, состоящим из следующих трех стадий.

*Первая стадия:* увеличение частоты вращения коленчатого вала до средней установившейся величины. Продолжительность данной стадии зависит от вязкости моторного масла, момента инерции подвижных деталей двигателя, мощности пускового устройства и обычно составляет примерно  $0,1 \dots 0,5$  с.

*Вторая стадия:* выравнивание средних значений вращающего момента  $M_c$  пускового устройства и момента сопротивления вращению коленчатого вала  $M_{c,d}$  при стабилизации на постоянном уровне средней частоты вращения коленчатого вала двигателя  $n_{d,ср}$ , начало воспламенения топливовоздушных рабочих зарядов в цилиндрах, возникновение индикаторного момента  $M_i$  на коленчатом валу.

*Третья стадия:* повышение индикаторного момента на коленчатом валу  $M_i$  над суммой момента сопротивления вращению коленчатого вала  $M_{c,d}$  и моментом от сил инерции подвижных деталей двигателя  $M_j$ , нарастание частоты вращения коленчатого вала.

Длительность второй и третьей стадий пуска двигателя зависит от значений средней частоты вращения коленчатого вала  $n_{d,ср}$ , условий воспламенения топливовоздушной смеси в его цилиндрах и обычно составляет величину порядка  $5 \dots 15$  с. При этом в течение работы пускового устройства при повышении частоты вращения коленчатого вала двигателя момент сопротивления вращению этого вала несколько возрастает, затем после некоторого значения  $n_d$  стабилизируется. Такое увеличение момента  $M_{c,d}$  тем заметнее, чем больше вязкость масла в смазочной системе двигателя.

Рассмотренное изменение момента  $M_{c,d}$  связано с изменением моментов и сил трения в сопряжениях деталей механизмов двигателя в зависимости от скорости движения рабочих деталей, а также с изменением видов трения (например, при переходе от граничного трения к жидкостному в шатунных и коренных подшипниках коленчатого вала, опорах распределительного вала и других аналогичных им узлов трения). Увеличение количества масла в смазочной системе сверх требуемого уровня также вызывает повышение момента сопротивления вращению коленчатого вала двигателя.

## 2.3. Электрическая пусковая система

В преобладающем большинстве конструкций транспортных и технологических машин система пуска двигателя посредством электрического стартера получила наибольшее распространение вследствие присущих ей достоинств:

- простоты и надежности пуска двигателя;
- постоянной готовности к пуску;
- отсутствия проблем в удобстве размещения приборов и узлов системы в автомобиле или тракторе;
- наличие блокирующих механизмов, предотвращающих повреждение системы при некачественном обращении;
- достаточно высокие до некоторого предела мощностные показатели при относительно небольших габаритных размерах и массе;
- наличие благоприятной близкой к гиперболической зависимости внешней характеристики момента на выходном валу от частоты его вращения при возможности влияния путем конструктивных решений на данную характеристику.

В качестве недостатков данной системы можно рассматривать:

- ограниченность энергетического запаса аккумуляторной батареи;
- зависимость энергетических показателей аккумуляторной батареи от температурных условий;
- значительный расход дорогостоящих медных сплавов, резко возрастающий с повышением мощности стартера;
- резкое увеличение массовых и габаритных параметров приборов системы при увеличении мощности стартера свыше 15 кВт при напряжении сети 24 В.

Построение структурного состава электропусковых систем транспортных машин в основном осуществляется по схеме, где источником энергии является аккумуляторная батарея, способная к отдаче большого разрядного тока при возможно меньшем падении напряжения. Исполнительный орган системы — стартер, объединяющий в себе низковольтный электродвигатель постоянного тока, тяговое реле и обгонную муфту, обеспечивающую передачу крутящего момента только от вала стартера к маховику двигателя, а не наоборот, для предохранения стартера от разрушения в случае его неотключения после пуска двигателя. Роль управляющего элемента системы выполняет реле включения стартера, которое при собственном управлении от замка зажигания соответствующим образом подключает к аккумуляторной батарее и отключает от нее втягивающую и удерживающую обмотки тягового реле стартера. Такая схема позволяет осуществлять дистанционное управление стартером от замка зажигания, при которой возможно размещение аккумуляторной батареи ближе к стартеру, что позволяет уменьшить потери энергии в стартерной цепи за счет сокращения длины силовых проводов.

В целях уменьшения массовых параметров и габаритных размеров стартера его приводной механизм может быть оснащен редуктором, что позволяет использовать более скоростной электродвигатель, обладающий при той же мощности меньшими габаритными размерами и массой.

**Характеристики стартерных электродвигателей** определяют их возможности к осуществлению пуска двигателя. В качестве преобразователей электрической энергии в механическую в стартерах используются электродвигатели постоянного тока. В зависимости от вида возбуждения электродвигатели могут иметь разные внешние характеристики, по которым осуществляют их подбор для пусковых устройств исходя из характеристик пусковых свойств автомобильных или тракторных двигателей. Тип возбуждения электродвигателя определяется электрической схемой включения обмотки возбуждения относительно силовой (якорной) обмотки. Могут применяться электродвигатели параллельного, независимого, последовательного, смешанного возбуждения.

Для электродвигателя постоянного тока любого вида возбуждения напряжение  $U_{ст}$ , В, подводимое к электродвигателю, определяется по формуле

$$U_{ст} = \frac{p_{п} N n_{я} \Phi}{60a} + I_{я} R_{я},$$

где  $p_{п}$  — количество пар полюсов электродвигателя;  $N$  — количество проводников обмотки якоря;  $a$  — количество пар параллельных ветвей обмотки якоря;  $n_{я}$  — частота вращения якоря,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\Phi$  — магнитный поток между обмоткой возбуждения и якорем, Вб;  $I_{я}$  — ток якоря, А;  $R_{я}$  — активное сопротивление обмотки якоря, Ом.

Момент на валу стартерного электродвигателя

$$M_{я} = \frac{p_{п} N I_{я} \Phi}{2\pi a} = C_{м} I_{я} \Phi,$$

при этом противоЭДС якоря

$$E_{я} = \frac{p_{п} N n_{я} \Phi}{60a} = C_{E} n_{я} \Phi.$$

Выражения  $C_{м} = \frac{p_{п} N}{2\pi a}$  и  $C_{E} = \frac{p_{п} N}{60a}$  можно считать конструктив-

ными постоянными соответственно по моменту на якоре и противоЭДС.

Частота вращения якоря стартерного электродвигателя  $n_{я}$ , мин<sup>-1</sup>:

$$n_{я} = \frac{60a(U_{ст} - I_{я}R_{я})}{p_{п}N\Phi}$$

С учетом того, что  $I_{я} = \frac{2\pi aM_{я}}{p_{п}N\Phi}$ ,

$$n_{я} = \frac{60a}{p_{п}N\Phi} \left( U_{ст} - \frac{2\pi aR_{я}M_{я}}{p_{п}N\Phi} \right) = \frac{1}{C_E\Phi} \left( U_{ст} - \frac{R_{я}M_{я}}{C_M\Phi} \right)$$

Магнитный поток  $\Phi$ , проходящий от обмотки возбуждения через воздушный зазор и обмотку якоря:

$$\Phi = \frac{B_{б}\pi D_{я}a_{б}l_{я}}{2p_{п}},$$

где  $B_{б}$  — магнитная индукция в воздушном зазоре;  $D_{я}$  — наружный диаметр якоря;  $l_{я}$  — длина пакета якоря;  $a_{б}$  — коэффициент полюсного перекрытия.

Магнитодвижущие силы обмоток возбуждения  $F_{в}$  и якоря  $F_{я}$ , определяемые соответственно по формулам  $F_{в} = \omega_{в}I_{в}$ ;  $F_{я} = \omega_{я}I_{я}$ , находятся в линейной зависимости от протекающих по ним токов  $I_{в}$  и  $I_{я}$ . В формулах  $\omega_{в}$  и  $\omega_{я}$  — число витков обмотки возбуждения и одной ветви обмотки якоря соответственно.

В электродвигателях последовательного возбуждения диапазон изменения частот вращения якоря и момента на его валу намного больший, в связи с чем электродвигатели такого вида возбуждения получили наибольшее распространение в качестве стартерных. В электродвигателях последовательного возбуждения ток якоря равен току возбуждения:  $I_{я} = I_{в}$ , магнитный поток  $\Phi$  возбуждения является функцией тока якоря:  $\Phi = f(I_{я})$ .

При наличии последовательно соединенной с якорем обмотки возбуждения магнитный поток в воздушном зазоре между якорем и статором в диапазоне до полного магнитного насыщения всех магнитных обмоток электродвигателя имеет линейную зависимость от тока якоря:

$$\Phi = k_{\Phi}I_{я},$$

где  $k_{\Phi}$  — коэффициент пропорциональности, В/(А · с).

Коэффициент пропорциональности  $k_{\Phi}$ , характеризующий проникновение магнитного потока возбуждения к обмотке якоря, может считаться постоянным.

При этом, как указывалось ранее, частота вращения якоря электродвигателя  $n_{я}$ , мин<sup>-1</sup>:

$$n_{я} = \frac{60a(U_{ст} - I_{я}R_{я})}{p_{п}N\Phi} = \frac{60aU_{ст}}{p_{п}Nk_{ф}I_{я}} - \frac{60aR_{я}}{p_{п}Nk_{ф}}$$

Соответственно момент на валу стартерного электродвигателя  $M_{я}$ , Н·м:

$$M_{я} = \frac{p_{п}N\Phi I_{я}}{2\pi a} = \frac{p_{п}Nk_{ф}I_{я}^2}{2\pi a}, \text{ или } M_{я} = C_{м}k_{ф}I_{я}^2.$$

Ток якоря  $I_{я}$ , А: 
$$I_{я} = \sqrt{\frac{M_{я}}{C_{м}k_{ф}}}.$$

Из приведенных формул видно, что зависимость  $n_{я} = f(I_{я})$  частоты вращения якоря от тока якоря близка к гиперболической, а зависимость  $M_{я} = f(I_{я})$  — к параболической. Как указывают авторы работ [13], [36], такая зависимость справедлива при токе якоря не более 0,9 от номинального тока  $I_{ном}$ , соответствующего состоянию полного магнитного насыщения электромагнитной системы электродвигателя. При токе якоря больше указанного рассматриваемые характеристики приближаются к линейным. Номинальному току якоря  $I_{ном}$  соответствует номинальное значение крутящего момента на валу якоря  $M_{ном}$ , при превышении которого зависимости, представляющие собой механическую характеристику электродвигателя последовательного возбуждения, приобретают линейный вид.

Изображенная на рис. 2.3 зависимость  $n_{я} = f(M_{я})$  электродвигателя последовательного возбуждения является «мягкой», которая присуща электродвигателю, работающему в условиях частого перегруза по моменту на валу якоря, что характерно для стартерного электродвигателя. Такая «мягкость» механической характеристики может рассматриваться в качестве основного достоинства электродвигателя последовательного возбуждения. Главным недостатком электродвигателей рассматриваемого типа является их способность к неограниченному увеличению частоты вращения якоря при отсутствии нагрузки, т. е. склонности пойти вразнос.

При «жесткой» механической характеристике, присущей электродвигателю параллельного или независимого возбуждения, можно считать частоту вращения якоря  $n_{я}$  постоянной и не зависящей от момента  $M_{я}$  на валу якоря.

Механическая мощность стартерного электродвигателя  $P_{с}$ , Вт:

$$P_{с} = M_{я}\omega_{я} = M_{я} \frac{\pi n_{я}}{30} = \frac{M_{я}n_{я}}{9,549},$$

где  $\omega_{я}$  — угловая скорость якоря, с<sup>-1</sup>.



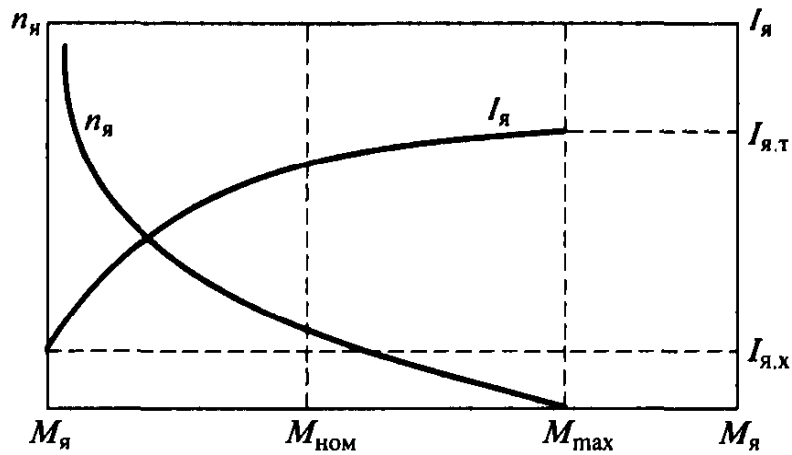


Рис. 2.3. Механическая характеристика электродвигателя последовательного возбуждения

В случае когда  $n_я = \text{const}$ ,  $P_c = C_n M_я$ , т. е. мощность электродвигателя, можно рассматривать как величину, прямо пропорциональную моменту на валу якоря электродвигателя, поскольку коэф-

фициент  $C_n = \frac{n_я}{9,549} = \text{const}$ .

При наличии «мягкой» механической характеристики, присущей электродвигателям последовательного возбуждения, с учетом того, что

$$n_я = \frac{1}{C_E \Phi} \left( U_{ст} - \frac{R_я M_я}{C_M \Phi} \right); \quad \Phi = k_\Phi I_я \sqrt{\frac{M_я}{C_M k_\Phi}},$$

частота вращения якоря  $n_я$ ,  $\text{мин}^{-1}$ , определяется по формуле

$$n_я = \frac{U_{ст}}{C_E k_\Phi \sqrt{\frac{M_я}{C_M k_\Phi}}} - \frac{R_я}{C_E k_\Phi}.$$

Переменными величинами в данном выражении являются частота вращения якоря  $n_я$  и момент на валу якоря  $M_я$ , причем частота вращения якоря обратно пропорциональна квадратному корню из момента на валу якоря. Тогда зависимость механической мощности электродвигателя последовательного возбуждения от момента на валу якоря

$$P_c = M_я \omega_я = \frac{M_я U_{ст}}{9,549 C_E k_\Phi \sqrt{\frac{M_я}{C_M k_\Phi}}} - \frac{M_я R_я}{9,549 C_E k_\Phi}.$$

имеет вид, близкий к параболической зависимости.

Поскольку в электродвигателе последовательного возбуждения магнитный поток  $\Phi$  прямо пропорционален току якоря, при изменении нагрузочного момента  $M_{\text{я}}$  на валу якоря от нулевого значения  $M_0$  (соответствующего току якоря в режиме холостого хода  $I_{\text{я.х}}$ ) до максимальной величины  $M_{\text{max}}$  (соответствующей току якоря в тормозном режиме  $I_{\text{я.т}}$ ) ток якоря, равный току электродвигателя, изменяется при этом в меньших пределах, чем у электродвигателя параллельного возбуждения. По этой же причине потребляемая электрическая мощность  $P_{\text{эл}} = U_{\text{ст}} I_{\text{я}}$  у электродвигателей последовательного возбуждения меньше, чем у электродвигателей параллельного возбуждения.

Важной характеристикой стартерного электродвигателя является его способность к восприятию перегрузок по моменту. Оценочным показателем такого свойства электродвигателя является коэффициент кратности перегрузки по моменту, определяемый как отношение

$$k_{\text{м}} = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}},$$

где  $M_{\text{max}}$  — максимальный момент на валу якоря;  $M_{\text{ном}}$  — момент на валу якоря, соответствующий полному насыщению магнитной системы электродвигателя.

Ток якоря электродвигателя параллельного возбуждения

$$I_{\text{я}} = \frac{M_{\text{я}}}{C_{\text{м}} k_{\text{ф}}}.$$

Ток якоря электродвигателя последовательного возбуждения

$$I_{\text{я}} = \sqrt{\frac{M_{\text{я}}}{C_{\text{м}} k_{\text{ф}}}}.$$

Если магнитный поток  $\Phi$  постоянен, то при перегрузке по моменту у электродвигателя параллельного возбуждения при постоянстве коэффициента  $k_{\text{м}}$  ток якоря увеличивается прямо пропорционально величине  $k_{\text{м}}$ , в то время как у электродвигателя последовательного возбуждения при тех же условиях ток якоря увеличивается прямо пропорционально квадратному корню из величины коэффициента  $k_{\text{м}}$ . По этой же причине при равных величинах потребляемого тока электродвигатель последовательного возбуждения развивает больший момент на валу якоря.

В некоторых случаях, особенно при значительной перегрузке по моменту, «мягкость» механической характеристики электродвигателя последовательного возбуждения оказывается нежелательной, поскольку стартер обеспечивает вращение коленчатого вала двигателя

с частотой, ниже минимальной пусковой, в результате чего пуск двигателя становится невозможным. В целях повышения частоты вращения якоря в электродвигатель вводится вторая, включаемая параллельно якорю обмотка возбуждения (такой электродвигатель называется электродвигателем смешанного возбуждения).

Механические характеристики электродвигателей смешанного возбуждения занимают промежуточное положение между характеристиками двигателей с параллельным и последовательным возбуждением. Степень приближенности к той или иной характеристике зависит от долей распределения магнитных потоков, исходящих от соответствующих обмоток возбуждения, включаемых в параллельную и последовательную с обмоткой якоря цепь.

Исходя из условий загрузки при пуске двигателя внутреннего сгорания в качестве стартерных целесообразно использовать электродвигатели смешанного возбуждения с преобладанием последовательного. При этом магнитный поток от параллельной якорю обмотки возбуждения невелик и не приводит к большому возрастанию «жесткости» механической характеристики и значительному увеличению потребляемого тока при перегрузках. Наличие параллельной обмотки является ограничением для вхождения электродвигателя вразнос при отсутствии нагрузки на валу якоря.

**Конструктивная компоновка стартеров** определяет взаимное размещение его основных узлов: электродвигателя, механизма привода с муфтой свободного хода и выходной шестерней, тягового реле включения электродвигателя, элементов крепления стартера к двигателю. При необходимости в состав стартера может быть введен понижающий редуктор, позволяющий применить быстроходный электродвигатель, имеющий меньшие габаритные размеры и массу при той же мощности.

Конструкция стартера должна удовлетворять требованиям легкости доступа для проведения регулировочно-монтажных работ, высокой безотказности и долговечности, а также ремонтпригодности. Кроме того, стартер должен иметь минимально возможную себестоимость как конструктивного исполнения, так и эксплуатационного обслуживания.

В конструкции стартеров применяются низковольтные электродвигатели постоянного тока последовательного или смешанного возбуждения.

**Конструктивная схема электродвигателя** представляет собой решение с вращающимся ротором и неподвижным статором. В роторе располагается якорная обмотка, в статоре — обмотка возбуждения, составленная из нескольких катушек в количестве, равном числу полюсов. В некоторых конструкциях в статоре также могут располагаться постоянные магниты, действующие как постоянный магнитный поток на обмотку якоря независимо от степени загрузки стартера по току якоря или по моменту на выходном валу.

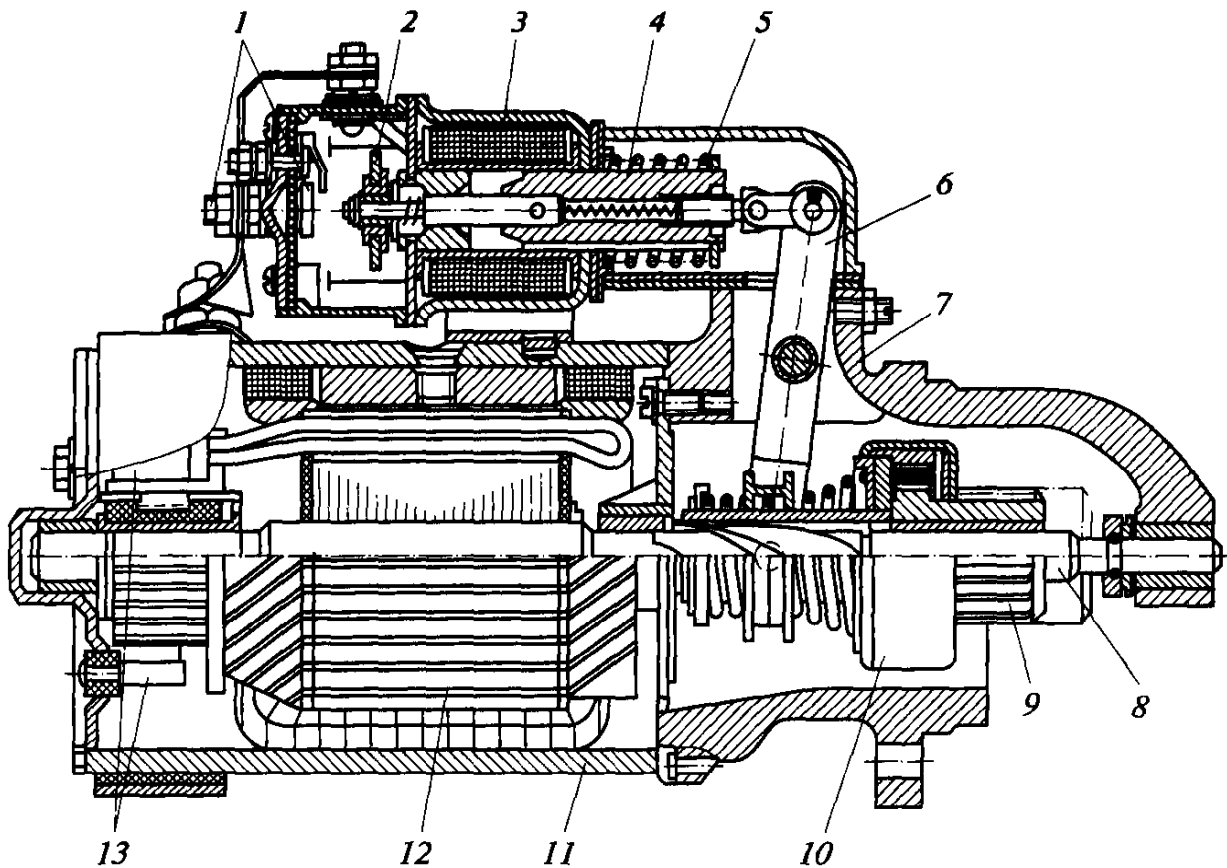


Рис. 2.4. Стартер с цилиндрическим коллектором СТ-130:

1 — контакты включения электродвигателя; 2 — контактная пластина; 3 — обмотки тягового реле; 4 — якорь реле; 5 — возвратная пружина; 6 — рычаг; 7 — передняя крышка; 8 — вал якоря; 9 — выходная шестерня; 10 — приводной механизм; 11 — корпус; 12 — якорь электродвигателя; 13 — щетки

Питание якорной обмотки осуществляется посредством двух или четырех медно-графитовых щеток, имеющих скользящий контакт с медным коллектором. Контактными элементами коллектора являются ламели, имеющие форму медных пластин, изолированных одна от другой путем размещения на миканитовой основе. Коллектор электродвигателя имеет четное число ламелей, к которым по диаметрально противоположным позициям подсоединяются ветви якорной обмотки. Одна ветвь якорной обмотки имеет два контакта на коллекторе. Коллектор может быть цилиндрическим (рис. 2.4) либо плоским, торцовым. Торцовый коллектор позволяет уменьшить габаритные размеры по длине и массу электродвигателя.

Якорь стартерного электродвигателя выполняется в виде шихтованного сердечника, составленного из набора пластин толщиной порядка 1 мм из стали с малым содержанием углерода. Наличие шихтованного сердечника позволяет уменьшить потери энергии на вихревые токи, идущие на тепловыделение, а наличие низкоуглеродистой стали в материале сердечника улучшает магнитную проницаемость якоря.

Якорные обмотки выполняются, как правило, по волновой, интегральной или петлевой схемам с одним или двумя витками в каждой секции. В якорях низковольтных электродвигателей более предпочтительной является волновая схема намотки проводов якорной цепи, позволяющая по сравнению с петлевой схемой уменьшить габаритные размеры и массу якоря и не требующая наличия элементов коррекции направления магнитных потоков. Концы ветвей якорной обмотки укладываются в прорези торцовой части коллектора, обращенной к обмотке, чеканятся и соединяются с ламелями коллектора медной или оловянной пайкой.

В процессе работы электродвигателя его коллектор подвергается значительному воздействию электрических, механических и тепловых нагрузок, в связи с чем возникает проблема его износоустойчивости. Ввиду передачи через щеточно-коллекторный контакт значительной электрической мощности, приходящейся на единицу площади контакта, ресурс данного узла стартерного электродвигателя невелик, и конструкция якоря должна удовлетворять требованиям ремонтпригодности. Для этого предусматривается возможность проточки коллектора в целях восстановления его цилиндрической или плоской формы, а также при необходимости его демонтажа для замены.

Вал якоря имеет две опоры, выполняемые в виде подшипников скольжения, состоящих из бронзографитовых втулок, запрессованных соответственно в передней и задней крышках стартера. Для снижения трения между валом якоря и бронзографитовыми втулками в подшипники вводится консистентная смазка. Для уменьшения выброса смазки из подшипников и фиксации вала в осевом положении служат упорные шайбы, фиксируемые замковыми кольцами. В некоторых случаях при значительной длине вала якоря (более 400 мм) для уменьшения прогиба вал может иметь промежуточную опору между обмоткой и приводным механизмом. Эта опора выполняется в виде основания с крепящейся к нему на болтах крышкой, с размещаемыми в них бронзографитовыми вкладышами по типу конструкции подшипников коренных опор коленчатого вала двигателя.

Применение в опорах якоря подшипников качения целесообразно в быстроходных стартерных электродвигателях, применяемых в сочетании с понижающими редукторами. В стартерах с непосредственной передачей мощности от вала якоря к приводному механизму такое решение признается нерациональным ввиду значительных радиальных нагрузок, особенно на крышке со стороны приводного механизма, а также кратковременности рабочих циклов стартера.

Работоспособность стартерного электродвигателя в значительной мере определяется состоянием электрических контактов между щетками и ламелями коллектора, что находится в зависимости не только от частоты циклов срабатывания контактирующих поверхностей, но и от площади контакта и усилия прижатия щеток к коллектору.

Большое давление щеток на коллектор вызывает увеличение момента трения, препятствующего вращению вала якоря, и способствует повышенному износу контактирующих поверхностей. В то же время при малом усилии прижатия щеток затрудняется их электрический контакт с коллектором, отчего возникает повышенное искрение, вызывающее эрозию коллектора и щеток, а также искажение формы их контактирующих поверхностей. В зависимости от мощности электродвигателей давление щеток на ламели коллектора в соответствии с рекомендациями заводов-изготовителей должно быть в пределах 30... 150 кПа, где большие значения относятся к стартерным электродвигателям большой мощности с тяжелыми условиями коммутации.

С повышением быстроходности электродвигателей к их щеткам предъявляются более высокие требования в связи с возрастанием плотности тока в контактах щеток с коллектором. Быстроходные электродвигатели обычно используются с редукторами, которые по сравнению со стартерами без редукторов имеют меньшую на 30... 50 % массу. При этом частота вращения вала якоря увеличивается в 3—5 раз, а плотность тока в контактах щеток с коллектором возрастает в 1,5—2,5 раза. Для обеспечения нормальной работы в таких условиях щетки должны иметь большее содержание графита на сбегавшем крае и большее содержание меди на набегавшем крае, что позволяет уменьшить потери на искрение при сохранении достаточно плотного электрического контакта с коллектором. Кроме того, чем выше быстроходность электродвигателя, тем больший сдвиг должно иметь расположение щеток против направления вращения коллектора. При повышении номинальной частоты вращения якоря от 3 000 до 5 000 мин<sup>-1</sup> сдвиг щеток против направления вращения коллектора должен быть соответственно в пределах 0,3... 0,5 от коллекторного деления [13].

Кроме меди и графита материал щеток для повышения их вязкости может содержать добавки олова и свинца. При этом содержание графита обычно увеличивается в щетках, используемых для электродвигателей большей мощности и с тяжелыми условиями коммутации, так как содержание графита несколько уменьшает потери на искрение.

Приводные крышки стартеров обычно изготавливаются из алюминия, реже из чугуна методом отливки. Формы крышек зависят от формы корпуса стартера и способа крепления его на двигателе. Крепление крышек к корпусу осуществляется посредством болтовых соединений.

Корпус стартера является несущим элементом для крышек, воспринимает крутящий момент от якоря и передает его к элементам крепления стартера на двигателе. Обычно корпус стартера выполняется в виде бесшовной трубчатой конструкции из низкоуглеродистой стали. Посредством болтового соединения к корпусу с его внутренней стороны осуществляется крепление полюсов, на которых распо-

лагаются обмотки возбуждения. Современные стартерные электродвигатели обычно имеют четырехполюсную конструкцию, однако в практике могут быть использованы электродвигатели с другим количеством полюсов.

На каждом из полюсов располагается обмотка возбуждения. Обмотки возбуждения, включаемые последовательно с обмоткой якоря, выполняются из медного или алюминиевого провода прямоугольного сечения. Межвитковая изоляция обмоток такого провода выполняется в виде прокладок из картона или термостойких синтетических материалов, наружная изоляция — круговой обмоткой термостойкой изоляционной лентой, как правило хлопчатобумажной, с последующей лаковой пропиткой. В стартерах смешанного возбуждения включаемые параллельно якорю обмотки возбуждения выполняются из изолированного медного провода круглого сечения.

Контактные соединения проводов обычно осуществляются путем медной, реже оловянной пайки. При наличии обмоток из алюминиевых проводов их концы соединяются методом холодной сварки, а в зоне соединения алюминиевых проводов с элементами из меди применяется промежуточная прослойка из нейтрального по отношению к алюминию и меди материала, например стали с содержанием кадмия или цинка. Зона соединения должна иметь надежную защиту от проникновения влаги или каких-либо химически агрессивных веществ.

В современных условиях большее распространение получают стартерные электродвигатели смешанного возбуждения с последовательно включенной с якорем обмоткой возбуждения и возбуждением от постоянных магнитов. В качестве материала постоянных магнитов, размещаемых в полюсах внутри обмоток возбуждения, может быть использован феррит бария или феррит стронция, сплав железо — неодим — бор. Постоянные магниты из феррита стронция имеют наиболее высокую коэрцитивную силу, которая характеризует стойкость магнитов против размагничивающего действия со стороны якоря в момент включения электродвигателя. Для снижения эффекта от размагничивания якоря может быть увеличено количество полюсов. Наиболее высокий магнитный поток существует у магнитов, выполненных из железонедимоборного сплава. Применение таких магнитов позволяет уменьшить до минимально возможных в современных условиях размеры стартерных электродвигателей. Однако в качестве недостатков данного сплава может рассматриваться его относительно высокая стоимость, а также способность быстрого окисления на воздухе, в результате чего такой сплав не может использоваться без специального защитного покрытия. Магнитная энергия постоянных магнитов из феррита стронция находится в пределах  $22 \dots 30 \text{ кДж/м}^3$ , у магнитов, выполненных из железонедимоборного сплава, —  $200 \dots 290 \text{ кДж/м}^3$  [13], что создает достаточно привлекательные условия для их применения.

Электродвигатели смешанного возбуждения по рассматриваемой схеме обычно являются быстроходными и используются в стартерах при наличии редуктора между валом якоря и выходной шестерней.

Повышение быстроходности стартерных электродвигателей позволяет не только сократить их габаритные размеры и общую массу стартера, но и уменьшить расход активных материалов: проводов и магнитосодержащих сплавов в конструкции электродвигателя, что в свою очередь способствует снижению его стоимости.

**Механизм привода стартера** предназначен для введения выходной шестерни в зацепление с венцом маховика двигателя, передачи вращающего момента от вала якоря к маховику двигателя, а также для выведения выходной шестерни стартера из зацепления с венцом маховика после пуска двигателя, а в случае, если своевременный вывод шестерни не производится, — предотвращения передачи мощности в обратном направлении — от маховика двигателя к якорю стартера.

Существует несколько разновидностей приводных механизмов, среди которых можно выделить следующие группы:

- с принудительным механическим перемещением шестерни привода;
- с принудительным электромеханическим вводом шестерни в зацепление с венцом маховика и автоматическим выводом шестерни после отключения стартера;
- с инерционным перемещением шестерни;
- с электромагнитным вводом шестерни в зацепление за счет перемещения вала якоря.

Приводные механизмы с принудительным *механическим* вводом выходной шестерни в зацепление с маховиком и таким же ее выводом в настоящее время являются устаревшими и не применяются. Главными их достоинствами можно считать простоту управления механизмом привода и отсутствие относительно мощного потребителя электрической энергии в виде тягового реле включения стартера, создающего дополнительную нагрузку аккумуляторной батареи.

Приводные механизмы с *электромеханическим* вводом выходной шестерни стартера в зацепление с венцом маховика и автоматическим ее выводом из зацепления после пуска двигателя в настоящее время имеют наибольшее распространение на стартерах мощностью до 12 кВт, используемых для пуска дизелей. Конструктивно данные приводные механизмы мало чем отличаются от приводных механизмов с механическим перемещением шестерни. Отличие заключается в том, что управление ими осуществляется от штока тягового реле, а не от педали управления. Такое решение позволяет производить управление работой стартера от включателя, расположенного в замке зажигания независимо от места и расположения стартера.

Действие приводных механизмов с *инерционным* перемещением шестерни основано на принципе осевого перемещения выходной



шестерни стартера для ввода в зацепление с венцом маховика за счет сил инерции, исходящих от вращения выходного вала стартера. Перемещение шестерни происходит после включения в работу стартерного электродвигателя, отчего ее ввод в зацепление с венцом маховика сопровождается определенными ударными нагрузками. Это обстоятельство ограничивает область применения таких стартеров с электродвигателем мощностью до 1 кВт. Вывод шестерни из зацепления с венцом маховика происходит автоматически после пуска двигателя при отключении стартерного электродвигателя.

Применение в стартерах приводных механизмов с *электромагнитным* вводом выходной шестерни в зацепление с венцом маховика за счет перемещения якоря позволяет отказаться от использования тягового реле, так как осевое перемещение вала якоря происходит посредством действия магнитодвижущей силы полюсов. Это способствует некоторой экономии электрической энергии, а также уменьшению диаметра стартера. Однако такое решение требует удлинения коллектора, что вызывает повышенный расход материалов из медных сплавов.

Приводной механизм любого типа должен содержать муфту свободного хода, предотвращающую обратный переток энергии в случае невывода шестерни стартера из зацепления с венцом маховика после пуска двигателя, когда муфта свободного хода предохраняет якорь стартерного электродвигателя от разноса.

В зависимости от вида исполнительных элементов муфты свободного хода могут быть роликовыми, храповыми, фрикционными. Наибольшее распространение в стартерных приводных механизмах получили роликовые муфты, в которых заклинивание роликов осуществляется посредством сил трения между роликами и обоймой.

В приводном механизме, показанном на рис. 2.5, передача момента осуществляется от шлицевой направляющей втулки 7 к выходной шестерне 12 через роликовую муфту, содержащую ролики 14, поджимаемые плунжерами 15, на которые действуют пружины 16. Внутренняя рабочая поверхность наружной обоймы 18 обрабатывается по кривой, обеспечивающей уменьшение расстояния между рабочими поверхностями при повороте наружной обоймы относительно внутренней, благодаря чему осуществляется заклинивание роликов. Такая обработка, как правило, производится по логарифмической кривой.

При передаче момента от шлицевой втулки 7 к выходной шестерне 12 наружная обойма 18 является ведущей по отношению к внутренней обойме 9, вследствие чего ролики 14 оказываются заклиненными между рабочими поверхностями наружной 18 и внутренней 9 обоймы муфты.

При передаче усилия в обратном направлении после пуска двигателя в случае неотключения стартера ведущей является внутренняя обойма 9, связанная с шестерней 12, вследствие чего внутренняя

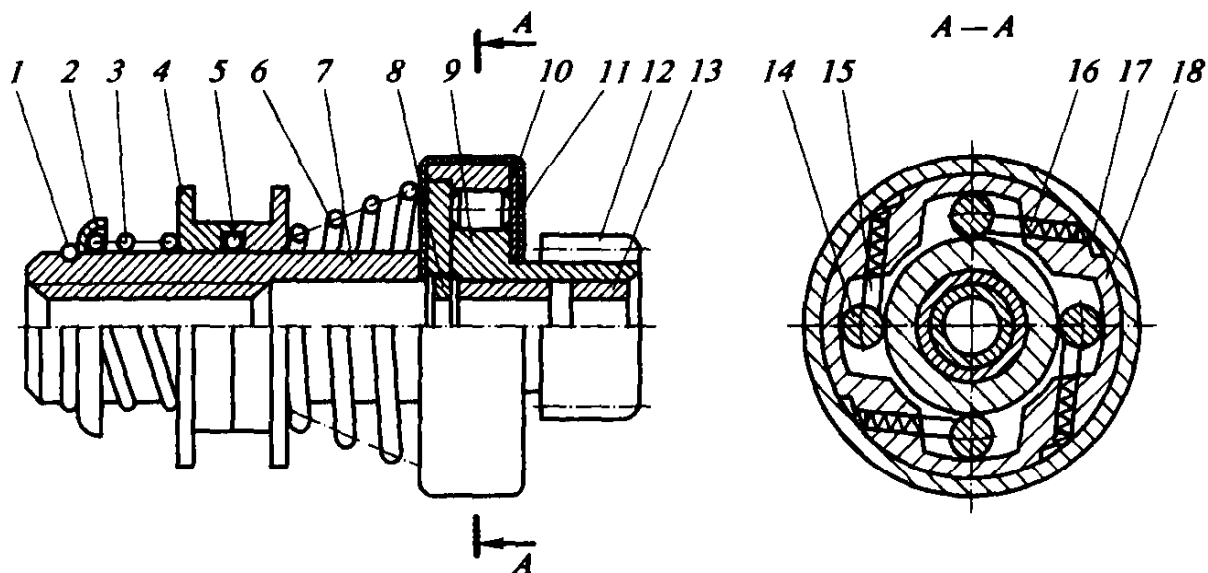


Рис. 2.5. Приводной механизм стартера с роликовой муфтой свободного хода:

1, 5 — замковые кольца; 2 — опорная чашка малой пружины; 3 — малая пружина; 4 — отводная втулка; 6 — буферная пружина; 7 — шлицевая направляющая втулка; 8 — центрирующее кольцо; 9 — внутренняя обойма; 10 — пластина опоры роликов; 11 — буферный кожух обгонной муфты; 12 — выходная шестерня; 13 — опорная втулка; 14 — ролик; 15 — плунжер; 16 — пружина; 17 — упоры пружин; 18 — наружная обойма

обойма 9 обгоняет наружную обойму 18, при этом расстояние между их рабочими поверхностями увеличивается, ролики 14 расклиниваются и вращающий момент от маховика двигателя к стартеру не передается: муфта работает в режиме обгона, предохраняя стартер от вхождения вразнос. При большой частоте вращения привода под действием центробежной силы ролики стремятся переместиться в направлении большего расстояния между рабочими поверхностями наружной и внутренней обоек, что дополнительно облегчает условия их расклинивания.

Недостатком роликовых муфт свободного хода является возможность их пробуксовки при неустойчивом пуске двигателя, когда наблюдаются отдельные вспышки рабочей смеси в цилиндрах и при вращении маховика возникают резкие колебания его окружной скорости. Этот недостаток проявляется тем в большей степени, чем больший момент передает муфта, отчего в стартерах с электродвигателем мощностью более 4 кВт, предназначенных для пуска дизелей, применение роликовых муфт свободного хода оказывается невозможным.

В стартерах с электродвигателями мощностью более 4 кВт, предназначенных для пуска дизелей, наиболее подходящей оказывается конструкция приводного механизма с храповой муфтой свободного хода, которая работает на основе передачи усилия посредством двух

зубчатых храповиков, из которых один является ведущим, а другой — ведомым. Ведущий храповик 4 (рис. 2.6) связан со шлицевой направляющей втулкой 5, расположенной на винтовых шлицах выходного вала 1 стартера, а ведомый — с выходной шестерней 2 стартера. При этом в режиме пуска двигателя вращающий момент передается от выходного вала 1 стартера через шлицевую направляющую втулку 5 и ведущий храповик 4 к ведомому храповику 3 связанному с выходной шестерней 2 стартера к венцу маховика двигателя. Прижим ведущего храповика 4 к ведомому 3 обеспечивается передачей осевого усилия от выходного вала 1 стартера к направляющей втулке 5 посредством винтовых шлицов.

При наличии всплеск в цилиндрах двигателя и появлении колебаний угловой скорости вращения маховика появляются импульсы усилий в обратном направлении от маховика к стартеру. В этом случае при опережении ведомым храповиком 3 ведущего 4 под действием осевого усилия от ведомого храповика 3 ведущий храповик 4 отходит, преодолевая сопротивление буферной пружины, и ведомый храповик беспрепятственно опережает ведущий. Как только импульс передачи обратного усилия прекращается, ведущий храповик 4 вновь входит в зацепление с ведомым 3 и передача усилия в прямом направлении от стартера к двигателю возобновляется. После пуска двигателя, если не было произведено своевременное отключение стартера, храповая муфта начинает работать в режиме обгона по рассмотренному варианту, предохраняя стартер от вхождения вразнос.

Наличие винтовых шлицов в зацеплении направляющей втулки приводного механизма с выходным валом стартера позволяет осуществить плавный ввод выходной шестерни стартера в зацепление с венцом маховика до включения стартерного электродвигателя. При продвижении приводного механизма в сторону маховика благодаря

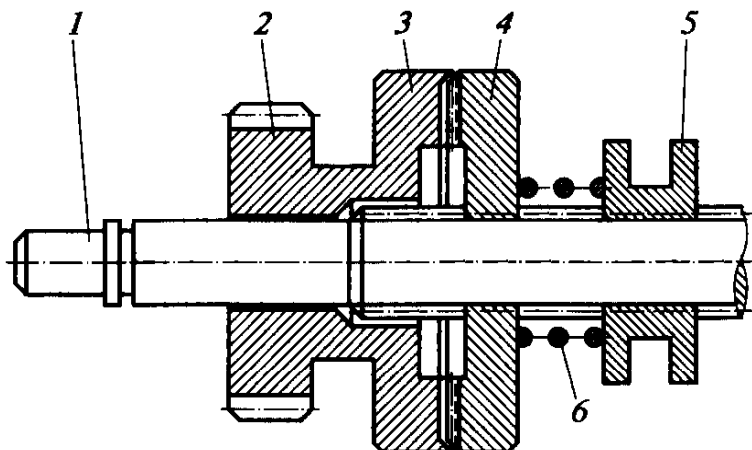


Рис. 2.6. Приводной механизм с храповой муфтой свободного хода:  
 1 — вал стартера; 2 — выходная шестерня стартера; 3 — ведомый храповик;  
 4 — ведущий храповик; 5 — шлицевая направляющая втулка; 6 — буферная пружина

наличию винтовых шлицов происходит одновременный поворот выходной шестерни стартера.

В случае если взаимное расположение зубьев шестерни и венца маховика не позволяет ввести шестерню в зацепление, после соприкосновения с венцом ее продвижение задерживается, а движение приводного механизма продолжается, преодолевая сопротивление буферной пружины, что вызывает некоторый поворот шестерни и ее беспрепятственное введение в зацепление с венцом маховика. После пуска двигателя появляется осевая сила в обратном направлении, отводящая выходную шестерню с приводным механизмом от маховика и способствующая отходу якоря реле включения электродвигателя от контактов, что вызывает выключение стартера.

Реле включения стартера позволяет осуществлять дистанционное управление стартером. Современные стартеры имеют принудительное электромагнитное включение электродвигателя, согласованное с предварительным вводом выходной шестерни в зацепление с венцом маховика двигателя. Работа приводного механизма стартера заблокирована с тяговым реле включения электродвигателя.

Наибольшее предпочтение в современных условиях получила конструкция двухобмоточного тягового реле (см. рис. 2.4) с круглыми цилиндрическими обмотками, расположенного на крышке стартера со стороны привода.

Тяговое реле имеет две обмотки: внутреннюю втягивающую и наружную удерживающую, намотанные на каркасе, расположенном на латунной трубке. Внутри этой трубки перемещается стальной якорь 4. Возвратная пружина 5 стремится отвести якорь от контактов 1 включения электродвигателя, а приводной механизм посредством рычага 6 — от маховика двигателя. Якорь связан со стержнем, на конце которого расположена медная пластина, входящая в соприкосновение с контактами 1 включения стартера.

В режиме втягивания якоря параллельно включены обе обмотки: втягивающая и удерживающая. При этом якорь 4, выполняющий роль сердечника, втягивается во втулку, на которой расположены обмотки реле. Приводной механизм при этом перемещается к маховику до ввода выходной шестерни в зацепление с венцом маховика. Втягивание якоря 4 продолжается до тех пор, пока медная пластина не войдет в соприкосновение с силовыми контактами 1. Это вызывает включение стартерного электродвигателя, причем втягивающая обмотка оказывается замкнутой накоротко, а включенной остается только удерживающая, потребляющая намного меньший ток.

Магнитодвижущая сила  $F_p$ , действующая на якорь 4 в режиме втягивания, определяется как сумма магнитодвижущих сил от втягивающей  $F_{вт}$  и удерживающей  $F_{уд}$  обмоток:

$$F_p = F_{вт} + F_{уд}.$$

В свою очередь,  $F_{вт} = C_{\omega} \omega_{вт} I_{вт}$ ;  $F_{уд} = C_{\omega} \omega_{уд} I_{уд}$ , где  $C_{\omega}$  — постоянный коэффициент;  $\omega_{вт}$ ,  $\omega_{уд}$  — число витков втягивающей и удерживающей обмотки соответственно;  $I_{вт}$ ,  $I_{уд}$  — сила тока, потребляемого втягивающей и удерживающей обмоткой соответственно.

При отключении стартера выключается удерживающая обмотка, отчего якорь 4 тягового реле и связанные с ним детали, в том числе приводной механизм, под действием возвратной пружины 5 возвращаются в исходное положение. Силовые контакты 1 разъединяются, и электродвигатель отключается.

В связи с тем что обмотки тягового реле включения стартера потребляют большой (порядка 50 А) ток, который не следует пропускать через контакты замка зажигания, в схему управления стартером вводится электромагнитное реле РС (рис. 2.7), являющееся управляющим по отношению к тяговому реле стартера.

Контакты электромагнитного реле КРС нормально разомкнуты. Их замыкание происходит после замыкания контактов выключателя стартера в замке зажигания ВКС, управляющих подачей тока на обмотку электромагнитного реле РС, потребляющую ток порядка 1 А. При замыкании контактов КРС ток от аккумуляторной батареи Б подается на обмотки тягового реле стартера, из которых удерживающая обмотка включена по цепи от положительного контакта батареи через контакты КРС на «массу», а втягивающая обмотка — от положительного контакта батареи через контакты КРС на положительный контакт стартерного электродвигателя. Поступление тока на обмотки тягового реле вызывает появление магнитодвижущей силы, втягивающей якорь этого реле, чем достигается замыкание силовых контактов КТР включения стартерного электродвигателя и включение стартера.

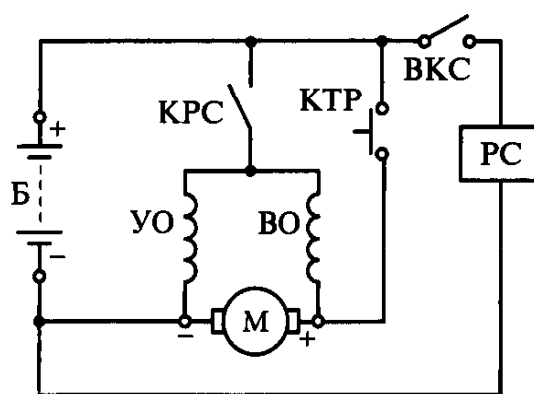


Рис. 2.7. Электрическая схема управления стартером:

Б — аккумуляторная батарея; М — стартерный электродвигатель; ВКС — выключатель стартера в замке зажигания; РС — электромагнитное реле включения стартера; КРС — контакты электромагнитного реле включения стартера; КТР — контакт тягового реле стартера; ВО — втягивающая обмотка тягового реле стартера; УО — удерживающая обмотка тягового реле стартера

В рабочем цикле стартера по пуску двигателя можно выделить три составляющие этот цикл стадии:

- *включение реле.* На этой стадии происходит последовательное замыкание контактов ВКС, включающих питание обмотки электромагнитного реле РС и, следовательно, контактов этого реле КРС. Втягивающая и удерживающая обмотки тягового реле работают параллельно в режиме перемещения якоря этого реле в сторону силовых контактов. Окончанием данной стадии служит замыкание силовых контактов КТР и переключение втягивающей обмотки тягового реле. Длительность стадии составляет менее 0,1 с;

- *работа стартера в режиме проворачивания маховика двигателя.* Началом данной стадии является включение в работу стартерного электродвигателя после замыкания его силовых контактов КТР. Контакты ВКС и КРС при этом замкнуты. В тяговом реле остается включенной только удерживающая обмотка, потребляющая небольшой ток (порядка 5...8 А), которая создает магнитодвижущую силу, достаточную для удержания якоря тягового реле во втянутом состоянии и, следовательно, в замкнутом состоянии силовых контактов КТР;

- *выключение реле.* Началом данной стадии является размыкание контактов ВКС, отчего прекращается электропитание обмотки РС электромагнитного реле, что вызывает размыкание его контактов КРС, в результате чего удерживающая обмотка тягового реле отключается от аккумуляторной батареи. Силовые контакты КТР тягового реле размыкаются, и стартерный электродвигатель отключается, так как якорь этого реле под действием возвратной пружины вместе с приводным механизмом возвращается в начальное состояние. Выходная шестерня стартера выводится из зацепления с венцом маховика, и стартер выключается из работы.

**Передачное число от выходной шестерни стартера к венцу маховика  $i_c$**  является показателем, согласующим характеристики стартера с пусковой характеристикой двигателя. В любом случае

$$i_c = \frac{z_m}{z_c i_{p.c}},$$

где  $z_m, z_c$  — число зубьев венца маховика двигателя и выходной шестерни стартера соответственно;  $i_{p.c}$  — передачное число стартерного редуктора.

Выбор величины  $i_c$  производится исходя из целесообразности полного использования мощностных характеристик стартерного электродвигателя для обеспечения надежного пуска двигателя при заданных температурных условиях. Применение быстроходных электродвигателей способствует уменьшению массы активных материалов и, следовательно, удешевлению конструкции стартера, однако

такое решение вызывает необходимость повышения передаточного числа  $i_c$ . При отсутствии редуктора исходя из условий механической прочности зубчатого зацепления открытой передачи величина  $i_c$  не может быть больше 16.

Применение редуктора дает тем больший эффект по снижению массы стартера, приходящейся на единицу мощности, чем больше мощность стартерного электродвигателя. По данным специалистов [13], применение редукторов в стартерах желательно при мощности электродвигателя более 1,5 кВт, причем целесообразно для стартеров, предназначенных для пуска дизелей. Передаточное число редуктора обычно находится в пределах  $i_{p,c} = 3 - 6$ , при этом большая величина для стартеров большей мощности. Общее передаточное число привода от вала якоря стартерного электродвигателя к венцу маховика с применением редуктора может быть повышено до 48 — 96.

В связи с необходимостью обеспечения требования компактности конструкции стартерного привода наибольшую целесообразность представляет применение планетарных редукторов с внутренним зацеплением ведомого зубчатого колеса. Использование вальных редукторов, имеющих несколько больший КПД, менее желательно из-за их более высоких габаритных размеров и массы, однако несмотря на указанные недостатки такие редукторы по сравнению с планетарными проще и дешевле в изготовлении. Применение винтовых или червячных редукторов, способных обеспечить передачу больших усилий при малых габаритных размерах и небольшой массе, также не имеет смысла в связи с относительно низкими значениями КПД из-за потерь на трение.

Применение быстроходных электродвигателей в стартерах при наличии редуктора позволяет улучшить приспособляемость стартерного электродвигателя к изменению нагрузки от момента сопротивления двигателя проворачиванию, что способствует некоторой экономии энергии. Однако производство таких стартеров сопровождается их высокой стоимостью в связи с увеличением количества деталей и необходимостью обеспечения более высоких требований в части балансировки якоря и других вращающихся деталей, надежной коммутации в работе коллекторного узла, безотказной работы узлов трения.

**Электромеханические характеристики стартера** определяют его способность к пуску двигателя. В качестве электромеханических характеристик стартера рассматривается зависимость основных показателей его работы от потребляемого им тока: напряжения на контактах аккумуляторной батареи и стартера, а также их разности, частоты вращения выходного вала стартера, момента и мощности на выходном валу стартера, электрической и электромагнитной мощности, потребляемых стартером, КПД стартерного электродвигателя.

Разность напряжений на контактах батареи  $U_6$  и стартера  $U_c$  составляет потери напряжения в цепи питания стартера

$$\Delta U_{\text{ц}} = U_{\text{б}} - U_{\text{с}}$$

на сопротивление цепи

$$R_{\text{ц}} = R_{\text{пр}} + R_{\text{м}},$$

где  $R_{\text{пр}}$  — сопротивление стартерных проводов и их контактных соединений;  $R_{\text{м}}$  — сопротивление «массы».

Падение напряжения в питающей стартер цепи

$$\Delta U_{\text{ц}} = (R_{\text{пр}} + R_{\text{м}})I_{\text{с}} = R_{\text{ц}}I_{\text{с}},$$

где  $I_{\text{с}}$  — ток, потребляемый стартером, изменяющийся от нуля до некоторого предельного значения  $I_{\text{с.т}}$ , соответствующего полностью заторможенному валу якоря стартерного электродвигателя.

Сопротивление стартерной цепи определяется суммой сопротивлений

$$R_{\text{с}} = R_{\text{к}} + R_{\text{в}} + R_{\text{я}} + 2R_{\text{щ}},$$

где  $R_{\text{к}}$  — сопротивление рабочей группы силовых контактов включения стартера;  $R_{\text{в}}$  — сопротивление последовательно включенной с якорем обмотки возбуждения;  $R_{\text{я}}$  — сопротивление обмотки якоря;  $R_{\text{щ}}$  — сопротивление щеточного контакта с ламелями якоря.

Величина сопротивления  $R_{\text{к}}$  при нормальном состоянии силовых контактов и замыкающей пластины практически равна нулю, однако она резко возрастает при наличии эрозионного износа, уменьшающего площадь контактирующих поверхностей и возрастания токовой нагрузки, приходящейся на единицу площади.

Сопротивление  $R_{\text{щ}}$  возрастает при повышении частоты вращения якоря и увеличении плотности тока, приходящейся на площадь контакта щеток с ламелями. Зависимость сопротивления  $R_{\text{щ}}$  от указанных факторов нелинейна, однако в инженерных расчетах допускается принимать падение напряжения в щеточном контакте стартерного электродвигателя, определяемое по формуле

$$\Delta U_{\text{щ}} = R_{\text{щ}}I_{\text{с}} = (0,1 \dots 0,2)U_{\text{с}}.$$

Большее значение указанного диапазона падения напряжения характерно для более скоростных электродвигателей.

При изменении тока стартера от нулевого значения до предельной величины  $I_{\text{с.т}}$  напряжения батареи  $U_{\text{б}}$  и стартера  $U_{\text{с}}$  (рис. 2.8) уменьшаются по линейной зависимости, причем конечное напряжение на клеммах стартера  $U_{\text{с.т}}$ , соответствующее току полного тормоза



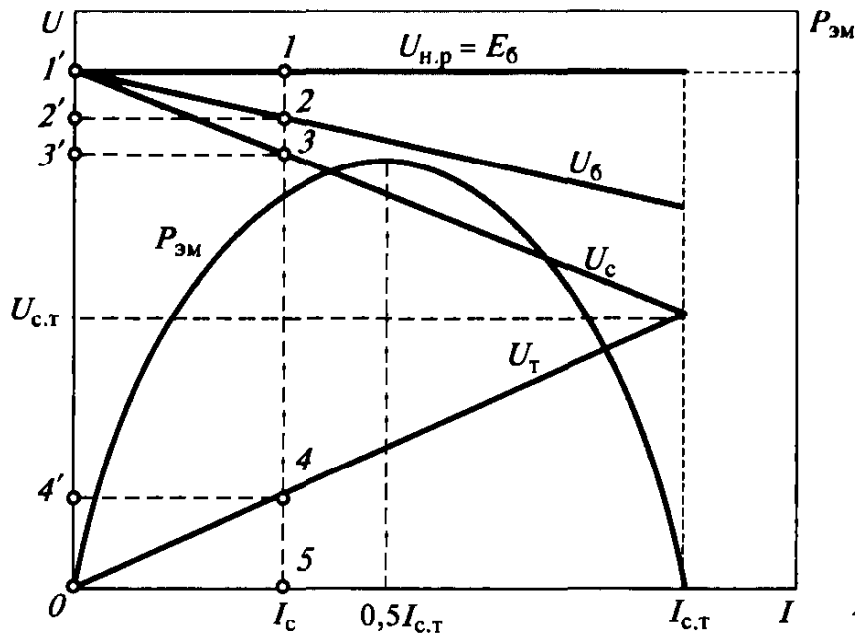


Рис. 2.8. Зависимость напряжения от электромагнитной мощности стартера и его тока

жения якоря  $I_{с.т}$ , равно конечному значению тормозного напряжения, определяемого по зависимости  $U_T = I_c R_c$ .

Потребляемая стартером электромагнитная мощность, определяемая как произведение противоЭДС стартера  $E_c$  на его ток:

$$P_{эм} = E_c I_c = E_b I_c - (R_b + R_{ц} + R_c) I_c^2,$$

изменяется по параболической зависимости.

Решение данного квадратного уравнения относительно  $I_c$  дает

корни  $I_{c1} = 0$ ,  $I_{c2} = \frac{E_b}{R_b + R_{ц} + R_c} = I_{с.т}$  ( $E_b$ ,  $R_b$  — ЭДС и внутреннее

сопротивление батареи), из которых можно определить ток, соответствующий максимальному значению электромагнитной мощности стартера:

$$I_{с.эм} = 0,5(I_{c1} + I_{c2}) = 0,5 I_{с.т}.$$

При наличии какого-либо значения рабочего тока  $I_c$ , находящегося в диапазоне от нуля до значения  $I_{с.т}$ , падение напряжения по участкам стартерной цепи распределяется следующим образом. Расстояние между точками 1 и 5 соответствует напряжению  $U_{н.р}$ , равному ЭДС батареи. Участок 1—2 есть падение напряжения на внутреннем сопротивлении батареи  $\Delta U_b = I_c R_b$ . Участок 2—3 характеризует падение напряжения на стартерных проводах и «массе»  $\Delta U_{ц} = I_c (R_{пр} + R_{м})$ . Участок 3—4 соответствует ЭДС стартера  $E_c = C_E n_c \Phi$ . Участок 4—5 есть тормозное напряжение  $U_T = I_c (R_b + R_{я} + 2R_{щ} + R_k) = I_c R_c$ .

Из приведенных формул следует, что ЭДС батареи

$$E_6 = \Delta U_6 + \Delta U_{\text{ц}} + E_c + U_{\text{т}}, \text{ или } E_6 = E_c + I_c(R_6 + R_{\text{ц}} + R_c).$$

Таким же образом прямоугольные участки, образуемые проекциями соответствующих точек на ось ординат, представляют собой распределение электромагнитной мощности батареи на соответствующих участках цепи. Площадь прямоугольника, образуемого контуром  $0-1'-1-5$ , соответствует теоретическому значению мощности батареи без учета падения напряжения на ее внутреннем сопротивлении. Площадь  $0-2'-2-5$  представляет собой мощность, отдаваемую батареей с учетом потерь на ее сопротивлении:  $P_6 = U_6 I_c$ . Площадь  $0-3'-3-5$  есть электрическая мощность стартера  $P_3 = I_c U_c$ . Площадь  $4'-3'-3-4$  соответствует электромагнитной мощности, подведенной к ламелям якоря стартерного электродвигателя  $P_{\text{эм}} = E_c I_c$ . Площадь  $0-4'-4-5$  представляет собой потери мощности на сопротивление стартерной цепи

$$\Delta P = U_{\text{т}} I_c = I_c^2 R_c, \text{ или } \Delta P = I_c^2 (R_{\text{в}} + R_{\text{я}} + 2R_{\text{щ}} + R_{\text{к}}).$$

Таким образом, мощность  $P_6$ , отдаваемая батареей при существующем разрядном токе стартера  $I_c$ , выше электрической мощности стартера  $P_3$  на величину мощностных потерь на сопротивление цепи питания стартера:

$$P_6 = P_3 + \Delta U_{\text{ц}} I_c = P_3 + I_c^2 (R_{\text{пр}} + R_{\text{м}}).$$

Электрическая мощность стартера  $P_3$  выше его электромагнитной мощности  $P_{\text{эм}}$  на величину мощностных потерь во внутренней цепи стартера:

$$P_3 = P_{\text{эм}} + I_c U_{\text{т}}, \text{ или } P_3 = P_{\text{эм}} + I_c^2 (R_{\text{в}} + R_{\text{я}} + 2R_{\text{щ}} + R_{\text{к}}).$$

Из приведенных формул видно, что для повышения электромагнитной мощности стартерного электродвигателя и увеличения его тока полного торможения  $I_{\text{с.т}}$  необходимо снижение сопротивления внутренней цепи стартера  $R_c$ , чему может способствовать как повышение качества контактных соединений, так и выполнение обмоток из материалов с малым удельным сопротивлением.

Повышению электрической и электромагнитной мощности стартера также способствует уменьшение сопротивления цепи его питания  $R_{\text{ц}} = R_{\text{пр}} + R_{\text{м}}$ .

В свободном выражении электрохимические характеристики стартера представляют собой зависимости следующих показателей: напряжения батареи  $U_6$  и стартера  $U_c$ , электрической  $P_3$ , электромагнитной  $P_{\text{эм}}$  и механической  $P_{\text{м}}$  мощности, КПД стартера  $\eta_c$ , част

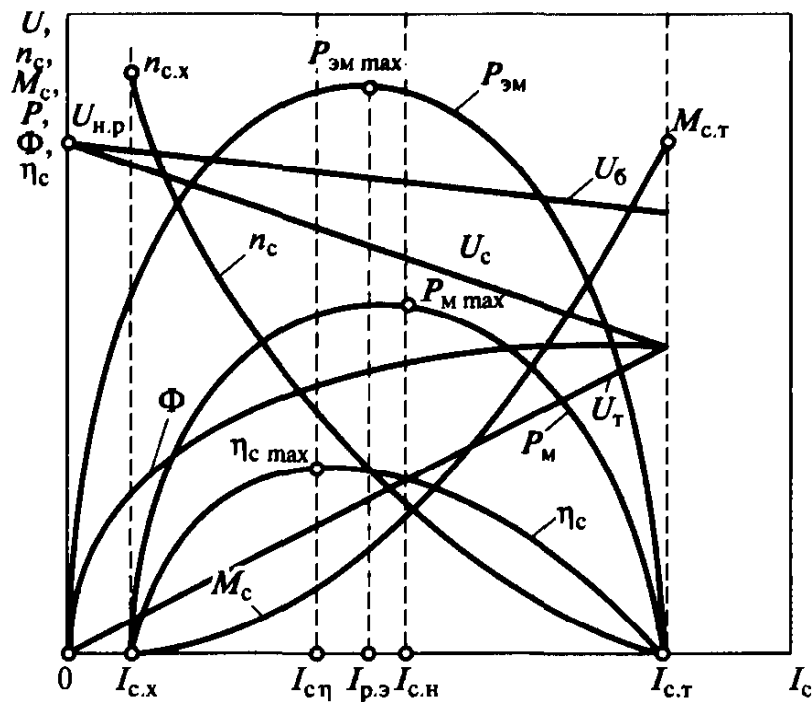


Рис. 2.9. Электромеханические характеристики стартера

ты вращения вала стартера  $n_c$ , момента на выходном валу стартера  $M_c$ , тормозного напряжения  $U_t$  и магнитного потока  $\Phi$  возбуждения от тока, потребляемого стартером  $I_c$ .

Электромеханические характеристики стартера, содержащего электродвигатель последовательного возбуждения, представлены на рис. 2.9.

Как указывалось ранее, механическая мощность стартера опреде-

ляется по формуле  $P_m = \frac{n_c M_c}{9,549}$ .

Преобразование электрической мощности в механическую происходит с КПД, определяемым как отношение

$$\eta_c = \frac{P_m}{P_э} = \frac{n_c M_c}{9,549 I_c U_c}$$

При отсутствии нагрузки на валу стартера его электродвигатель потребляет ток  $I_{c,x}$ , соответствующий режиму холостого хода. На этом режиме существует наибольшая величина частоты  $n_{c,x} = n_{c,max}$  вращения выходного вала стартера, нулевое значение нагружающего момента  $M_c$  на этом валу и определенные значения тормозного напряжения  $U_t$ , магнитного потока возбуждения  $\Phi$  и электромагнитной мощности  $P_{эм}$ , характеризующие потребление стартером электрической энергии на холостом ходу.

Максимальное значение электромагнитной мощности соответствует току  $I_{p,э}$ , который составляет половину тока полного торможения стартера  $I_{c,т}$ .

Максимальное значение механической мощности соответствует току  $I_{с.н}$ , составляющему половину суммы тока холостого хода  $I_{с.х}$  и тока полного торможения стартера  $I_{с.т}$ .

Участок, ограниченный значениями токов  $I_{с.н}$  и  $I_{с.т}$ , соответствующими максимальным значениям КПД  $\eta_{\max}$  и механической мощности  $P_{\max}$ , может рассматриваться как диапазон нахождения наиболее благоприятного нагрузочного режима работы стартера. По границам этого диапазона можно определить значения частоты вращения выходного вала стартера, момент на этом валу, а также соответствующие падения напряжения в цепи питания стартера и уровень магнитного потока  $\Phi$ .

Нагрузочный режим, соответствующий максимальному значению механической мощности может рассматриваться как номинальный, существующий при номинальном стартерном токе  $I_{с.н}$ .

Насыщение магнитной системы стартерного электродвигателя находится в зависимости от тока  $I_c$ , потребляемого стартером, причем при токе  $I_{с.н}$ , соответствующем максимальному значению механической мощности, магнитная система является полностью насыщенной и на участке от  $I_{с.н}$  до  $I_{с.т}$  магнитный поток  $\Phi$  практически не зависит от тока стартера  $I_c$ .

Нагрузочный режим стартера, существующий при токе  $I_{с.т}$  полного торможения вала стартера наряду с режимом холостого хода, может использоваться в качестве диагностического для оценки соответствия величин момента  $M_{с.т}$  и тока полного торможения якоря  $I_{с.т}$  заданным значениям.

**Согласование характеристик стартера и аккумуляторной батареи** осуществляется исходя из заданных вольт-амперной и мощностной характеристик батареи, изменение которых вызывает соответствующие изменения показателей работы стартера.

При изменении характеристик аккумуляторной батареи тормозная характеристика стартера  $U_T = f(I_c)$  остается неизменной. Точка пересечения характеристики  $U'_c = f(I_c)$  с тормозной характеристикой определяет новое предельное значение тормозного напряжения  $U'_{с.т}$ , проекция которой на горизонтальную ось определяет новое значение тока полного торможения стартера  $I'_{с.т}$ . При этом несколько изменяется зависимость  $n_c = f(I_c)$  частоты вращения выходного вала стартера от его тока. Зависимость  $M_c = f(I_c)$  при некотором допущении можно считать неизменной, так как при небольшом уменьшении частоты вращения вала  $n_c$  снижаются потери на трение. Однако уменьшение тока полного торможения стартера приводит к снижению максимального момента на валу стартера до уровня  $M'_{с.т}$ .

Номинальный ток стартера  $I_{с.н}$ , соответствующий нагрузочному режиму при его максимальной мощности, уменьшается до величины  $I'_{с.н}$ . При этом режиме его противоЭДС изменяется незначительно от уровня  $E_n$  до величины  $E'_n$ .

Если проследить изменение рассматриваемых характеристик при каком-либо неизменном значении тока  $I_c$ , то можно обнаружить уменьшение противоЭДС от значения  $E_c$  до значения  $E'_c$ . При постоянном заданном значении тока стартера  $I_c$  противоЭДС стартера

$$E_c = C_E n_c \Phi,$$

соответственно

$$E'_c = C_E n'_c \Phi'.$$

При заданном токе стартера магнитные потоки можно считать равными:  $\Phi = \Phi'$ , отчего изменившееся значение частоты вращения вала стартера можно определить из соотношения

$$n'_c = n_c \frac{E'_c}{E_c}.$$

Аналогичным образом можно определить механическую мощность, развиваемую стартером при токе  $I_c$ :

$$P'_m = P_m \frac{E'_c}{E_c}.$$

Для работы стартера в задаваемом нагрузочном режиме необходимо его электропитание исходя из обеспечения потребления им необходимой электрической мощности. При известной вольт-амперной характеристике батареи можно рассчитать ее мощностную характеристику, которую можно сопоставить с характеристикой электрической мощности стартера.

Активная мощность батареи

$$P_6 = U_6 I_p.$$

Разрядный ток батареи  $I_p$  в данном случае можно рассматривать как ток, потребляемый стартером:  $I_p = I_c$ . Напряжение батареи больше напряжения стартера на величину потерь в цепи питания стартера:  $U_6 = U_c + \Delta U_{ц}$ .

Мощность батареи можно рассматривать как

$$P_6 = I_c (U_c + \Delta U_{ц}) = I_c [U_c + I_c (R_{пр} + R_m)],$$

или

$$P_6 = I_c U_c + I_c^2 (R_{пр} + R_m).$$

Располагая электрической мощностью стартера  $P_э = I_c U_c$ , мощность батареи, питающей стартер, можно рассматривать в виде

$$P_6 = P_3 + I_c^2(R_{np} + R_m) = P_3 + I_c^2 R_u.$$

Из полученного выражения следует, что активная разрядная мощность аккумуляторной батареи должна превосходить электрическую мощность стартера на величину мощностных потерь в цепи питания стартера.

В течение промежутка времени, когда производится пуск двигателя, аккумуляторная батарея отдает энергию, которую исходя из допущения о постоянстве тока стартера в течение времени его работы можно определить по формуле

$$W_n = U_{cp} I_c t_c,$$

где  $U_{cp}$  — среднее напряжение батареи, равное полусумме начального и конечного напряжений в течение времени работы стартера;  $t_c$  — время непрерывной работы стартера при одном цикле пуска двигателя.

Если определить среднюю мощность, отдаваемую батареей в течение работы стартера, как произведение  $P_{б.ср} = U_{cp} I_c$ , то при работе стартера батарея отдает энергию

$$W_n = P_{б.ср} t_c.$$

В то же время

$$W_n = U_{cp} \Delta C_n,$$

где  $\Delta C_n = I_c t_c$  — часть емкости аккумуляторной батареи, необходимая для одного цикла пуска двигателя, А · с:

$$\Delta C_n = \frac{P_6 t_c}{U_{cp}} = \frac{(P_3 + I_c^2 R_u) t_c}{U_{cp}}.$$

Для надежного пуска двигателя аккумуляторная батарея должна иметь достаточную разрядную емкость и энергозапас, способные обеспечить возможность сохранения заданных характеристик работы стартера в течение нескольких циклов (попыток) пуска двигателя  $n_n$  в промежутке времени работы стартера  $t_c$ . При этом определение емкости аккумуляторной батареи представляется затруднительным в связи с непостоянством стартерного тока  $I_c$ , среднего напряжения батареи  $U_{cp}$ , зависящего как от промежутков времени работы стартера, так и от промежутков времени «отдыха» батареи между попытками пуска двигателя. Кроме того, для определения емкости аккумуляторной батареи необходимо иметь заданное количество попыток пуска двигателя, при которых обеспечивается сохранение ее

мощности на требуемом, исходя из величины электрической мощности стартера, уровне.

В общем виде формулу для определения емкости батареи, А·ч, можно представить в виде

$$C = \frac{\Delta C_n n_p k_p}{3600},$$

где  $n_p$  — количество попыток пуска двигателя;  $k_p$  — коэффициент приведения характеристик батареи, полученных при стартерном разрядном режиме к уровню при 20-часовом разрядном режиме.

Аналогичным образом с достаточной для инженерных расчетов точностью может быть использована формула [8] определения номинальной емкости, А·ч, аккумуляторной батареи при 20-часовом раз-

рядном режиме  $C = \frac{368 P_{э\max}}{U_c}$ .

**Согласование характеристик стартера и двигателя** производится на основе совмещения их мощностных и механических показателей, причем вольт-амперные характеристики аккумуляторной батареи считаются заданными в заданном интервале температур. Целью такого согласования является определение частоты вращения коленчатого вала и вращающего момента стартера, а также минимальной температуры пуска двигателя заданным стартером.

Как указывалось ранее, для обеспечения пуска двигателя необходимо, чтобы частота вращения его коленчатого вала стартером превосходила минимальную частоту вращения этого вала ( $n_d > n_{\min}$ ) для данной температуры пуска.

Частота вращения коленчатого вала  $n_d$  от стартера определяется путем совмещения характеристик момента сопротивления вращению коленчатого вала двигателя  $M_{с.д} = f(n_d)$  и приведенной к коленчатому валу характеристики момента стартерного электродвигателя  $M_c = f(n_d)$  (рис. 2.10).

Приведенный момент стартера на коленчатом валу

$$M_c = M_{с.д} i_c \eta_p,$$

где  $i_c$  — передаточное число от выходного вала стартера к венцу маховика двигателя;  $\eta_p$  — механический КПД передачи момента от стартера к двигателю.

Частота вращения коленчатого вала двигателя при этом  $n_d = n_c / i_c$ .

Точки пересечения кривых, полученных для одинаковых температурных значений, характеризуют значения частоты вращения стартером коленчатого вала для определенной температуры пуска двигателя. В свою очередь кривая, проходящая через указанные точки,

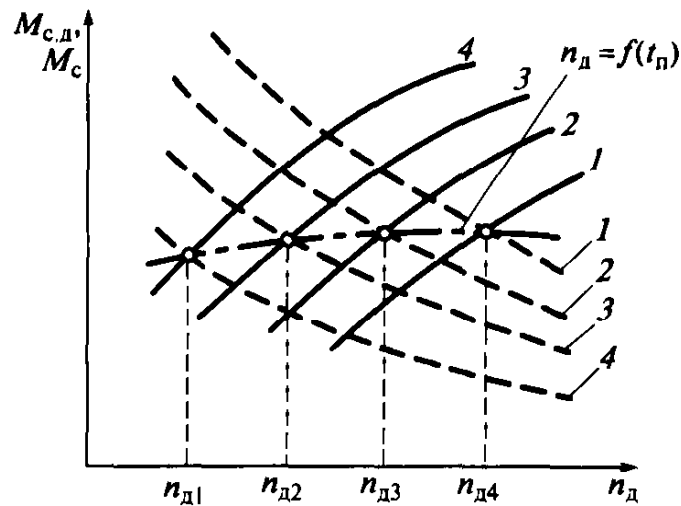


Рис. 2.10. Совмещение характеристик момента сопротивления вращению коленчатого вала двигателя  $M_{с.д.}$  (---) и момента стартерного электродвигателя  $M_c$  (—):

1 — при  $t_n = -15^\circ\text{C}$ ; 2 — при  $t_n = -20^\circ\text{C}$ ; 3 — при  $t_n = -25^\circ\text{C}$ ; 4 — при  $t_n = -30^\circ\text{C}$ ;  
 $t_n$  — температура пуска двигателя

представляет собой зависимость частоты вращения коленчатого вала стартером от температуры пуска  $t_n$ :  $n_d = f(t_n)$ . Сравнивая на одном графике данную кривую с зависимостью минимальной пусковой частоты вращения коленчатого вала  $n_{\min} = f(t_n)$  от температуры пуска  $t_n$ , по точке пересечения таких зависимостей можно получить минимальную температуру пуска двигателя  $t_{n\min}$ .

Исходя из данных рис. 2.11 для получения более низких значений минимальной температуры пуска холодного двигателя необходимо использование другого качественного состава эксплуатационных материалов, прежде всего топлива и масел, позволяющих понизить температурную зависимость минимальной пусковой частоты вращения коленчатого вала двигателя  $n_{\min} = f(t_n)$ .

Изменением величины передаточного числа  $i_c$  привода стартера к венцу маховика двигателя можно добиться использования стартера в наиболее благоприятном нагрузочном режиме при пуске двигателя. Для любого значения температуры необходима такая величина передаточного числа  $i_c$ , при которой стартерный электродвигатель испытывает нагрузку на режиме максимальной механической мощ-

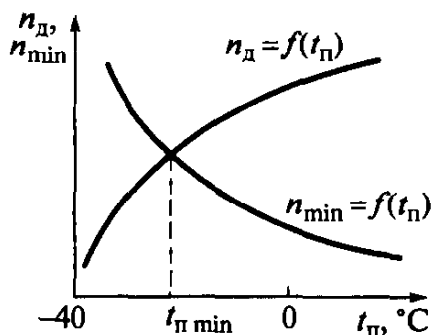


Рис. 2.11. Определение минимальной температуры пуска двигателя



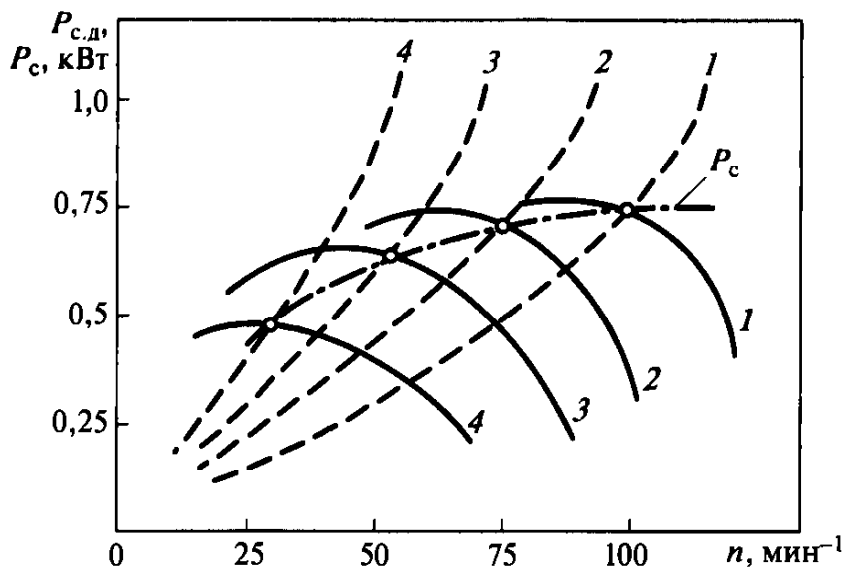


Рис. 2.12. Совмещение мощностных характеристик стартера  $P_c$  (—) и сопротивления вращению коленчатого вала двигателя  $P_{с.д.}$  (---):  
 1 — при  $t_n = -15^\circ\text{C}$ ; 2 — при  $t_n = -20^\circ\text{C}$ ; 3 — при  $t_n = -25^\circ\text{C}$ ; 4 — при  $t_n = -30^\circ\text{C}$ ;  
 $t_n$  — температура пуска двигателя

ности. Для этого производится расчет приведенной к коленчатому валу мощности стартера в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, получаемой при разных температурах, и осуществляется сравнение полученных кривых с аналогичными зависимостями мощности сопротивления вращению коленчатого вала при для тех же значениях температуры. Точки пересечения зависимостей с максимальными значениями мощности стартера определяют частоты вращения коленчатого вала, соответствующие его нагрузочному режиму при максимальной мощности для разных значений температуры (рис. 2.12).

По рабочим характеристикам стартера можно определить частоты вращения выходного вала стартера  $n_{с.р}$  для соответствующих температурных значений. По отношению таких частот  $n_{с.р}$  к соответствующим по температурным значениям частотам вращения коленчатого вала  $n_{д.р}$  на режимах максимальной мощности стартера можно рассчитать зависимость передаточного числа привода стартера к двигателю от температуры по формуле  $i_{с.р} = n_{с.р}/n_{д.р}$ .

С понижением температуры пуска для сохранения наиболее благоприятного нагрузочного режима стартера при его максимальной механической мощности необходимо увеличение передаточного числа  $i_c$ . Исходя из величины минимальной температуры холодного пуска двигателя, определенной по графику рис. 2.11, можно получить оптимальное передаточное число  $i_{\text{опт}}$  привода стартера к двигателю, соответствующее минимальной температуре пуска.

При пуске двигателя в условиях более высоких температур стартер работает на режиме до достижения минимальной мощности. Это способствует улучшению пуска двигателя за счет повышения частоты

ты вращения коленчатого вала и меньшему расходу электрической энергии как за счет снижения тока стартера, так и за счет некоторого повышения КПД стартера, максимальное значение которого достигается при меньшем токе относительно тока, существующего при максимальной механической мощности стартера.

## **2.4. Средства облегчения пуска двигателя**

Пуск двигателя при температуре окружающего воздуха ниже минимальной пусковой возможен только при использовании средств облегчения его пуска, которые по направлению действия можно подразделить на следующие виды:

- предпусковой подогрев масла в картере двигателя и охлаждающей жидкости;
- подогрев аккумуляторной батареи;
- подогрев воздуха во впускном трубопроводе и в цилиндрах двигателей со впрыском топлива;
- применение легковоспламеняющихся жидкостей.

Выбор типа устройства облегчения пуска и эффективность его действия зависят от типа двигателя и его пусковых характеристик.

**Факельные подогреватели масла и охлаждающей жидкости** типа ПЖБ, работающие на бензине, и ПЖД, работающие на дизельном топливе, используют для двигателей с жидкостной системой охлаждения. При работе таких устройств осуществляется факельный подогрев масла, находящегося в поддоне картера двигателя, и охлаждающей жидкости, поступающей в полость, получающей теплоту от камеры сгорания подогревателя. Для обеспечения естественной конвективной теплообменной циркуляции охлаждающей жидкости от полости подогрева к рубашке охлаждения двигателя и обратно полость подогрева жидкости должна быть расположена ниже нижнего уровня рубашки охлаждения двигателя.

Нагнетание воздуха в камеру сгорания подогревателя производится вентилятором нагнетателем, приводимым в действие от электродвигателя.

При наличии в двигателе системы воздушного охлаждения для его подогрева могут быть применены подогреватели так называемого пульсирующего типа, осуществляющие одновременный подогрев как масла в поддоне картера, так и цилиндров двигателя путем их обдува подогретым воздухом. Положительным качеством такой системы является одновременный подогрев приборов системы питания, что улучшает испаряемость топлива и облегчает его воспламенение. Однако тепловые потери в таком случае становятся намного больше, чем при наличии жидкостной системы охлаждения.

По утверждениям специалистов [13], наиболее целесообразно осуществлять подогрев масла и охлаждающей жидкости до температур,

при которых обеспечивается значительное уменьшение вязкости масла и достигается достаточно хорошая испаряемость топлива. Для двигателей различных типов такие оптимальные температуры могут быть разными исходя из вязкостно-температурных свойств масел и характеристик испаряемости топлив. Применительно к свойствам отечественных эксплуатационных материалов пуск двигателя целесообразно производить при температуре масла, обеспечивающей его вязкость менее  $5 \text{ мм}^2/\text{с}$  и температуре охлаждающей жидкости  $30 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В некоторых случаях подогрев масла и охлаждающей жидкости может быть осуществлен электроподогревателями, подключаемыми к стационарной электрической сети. При этом подогреватель масла целесообразно размещать в нижней части поддона картера изолированно от корпуса с наружным выводом контактов для подключения соединительных разъемов. Подогреватель жидкости должен быть размещен аналогичным образом в нижней точке системы охлаждения, вблизи нижнего патрубка радиатора таким образом, чтобы циркуляция жидкости происходила как по малому, так и по большому кругу системы. Такое решение позволяет кроме предпускового подогрева осуществлять текущий подогрев жидкости при стоянке автомобиля или трактора для предохранения ее от возможного замерзания. В качестве недостатков рассматриваемой системы подогрева можно отметить необходимость наличия стационарной электрической сети и значительный расход электрической энергии. При этом интенсивный подогрев масла любым из рассмотренных способов приводит к его местному перегреву, вызывающему появление смолистых отложений в поддоне картера двигателя, что затрудняет передачу теплоты и ухудшает характеристики масла.

**Подогрев аккумуляторной батареи** производится, как правило, только посредством электронагревательных элементов, питание которых возможно как от стационарной электрической сети при стоянках автомобиля или трактора, так и от бортовой электрической сети в условиях работы генератора. Размещение батареи в непосредственной близости от двигателя в условиях работы на холоде в некоторой степени способствует сохранению ее требуемой рабочей температуры, однако при работе в условиях летнего периода это вызывает перегрев батареи и сокращение срока ее службы. Наиболее рациональной зоной размещения батареи является место, находящееся вблизи стартера, где исключается ее перегрев, например под кабиной водителя в грузовом автомобиле или тракторе либо в специальном отсеке легкового автомобиля или автобуса.

Подогрев аккумуляторной батареи осуществляется путем ее размещения в утеплительные чехлы-подогреватели, содержащие электронагревательные элементы. Для стабилизации температуры батареи чехол-подогреватель содержит термореле, периодически отключающее электропитание электронагревателей при повышении темпера-

туры батареи сверх установленной и включающее подогрев при ее соответствующем охлаждении. Поддержание постоянной температуры аккумуляторной батареи в холодное время года повышает срок ее эксплуатации при сохранении требуемых характеристик и не приводит к большим энергозатратам.

**Подогрев впускаемого воздуха** в легкотопливных двигателях улучшает условия испаряемости топлива, а в дизелях осуществляет повышение температуры в конце такта сжатия, способствующее улучшению воспламеняемости впрыскиваемого топлива. Повышение температуры впускаемого воздуха производится путем размещения во впускном трубопроводе свеч подогрева, представляющих собой спиральные электроподогреватели низкого напряжения, размещаемые на соответствующих корпусах и излучающие теплоту в проходящий по трубопроводу воздушный поток.

В конструкции тракторных двигателей рабочим объемом до 5 л получили распространение свечи подогрева СН-150 (рис. 2.13) мощностью 400 В · А. Спираль такой свечи изготавливается из нихромовой проволоки диаметром 2 мм. Расчетное напряжение свечи — 8,5 В. Ток, потребляемый одной свечей, составляет 45...47 А. Включение свечи производится через вариаторный резистор, предохраняющий ее от чрезмерного перегрева и перемыкаемый накоротко при включении стартера подобно тому, как это осуществляется в батарейной контактной классической системе зажигания. Рабочая температура спирали (900...1000 °С) достигается после ее включения за 40...50 с.

Несколько бóльший эффект подогрева впускного воздуха может быть достигнут путем использования фланцевых свечей, устанавливаемых во впускных окнах между трубопроводом и головкой цилиндров. Однако применение таких свечей, как и ранее рассмотренной, вызывает повышенное аэродинамическое сопротивление движению впускаемого воздуха, что уменьшает мощность двигателя на рабочих режимах.

Применение свечей подогрева впускного воздуха в тракторных дизелях при использовании соответствующих зимних сортов топлива и масел позволяет понизить минимальную пусковую температуру двигателя на 5...10 °С, причем эффективность таких свечей уменьшается с понижением температуры. Эффектив-

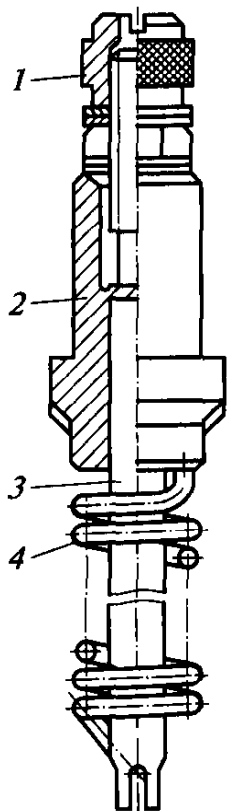


Рис. 2.13. Свеча подогрева впускного воздуха СН-150: 1 — контактная гайка; 2 — корпус; 3 — стержень; 4 — спираль

Рис. 2.14. Электрофакельная свеча:

1 — контактный стержень; 2 — корпус; 3 — канал подвода топлива; 4 — топливный жиклер; 5 — нагревательная спираль; 6 — испарительная сетка; 7 — защитный кожух

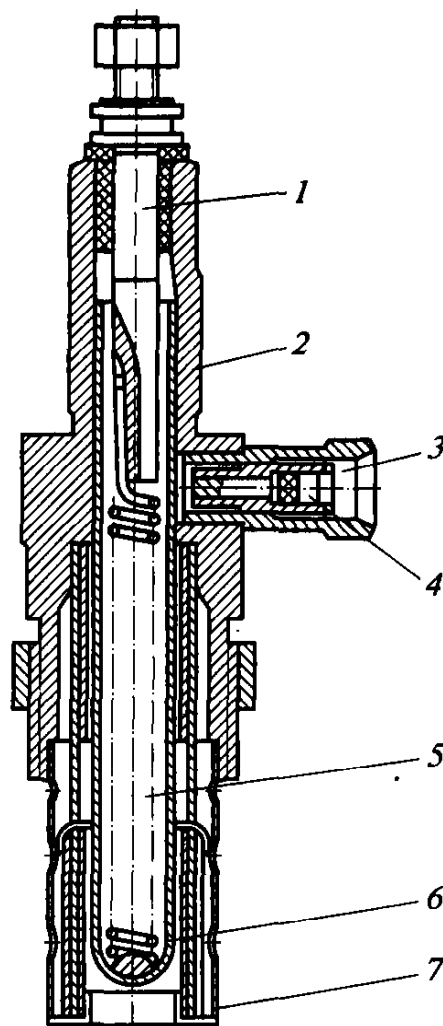
ность работы свечей подогрева воздуха в условиях низких температур снижается при увеличении длины впускного трубопровода.

При температуре ниже  $-15^{\circ}\text{C}$  большую эффективность для подогрева впускаемого воздуха представляет система электрофакельного подогрева. Система электрофакельного подогрева воздуха может работать как на дизельном, так и на легких видах топлива. Потребление электрической энергии от бортовой сети при этом заметно снижается, несгоревшие частицы топлива остаются в газообразном виде и не откладываются на поверхностях подогревателя. Работа подогревателя после пуска дизеля на режиме до его прогрева способствует улучшению сгорания топлива, уменьшению дымности и снижению токсичности отработавших газов.

Основным элементом системы электрофакельного подогрева является электрофакельная свеча (рис. 2.14), осуществляющая дозированную подачу топлива, его подогрев и испарение с последующим воспламенением во впускном трубопроводе. Таким образом, подогрев впускаемого воздуха производится не от нагретой спирали, а от факела, исходящего от свечи.

Электропитание к электрофакельной свече подводится к контактному стержню 1, от которого цепь замыкается на «массу» через спираль 5, которая нагревается до температуры  $1\,000 \dots 1\,100^{\circ}\text{C}$ , что вполне достаточно для воспламенения топлива. Подача топлива к свече осуществляется самотеком по каналу 3, дозирование его производится топливным жиклером 4. В зоне испарительной сетки 6 топливо смешивается с воздухом, проходящим по впускному трубопроводу, и воспламеняется. Защитный кожух 7 предохраняет испарительную сетку 6 и нагревательную спираль 5 от деформаций.

Нагревательная спираль электрофакельной свечи рассчитывается на напряжение 9,5 или 19 В в соответствии с номинальным напряжением бортовой сети 12 или 24 В при неработающем двигателе.



Потребляемый ток при этом составляет 20... 22 или 10... 11 А соответственно. Включение спиралей в цепь производится последовательно с вариаторными резисторами, которые стабилизируют их тепловой режим и в момент включения стартера переключаются накоротко. При наличии во впускном трубопроводе двигателя нескольких каналов возможно размещение электрофакельных свечей по одной в каждом канале.

Топливо к электрофакельной свече поступает из системы питания двигателя или от отдельного бачка через электромагнитный клапан, который открывается при условии, что топливная магистраль низкого давления на участке от фильтра тонкой очистки топлива до насоса высокого давления заполнена топливом под давлением 0,02... 0,04 МПа. В системе питания двигателей КамАЗ роль электромагнитного клапана выполняют перепускной клапан топливного насоса высокого давления, срабатывающий при давлении более 0,06... 0,08 МПа и клапан-жиклер, находящийся в крышке фильтра тонкой очистки топлива, срабатывающий при давлении 0,025... 0,045 МПа.

Подача топлива к электрофакельной свече производится после предварительного нагрева ее спирали в течение 1... 1,5 мин, что необходимо для его нормального воспламенения. Для контроля за тепловым режимом спирали свеча снабжается термобиметаллической пластиной, которая при достижении заданной температуры замыкает контакты, от которых через реле производится включение электромагнитного клапана и контрольной лампы на панели приборов, сигнализирующей о достижении требуемой температуры и необходимости включения стартера. В некоторых случаях реле включения стартера может быть подключено к цепи электромагнитного топливного клапана для автоматического включения стартера по достижении достаточной температуры нагрева спирали электрофакельной свечи.

Время от момента включения электрофакельного подогревателя до момента его готовности к образованию факела составляет от 50 до 110 с в зависимости от температуры окружающей среды. Расход топлива одной свечей находится в пределах 5,5... 6,5 см<sup>3</sup>/мин. Ток, потребляемый одной свечей, составляет 11... 11,8 А при расчетном напряжении 19 В. Поступление топлива к свече осуществляется от топливоподкачивающего насоса при проворачивании коленчатого вала двигателя стартером.

После пуска двигателя на режиме прогрева для улучшения устойчивости его работы электрофакельные свечи могут продолжать работать. С этой целью предусматривается возможность их включения при отключенном стартере. Для предотвращения перегорания свечей при подаче к их спиральям более высокого по сравнению с расчетным напряжения и увеличении потребляемого ими тока в цепи их включения устанавливаются термобиметаллические предохранители. В некоторых случаях включение свечей может быть произведено через амперметр, по показаниям которого можно обнаружить отклю-

нения от нормального состояния элементов этой цепи. Применение электрофакельных подогревателей позволяет при использовании соответствующих температурным условиям масел и топлива понизить минимальную температуру пуска дизеля на 10... 15 °С.

Подогрев впускаемого воздуха в двигателях со впрыском легкого топлива и воспламенением от свечей зажигания осуществляется таким же образом, что и для дизелей. В некоторых случаях производится электрофакельный или электрический подогрев впускного коллектора.

**Впрыск во впускную систему двигателя легковоспламеняющейся жидкости** в мелкораспыленном виде заметно улучшает процесс воспламенения рабочих зарядов в цилиндрах двигателя. При этом снижается как минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала  $n_{\min}$ , так и предельная минимальная температура пуска холодного двигателя  $t_{\text{пр}}$ .

Впрыскиваемая жидкость может подаваться непосредственно в цилиндры двигателя вместе с основным топливом или посредством специальных приспособлений во впускной трубопровод, что более удобно.

Впрыскиваемая жидкость обеспечивает интенсификацию воспламенения рабочего заряда вследствие наличия в ее составе легких компонентов с низкой температурой самовоспламенения. Основным компонентом, обеспечивающим такие свойства пусковой жидкости, является этиловый эфир, имеющий температуру самовоспламенения в пределах 180... 200 °С. В смеси с воздухом он обеспечивает воспламеняемость в достаточно широком диапазоне по составу, что снижает требования по его дозировке. Однако при увеличении доли этилового эфира в его смеси с воздухом возрастает давление в цилиндрах двигателя при сгорании смеси, что повышает жесткость работы двигателя и создает дополнительные нагрузки на его кривошипно-шатунный механизм. Кроме того, повышенное содержание эфира в воздушной смеси уничтожает масляную пленку на внутренних стенках цилиндров, что повышает износ контактирующих поверхностей, причем на режиме пуска двигателя, когда давление масла в смазочной системе двигателя еще не вышло на требуемый уровень.

Для уменьшения износа деталей двигателя в состав пусковой жидкости вводятся специальные противоизносные и противоокислительные присадки. Кроме того, для снижения жесткости работы двигателя в состав жидкости могут вводиться в небольших количествах компоненты, повышающие температуру самовоспламенения смеси, например изопропилитрат, бутан, легкие фракции бензина.

Введение пусковых жидкостей во впускную систему двигателя может осуществляться несколькими способами, среди которых могут быть впрыск смеси во впускной трубопровод от ручных насосов или от аэрозольных баллончиков с электромагнитными клапанами, впрыск смеси от переносных аэрозольных баллончиков.

Несколько бóльшие удобства для водителя представляют собой пусковые приспособления мод. 17.3741 и 171.3741, рассчитанные соответственно на работу при напряжении 12 и 24 В. Данные приспособления содержат аэрозольный баллон с пусковой жидкостью. Приведение приспособлений в действие осуществляется электромагнитным клапаном, управляемым кнопочным включателем с места водителя, причем впрыск жидкости возможен только при работе стартера.

Впрыск жидкости производится от распылителя во впускную систему двигателя. Такое решение позволяет осуществлять более экономный расход пусковой жидкости, чем снижается ее вредное воздействие на окружающую среду. В качестве вытесняющего газа (пропелента) в аэрозольном баллоне может использоваться нейтральное вещество, например углекислый газ, находящийся под давлением 0,1 МПа при температуре  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Облегчение пуска двигателей при применении пусковых жидкостей позволяет уменьшить минимальную пусковую частоту вращения коленчатого вала двигателя и снизить минимальную температуру его пуска на  $20\text{...}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В сочетании с другими способами облегчения пуска двигателя, например подогревом масла и охлаждающей жидкости, может быть достигнут еще бóльший эффект. Пусковая жидкость «Арктика» содержит 45... 60 % диэтилового эфира с температурой самовоспламенения  $180\text{...}205\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 35... 55 % газового бензина, 1... 1,5 % изопропилнитрата и до 10 % противоизносных, противозадирных и противоокислительных присадок. Пусковая жидкость «Холод» содержит 58... 62 % диэтилового эфира, 13... 17 % изопропилнитрата и 8... 12 % масла для газовых турбин [13].

В качестве недостатков данного способа можно рассматривать повышенный износ деталей кривошипно-шатунного механизма, который при разумном использовании и хорошо подобранном составе пусковых жидкостей относительно невелик, а также агрессивное воздействие компонентов состава пусковых жидкостей на окружающую среду.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы основные требования, предъявляемые к пусковой системе двигателя?
2. Каковы оценочные показатели пусковых свойств двигателя?
3. Каким образом стартер предохраняется от разрушения при его неотключении после пуска двигателя?
4. Как осуществляется согласование характеристик электрического стартера и двигателя?
5. Как осуществляется облегчение пуска холодного двигателя?



### СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

---

#### 3.1. Общие сведения

Основным назначением любой системы зажигания является воспламенение топливовоздушной смеси в требуемый момент времени в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания, работающего на легком топливе, в качестве которого могут использоваться различные виды бензинов, легких спиртов типа этанола или метанола, сжиженных или сжатых горючих природных газов. Момент начала воспламенения топливовоздушной должен обеспечивать достижение оптимального режима работы двигателя в получении возможно более высоких мощностных показателей при возможно меньшем потреблении топлива и загрязнении окружающей среды. Для этого момент воспламенения должен автоматически корректироваться со следящим действием по ряду показателей: скорости вращения коленчатого вала, нагружающему моменту, противодействующему вращению коленчатого вала, температурному режиму двигателя и т. д.

По принципу действия существующие разновидности систем зажигания можно подразделить на два типа:

- факельного зажигания;
- электрического зажигания.

Основным достоинством *факельного зажигания* является достаточно высокая тепловая мощность факела, воспламеняющего топливовоздушную смесь, позволяющая обеспечивать устойчивую работу двигателя при значительных отклонениях от ее нормального состава в сторону обеднения или обогащения топливом. Факельное зажигание по сравнению с электрическим не создает радиопомех.

В качестве недостатков факельного зажигания можно рассматривать сложность, громоздкость и высокую стоимость узлов впрыскивающей аппаратуры, а также необходимость использования дополнительного материала поджигающего вещества параллельно с основным топливом, что увеличивает затраты на эксплуатацию такого двигателя.

Действие систем *электрического зажигания* основано на воспламенении топливовоздушной смеси в цилиндре двигателя от электрической искры, возникающей в искровом промежутке между электродами свечи зажигания.

К преимуществам электрического зажигания по сравнению с факельным относятся:

- постоянная готовность к работе;
- относительно невысокая стоимость приборов системы;
- простота установочной регулировки и текущей коррекции момента зажигания;
- незначительная потребляемая мощность;
- небольшие массогабаритные показатели узлов и приборов системы.

В качестве недостатков, присущих системам электрического зажигания, можно рассматривать следующие:

- наличие высокого напряжения, опасного для жизни человека;
- наличие радиопомех;
- относительно небольшая энергия искрового разряда, способного воспламенить топливовоздушную смесь в цилиндрах двигателя.

Указанные обстоятельства, характеризуемые недостатками факельного и достоинствами электрического зажигания, предопределили распространение практически на всех двигателях внутреннего сгорания различных систем электрического зажигания, в связи с чем в данном издании рассматриваются вопросы, связанные с работой систем только электрического зажигания.

### **3.2. Классификация систем электрического зажигания**

Существующие системы электрического зажигания можно классифицировать по ряду признаков, среди которых следует выделить вид источника и способы накопления энергии, механизм коммутации первичного тока, количество уровней напряжения и др.

*По наличию и виду источника энергии* системы зажигания можно подразделить на два вида:

- системы, получающие энергию от аккумуляторных батарей, так называемые батарейные система зажигания;
- системы, получающие энергию от внутреннего генераторного источника, так называемые системы зажигания от магнето.

В свою очередь, указанные системы зажигания *по месту накопления энергии* могут быть:

- с накоплением энергии в индуктивности (в катушке зажигания);
- с накоплением энергии в емкости (в специальном накопительном конденсаторе).

Системы зажигания с накоплением энергии в индуктивности по виду коммутации первичного тока подразделяют на системы с контактной коммутацией первичного тока (согласно [31] классическая система) и с бесконтактной коммутацией первичного тока в электронном коммутаторе.

*По способу управления моментом искрообразования системы зажигания можно подразделить:*

- на контактные, с управлением от контактной группы;
- бесконтактные, с управлением от бесконтактного датчика, в качестве которого может использоваться фотоэлектрический, генераторный, Холла и др.

Контактные системы могут быть как в классическом исполнении с одновременной контактной коммутацией первичного тока и контактным управлением, так и в варианте управления работой электронного коммутатора, так называемой контактно-транзисторной системы.

В некоторых источниках (например, [5], [22]) производится подразделение электронных систем зажигания в зависимости от вида элементов, входящих в состав коммутаторов на транзисторные, тиристорные, тиратронные и др., что в современных условиях не может быть целесообразным, поскольку в состав узлов сложных современных систем входит большое количество указанных элементов и выделить из общего содержания чисто транзисторный или тиристорный коммутатор не представляется возможным.

Кроме того, для рассмотрения работы системы зажигания прежде всего необходимо знание роли, выполняемой электронным узлом, а не его конструкция.

В зависимости от способов распределения импульсов высокого напряжения между цилиндрами двигателя системы зажигания могут быть:

- с высоковольтным распределением;
- со статическим распределением.

Любая система зажигания должна быть снабжена механизмами, осуществляющими *текущую коррекцию момента зажигания* в зависимости от изменения режимов работы двигателя. Различают системы зажигания:

- с механической аналоговой коррекцией угла опережения зажигания;
- с электронной цифровой коррекцией угла опережения зажигания.

В зависимости от наличия в системе зажигания *элементов подавления радиопомех* такие системы могут быть:

- без элементов подавления радиопомех;
- с ближним подавлением радиопомех, когда радиоаппаратура, для которой производится такое подавление, находится в транспортном средстве;
- с дальним подавлением радиопомех, когда радиоаппаратура находится вне транспортного средства.

Для обеспечения бесперебойной работы двигателя внутреннего сгорания его система зажигания должна удовлетворять следующим требованиям:

- наличие определенного уровня вторичного напряжения, достаточного для пробоя искровых промежутков свечей зажигания в диапазоне всех возможных рабочих режимов двигателя;
- наличие высокой энергии искры и продолжительности ее горения, достаточной для гарантированного воспламенения рабочего заряда в широком диапазоне изменения его состава;
- наличие определенного момента воспламенения рабочего заряда, соответствующего достижению наиболее выгодных показателей работы двигателя;
- надежность системы зажигания должна превосходить надежность двигателя;
- наличие минимально возможного уровня радиопомех;
- наличие надежной защиты от поражения людей током высокого напряжения;
- стабильность характеристик в течение времени эксплуатации двигателя.

### 3.3. Показатели работы системы зажигания

В качестве основных показателей, используемых для оценки работы системы зажигания, могут рассматриваться следующие величины:

- уровень вторичного напряжения  $U_2$ , развиваемого системой зажигания на определенных режимах работы двигателя: при пуске, в режиме холостого хода, при максимальной частоте вращения коленчатого вала и т. д.;
- скорость нарастания вторичного напряжения на электродах свечи зажигания;
- энергия искрового разряда;
- длительность искрового разряда;
- величина искрового промежутка в свечах зажигания;
- угол опережения зажигания, т. е. часть угла поворота коленчатого вала в границах, соответствующих моменту возникновения искры между электродами свечи и моменту прохождения поршнем данного цилиндра верхней мертвой точки;
- пробивное напряжение  $U_{пр}$ , т. е. напряжение, необходимое для гарантированного пробоя зазора между электродами свечи зажигания. Величина пробивного напряжения в значительной мере зависит от расстояния между электродами свечи и их формы, наличия отложений на рабочих поверхностях свечи, температуры, давления, состава смеси в цилиндре, длительности и формы импульса высокого напряжения, материала электродов, полярности приложенного напряжения. В разных цилиндрах двигателя указанные показатели могут несколько отличаться, поэтому величина пробивного напряжения в разных цилиндрах также может иметь некоторые отличия;

• коэффициент запаса вторичного напряжения, определяемый как отношение вторичного напряжения  $U_2$  к пробивному напряжению  $U_{пр}$ , в цилиндрах двигателя:

$$K_{U_2} = \frac{U_2}{U_{пр}}$$

В современных условиях для нормальной работы двигателя необходимо наличие величины коэффициента запаса вторичного напряжения не менее 1,5... 2. Если при эксплуатации двигателя из-за влияния некоторых факторов (низкая температура смеси, повышенное давление в цилиндрах и т. д.) происходит повышение пробивного напряжения либо уменьшение вторичного напряжения (при повышении частоты вращения коленчатого вала), т. е. значительное снижение коэффициента  $K_{U_2}$ , то в некоторых цилиндрах двигателя могут возникнуть перебои, способные вызвать остановку двигателя. При возникновении перебоев в цилиндрах для восстановления нормальной работы двигателя необходимо принять меры, снижающие пробивное напряжение, например уменьшением нагрузки на двигатель путем перехода на пониженную передачу в механической трансмиссии, либо повышающие вторичное напряжение уменьшением частоты вращения коленчатого вала.

Наиболее высокий уровень пробивного напряжения существует при пуске холодного двигателя вследствие слабой испаряемости топлива и плохого перемешивания смеси. После пуска двигателя и последующего прогрева наблюдается значительное снижение пробивного напряжения, причем это снижение тем заметнее, чем выше температура в цилиндрах двигателя. Увеличение нагрузки на двигатель вызывает рост пробивного напряжения.

Искажение формы электродов свечи при эксплуатации также влияет на величину пробивного напряжения. В частности, округление кромок электродов вызывает рост величины  $U_{пр}$ . Кроме того, при работе свечи зажигания наблюдается увеличение искрового промежутка за счет эрозионного износа электродов, что также способствует возрастанию пробивного напряжения и вызывает необходимость периодической регулировки зазора между электродами.

Угол опережения зажигания оказывает существенное влияние на рабочий процесс двигателя, прежде всего на такие его показатели, как мощность, потребление топлива и токсичность отработавших газов.

В случае раннего зажигания сгорание топливовоздушной смеси в цилиндре происходит до прохождения поршнем верхней мертвой точки, в результате чего часть энергии от ее сгорания расходуется на торможение поршня, снижается мощность двигателя, происходит его перегрев и повышается расход топлива.

В случае позднего зажигания происходит уменьшение части энергии от сгорания топливовоздушной смеси, идущей на полезную работу, что также приводит к снижению мощности двигателя, повышению расхода топлива и перегреву выпускной системы, сопровождаемому появлением в ней хлопков.

Для достижения наибольшей мощности при минимально возможном расходе топлива и наименьшем загрязнении окружающей среды угол опережения зажигания должен функционально изменяться в соответствии с требованиями рабочего режима двигателя со следящим действием по частоте вращения коленчатого вала, нагрузке на двигатель, температуре цилиндров, температуре всасываемого воздуха, атмосферному давлению и т. д.

Реализация возможности коррекции угла опережения зажигания в соответствии с указанными факторами может осуществляться в цифровой системе зажигания с электронными следящими подсистемами. В двигателях с механическими следящими устройствами автоматическая коррекция угла опережения зажигания обычно производится по двум факторам: частоте вращения коленчатого вала — центробежным регулятором и разрежению во впускном трубопроводе, являющемся аналогом нагрузки на двигатель, — вакуумным регулятором.

Начальная установка угла опережения зажигания производится с учетом октанового числа топлива механическим регулятором, называемым октан-корректором. Начальная установка угла опережения зажигания на холостом ходу двигателя обычно производится в пределах  $5 \dots 8^\circ$  до верхней мертвой точки поршня с учетом октанового числа топлива. При повышении частоты вращения коленчатого вала этот угол должен увеличиваться, при увеличении нагрузки на двигатель, сопровождаемой снижением разрежения во впускном трубопроводе, — уменьшаться.

### **3.4. Батарейные системы зажигания**

Как указывалось ранее, источником энергии для батарейных систем зажигания служит аккумуляторная батарея, в связи с чем их работоспособность может быть обеспечена только при наличии в системе электроснабжения указанного источника тока. В системах зажигания рассматриваемого типа накопление энергии с последующей реализацией в виде импульса искрового разряда на свече производится в катушке зажигания, имеющей конструктивное исполнение по схеме повышающего трансформатора. Накопление энергии осуществляется в магнитной системе катушки зажигания при замыкании тока на ее первичную обмотку. В качестве типичного примера такой системы может рассматриваться получившая широкое распространение классическая система зажигания.

### 3.4.1. Классическая система зажигания

Основными элементами классической системы зажигания, в упрощенном варианте представленной на рис. 3.1, являются аккумуляторная батарея, включатель зажигания, катушка зажигания, прерыватель, конденсатор.

Система имеет индуктивно связанные между собой две цепи: первичную и вторичную. Замыкание первичной цепи осуществляется от положительного электрода аккумуляторной батареи Б через включатель зажигания ВКЗ, первичную обмотку с числом витков  $w_1$  катушки зажигания КЗ, прерыватель первичного тока П на отрицательный электрод батареи. В состав вторичной цепи входят вторичная обмотка с числом витков  $w_2$  катушки зажигания, провода высокого напряжения, распределитель (при наличии варианта высоковольтного распределения) и разрядник Р в виде свечи зажигания.

Накопление энергии в катушке зажигания осуществляется при замыкании первичной цепи посредством включателя зажигания ВКЗ и контактов прерывателя П. Возникновение импульса вторичной ЭДС самоиндукции с реализацией электрической искры в разряднике Р происходит в момент размыкания первичной цепи прерывателем П. Управление положением подвижного контакта прерывателя производится вращающимся кулачком, приводимым в действие посредством зубчатой передачи от коленчатого вала. Передаточное число такой связи для четырехтактного двигателя — 2, для двухтактного — 1.

В момент начала размыкания первичной цепи возникает падение напряжения  $U_1$  в первичной обмотке катушки зажигания, что вызывает интенсивное пересечение магнитными силовыми линиями, ис-

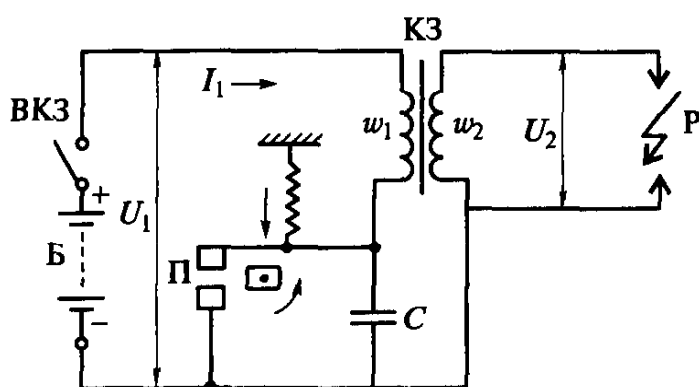


Рис. 3.1. Принципиальная схема батарейной классической системы зажигания:

Б — аккумуляторная батарея; ВКЗ — включатель зажигания; П — прерыватель первичной цепи; КЗ — катушка зажигания; С — конденсатор; Р — разрядник;  $w_1$ ,  $w_2$  — число витков первичной и вторичной обмотки соответственно;  $U_1$ ,  $U_2$  — первичное и вторичное напряжение соответственно;  $I_1$  — первичный ток

ходящими от магнитной системы магнитопровода витков вторичной обмотки, что обуславливает возникновение в ней импульса ЭДС самоиндукции. Величина этого импульса тем больше, чем выше скорость падения первичного напряжения, а следовательно, меньше промежутки времени размыкания контактов прерывателя.

Повышению скорости размыкания контактов прерывателя  $\Pi$  препятствует появление электрической дуги, представляющей собой токопроводящий мост, по которому часть энергии, запасенной в катушке зажигания, перетекает в обратном направлении, попутно расходуясь на горение дуги между контактами. При этом чем больший ток потребляет первичная цепь катушки зажигания, тем большая дуга возникает между контактами при их размыкании.

В качестве простейшего ускорителя размыкания первичной цепи может рассматриваться конденсатор  $C$ , включенный параллельно контактам прерывателя. При возникновении дуги между контактами в начале их размыкания конденсатор поглощает небольшую часть энергии дуги и прерывает ее, разрывая тем самым путь утечки энергии из катушки зажигания. При этом должно соблюдаться соответствие части энергии, идущей на дугообразование и емкости конденсатора. При малой емкости конденсатора прерывание дуги будет неполным, что вызовет некоторые утечки энергии из катушки. В случае большой емкости конденсатора при размыкании контактов на его заряд будет расходоваться значительно большая необходимая для прерывания дуги часть энергии, что также вызовет уменьшение энергии, идущей на искрообразование в разряднике. В идеальном случае для наиболее полной реализации запасаемой в катушке зажигания энергии в энергию искры емкость конденсатора  $C$  должна соответствовать скорости размыкания контактов прерывателя, однако до настоящего времени такое решение не нашло конструктивного исполнения.

Для надежного воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндрах двигателя со степенью сжатия до 8,5 уровень вторичного напряжения  $U_2$ , исходящего от вторичной обмотки катушки зажигания, должен быть не менее 20...25 кВ.

На рис. 3.1 показана принципиальная схема классической системы зажигания в варианте исполнения для одноцилиндрового двигателя. При использовании такой системы в двигателе с большим числом цилиндров должна быть изменена форма кулачка с числом выступов, равным числу цилиндров, и во вторичную цепь необходимо введение распределителя импульсов высокого напряжения по цилиндрам в соответствии с порядком их работы.

Рабочий процесс системы зажигания с накоплением энергии в индуктивности большинство специалистов ([5], [36]) рассматривает в составе следующих трех этапов:

- замыкание первичной цепи и накопление электромагнитной энергии в магнитном поле катушки зажигания;



- разрыв первичной цепи и возникновение ЭДС высокого напряжения во вторичной обмотке катушки зажигания;
- преобразование электромагнитной энергии в искровой разряд между контактами.

**Замыкание первичной цепи** в данном случае осуществляется контактами прерывателя П, состояние вторичной цепи при этом считается разомкнутым. Первичный конденсатор накоротко перемкнут контактами и в процессе накопления энергии не участвует. После замыкания контактов прерывателя изменение первичного тока происходит от нуля до некоторого предельного значения  $I_1$ , соответствующего состоянию полного магнитного насыщения катушки зажигания за время  $t_{м.н.}$

Нарастанию первичного тока  $I_1$  препятствует возникающая при этом ЭДС самоиндукции в первичной обмотке катушки зажигания  $e_1$  и направленная против ЭДС аккумуляторной батареи. При этом напряжение аккумуляторной батареи

$$U_6 = e_1 + i_1 R_1,$$

где  $R_1$  — суммарное сопротивление первичной цепи:

$$R_1 = R_{i1} + R_B + R_{пр} + R_6,$$

где  $R_{i1}$  — активное сопротивление первичной обмотки катушки зажигания;  $R_B$  — сопротивление вариаторного резистора;  $R_{пр}$  — сопротивление подводящих проводов;  $R_6$  — внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи.

Согласно второму закону Кирхгофа ЭДС самоиндукции, обусловленная индуктивностью первичной обмотки катушки зажигания, определяется следующим дифференциальным уравнением:

$$e_1 = L_1 \frac{di_1}{dt},$$

где  $L_1$  — индуктивность первичной обмотки катушки зажигания;

$\frac{di_1}{dt}$  — скорость нарастания тока  $i_1$  в первичной обмотке катушки за-

жигания;  $t$  — время.

Первоначальное уравнение может быть представлено в виде

$$U_6 = L_1 \frac{di_1}{dt} + i_1 R_1 \quad \text{или} \quad i_1 = \frac{U_6}{R_1} - \frac{L_1}{R_1} \frac{di_1}{dt}.$$

Решение такого уравнения может быть представлено выражением

$$i_1 = \frac{U_6}{R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R_1 t}{L_1}} \right),$$

из которого следует, что нарастание тока после замыкания первичной цепи происходит по экспоненциальному закону.

Отношение индуктивности первичной обмотки катушки зажигания  $L_1$  к сопротивлению первичной цепи  $R_1$  может быть принято в виде постоянного коэффициента  $\tau_1$ , характеризующего время магнитного насыщения первичной цепи:

$$\tau_1 = \frac{L_1}{R_1}.$$

Тогда

$$i_1 = \frac{U_6}{R_1} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right).$$

Время  $t$  может рассматриваться в границах от  $t = 0$  (момент начала замыкания контактов) до  $t = \infty$  (установившийся ток).

В начале замыкания контактов при  $t = 0$  ток первичной цепи  $i_1 = 0$  и скорость его нарастания имеет максимально возможную величину

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_6}{L_1},$$

не зависящую от сопротивления первичной цепи  $R_1$ .

Как видно из приведенного выражения, увеличению скорости нарастания первичного тока в начальный момент может способствовать повышение напряжения аккумуляторной батареи  $U_6$  и уменьшение индуктивности первичной обмотки катушки зажигания  $L_1$ .

При  $t = \infty$  первичный ток достигает максимальной величины

$$i_1 = \frac{U_6}{R_1} = I_1,$$

при этом скорость нарастания первичного тока  $\frac{di_1}{dt} = 0$ .

Существующие конструкции катушек зажигания, работающие в режиме накопления энергии, позволяют достичь максимальной величины первичного тока  $i_{1 \max} = I_1$ , т.е. осуществить полное магнитное насыщение катушки зажигания за промежуток времени  $t_{\text{м.н}} < 0,0002$  с [36].

Время полного магнитного насыщения катушки зажигания  $t_{м.н}$  определяет ток  $I_p$ , при котором целесообразно осуществлять разрыв первичной цепи. Величина тока  $I_p$  находится в функциональной зависимости от промежутка времени  $t_3$  нахождения первичной цепи в замкнутом состоянии.

Следовательно, ток разрыва первичной цепи

$$I_p = i_{1\max} = \frac{U_6}{R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R_1 t_3}{L_1}} \right).$$

Время замкнутого состояния контактов прерывателя  $t_3$  зависит от частоты вращения коленчатого вала, числа цилиндров, тактности двигателя, профиля выступов кулачка. Период работы контактного прерывателя

$$T = t_3 + t_p = \frac{1}{f},$$

где  $t_p$  — время разомкнутого состояния контактов, с;  $f$  — частота срабатывания контактов, с<sup>-1</sup>:

$$f = \frac{Z_{ц} n_{д}}{60 i_3},$$

где  $Z_{ц}$  — число цилиндров двигателя;  $n_{д}$  — частота вращения коленчатого вала двигателя, мин<sup>-1</sup>;  $i_3$  — передаточное число привода от коленчатого вала к валу кулачка прерывателя, для двухтактного двигателя  $i_3 = 1$ , для четырехтактного —  $i_3 = 2$ .

Для рассмотрения работы системы зажигания целесообразно представлять процесс накопления энергии не в течение переменного промежутка времени  $t_3$ , а применительно к постоянной безразмерной величине, характеризующей долю времени замкнутого состояния контактов в общем периоде  $T = t_3 + t_p$ , т. е. относительное время замкнутого состояния контактов

$$\tau_3 = \frac{t_3}{t_3 + t_p}, \text{ при этом } t_3 = \tau_3 T = \tau_3 \frac{1}{f} = \frac{\tau_3 i_3 60}{Z_{ц} n_{д}}.$$

Таким образом, ток разрыва первичной цепи для четырехтактного двигателя может быть определен по формуле

$$I_p = \frac{U_6}{R_1} \left( 1 - e^{-\frac{120 R_1 \tau_3}{L_1 Z_{ц} n_{д}}} \right).$$

Из приведенного выражения видно, что ток разрыва первичной цепи  $I_p$  возрастает при увеличении напряжения батареи и уменьшении суммарного сопротивления и индуктивности этой цепи. Конструктивным путем ток  $I_p$  может быть повышен за счет увеличения относительного времени замкнутого состояния контактов  $\tau_z$ , которое определяется совершенством формы и профиля кулачка и не зависит от частоты его вращения.

Уменьшению тока  $I_p$  способствует увеличение числа цилиндров  $Z_{\text{ц}}$  и частоты вращения коленчатого вала  $n_d$ .

Применительно к схеме нарастания тока  $I_1$  после замыкания первичной цепи разрыв этой цепи целесообразно осуществлять в момент, когда магнитная система катушки зажигания полностью насыщена и первичный ток достиг максимальной величины.

В случае когда  $t_3 > t_{\text{м.н}}$ , что характерно для работы двигателя на режиме холостого хода, значительная часть энергии, потребляемой первичной цепью, расходуется на нагрев первичной обмотки катушки зажигания и вариаторных резисторов при их наличии. Во избежание перегрузки катушки зажигания по току указанные обстоятельства необходимо учитывать при совмещении ее характеристик с характеристиками механизма, осуществляющего прерывание (коммутацию) первичного тока.

**Разрыв первичной цепи** является началом второй фазы, в которую после накопления энергии переходит рабочий процесс системы.

Согласно закону магнитной индукции уровень напряжения, индуцируемого во вторичной обмотке импульсного трансформатора, прямо пропорционален коэффициенту трансформации и величине первичного тока, существующего в момент разрыва первичной цепи:

$$U_2 = k_T I_p R_1 = k_T U_1,$$

где  $k_T$  — коэффициент трансформации катушки зажигания, определяемый по отношению числа витков  $w_2$  вторичной обмотки к числу витков  $w_1$  первичной обмотки:

$$k_T = \frac{w_2}{w_1}.$$

До момента размыкания контактов в катушке зажигания накапливается электромагнитная энергия, обусловленная индуктивностью первичной цепи:

$$\dots W_3 = \frac{L_1 I_p^2}{2}.$$

После разрыва этой цепи в системе возникает процесс перехода энергии из первичного емкостно-индуктивного контура во вторичный емкостно-индуктивный контур.

Характеристиками взаимосвязанных емкостно-индуктивных контуров являются первичная и вторичная емкости  $C_1$  и  $C_2$ , индуктивности первичной и вторичной обмоток катушки зажигания  $L_1$  и  $L_2$ , сопротивления первичной и вторичной цепей  $R_1$  и  $R_2$ , сопротивления магнитных  $R_m$  и шунтовых (на свече)  $R_{ш}$  потерь, первичное  $U_1$  и вторичное  $U_2$  напряжение, число витков первичной  $w_1$  и вторичной  $w_2$  обмоток катушки зажигания, определяющие коэффициент трансформации  $k_T$ .

В процессе перехода энергии из первичного контура во вторичный накопленная электромагнитная энергия  $W_э$  преобразуется:

- в емкостную энергию  $W_{C1}$ , обусловленную емкостью первичной цепи  $C_1$ ;
- емкостную энергию  $W_{C2}$ , обусловленную емкостью вторичной цепи  $C_2$ ;
- энергию  $W_t$ , расходуемую на тепловыделения.

Уравнение баланса энергии

$$W_э = W_{C1} + W_{C2} + W_t,$$

при этом  $W_{C1} = \frac{C_1 U_{1\max}^2}{2}$ ;  $W_{C2} = \frac{C_2 U_{2\max}^2}{2}$ ,

где  $U_{1\max}$ ,  $U_{2\max}$  — максимальные значения первичного и вторичного напряжения соответственно.

Тогда уравнение баланса энергии в развернутом виде

$$\frac{L_1 I_p^2}{2} = \frac{C_1 U_{1\max}^2}{2} + \frac{C_2 U_{2\max}^2}{2} + W_t.$$

Если на данном этапе не учитывать тепловые потери энергии  $W_t$  при ее передаче и принять, что

$$U_{1\max} = \frac{U_{2\max}}{k_T},$$

то решение рассматриваемого квадратного уравнения относительно  $U_{2\max}$  позволит получить выражение для определения максимального вторичного напряжения:

$$U_{2\max} = I_p k_T \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 k_T^2}}.$$

При работе системы зажигания к тепловым потерям энергии  $W_t$  добавляются потери энергии на дугообразование между контактами, дугообразование в механическом распределителе, преодоление со-

противления внешних отложений и нагара на свечах зажигания. В некоторых случаях подобные явления значительно снижают величину максимального вторичного напряжения, в том числе до уровня пробивного напряжения, внешними признаками чего могут явиться перебои в работе двигателя.

В работах многих авторов ([6], [36]) учет таких потерь производится в виде множителя — коэффициента учета потерь энергии в катушке зажигания  $\eta_3$ .

Тогда окончательная формула для определения максимального значения вторичного напряжения может быть в виде

$$U_{2\max} = I_p k_T \eta_3 \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 k_T^2}},$$

где  $\eta_3$  — коэффициент учета потерь в катушке зажигания,  $\eta_3 = 0,85 \dots 0,93$ .

**Пробой искрового промежутка** свечи зажигания возникает при превышении вторичным напряжением уровня пробивного напряжения. Искровой разряд создает между электродами свечи сильно нагретый и ионизированный канал радиусом  $0,2 \dots 0,6$  мм и температурой выше  $10\,000$  К [36]. Сопротивление ионизированного канала обратно пропорционально протекающему через него току.

Электрический разряд на свече состоит из двух фаз: емкостной и индуктивной.

Энергия, подводимая к электродам свечи зажигания,  $W_3 = W_3 \eta_3$  может быть представлена в виде суммы двух слагаемых: энергии, выделяемой в емкостной фазе искры,  $W_{C\phi}$ , и энергии, выделяемой в индуктивной фазе искры,  $W_{L\phi}$ :

$$W_3 = W_{C\phi} + W_{L\phi}.$$

Емкостная составляющая искрового разряда подставляет собой разряд энергии, образовавшийся во вторичной цепи, обусловленный ее емкостью  $C_2$ . Такой разряд характеризуется колебательным процессом изменения тока и напряжения с частотой  $10 \dots 50$  МГц, вызывающим радиопомехи в соответствующем частотном диапазоне.

Началу емкостного разряда, как показано на рис. 3.2, соответствует момент достижения вторичным напряжением величины пробивного напряжения:  $U_2 = U_{пр}$ . Длительность горения емкостной части искры  $t_C$ , по данным разных специалистов, находится в пределах от  $10^{-6}$  с [36] до  $3 \cdot 10^{-7}$  с [6]. Энергия емкостной составляющей искрового разряда, определяемая по формуле

$$W_{C\phi} = \frac{C_2 U_{пр}^2}{2},$$

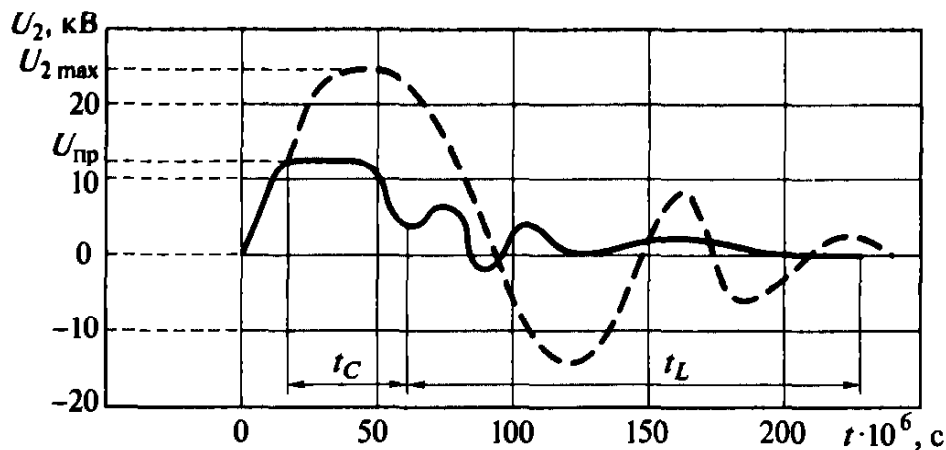


Рис. 3.2. Изменение вторичного напряжения  $U_2$ :

— при наличии искры в разряднике; - - - при отсутствии искры в разряднике;  $t_C$  — продолжительность емкостной фазы;  $t_L$  — продолжительность индуктивной фазы;  $U_{пр}$  — пробивное напряжение;  $U_{2max}$  — максимальное значение вторичного напряжения

представляет собой относительно малую величину  $1,5 \cdot 10^{-2}$  Дж, однако небольшой промежуток времени горения искры предопределяет довольно высокую скорость выделения такой энергии, т. е. электрическую мощность данной части искры, которая может достигать нескольких десятков киловольт-ампер.

Чем выше скорость нарастания вторичного напряжения и, следовательно, мощность емкостной части искры, тем меньшее влияние на искрообразование оказывает наличие загрязнений и нагара на рабочих поверхностях свечи зажигания. Однако высокая мощность искры активизирует эрозию электродов свечи зажигания, что с течением времени увеличивает искровой промежуток и вызывает рост пробивного напряжения, сокращая тем самым срок службы свечи. Для некоторого снижения мгновенной максимальной мощности в начальном периоде возникновения емкостной части разряда в высоковольтную цепь вводятся специальные резисторы сопротивлением 10... 15 кОм, располагаемые на концах положительных электродов очагов искрообразования. Применение таких резисторов в наконечниках свечей и на центральном электроде распределителя позволяет несколько «смягчить» ударное действие емкостной части искры на электроды свечи и, соответственно, снизить их эрозионный износ с одновременным уменьшением радиопомех.

Внешним проявлением емкостной части искры является наличие между электродами свечи видимого ионизированного канала яркого голубого цвета, сопровождаемого характерным треском.

В случае если искровой разряд на свече зажигания по каким-либо причинам не происходит, вторичное напряжение, как показано на рис. 3.2, достигает своего максимального значения, после чего по близкой к синусоидальной зависимости совершает затухающие колебания. Пока первичная цепь находится в разомкнутом состоянии,

будет происходить затухающий колебательный процесс обратного перетока энергии из вторичного контура в первичный и обратно, сопровождаемый переходом накопленной порции энергии  $W_3$  в теплоту. Если к моменту замыкания первичной цепи в катушке зажигания останется часть не перешедшей в теплоту энергии, то эта часть будет тормозить процесс дальнейшего накопления энергии, что усилит тепловыделения и уменьшит порцию энергии следующего цикла искрообразования. В случае обратного перетока энергии из вторичной цепи в первичную на клеммах первичной обмотки катушки зажигания может возникнуть энергетический импульс напряжением порядка 300...350 В, который при разомкнутых контактах прерывателя будет воздействовать на первичный конденсатор. При наличии низковольтного конденсатора такой импульс может вызвать пробой его изоляции и коротит первичную цепь. Для предотвращения возможности пробоя первичного конденсатора в случае обратного перетока энергии его изоляция должна быть рассчитана на рабочее напряжение порядка 400 В. В связи с инверсией тока при колебательных процессах такой конденсатор должен иметь характеристику одинакового восприятия токов разной полярности.

Вследствие того что начало искрового разряда на электродах свечи осуществляется при достижении вторичным напряжением величины пробивного напряжения, на емкостную часть искрового разряда расходуется не вся энергия, накапливаемая в катушке зажигания. Оставшаяся часть энергии после затухания емкостной части искрового разряда расходуется на образование индуктивной составляющей части искрового разряда, следующей за емкостной частью и представляющей собой прохождение энергии по ранее образованному ионизированному каналу.

Продолжительность индуктивной части искрового разряда  $t_L$  до полного расхода накопленной в катушке зажигания энергии составляет величину примерно  $10^{-3}$  с. Протекающий по ионизированному каналу ток находится в пределах от 0,02 А [36] до 0,1 А [6]. Индуктивная часть искры имеет бледный желто-фиолетовый цвет и проходит беззвучно.

Согласно [36] для классической системы зажигания доля энергии  $W_{Lф}$  обычно составляет  $(10...15) \cdot 10^{-3}$  Дж.

Повышение доли энергии, выделяемой в индуктивной части искры, несколько увеличивает время ее горения  $t_L$ , однако при высокой частоте вращения коленчатого вала может произойти значительное уменьшение промежутков времени разомкнутого состояния первичной цепи  $t_p$ , в результате чего может наступить явление, при котором подводимая к электродам свечи энергия не успевает полностью выделиться в искровом промежутке до замыкания контактов и начала нового цикла накопления энергии. В этом случае в системе возникает повторно-емкостный разряд, когда за первой емкостной искрой следует серия других емкостных разрядов, между которыми



наблюдаются участки индуктивных разрядов. Наличие порций нереализованной энергии во вторичной цепи способствует дополнительному нагреву катушки зажигания.

Классическая система зажигания в течение длительного времени использовалась в конструкции двигателей внутреннего сгорания, удовлетворяя достаточно большому перечню требований в части обеспечения надежной работы и бесперебойного искрообразования в относительно широком диапазоне рабочих режимов.

Появление новых видов моторных топлив, совершенствование рабочих процессов и конструкций двигателей предъявило к системе зажигания ряд более высоких требований по обеспечению надежного воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндрах при более высоких значениях степени сжатия и частоты вращения коленчатого вала. Основным недостатком классической системы зажигания, препятствующим ее применению на современных высокофорсированных двигателях, явилась ее малая энергонасыщенность импульсов искрообразования, ограничиваемая электрической разрывной мощностью контактного прерывателя, составляющей величину порядка  $50 \text{ В} \cdot \text{А}$ .

Появление электронных приборов, способных прерывать относительно большие токи, позволило осуществить в системах зажигания бесконтактную коммутацию первичного тока с управлением момента коммутации от специальных датчиков, что предопределило распространение электронных систем зажигания.

### **3.4.2. Система зажигания с электронной коммутацией первичного тока и контактным управлением**

Повышение уровня энергии искрового разряда и максимального вторичного напряжения обеспечивается применением более мощной по сравнению с используемой в классической системе катушки зажигания, потребляющей при номинальном напряжении сети 14 В первичный ток в установившемся режиме порядка 7,5... 10 А. Коммутация такого тока осуществляется в полупроводниковом триоде (транзисторе), способном пропускать ток в импульсном режиме до 12 А без какого-либо искрения в течение длительного времени эксплуатации без искажения рабочих характеристик. Управление моментом искрообразования производится от контактного прерывателя, работающего в режиме прерывания тока управления транзистором, составляющего величину 10... 15 % от первичного тока. В связи с тем что в качестве прерывателя первичного тока используется полупроводниковый транзистор, данная система зажигания получила название контактно-транзисторной.

Принципиальное построение рассматриваемой системы зажигания осуществляется таким же образом, что и классической системы, за исключением роли, выполняемой контактным прерывателем.

Процесс накопления энергии в первичной цепи и переход ее во вторичную цепь с дальнейшей реализацией в виде искрового разряда в данной системе (рис. 3.3) происходит так же, как в рассмотренной ранее классической системе зажигания. Катушка зажигания КЗ в данном случае содержит первичную и вторичную обмотки, имеющие только взаимную индуктивную связь без электрического соединения. Прерывателем тока первичной цепи  $i_1$  является полупроводниковый транзистор  $VT$  структуры  $p-n-p$ , работой которого управляет контактный прерыватель КП, конструктивно не отличающийся от используемого в классической системе. Поскольку контактный прерыватель работает в режиме прерывания малых токов, установка между контактами подавляющего дугообразование конденсатора необязательна.

Подача тока в первичную цепь производится включателем зажигания ВКЗ. Первичная цепь оказывается замкнутой при открытом состоянии транзистора  $VT$  и разомкнутой при его закрытом состоянии. Управление переходом транзистора из одного состояния в другое производится контактным прерывателем КП. При замыкании контактов прерывателя и образовании цепи управления: от клеммы «+» батареи Б через вариатор, первичную обмотку катушки зажигания, эмиттерно-базовый переход транзистора, замкнутые контакты на «массу» — транзистор переходит в открытое состояние, при котором первичная цепь оказывается замкнутой и осуществляется процесс накопления энергии в первичной цепи катушки зажигания. При размыкании контактов прерывателя и разрыве цепи управления между базой транзистора и «массой» транзистор переходит в закрытое состояние.

Таким образом, как и в классической системе, в данном случае замкнутое состояние контактов соответствует фазе накопления энергии в первичной обмотке катушки зажигания. При размыкании контактов происходит переключение транзистора в режим отсечки. Это вызывает разрыв первичной цепи, переход энергии из первичного емкостно-индуктивного контура во вторичный контур с последующим выделением импульса энергии в искровом разряде.

Величина тока управления  $I_y$ , или тока базы транзистора, зависит от коэффициента его передачи по току  $K_y$ , определяемого как отношение

$$K_y = \frac{I_k}{I_y} = \frac{I_p - I_y}{I_y},$$

где  $I_k$  — ток коллектора, в данном случае  $I_k = I_p - I_y$ .

Несмотря на идентичность режимов работы катушки зажигания в контактно-транзисторной и в классической системе зажигания, рабочий процесс контактно-транзисторной системы зажигания имеет ряд особенностей, связанных с коммутацией первичного тока в транзисторе и управлением его работой. В отличие от контактного прерывателя

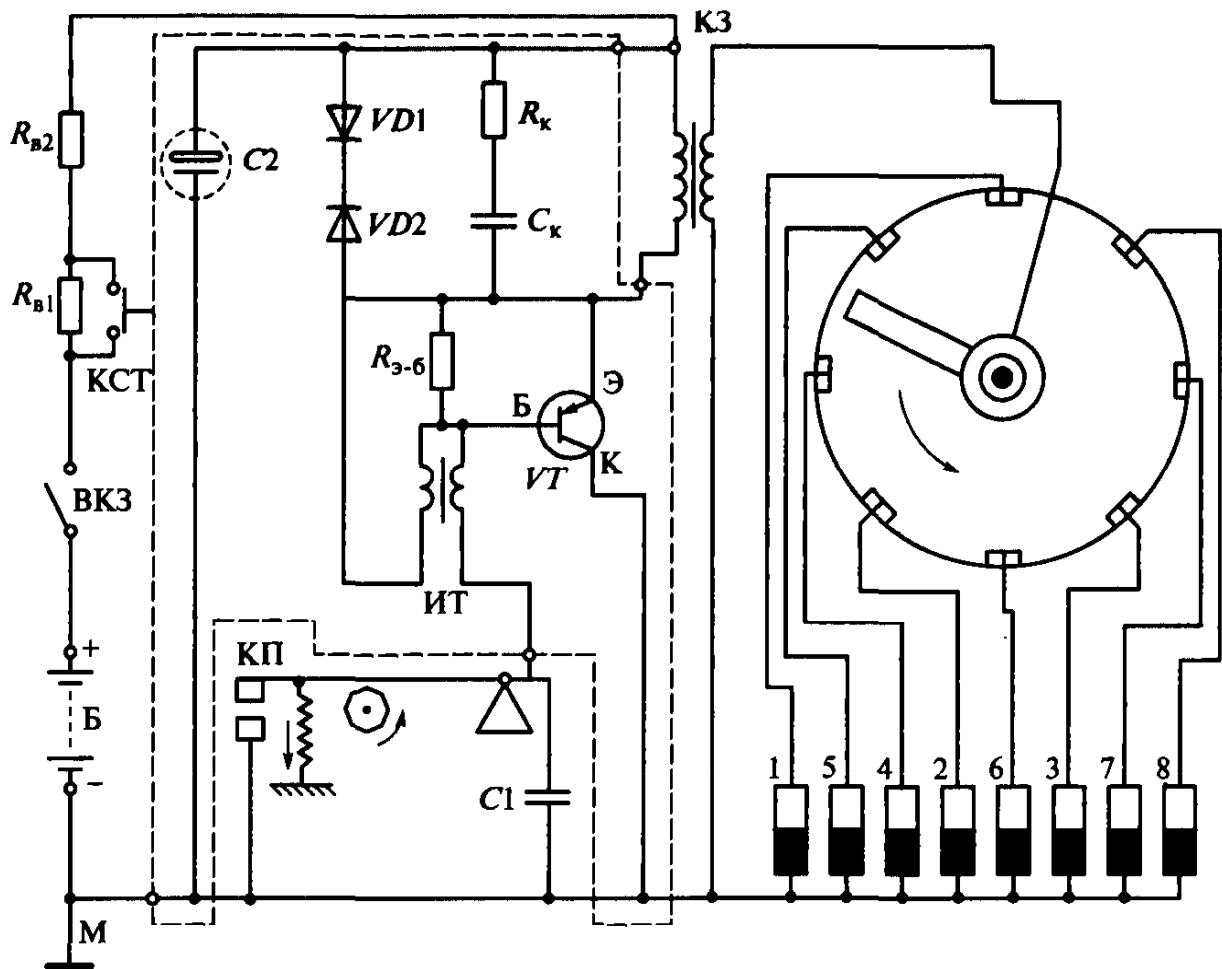


Рис. 3.3. Принципиальная схема системы зажигания с транзисторным коммутатором ТК-102:

1—8 — свечи зажигания; ИТ — импульсный трансформатор; КП — контактный прерыватель; КСТ — контактный стартер; Б, К, Э — соответственно база, коллектор, эмиттер транзистора  $VT$ ; М — «масса» автомобиля;  $C1$ ,  $C2$ ,  $C_K$  — конденсаторы;  $R_K$ ,  $R_{3-6}$  — резисторы;  $R_{B1}$ — $R_{B2}$  — вариатор;  $VD1$  — диод;  $VD2$  — стабилитрон; остальные обозначения см. на рис. 3.1

рывателя, имеющего практически нулевое сопротивление, открытое состояние транзистора сопровождается наличием некоторого сопротивления, а следовательно, некоторым падением напряжения, находящимся в пределах 0,5...0,7 В для германиевых транзисторов и 0,8...1,2 В для кремниевых транзисторов. Исходя из этого первичная обмотка катушки зажигания рассчитывается на поступление первичного напряжения

$$U_1 = U_6 - \Delta U_{в.р} - \Delta U_{к-э.нас},$$

где  $\Delta U_{в.р}$  — падение напряжения в вариаторе;  $\Delta U_{к-э.нас}$  — падение напряжения в транзисторе на участке коллектор — эмиттер в состоянии его полного насыщения (открытия).

Соответственно ток разрыва первичной цепи, нарастающий по экспоненциальному закону, определяется так же, как для классической системы зажигания.

На этапе размыкания первичной цепи происходит запираение и отсечка транзистора. При этом процесс перетока энергии из первичного контура во вторичный зависит от характеристик и инерционных свойств транзистора. После размыкания контактов транзистор переходит в режим отсечки, и в первичной обмотке катушки зажигания возникают затухающие колебания с начальной амплитудой напряжения  $U_{1\max}$ . Время затухания таких колебаний тем меньше, чем меньше время перехода транзистора из открытого состояния в состояние отсечки первичного тока.

Баланс энергии  $W_3$ , накапливаемой в катушке зажигания, для данной системы может быть определен таким же образом, как и для классической системы зажигания с той разницей, что в рассматриваемом случае вместо потерь энергии в контактном прерывателе необходимо учитывать потери  $W_{\text{тр}}$ , обусловленные переходными процессами в транзисторе.

Экспериментальные данные ([26], [36]) свидетельствуют, что при реализации мероприятий, направленных на ускорение коммутации тока в транзисторе, потери энергии  $W_{\text{тр}}$  обычно не превышают 2...6 % от энергии  $W_3$ , запасаемой в катушке зажигания, что намного меньше, чем при контактной коммутации первичного тока в классической системе зажигания. В связи с этим при аналитическом определении характеристик рассматриваемой системы такими потерями можно пренебречь и принимать коммутацию первичного тока в транзисторе как в идеальном коммутирующем ключе.

Недостатком транзисторного коммутирующего ключа является его уязвимость от пробоя при возникновении напряжения выше допустимого на входном электроде, в рассматриваемом случае на эмиттере. Опасность возникновения высокого напряжения на эмиттере в данной системе может возникать в случае повреждения вторичной цепи, вызывающего отсутствие искрового разряда, сопровождаемое обратным перетоком энергии из вторичного контура в первичный контур. При этом характеристики катушек зажигания, используемых в классической системе зажигания, обеспечивали появление на клеммах первичной обмотки энергетического импульса напряжением до 400 В. Конструктивное построение и характеристики катушек зажигания, предназначенных для работы в электронных системах зажигания, типа Б-114, Б-116, 27.3705, допускают появление обратного импульса напряжением порядка 100 В. В случае когда максимальное напряжение пробоя транзистора меньше или незначительно превышает указанную величину, для ликвидации опасности пробоя транзистора высоким напряжением в систему вводится блок защиты, предохраняющий транзистор от перенапряжения.

Принципиальная схема системы зажигания с электронной коммутацией первичного тока и контактным управлением представлена на рис. 3.3. При этом все элементы, обведенные пунктирной линией, образуют транзисторный коммутатор, длительное время вы-

пускаявшийся Московским заводом автотракторного электрооборудования АТЭ-2 под индексом ТК-102.

В качестве вариатора, ограничивающего максимальный первичный ток, в рассматриваемой системе используется блок последовательно соединенных проволочных резисторов  $R_{в1}$  и  $R_{в2}$  типа СЭ-107. При пуске двигателя резистор  $R_{в1}$  переключается контактами стартера.

В системе используется катушка зажигания Б-114, рассчитанная на работу с германиевым транзистором ГТ-701А и потребляющая установившийся первичный ток  $I_1 = 7,5$  А. Коэффициент трансформации такой катушки зажигания  $k_T = 228$ .

Ускорителем перехода транзистора из открытого состояния в состояние отсечки является импульсный трансформатор ИТ. При замкнутых контактах прерывателя по первичной обмотке импульсного трансформатора протекает ток базы транзистора и в его магнитной системе накапливается электромагнитная энергия.

При размыкании контактов прерывателя происходит разрыв цепи управления транзистором, составляющей цепь первичного контура импульсного трансформатора. В результате этого осуществляется переток энергии из его первичной цепи во вторичную с образованием запирающего импульса энергии, поступающего на эмиттерно-базовый переход транзистора и ускоряющего его переход в состояние отсечки. Ускорение перехода транзистора в состояние отсечки резко уменьшает потери энергии, накопленной в катушке зажигания. Резистор  $R_{з-6}$ , сопротивление которого 27 Ом, также способствует ускорению перехода транзистора в состояние отсечки и одновременно ограничивает величину запирающего импульса, исходящего от импульсного трансформатора. Время запирающего импульса транзистора ГТ-701А составляет примерно  $3 \cdot 10^{-7}$  с, без резистора  $R_{з-6}$  —  $6 \cdot 10^{-7}$  с.

Окисление и эрозионный износ контактов КСТ, включающих стартерный электродвигатель и одновременно переключаящих первый вариаторный резистор, вызывает появление искрения между их поверхностями, сопровождаемого колебаниями первичного напряжения  $U_1$ , поступающего на клеммы первичной обмотки катушки зажигания. В результате такого искрения может возникнуть снижение энергии импульсов искрообразования, что затруднит пуск двигателя. Для уменьшения колебаний первичного напряжения при искрении в контактах стартера служит электролитический конденсатор С2 емкостью порядка 100 мкФ, стабилизирующий напряжение на положительном электроде катушки зажигания.

К достоинствам системы зажигания с электронной коммутацией первичного тока и контактным управлением можно отнести:

- возможность использования более мощных катушек зажигания;
- увеличение срока службы контактного прерывателя за счет уменьшения токовой нагрузки, приходящейся на единицу площади рабочей поверхности контактов;

- уменьшение чувствительности системы к возможным отклонениям от заданных величин зазора между контактами, угла замкнутого состояния контактов, искровых промежутков в свечах зажигания;

- уменьшение потерь энергии за счет ликвидации очага возникновения дугообразования при контактной коммутации первичного тока.

В рассматриваемом варианте системы зажигания с коммутатором ТК-102 применена катушка зажигания Б-114. Принципиально данная катушка может быть включена по классической схеме. Однако это вызовет быстрый эрозионный износ контактов, а также выдаст несколько меньшие по сравнению с вариантом прерывания первичного тока в транзисторе значения энергии и максимального вторичного напряжения за счет потерь энергии на дугообразование в контактном прерывателе.

Наряду с положительными качествами работа системы зажигания с электронной коммутацией первичного тока и контактным управлением обуславливает ряд недостатков, связанных с работой контактного прерывателя и ограничивающих ее использование в современных моделях автомобилей, что предопределило появление систем зажигания с управлением от бесконтактных датчиков.

### **3.4.3. Системы зажигания с электронной коммутацией первичного тока и бесконтактным управлением**

Контактный прерыватель представляет собой конструкцию механического датчика момента искрообразования, работающего в режиме цифрового двоичного кода. Изменение выходного сигнала в зависимости от угла  $\alpha$  поворота валика кулачка имеет прямоугольную форму.

Выходным сигналом контактного датчика может быть любая электрическая величина, по которой осуществляется следящее действие исполнительного элемента коммутатора, которым согласно рис. 3.3 является транзистор, меняющий свое состояние в зависимости от наличия или отсутствия тока управления (базы).

Контактный датчик момента искрообразования может быть заменен прибором, осуществляющим связь между базой транзистора и отрицательным полюсом батареи («массой») в виде двоичного кодового сигнала в разновидностях «Связь есть» или «Связи нет».

Наличие контактного датчика не требует присутствия формирующего каскада, поскольку через контакты можно пропустить относительно большой ток, прямоугольная форма выходного сигнала является наиболее желательной для переключения транзистора. В настоящее время известно несколько конструкций бесконтактных датчиков (рис. 3.4), выдающих в коммутатор информацию об угле

ном положении коленчатого вала двигателя в виде сигналов, близких по форме к синусоиде, трапеции, пилообразной или прямоугольной.

Основным недостатком бесконтактных датчиков является малая величина выходного сигнала, в связи с чем формирующий каскад должен содержать также устройства усиления уровня сигнала, выдаваемого датчиками. Такое усиление может осуществляться как на входе сигнала в формирующий каскад, так и на выходе, после преобразования формы импульса в требуемый вид.

Бесконтактные датчики момента искрообразования получили преимущественное распространение в современных системах зажигания.

В настоящее время известно несколько разновидностей механизмов, пригодных к применению в качестве бесконтактных датчиков момента искрообразования, в основе которых используются различные физические явления: изменение магнитного потока, тока или напряжения, сопротивления чувствительного элемента и т. д. При этом работа таких механизмов должна удовлетворять требованиям обеспечения высокой точности момента искрообразования, защищенности от действия помех, высокой надежности, стабильности характеристик в течение длительного времени эксплуатации. Исходя из характеристик таких механизмов в качестве элементов, управляющих работой коммутаторов бесконтактных систем зажигания, могут использоваться следующие типы датчиков:

- генераторные, или магнитоэлектрические;
- действие которых основано на эффекте Холла;
- действие которых основано на эффекте Виганда;
- магниторезистивные;
- оптоэлектронные и др.

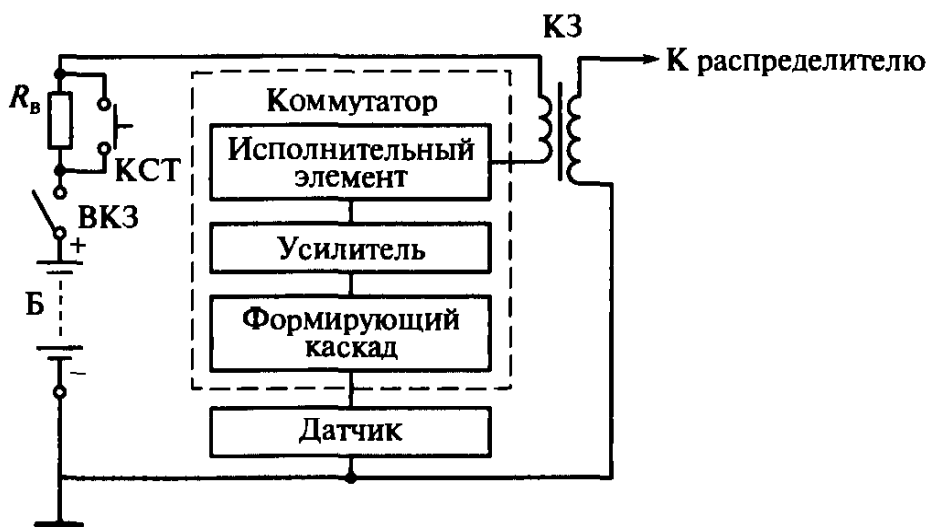


Рис. 3.4. Функциональная схема построения бесконтактной системы зажигания:

$R_{в}$  — вариатор; остальные обозначения см. на рис. 3.1

Возможности современного производства и спрос со стороны потребления предопределили наибольшее распространение двух первых типов датчиков: генераторных, выдающих сигнал ЭДС, близкий к синусоидальной форме, и на эффекте Холла, выдающих сигнал ЭДС, близкий к форме трапеции, в связи с чем в данном пособии рабочим процессам таких датчиков уделяется большее внимание.

**Генераторный датчик.** Рабочий процесс генераторного датчика основан на изменении сопротивления замкнутой магнитной цепи, содержащей постоянный магнит и неподвижную обмотку, в которой при вращении ротора появляется сигнал ЭДС подобно тому, как это происходит в однофазных генераторах переменного тока. В зависимости от расположения постоянного магнита генераторные датчики могут быть в следующих разновидностях: с вращающимся магнитом или с вращающимся магнитопроводом.

Число полюсов датчиков, выполняемых в соответствии с принятыми конструктивными схемами, должно быть согласовано с числом цилиндров двигателя.

При вращении постоянного магнита или магнитопроводного ротора в обмотке датчика возникает напряжение, прямо пропорциональное числу витков обмотки  $w_d$ , частоте вращения ротора  $n_p$  и скорости изменения магнитного потока  $d\Phi_d/d\alpha$ :

$$U_d = k_d w_d n_p \frac{d\Phi_d}{d\alpha}.$$

Коэффициент  $k_d$ , характеризующий состав магнитной цепи, зависит от числа полюсов магнита или выступов ротора, характеристик обмотки и т. д.

Существенным недостатком работы генераторных датчиков является зависимость выходного напряжения датчика  $U_d$  от частоты вращения  $n_p$  ротора, содержащего постоянный магнит или магнитопровод, что создает определенные трудности в работе системы зажигания при пуске двигателя.

**Датчик Холла.** Датчик рассматриваемого типа изобретен в 1879 г. сотрудником Балтиморского университета (США) Э. Холлом [7].

Сущность эффекта Холла заключается в том, что при перемещении двухслойной полупроводниковой пластины в магнитном поле между ее слоями возникает разность потенциалов, прямо пропорциональная величине магнитной индукции и длине пластины.

Было установлено, что несколько больший эффект может быть достигнут, если через полупроводниковую пластину, внесенную в магнитное поле, пропустить ток в определенном направлении. Максимальный эффект в таком случае достигается при направлении действия магнитной индукции перпендикулярно плоскости пластины. Реализация такого явления в конструкции микропереключателя, работающего в качестве датчика момента искрообразования, осуществлена по схеме, показанной на рис. 3.5.



При замыкании цепи выключателя зажигания 4 от аккумуляторной батареи 5 через пластину 3 проходит ток  $I_{\text{п}}$  напряжением  $U_{\text{п}}$ . Действие магнитной индукции от постоянного магнита 6 вызывает появление на противоположных гранях пластины 3 ЭДС Холла  $e_{\text{х}}$ , В, определяемой по формуле

$$e_{\text{х}} = \frac{C_{\text{х}} B_{\text{м}} U_{\text{п}}}{h_{\text{п}}},$$

где  $C_{\text{х}}$  — постоянная Холла,  $\text{м}^3/(\text{А} \cdot \text{с})$ ;  $B_{\text{м}}$  — магнитная индукция,  $\text{А} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ ;  $U_{\text{п}}$  — напряжение, подводимое к граням пластины, В;  $h_{\text{п}}$  — толщина пластины, м.

Постоянная Холла  $C_{\text{х}}$  характеризует способность объема вещества пластины, определяемого ее размерами, пропускать количество электричества  $q$ :

$$C_{\text{х}} = \frac{a_{\text{п}} b_{\text{п}} h_{\text{п}}}{q},$$

где  $a_{\text{п}}$ ,  $b_{\text{п}}$  — соответственно высота и ширина пластины, м.

Величина  $C_{\text{х}}$  зависит от материала пластины; по данным работы [32], наиболее высокие ее значения характерны для таких веществ, как германий Ge, кремний Si, антимонид индия InSb, арсенид индия InAs, для которых постоянная Холла находится в пределах от  $10^{-2}$  до  $10^{-4}$   $\text{м}^3/(\text{А} \cdot \text{с})$ . В других материалах эффект Холла

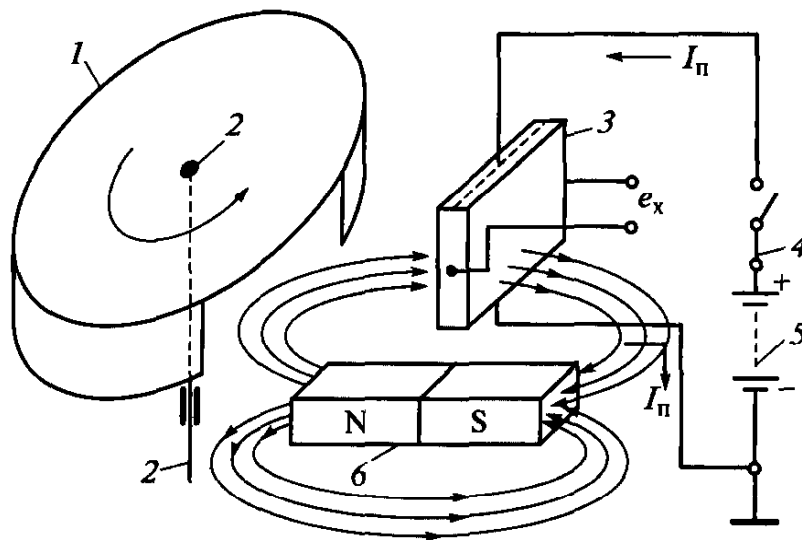


Рис. 3.5. Схема работы датчика момента искрообразования на основе эффекта Холла:

1 — вращающийся экранированный диск; 2 — валик ротора датчика; 3 — полупроводниковая пластина; 4 — выключатель зажигания; 5 — аккумуляторная батарея; 6 — постоянный магнит с полюсами N и S

проявляется в меньшей степени, например, по данным работы [35], для меди  $Cu$   $C_x = 6 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{А} \cdot \text{с})$ .

Из приведенной формулы видно, что повышение величины ЭДС Холла может быть достигнуто уменьшением толщины пластины  $h_n$ . Ограничивающим фактором в таком случае является требование соблюдения механической прочности пластины. Чувствительные элементы Холла изготавливают посредством технологии микроэлектроники в виде монокристаллических пластин или пленок, получаемых методом фотолитографии, толщиной  $h_n = (0,01 \dots 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Соединения электрических контактов с пластиной выполняют пайкой или микросваркой.

Согласно схеме, представленной на рис. 3.5, для прерывания ЭДС Холла достаточно перекрытия действия на пластину 3 потока магнитной индукции, что выполняет экранный диск 1, расположенный на вращающемся валике ротора 2. Диск 1 имеет прорезы и выступы, выполняющие роль экранов, количество которых согласовано с числом цилиндров двигателя. При вращении диска 1 возникновение ЭДС Холла  $e_x$  происходит, когда на пути магнитной индукции находится прорезь диска 1, а когда на этом пути появляется выступ, величина  $e_x$  прерывается. Изменение ЭДС Холла происходит по закону, близкому к форме трапеции. Амплитуда выходного сигнала датчика зависит от величины магнитной индукции  $B_m$  и уровня прикладываемого к пластине напряжения  $U_n$  и в существующих конструкциях достигает 0,5 В [32], что недостаточно для непосредственного воздействия на чувствительный элемент коммутатора.

Для реализации исходящего от датчика сигнала в коммутаторе необходимо его предварительное усиление, причем для уменьшения действия радиопомех размещение такого предварительного усилителя должно быть как можно ближе к пластине. В современных конструкциях усиление сигнала  $e_x$  осуществляется на микросхемах по функциональной схеме, показанной на рис. 3.6.

От чувствительного элемента 3 ЭДС Холла подается на вход усилителя 4, в качестве которого используется микросхема, затем сигнал в усиленном виде поступает на вход триггера 5, выполняющего роль порогового элемента, определяющего положение точек  $a_d$  и  $b_d$  (рис. 3.7), разделяющих границы срабатывания системы по углу поворота  $\alpha$  валика ротора датчика.

Сигнал, поступающий от триггера 5 (см. рис. 3.6), имеет прямоугольную форму. При поступлении такого сигнала на базу выходного транзистора 6 это вызывает его соответствующие переключения, в результате чего на выходе датчика возникает сигнал напряжения  $U_d$  такой же прямоугольной формы (см. рис. 3.7), который используется на входе коммутатора в качестве управляющего импульса момента искрообразования. Для исключения влияния на работу каскада предварительного усиления колебаний питающего напряжения в схеме используется блок 7 (см. рис. 3.6) стабилизации напряжения.

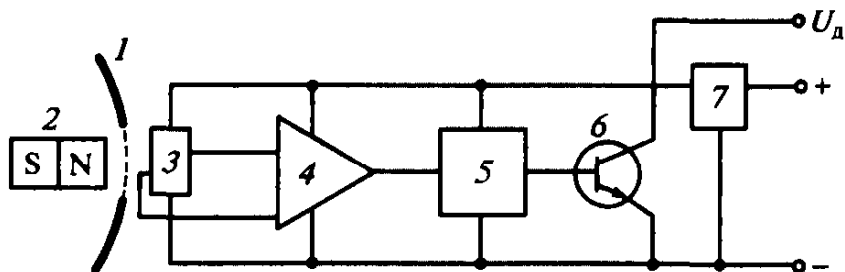


Рис. 3.6. Функциональная схема каскада предварительного усиления сигнала бесконтактного датчика момента искрообразования на основе эффекта Холла:

1 — вращающийся экранный диск; 2 — постоянный магнит с полюсами N и S; 3 — чувствительный элемент; 4 — усилитель; 5 — триггер (релейный усилитель); 6 — выходной транзистор; 7 — блок стабилизации напряжения

Все элементы, входящие в схему, представленную на рис. 3.6, в целях помехозащищенности выполняются в одном блоке с герметичным неразборным корпусом.

Уровень ЭДС Холла и напряжения выходного сигнала практически не зависит от скорости вращения ротора датчика, перемещающего экран. Производство датчиков, действие которых основано на эффекте Холла, осуществляется фирмами Siemens (Германия) и Honeywell (США). В системах зажигания двигателей ВАЗ используются датчики в составе интегральной схемы типа TLE 4910K производства фирмы Siemens.

**Датчик Виганда.** Открытие эффекта, используемого в конструкции датчика рассматриваемого типа, принадлежит американскому инженеру Д. Р. Виганду, опубликовавшему с 1970 г. несколько работ, посвященных изучению проводников, обладающих магнитостабильными свойствами. Эффект Виганда основан на возникновении достаточно мощного электрического импульса, исходящего от электромагнитной обмотки, выполненной из провода специального сплава, при взаимодействии такой обмотки с магнитным полем постоянного магнита.

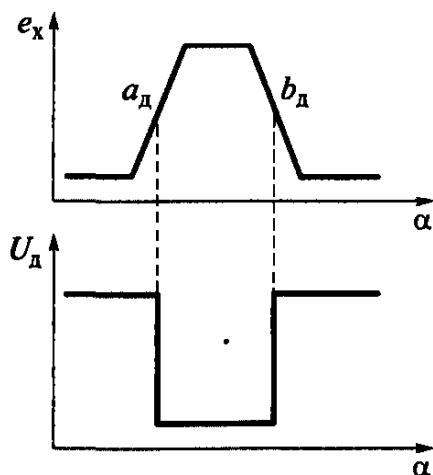


Рис. 3.7. Зависимость ЭДС Холла  $e_x$  и напряжения  $U_d$  на выходе датчика от угла поворота  $\alpha$  ротора датчика

Датчик Виганда имеет вращающийся относительно оси 4 (рис. 3.8) экранный диск 2 с прорезями и выступами, в количестве, согласованном с числом цилиндров двигателя.

Последовательное чередование прорезей и выступов диска 2 вызывает соответствующие поступления и прерывания магнитной индукции, исходящей от постоянного магнита 3 к катушке 1. При поступлении магнитной индукции к катушке 1 во время прохождения прорези диска в ее обмотке возникает электрический импульс, характеризующийся достаточно большим напряжением и малой длительностью, порядка  $2 \cdot 10^{-4}$  с.

Возникновение такого импульса достигается выполнением электромагнитной обмотки катушки проводом из специального сплава, состоящего из 52 % кобальта Co, 38 % железа Fe, 10 % ванадия V, получившего название «викалой». Провод из такого сплава диаметром примерно 0,3 мм проходит специальную обработку, благодаря чему получается магнитомягкая внутренняя часть и магнитотвердый внешний слой. Это позволяет придать проводу магнитоустойчивые свойства. Электромагнитная обмотка катушки 1 содержит приблизительно 1300 витков такого провода при длине каркаса 15 мм.

Возникающий в обмотке датчика электрический импульс напряжением порядка 2,5 В не требует усиления и изменения формы и может быть непосредственно использован в качестве управляющего сигнала на входе коммутатора, что можно рассматривать как значительное преимущество данного датчика по сравнению с датчиком Холла. Кроме того, в качестве достоинств датчика момента искрообразования, действие которого основано на эффекте Виганда, можно выделить:

- отсутствие необходимости наличия источника питания;
- независимость выходного сигнала от скорости изменения магнитного поля;
- широкий диапазон рабочих температур от  $-18$  до  $+175$  °С [33];
- относительную конструктивную простоту при высокой надежности.

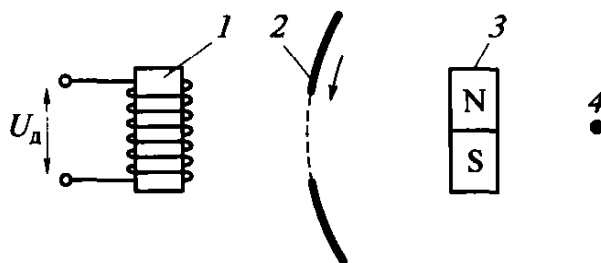


Рис. 3.8. Схема работы датчика момента искрообразования на основе эффекта Виганда:

1 — катушка; 2 — вращающийся экранный диск; 3 — постоянный магнит с полюсами N и S; 4 — ось валика ротора;  $U_d$  — напряжение на выходе датчика

**Магниторезистивный датчик.** Рабочий процесс магниторезистивного датчика основан на эффекте изменения электрического сопротивления плоских обмоток под действием магнитного поля. Чувствительным элементом такого датчика является изготовленный посредством магнитоэлектронной технологии пленочный резистор с меандровой топологией (извилистым расположением проводника), сопротивление которого без действия магнитного поля может составлять  $10 \dots 10^4$  Ом. Для уменьшения влияния температурных изменений чувствительный элемент датчика выполняется в виде двух последовательно включенных по мостовой схеме магниторезисторов, один из которых является измерительным, а другой термокомпенсационным с взаимной ориентацией под прямым углом.

При вращении магнита в случае его расположения в плоскости магниторезистора происходит довольно резкое увеличение его сопротивления, причем независимо от расположения полюсов магнита. Эффект увеличения сопротивления магниторезистора во многом зависит от свойств применяемого в качестве проводника материала. Наибольшим эффектом магниторезистивного действия обладают ферромагнитные материалы, например сплав пермаллой, состоящий из 20 % железа Fe и 80 % никеля Ni [18].

Напряжение выходного сигнала магниторезистивного датчика, включаемого в измерительную цепь последовательно с регистрирующим элементом, представляет собой довольно малую величину, в связи с чем до поступления на вход коммутатора необходимо его усиление, которое может быть осуществлено способами, используемыми при усилении сигналов от тензометрических резисторов.

В качестве основных достоинств магниторезистивного датчика могут быть выделены его относительная конструктивная простота и достаточно высокая надежность. Однако необходимость наличия источника питания и предварительного усиления выходного сигнала, а в некоторых случаях и приведение его к требуемой форме до поступления его в коммутатор представляют собой достаточно значимые препятствия для использования такого датчика в двигателестроении.

**Оптоэлектронный датчик.** Рабочий процесс оптоэлектронных датчиков различных типов основан на взаимодействии светочувствительных элементов с источниками светового излучения. Момент искрообразования определяется путем появления или прерывания светового луча посредством вращающегося диска, содержащего определенное количество отверстий, прорезей или выступов, согласованное с числом цилиндров двигателя. При этом закрепленный на валу ротора диск располагается между источником света и светочувствительным элементом. В качестве светочувствительного элемента может использоваться фотоэлемент, фотодиод или фоторезистор. Источник света может работать как в видимом диапазоне спектра, так и в областях инфракрасного или ультрафиолетового излучения, возможно также использование лазерного излучения.

Выходной сигнал, выдаваемый оптоэлектронным датчиком имеет форму, близкую к прямоугольной, но обладает малой амплитудой, в связи с чем для использования такого сигнала в качестве управляющего импульса момента искрообразования до входа в коммутатор требуется его усиление. В целях помехозащищенности, как для датчика Холла и магниторезистивного датчика, размещение усиливающего каскада должно быть возможно ближе к чувствительному элементу. Построение функциональной схемы такого усилителя осуществляется таким же образом, как и для элемента Холла, однако в связи с тем, что светочувствительный элемент в данном случае выдает близкий к прямоугольной форме сигнал, использование триггера не является обязательным. По сравнению с датчиком Холла в данном случае требуется несколько бóльшая степень усиления сигнала, который с выхода усилителя 4 (см. рис. 3.6) подается на базу выходного транзистора 6.

Основным достоинством оптоэлектронных датчиков по сравнению с датчиками других разновидностей является высокая точность момента искрообразования, однако их недостатки, такие как необходимость усилителя и источника питания, уязвимость от действия загрязнений, относительно узкий диапазон рабочих температур, представляют препятствия для использования их в двигателях внутреннего сгорания.

#### **3.4.4. Коммутаторы бесконтактных систем зажигания**

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рис. 3.4, коммутатор содержит исполнительный элемент, осуществляющий коммутацию первичного тока и формирующий каскад, преобразующий в требуемую форму и усиливающий до необходимого уровня управляющий сигнал, поступающий на вход коммутатора от датчика момента искрообразования. В зависимости от вида используемых датчиков во многих случаях в целях обеспечения помехозащищенности в непосредственной близости от чувствительных элементов датчиков могут размещаться каскады предварительного усиления и формирования первичных импульсов. При этом коммутаторы могут располагаться от датчиков на некотором отдалении.

В качестве исполнительного элемента коммутатора, включаемого последовательно с первичной обмоткой катушки зажигания, обычно используется кремниевый (реже германиевый) транзистор; способный коммутировать ток не менее 10 А и выдерживать напряжение обратного импульса более 400 В. С характеристиками исполнительного элемента коммутатора должны быть согласованы характеристики применяемой катушки зажигания, прежде всего по уровню первичного напряжения, зависящего от сопротивления транзистора. В частности, при наличии в коммутаторе германиевого тран-

зистора используемая в системе катушка зажигания должна содержать первичную обмотку, рассчитанную на напряжение 8...8,5 В, примером которой может быть катушка зажигания типа Б-114. При использовании в коммутаторе кремниевого транзистора, обладающего несколько бóльшим сопротивлением в открытом состоянии, первичная обмотка катушки зажигания должна рассчитываться на меньшее напряжение, порядка 7,3...7,8 В.

Формирующий каскад осуществляет образование токового импульса, обеспечивающего переключение исполнительного элемента в состояние отсечки первичного тока и обратно, в открытое состояние требуемой длительности, достаточной для накопления необходимого количества энергии в катушке зажигания. Кроме того, переключение исполнительного элемента в состояние отсечки, соответствующее моменту начала искрообразования, должно происходить в определенный исходя из режима работы двигателя момент. При этом должно исключаться влияние ряда побочных факторов: колебаний первичного напряжения, изменений температуры, вибрации и т. д.

Как указывалось ранее, для систем зажигания с накоплением энергии в индуктивности желательно, чтобы время  $t_3$  замкнутого состояния первичной цепи, в течение которого происходит накопление энергии искрообразования, определяемое временем открытого состояния исполнительного элемента, было равно времени  $t_{м.н}$  полного насыщения магнитной системы катушки зажигания. Время  $t_3$ , как было установлено при рассмотрении представленных ранее систем зажигания, является функцией скоростного режима работы двигателя. При  $t_3 < t_{м.н}$  снижается энергия искрообразования, а при  $t_3 > t_{м.н}$  происходит нежелательный расход энергии, рассеиваемой в виде нагрева катушки зажигания и вариаторов. Основной характеристикой функционирования коммутатора является его скважность  $S$ , т. е. отношение суммарной длительности рабочего цикла системы зажигания  $t_3 + t_p$  к длительности управляющего сигнала на входе  $t_y$ :

$$S = \frac{t_3 + t_p}{t_y},$$

где  $t_3$ ,  $t_p$  — соответственно временные промежутки замкнутого и разомкнутого состояния первичной цепи.

В рассмотрении данного функционального признака коммутаторы можно подразделить на следующие две разновидности: с постоянной, ненормируемой скважностью и с нормируемой скважностью выходных токовых импульсов.

В коммутаторах с ненормированной скважностью ограничение первичного тока осуществляется пассивным способом путем

последовательного включения в первичную цепь добавочного резистора.

В коммутаторах с нормируемой скважностью используется активное ограничение первичного тока как по амплитуде, так и по длительности времени накопления энергии. В работе [36] рассматриваются несколько способов регулирования времени накопления энергии в катушке зажигания.

Коммутаторы с нормируемой скважностью представляют собой достаточно сложные и дорогостоящие изделия, осуществляющие регулирование первичного тока со следящим действием по относительно малому количеству входных факторов, что не позволяет обеспечить такой системе зажигания достижение наиболее выгодных показателей работы двигателя.

Увеличение количества факторов, по которым осуществляется следящее действие, значительно усложняет электрическую схему коммутатора и повышает стоимость системы.

Более совершенным решением в данном направлении является передача функции нормирования скважности выходных импульсов первичного тока в схему цифрового контроллера, осуществляющего управление токовыми импульсами первичной цепи и моментом искрообразования в функции ряда параметров. Коммутатор в таком случае заметно упрощается и выполняет функции прерывания первичной цепи и выдачи в контроллер сигнала обратной связи об уровне тока в катушке зажигания. Реализация данного решения позволяет осуществить автоматическое изменение выходных показателей системы зажигания исходя из условий работы двигателя и ряда внешних входных факторов в части соответствия данных искрообразования текущим характеристикам двигателя. Системы зажигания с таким функциональным составом получили название цифровых.

### 3.4.5. Цифровые системы зажигания

В основе работы узлов цифровых систем зажигания положены принципы, используемые в вычислительной технике. Действия, осуществляемые цифровой системой зажигания, определяются алгоритмом ее работы. В схеме принципиального построения алгоритмических связей данных систем зажигания можно выделить два направления:

- с аппаратной, или жесткой, логикой;
- с программируемой логикой.

Алгоритм рабочего цикла системы зажигания с *аппаратной логикой* определяется логическими связями между ее элементами. При этом изменения характеристик угла опережения зажигания приводят к необходимости изменения этих связей, что вызывает определенные неудобства на этапе проектирования таких систем и в части их при-



способности к работе на разных типах двигателей, что можно рассматривать в виде определенного недостатка. Для обеспечения возможности работы такой системы зажигания на различных типах двигателей, обладающих разными характеристиками, необходимо введение в ее состав гибких логических связей с программным обеспечением, что переводит такую систему зажигания в разновидность систем с программируемой логикой.

В состав цифровой системы зажигания с *программируемой логикой* (рис. 3.9) [9] входят датчики, определяющие входные характеристики, контроллер, осуществляющий управление системой зажигания в функции ряда показателей, коммутатор, выполняющий роль прерывателя первичного тока, и подсистема формирования импульсов высокого напряжения, выполняемая в данном случае в варианте их статического распределения.

Используемые в рассматриваемой системе датчики начала отсчета ДНО, углового положения коленчатого вала УПКВ, разрежения во впускном трубопроводе  $\Delta p$ , температуры охлаждающей жидкости или цилиндров двигателя  $t_{ц}^{\circ}$ , температуры всасываемого воздуха  $t_{в}^{\circ}$ , атмосферного давления  $\Delta Q$ , содержания оксида углерода СО и оксида азота NO в выхлопной системе, времени  $t_{вр}$  аналогичны используемым в цифровой системе зажигания с жесткими межэлементными логическими связями.

Контроллер состоит аналого-цифрового преобразователя АЦП, процессора и узлов: формирователя импульсов зажигания ФИЗ, выбора канала ВК и управления экономайзером принудительного холостого хода ЭПХХ.

В состав аналого-цифрового преобразователя входят определенное количество интерфейсов, осуществляющих преобразование сигналов от входных датчиков из аналогового вида в форму цифрового кода, воспринимаемого процессором. Для устранения влияния электромагнитных помех на работу системы зажигания участок электрической связи между аналого-цифровым преобразователем и процессором выполняется в виде высокочастотной цепи с экранированной на «массу» оплеткой. Данный участок называется шиной данных. Процессор содержит блоки оперативной части, схемы сравнения и долговременной памяти. Оперативная часть процессора производит вычисления требуемого угла опережения зажигания исходя из текущих показаний датчиков и карты углов опережения зажигания, хранящейся в памяти процессора и содержащей сведения о характеристиках двигателя. Для установки системы на другой двигатель необходимо ввести в блок памяти БП его измененные характеристики.

Процессор посредством цифровых кодированных импульсов управляет блоками формирователя импульсов зажигания ФИЗ, выбора канала коммутатора ВК и экономайзера принудительного холостого хода ЭПХХ, который отключает подачу топлива в систему холостого хода при вхождении двигателя в режим принудительного

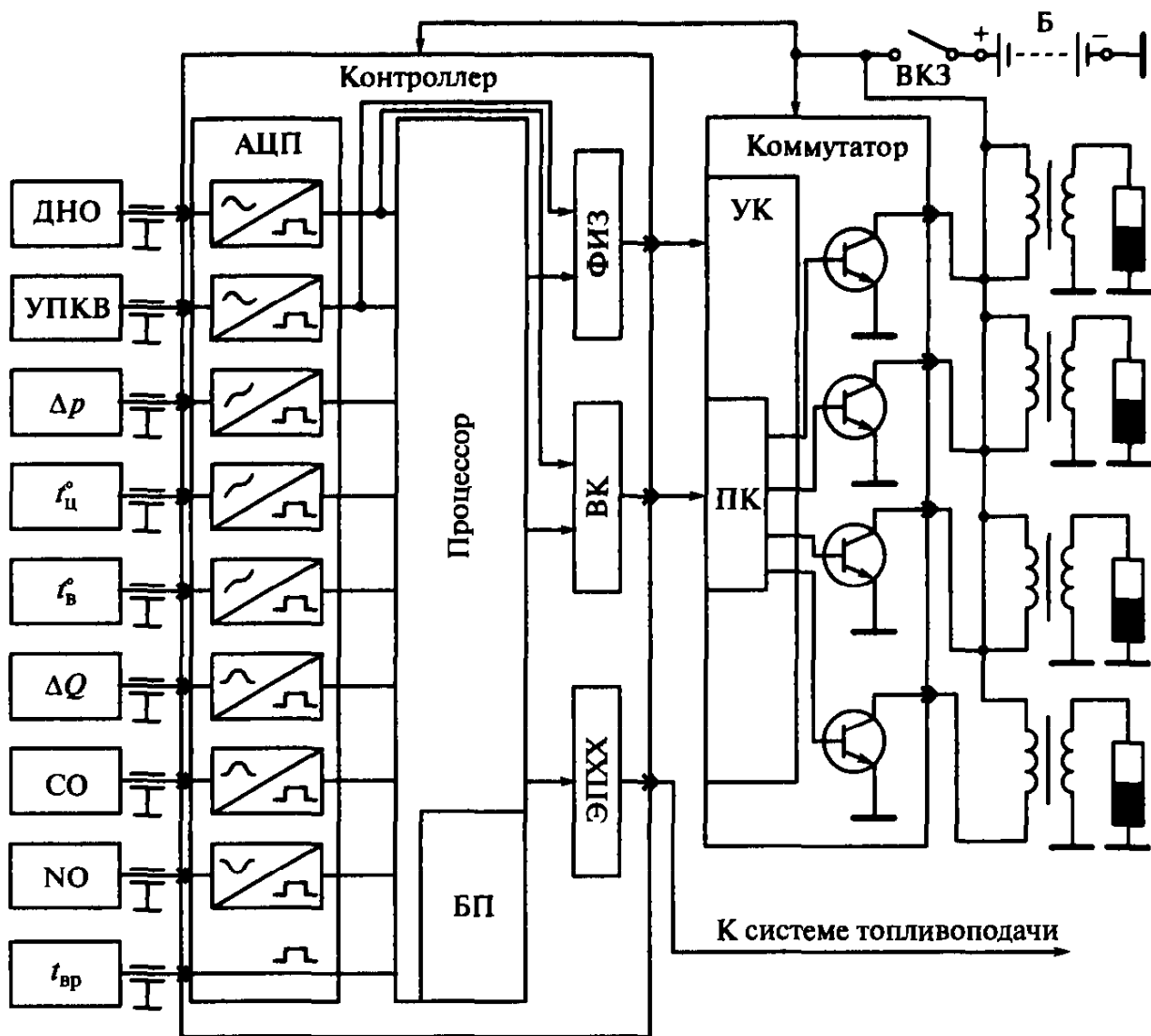


Рис. 3.9. Функциональная схема цифровой системы зажигания с программируемыми логическими связями между ее элементами и статическим распределением импульсов высокого напряжения

торможения со следящим действием по показаниям датчика  $\Delta p$  разрежения во впускном коллекторе.

В цифровых системах зажигания обычно используются многоканальные коммутаторы с числом каналов, равным или кратным числу цилиндров двигателя, что позволяет осуществить статическое распределение импульсов высокого напряжения. При этом узел выбора канала ВК управляет переключателем канала коммутатора ПК, а от узла формирователя импульса зажигания ФИЗ на вход коммутатора поступает импульс момента искрообразования, вызывающий последовательное срабатывание усилительного УК и выходного каскадов коммутатора.

Цифровое вычисление угла опережения зажигания позволяет снизить его отклонение от оптимального на величину не более  $4^\circ$ , в то время как аналоговые системы с высоковольтным распределением

энергии искрообразования допускают такие отклонения на величину порядка  $15^\circ$ .

Развитие компьютерных технологий предопределило вхождение системы зажигания как составной части в общую систему формирования и обработки топливовоздушной смеси, осуществляющей согласно установленному алгоритму дозированный впрыск топлива в цилиндры с его последующим воспламенением. Такое решение позволяет значительно улучшить топливно-экономические и экологические показатели работы двигателя.

*Статическое распределение импульсов высокого напряжения* позволяет ликвидировать потери на искрообразование в высоковольтном распределителе и снизить уровень радиопомех. Однако это требует также увеличения количества каналов коммутатора и применения большего числа катушек зажигания. Стремление уменьшить габаритные размеры системы реализуется в вариантах двухвыводных или четырехвыводных катушек зажигания.

В случае варианта схемы, представленной на рис. 3.10, *а*, искрообразование происходит одновременно в двух цилиндрах. При наличии четырехцилиндрового двигателя одна искра реализуется как рабочая, возникающая на такте сжатия, а другая — на такте расширения, не оказывающая влияния на работу двигателя. Увеличение циклов искрообразования повышает расход энергии и одновременно сокращает срок службы свечей зажигания, что может рассматриваться как нежелательное явление.

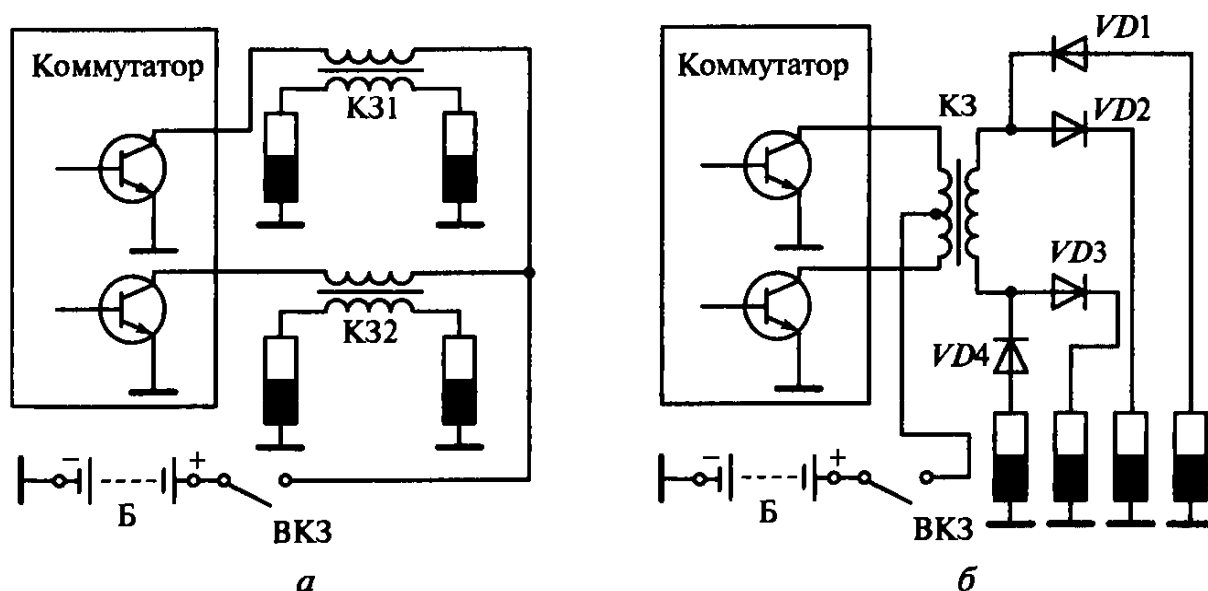


Рис. 3.10. Схемы статического распределения импульсов высокого напряжения:

*а* — с двумя двухвыводными катушками зажигания К31, К32; *б* — с одной четырехвыводной катушкой зажигания К3; VD1 — VD4 — диоды; остальные обозначения см. на рис. 3.1

Вариант схемы распределения, представленной на рис. 3.10, б, предусматривает наличие четырехвыводной катушки зажигания с двумя встречноключенными первичными обмотками, производящими встречно-направленные магнитные потоки, соответствующим образом намагничивающие сердечник. Распределение импульсов высокого напряжения в данном случае осуществляется путем разделения их на прямую и обратную части посредством высокочастотных диодов  $VD1 - VD4$ , имеющих характеристику пробивного обратного напряжения более 40 кВ. Как и в варианте схемы, изображенной на рис. 3.10, а, искрообразование происходит одновременно на двух свечах, при этом в четырехцилиндровом двигателе рабочей является только одна искра. Управление работой обеих ветвей первичной обмотки катушки зажигания осуществляется последовательно аналогично схеме для случая двухвыводной катушки зажигания.

### 3.4.6. Управление моментом искрообразования

Исходя из характеристик скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя в эксплуатации для достижения его наибольшей мощности при требуемом режиме необходима автоматическая коррекция угла опережения зажигания. В аналоговых системах зажигания такая коррекция обычно осуществляется по частоте вращения коленчатого вала и нагрузке, в качестве характеристики которой принимается разрежение во впускном трубопроводе.

**Коррекция угла опережения зажигания со следящим действием по частоте вращения коленчатого вала** осуществляется центробежным регулятором, размещаемым обычно совместно с датчиком момента искрообразования.

При увеличении частоты вращения коленчатого вала центробежный регулятор изменяет угол  $\theta$  опережения зажигания по углу поворота коленчатого вала от начального значения  $\theta_0 = 5 \dots 8^\circ$  до предельного  $\theta_{пр} = 30 \dots 40^\circ$ , достигаемого при частоте вращения коленчатого вала более 0,8 от максимальной. Это связано с тем, что сгорание топливовоздушной смеси в цилиндрах двигателя происходит в течение промежутка времени порядка  $2 \cdot 10^{-4}$  с [1]. С повышением частоты вращения коленчатого вала для обеспечения соответствия максимального значения индикаторного давления от сгорания топливовоздушной смеси моменту прохождения поршнем верхней мертвой точки требуется более ранний момент искрообразования.

**Коррекция угла опережения зажигания со следящим действием по нагрузке на двигатель** осуществляется вакуумным регулятором, изменяющим угол опережения зажигания до  $25^\circ$ . При малых нагрузках на двигатель уменьшается наполнение цилиндров и увеличивается загрязнение топливовоздушной смеси остаточными газами, что замедляет скорость ее горения и вызывает наступление макси-

мального значения индикаторного давления после прохождения поршнем верхней мертвой точки. Для исправления такого явления необходимо увеличение угла опережения зажигания.

Реальное значение угла опережения зажигания определяется суммой

$$\theta = \theta_0 + \theta_{\text{ц}} + \theta_{\text{в}},$$

где  $\theta_0$  — начальный угол опережения зажигания;  $\theta_{\text{ц}}$  — угол опережения зажигания, определяемый центробежным регулятором;  $\theta_{\text{в}}$  — угол опережения зажигания, определяемый вакуумным регулятором.

Начальная установка угла опережения зажигания производится октан-корректором — устройством, которое осуществляет поворот корпуса датчика момента искрообразования относительно его валика.

Необходимость изменения начального угла опережения зажигания обычно возникает при изменении сорта применяемого топлива, характеризуемого прежде всего октановым числом. При использовании топлива с меньшим октановым числом, чем требуется для уменьшения вероятности возникновения детонации, начальный угол опережения зажигания уменьшается и наоборот.

Определение точного значения потребного начального угла опережения зажигания исходя из фактической величины октанового числа топлива в современных цифровых системах зажигания осуществляется автоматически с использованием сигналов датчика детонации, по показаниям которого следящая подсистема контроллера корректирует момент искрообразования на свечах.

### **3.4.7. Конструктивное исполнение приборов батарейного зажигания**

**Катушки зажигания** выполняются по схеме двухобмоточного повышающего импульсного трансформатора или автотрансформатора, как правило, с наружным расположением первичной и внутренним расположением вторичной обмоток. В зависимости от пути магнитного потока и места накопления энергии катушки зажигания могут быть двух видов:

- с накоплением электромагнитной энергии в сердечнике и воздушном пространстве при разомкнутой магнитной цепи;
- с накоплением энергии в магнитопроводе при замкнутой магнитной цепи [36].

В катушках с разомкнутой магнитной цепью исходящие от сердечника линии магнитного потока значительную часть проходят по наружному воздушному пространству возле стального корпуса, который в очень малой степени может выполнять роль магнитопрово-

да. Прохождение значительной части магнитного потока по воздушному пространству вызывает необходимость для сохранения требуемых показателей индуктивности катушки зажигания с разомкнутой магнитной цепью выполнения обмоток проводом большего поперечного сечения и увеличения количества витков. Это увеличивает массогабаритные показатели обмоток и повышает расход материалов из медных сплавов.

Применение в катушках зажигания стального магнитопровода значительно повышает индуктивность обмоток, что позволяет сократить расход материалов из медных сплавов на их изготовление, однако повышает расход материалов из низкоуглеродистой стали и увеличивает собственную массу катушки зажигания.

В современных условиях при реализации систем со статическим распределением высоковольтных импульсов получают распространение двухвыводные и четырехвыводные катушки зажигания с разомкнутой магнитной цепью сухого типа. Накопление электромагнитной энергии в таких катушках осуществляется в воздушном пространстве и в сердечнике.

Сердечники катушек зажигания выполняются в виде набора пластин из трансформаторной стали толщиной 0,2... 0,4 мм. Вторичная и первичная обмотки выполняются методом послойной намотки с межслойной изоляцией конденсаторной бумагой на отдельных пластиковых каркасах.

Основным требованием к изоляции провода вторичной обмотки является обеспечение стойкости против межвиткового пробоя при искрообразовании, особенно в непосредственной близости от выходного высоковольтного контакта. При этом вторичная обмотка выполняется с прогрессивным увеличением расстояния между проводами от начальной клеммы к конечной.

Число витков обмоток катушки зажигания зависит от ее энергетических и мощностных показателей и обычно находится в пределах 200—350 при диаметре провода 0,5... 0,8 мм для первичной и 18 000—27 000 при диаметре провода 0,06... 0,09 мм для вторичной обмотки. Коэффициент трансформации катушки зажигания при этом находится в пределах 50... 135.

Конструктивная компоновка катушек зажигания с первичными и вторичными обмотками, состоящими из некоторых ветвей, предназначенных к использованию в системах со статическим распределением импульсов высокого напряжения, осуществляется по рассмотренным схемам. Более предпочтительной к использованию остается схема катушки зажигания с разомкнутым магнитным потоком.

**Коммутаторы**, используемые в батарейных системах зажигания, могут быть выполнены в следующих вариантах:

- несущий алюминиевый корпус с теплоотводными ребрами и размещенными в нем дискретными элементами, соединяемыми между собой посредством проводов (ТК-102, ТК-105, ТК-200);

- несущий алюминиевый корпус с размещаемой внутри толсто- пленочной печатной платой, дискретными и бескорпусными элементами (36.3734, 42.3734);

- несущая залитая герметиком печатная плата, содержащая твердотельную специальную микросхему, выполняющую все возложенные на коммутатор функции.

Электрические соединения коммутатора с остальной частью схемы системы зажигания осуществляются посредством специальных штекерных разъемов, соединяемых с проводными шинами и исключающих возможность неправильных соединений. Основным требованием, предъявляемым к конструкции разъемов, является обеспечение защиты контактирующих поверхностей токопередающих элементов от возможных загрязнений и окисления.

**Контроллеры**, используемые в цифровых системах зажигания, должны отвечать требованиям, предъявляемым к радиоэлектронной аппаратуре, причем основное внимание должно быть уделено вибростойкости и защите внутренней полости контроллера и разъемных зон от возможных загрязнений.

Наиболее удобным вариантом построения узлов контроллера и входящего в его состав процессора является так называемая блочно-модульная схема: несущий корпус-модуль с крепящимися относительно него блоками с разъемными соединителями. Несущим элементом каждого блока является толсто-пленочная печатная плата с крепящимися на ней дискретными и интегральными элементами. Возможно также размещение на такой печатной плате твердотельных защищенных герметиком специальных многофункциональных микросхем. При этом отдельные блоки могут быть несущими относительно других, меньших по размерам блоков, выполняющих подпрограммные функции. Разъемные соединения выполняются таким образом, что установка блока на рабочее место означает включение его в схему прибора.

Для обеспечения герметичности и повышения виброзащищенности узлов контроллеров возможно изготовление отдельных блоков в герметичном исполнении, а для защиты от воздействия электромагнитных полей и с экранированием защитных металлических покрытий «на массу», в качестве которой используется общий для всей системы провод, соединяемый с металлическим кузовом автомобиля.

**Датчики момента искрообразования** имеют привод валика от распределительного вала двигателя с передаточным числом, равным единице.

В переднеприводных автомобилях с поперечным расположением двигателя более удобной является схема горизонтального размещения датчика на одной оси с распределительным валом. При этом размещение составных элементов в корпусе датчика функционально не меняется.

## 3.5. Свечи зажигания

### 3.5.1. Конструкция свечей зажигания

Назначением свечей зажигания является обеспечение воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндрах двигателя в требуемый момент времени. Качество воспламенения топливовоздушной смеси от электрического разряда между электродами свечи во многом определяет мощностные и экологические показатели, а также надежность всего двигателя.

Свеча зажигания представляет собой устройство в виде двух электродов, образующих искровой промежуток и располагаемых в верхней части цилиндра двигателя. При этом один электрод, изолированный от «массы», является центральным, располагаемым по оси симметрии свечи, а другой электрод, соединяемый с металлическим корпусом свечи, является боковым. В некоторых случаях свеча может иметь несколько, обычно не более трех, боковых электродов, что, по данным специалистов [19], [36], не улучшает качество работы свечи.

В настоящее время известны два варианта конструктивного построения свечей зажигания: открытого исполнения и экранированного типа.

В зависимости от вида протекания рабочего процесса искрообразования различают свечи зажигания:

- с искровым разрядом в газовом промежутке;
- со скользящей по изолятору искрой;
- с искровым разрядом в полупроводниковом контакте;
- многоискровые;
- электродуговые;
- комбинированные.

Наибольшее распространение на автомобильных двигателях получили свечи зажигания с искровым разрядом в газовом промежутке.

**Свеча зажигания открытого исполнения** состоит из изолятора с размещенным внутри центральным электродом и несущего металлического корпуса с резьбовой частью и боковым электродом. Для улучшения герметизации центрального электрода в изоляторе используется термоцементное или токопроводящее стеклогерметиковое уплотнение. Герметизация между изолятором и корпусом создается в нижней части свечи прокладкой, а в верхней части — путем завальцовки корпуса за плечико изолятора в горячем состоянии для обеспечения поджатия металла к изолятору. В некоторых случаях для улучшения охлаждения на такте всасывания тепловой конус изолятора выполняют выступающим за пределы торца резьбовой части свечи.

Материал центрального электрода свечи должен удовлетворять требованиям высокой теплопроводности, а также коррозионной и



эрозионной стойкости. Для изготовления таких электродов в наибольшей степени подходят хромтитановая сталь типа 13Х25Т либо хромоникелевая сталь типа Х20Н80. Закрепление центрального электрода в изоляторе производится путем одновременной запрессовки при температуре 800... 900 °С с двух сторон металлических стержней с предварительным размещением в отверстии изолятора таблетки стеклогерметика. При указанной температуре стеклогерметик расплавляется и улучшает условия запрессовки металлических стержней, а после остывания обеспечивает надежную герметичность соединения частей центрального электрода с изолятором.

Корпус свечи и боковой электрод изготавливают из конструкционной стали. В некоторых случаях для улучшения эрозионной стойкости боковой электрод изготавливают из стали с содержанием никеля или марганца. Прикрепление бокового электрода к корпусу свечи обычно осуществляется путем контактной сварки.

**Свеча зажигания экранированного типа** используется при необходимости более полного подавления уровня радиопомех или повышения надежности работы свечи в условиях внешнего загрязнения.

Наконечник высоковольтного провода в такой свече соединяется со специальным контактным устройством, защищая токопередающую зону от внешней среды посредством уплотнительного кольца. Для снижения уровня радиопомех от искровых разрядов в цепь центрального электрода встраивается резистор номинальным сопротивлением 0,5... 1 кОм и мощностью рассеивания 2 В · А.

В качестве изоляторов свечей зажигания используются керамические композиционные материалы со значительным содержанием оксида алюминия  $Al_2O_3$ , что обеспечивает высокую электрическую изоляцию при значительной механической прочности в условиях высоких температур.

Искровой промежуток между электродами свечи зажигания зависит от уровня вторичного напряжения с учетом факторов, определяющих величину пробивного напряжения и обычно составляет 20 кВ/мм.

### **3.5.2. Условия работы свечи зажигания на двигателе**

При работе на двигателе свеча зажигания испытывает тепловые, механические, электрические и химические нагрузки, а также подвержена внутреннему и внешнему действию шунтирующих загрязнений.

**Тепловые нагрузки**, действующие на свечу зажигания при работе двигателя, соответствуют температуре 50... 70 °С на такте впуска свежей топливовоздушной смеси и 2 700 °С на такте рабочего хода. При пуске холодного двигателя температура свечи может опускаться

ся до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Наружная часть изолятора свечи охлаждается воздушным потоком, проходящим через подкапотное пространство. Тепловые нагрузки, действующие на внутреннюю поверхность свечи, имеют импульсный характер. При этом характеристикой теплового режима может служить средняя температура в разных точках изолятора, находящаяся для теплового конуса в пределах  $50 \dots 800\text{ }^{\circ}\text{C}$  в зависимости от нагрузки на двигатель и степени его форсировки.

Разность температур в материале изолятора вызывает появление тепловых деформаций и внутренних напряжений, обусловленных различием коэффициентов линейного расширения материалов сопряженных деталей свечи.

Для нормального протекания рабочего процесса свечи зажигания большое значение имеет температура его теплового конуса. Снижение температуры теплового конуса ниже  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  вызывает конденсацию некоторой части топлива на впуске рабочего заряда и его неполное сгорание, сопровождающееся интенсивным нагарообразованием. Увеличение температуры теплового конуса выше  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  ликвидирует нагарообразование и приводит к так называемому самоочищению внутренней части свечи от углеродистых отложений вследствие взаимодействия части углерода при такой температуре с кислородсодержащей частью топливоздушнoй смеси на такте впуска при коэффициенте избытка воздуха не менее 0,9. Возрастание температуры теплового конуса свечи выше  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  вызывает так называемое калильное зажигание, т. е. несвоевременное воспламенение топливоздушнoй смеси от соприкосновения с сильно нагретыми элементами свечи. Признаками калильного зажигания могут быть продолжение работы двигателя при выключении зажигания, а также возникновение при работе двигателя под нагрузкой эффекта раннего зажигания, сопровождающегося повышением температурного режима двигателя.

Температура теплового конуса свечи в значительной мере зависит от угла опережения зажигания. При раннем зажигании эта температура возрастает, уменьшение угла опережения зажигания снижает температуру теплового конуса свечи.

**Механические нагрузки** на свечу зажигания имеют импульсный характер и образуются в результате нарастания давления газов от сгорания топливоздушнoй смеси, которое достигает  $4 \dots 5\text{ МПа}$ . При приведенной к перпендикулярной оси центрального электрода площади теплового конуса изолятора порядка  $0,5 \dots 1\text{ см}^2$  на изолятор свечи от сгорания рабочего заряда действует выталкивающая сила величиной до  $1\ 200\text{ Н}$ . На свечу действуют также механические вибрационные нагрузки от работы двигателя, которые вызывают появление прогрессивно увеличивающихся усталостных трещин в материале изолятора.

Форма изолятора и металлических элементов свечи зависит от технологии производства. При этом большое значение имеет процесс

завальцовки верхней части металлического корпуса для прижатия его к пояску изолятора. Усилие сжатия, действующее на изолятор при завальцовке, находится в пределах 25... 30 кН.

Крутящий момент, прикладываемый к металлическому корпусу свечи, находится в пределах 40... 60 Н·м. Коэффициент запаса прочности резьбовой части корпуса по опасному сечению составляет более 4.

**Электрические нагрузки**, воспринимаемые электродами свечи, определяются действующими на них энергетическими импульсами вторичного напряжения. Процесс искрообразования вызывает эрозию рабочих поверхностей электродов, а также эмиссию части металла, в результате которой происходит увеличение искрового промежутка и возрастание пробивного напряжения. Воздействие электрических нагрузок на электроды свечи предъявляет довольно высокие требования к изолятору, который должен сохранять электроизоляционные свойства при восприятии электрических импульсов напряжением 30... 35 кВ при температуре до 900 °С. При работе свечи необходимо учитывать, что уменьшение атмосферного давления, характерное для работы в высокогорных условиях, вызывает снижение электроизоляционных свойств изолятора.

**Химические нагрузки**, действующие на металлические части свечи, создаются агрессивным действием кислотосодержащей среды при сгорании в цилиндре компонентов топливовоздушной смеси. Протекание электрического разряда между электродами вызывает появление электрохимической реакции, ускоряющей коррозию электродов. При подключении положительного полюса к центральному электроду его рабочая часть изнашивается несколько больше как вследствие эрозионного износа, так и от направленного действия электрохимической коррозии.

По сведениям специалистов [36], рассматриваемые процессы обуславливают увеличение искрового промежутка свечи в среднем на 0,015 мм на 1 000 км пробега автомобиля.

Наличие в топливе примесей серы и антидетонаторов, образующих кислотосодержащую среду при сгорании, ускоряет процесс электрохимического износа рабочей части электродов свечи. Шунтирующие загрязнения свечи, особенно ее внутренних поверхностей, снижают электроизоляционные свойства изолятора. Наличие углеродсодержащего нагара от неполного сгорания топлива и маслосодержащих примесей, а также загрязнение внешней поверхности свечи вызывает появление так называемых шунтирующих резисторов, обуславливающих утечки энергии в промежутках от момента подключения к электродам свечи импульса высокого напряжения до момента начала пробоя искрового промежутка. Действие шунтирующих резисторов ослабляет энергию искрообразования, и при значительном снижении сопротивления таких резисторов может наступить явление, когда энергии импульсов высокого напряжения ока-

жется недостаточно для искрообразования вследствие значительных утечек. Повышение влажности воздуха уменьшает сопротивление шунтирующего резистора наружной части свечи и является дополнительной причиной появления утечек энергии.

### 3.5.3. Тепловые характеристики и маркировка свечей зажигания

Нормальная работа свечи зажигания в двигателе определяется соответствием температурного режима работы цилиндра и свойств теплоотдачи свечи. Температурный режим поверхности теплового конуса изолятора определяется границами от температуры начала самоочищения ( $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) до появления калильного зажигания ( $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Уменьшение литровой мощности двигателя увеличивает удельные тепловые нагрузки на единицу площади теплового конуса свечи. Для снижения таких нагрузок требуется увеличение площади теплового конуса, прежде всего путем его удлинения.

В качестве измерителя тепловой характеристики свечи принято *калильное число* — величина, прямо пропорциональная среднему индикаторному давлению в цилиндре двигателя на границе возникновения калильного зажигания. Определение калильного числа производится экспериментально на испытательной одноцилиндровой двигательной установке путем увеличения среднего индикаторного давления до момента появления калильного зажигания.

**Маркировка свечей зажигания** содержит следующие сведения:

- обозначение резьбы на корпусе: А —  $M14 \times 1,25$ ; М —  $M18 \times 1,5$ ;
- калильное число из ряда 8; 11; 14; 17; 20; 23; 26;
- обозначение длины резьбовой части корпуса: Н — 11 мм; Д — 19 мм;
- наличие выступания теплового конуса изолятора за торец свечи — В;
- обозначение герметизации соединения изолятора с центральным электродом термоцементом — Т; герметизация другими видами герметиков не обозначается.

Свеча А11Н имеет резьбу  $M14 \times 1,25$ , калильное число 11, длину резьбовой части 11 мм; выступания изолятора за торец корпуса нет; герметизация соединения центрального электрода с изолятором произведена обычным герметиком.

Свеча А20ДВТ имеет резьбу  $M14 \times 1,25$ , калильное число 20, длину резьбовой части 19 мм; имеется выступание теплового конуса изолятора за торец свечи; герметизация соединения центрального электрода с изолятором произведена термоцементом.

Свечи зажигания отечественного производства могут иметь обозначения в соответствии с типовой группой 3707. Свечи зажигания зарубежного производства имеют обозначения в соответствии с дей-

ствующими стандартами фирм-изготовителей. Возможные варианты взаимозаменяемости свечей зажигания отечественного и зарубежного производства приведены в табл. 3.1 [12].

Подбор свечей зажигания к двигателю осуществляется с учетом обеспечения их надежной работы в границах диапазона рабочих температур (рис. 3.11) без нагарообразования и появления калильного зажигания.

Характеристика теплоотдачи свечей, оцениваемая калильным числом, должна соответствовать величине степени сжатия двигателя. Для малофорсированных двигателей, с небольшими исходящими от цилиндров тепловыми потоками больше подходят свечи с относительно малой теплоотдачей, содержащие характеристики малых калильных чисел. В высокофорсированных двигателях тепловые потоки от цилиндров возрастают, что требует для поддержания необходимой температуры свечей зажигания увеличения теплоотдачи.

Видимым признаком правильно подобранной к двигателю свечи зажигания является отсутствие либо минимальное наличие светлокоричневатых отложений от присутствия антидетонаторов в топливе на ее внутренних поверхностях. Присутствие на внутренних поверхностях черных углеродсодержащих отложений свидетельствует о том, что свеча зажигания с высокой теплоотдачей (так называемая «холодная») и что для данного двигателя необходимы свечи с меньшим калильным числом.

Работа двигателя на чрезмерно «горячих» свечах вызывает появление калильного зажигания, проявлением которого служат возникновение эффекта «раннего зажигания» и продолжение работы двигателя при выключении зажигания. Внешним признаком работы све-

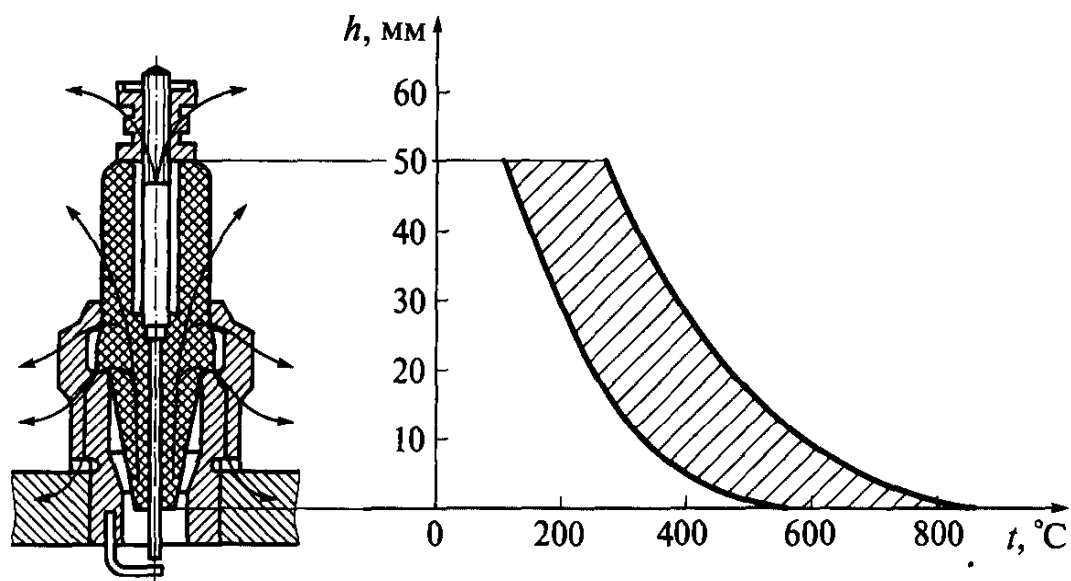


Рис. 3.11. Распределение рабочей температуры  $t$  свечи зажигания по ее высоте  $h$

## Взаимозаменяемость свечей зажигания отечественного и зарубежного производства

Россия	Lodge (Велико- британия)	Champion (Велико- британия)	Bosch (Германия)	Marelli (Италия)	KLG (Велико- британия)	AC (Франция)	NGK (Япония)	Motor Staff (США)	PAL (Чехия)
A11H	CN	L88A	W10AC W9AS	CW3N	F40 F50	45F	DSHS	—	—
A13H	CSN	H10	W9ACO	—	FA50	C43L	B6L	AL5	—
A14B	CNY	L12Y	W8BC	CWSNP	F55P	44FS	BP4HS	AE42	NSY
A14Д	HBLN	NS	W8CC	CW5L	FE70	45XL	—	AG31	L5
A17B	HNY	L92G	W7BC	CW6NP	F65P	43FS	BP6HS	AE32	N7Y
A17Д	HLN	N4	W7CC	CW6L	FE75	C44XL	B6ES	AG21	L7
A17ДВ	HLNY	N10Y	W7DC	CW7LP	FE65P	42XLS	BP6ES	AG252	L7Y
A17ДВ-10	HLNY	N9Y	W7DC	CW7LP	FE65P	42XLS	BP6ES	AG252	L7Y
A20Д	2HLN	N3	W6CC	CW7L	FE80	43XL	B7ES	AG4	L8
A23	2NN	N81	W5AC	CW7N	F80	42F	B7HS B8HS	AE2 AE3	N9
A26ДВ-1	4HLNY	N63Y	W3DC	CW89LP	FE145P	—	—	—	—

чи в таких условиях является наличие твердого белого налета на ее внутренних поверхностях.

**Срок службы свечей зажигания** определяется количеством циклов искрообразования, вызывающих износ рабочих поверхностей электродов. При эксплуатации свечей требуется периодическая коррекция искрового промежутка в сторону его уменьшения за счет подгибания консольно-расположенного бокового электрода. Увеличение искрового промежутка вызывает рост пробивного напряжения, что затрудняет воспламенение топливовоздушной смеси и вызывает перебои в работе двигателя. Коррекция искрового промежутка должна производиться периодически в границах определенного интервала наработки.

Число циклов искрообразования на одной свече, приходящееся на единицу пробега, зависит от передаточных чисел трансмиссии, а также времени работы на конкретных передачах. С учетом указанных особенностей в условиях транспортной работы автомобиля при смешанном цикле для свечи каждого цилиндра может быть принята усредненная величина  $2 \cdot 10^6$  искр на 1 000 км [5], вызывающая увеличение искрового промежутка между электродами на 0,015 мм [36]. Производители свечей зажигания обычно выдают ориентировочную величину гарантированной наработки продукции, составляющую от 50 000 км и более в зависимости от качества ее изготовления.

### 3.6. Подавление радиопомех в системах зажигания

Радиопомехи, возникающие при искровых разрядах на свечах зажигания, представляют собой импульсные электромагнитные колебания, распространяемые в воздушном пространстве со скоростью порядка  $3 \cdot 10^8$  м/с в частотном диапазоне 30... 100 МГц.

Возникновение таких колебаний связано с тем, что любая электрическая цепь наряду с омическими сопротивлениями содержит различной величины емкостные и индуктивные элементы, в которых происходят местные накопления электромагнитной энергии. При переключениях таких цепей на контактах емкостных и индуктивных элементов возникают ЭДС самоиндукции, вызывающие радиопомехи.

Величины пиковых значений таких ЭДС самоиндукции определяются по формуле [23]

$$e_L = -L \frac{di}{dt},$$

где  $L$  — индуктивность цепи;  $i$  — мгновенная сила тока в цепи;  $t$  — время.

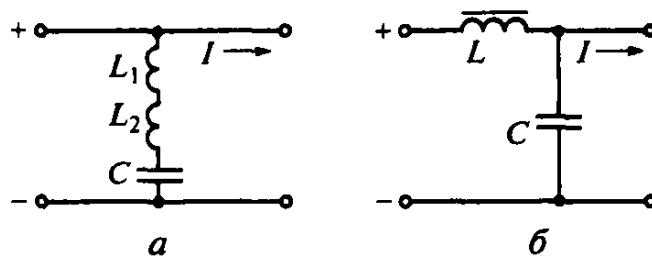


Рис. 3.12. Схемы фильтров:

*a* — с блокирующей емкостно-индуктивной связью; *б* — индуктивно-емкостного

Эффективными способами округления пиковых участков ЭДС самоиндукции в цепях низкого или промежуточного напряжений систем зажигания могут быть схемы с блокировочными емкостно-индуктивными цепями (рис. 3.12, *a*) или с индуктивно-емкостными фильтрами (рис. 3.12, *б*).

Подавление радиопомех в системах зажигания может быть дальним — когда радиоаппаратура находится вне автомобиля или ближним — когда радиоаппаратура находится в автомобиле.

При дальнем подавлении радиопомех наиболее эффективным может быть включение помехоподавляющих резисторов с сопротивлением 6... 12 кОм на центральном проводе высоковольтного распределителя или непосредственно на роторе, а также в наконечниках перед свечами зажигания либо в самих свечах на центральных электродах. Для повышения эффективности подавления помех расположение резистора должно быть как можно ближе к очагу искрообразования.

Ближнее подавление радиопомех осуществляется путем размещения высоковольтной цепи системы зажигания в экранирующую оплетку, соединенную в крайних и средних точках с металлической «массой» автомобиля. Частичный эффект экранирования обеспечивают металлический капот и боковые щитки моторного отсека. Некоторый эффект достигается включением бумажного конденсатора емкостью 2... 3 мкФ между «массой» автомобиля и корпусом катушки зажигания. На появление радиопомех заметно влияет ухудшение качества контактных соединений в цепи низкого напряжения вследствие окисления или загрязнения контактных поверхностей.

### Контрольные вопросы

1. Каковы основные показатели работы системы зажигания?
2. Каким образом можно повысить максимальное вторичное напряжение в батарейных системах зажигания?
3. Какую роль выполняет коммутатор в электронных системах зажигания?
4. Каковы основные достоинства цифровых систем зажигания?
5. Как осуществляется подбор свечей зажигания к двигателю?
6. Как осуществляется подавление радиопомех в системах зажигания?



# СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

---

### 4.1. Общие сведения

Безопасность движения автомобильного транспорта, а также его производительность в темное время суток и в условиях недостаточной видимости во многом обеспечивается состоянием и качеством работы элементов светотехнического и вспомогательного оборудования. Светотехническое и вспомогательное оборудование транспортных и транспортно-технологических машин предназначено для управления ими независимо от погодных условий, а также внешней освещенности при соблюдении требований безопасности движения.

Совместная работа некоторых элементов светотехнического и вспомогательного оборудования может рассматриваться в виде комплексной информационной системы, обеспечивающей прием и передачу информации по внешнему и внутреннему направлениям.

**Внешняя информация** может подразделяться на входную и выходную. Поток *входной информации* сообщает водителю ориентировочные данные об уровне безопасности дорожной обстановки, в соответствии с которым он может выбирать соответствующий режим транспортной работы. Внешняя *выходная информация* в виде световых и звуковых сигналов предназначена для сообщения другим участникам движения о качественных (присутствие на дороге) и некоторых количественных характеристиках режима движения транспортного средства (скорость, габаритные размеры, направление движения, статус).

**Внутренняя информация** в виде соответствующих световых, а иногда и звуковых сигналов сообщает водителю о нахождении в норме или выходе за пределы нормы контролируемых показателей работы транспортного средства.

Выполнение международных автомобильных перевозок, а также экспорт автомобильной транспортной продукции подчинены требованиям международной регламентации, определяемым правилами Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН). Согласно этим требованиям обозначен перечень осветительных, светосигнальных и звуковых сигнальных приборов, обязательных к установке на транспортных средствах, а также их основные характеристики и правила установки. В настоящее время

действие указанных международных требований распространяется и на территории Российской Федерации.

## **4.2. Светотехническое оборудование**

Светотехническое оборудование включает в себя фары головного освещения, габаритные огни, указатели поворотов, сигналы торможения, световозвращатели, противотуманные фары, противотуманные фонари, фонарь освещения номерного знака, задние фары, фары-прожекторы, фары-искатели, стояночные фонари, фонари местного освещения. Светотехнические приборы подразделяют на осветительные и сигнальные.

Исходя из требований безопасности движения на любой транспортной машине установленные спереди световые приборы, освещающие дорогу и несущие информацию о встречном курсе для других участников движения, должны быть белого цвета. В соответствии с этим задние фары, включаемые при движении задним ходом, также должны быть белого цвета. Располагаемые сзади транспортного средства световые приборы должны быть красного цвета, как дополнительно информирующие других участников движения о попутном курсе. Указатели поворотов, несущие информацию об изменении направления движения, должны быть желтого или оранжевого цвета.

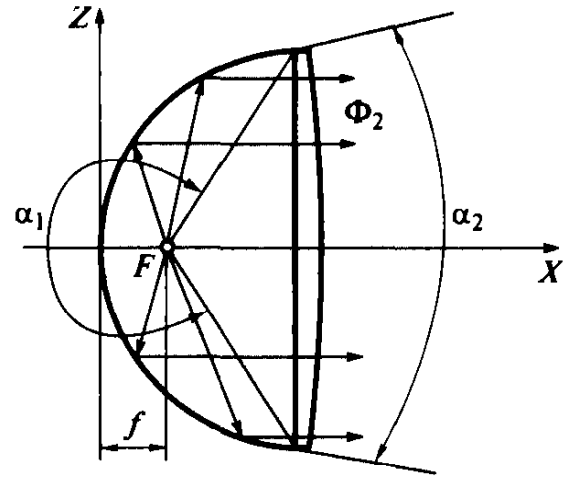
Для обеспечения наиболее благоприятных условий видимости в темное время суток конструкция световых приборов непрерывно совершенствуется в части улучшения светораспределения и снижения слепящего действия при встречном разъезде. Действующими нормативными требованиями допускается объединение световых приборов в блоки при условии соответствия требованиям стандартов характеристик каждого прибора. Все световые приборы должны вписываться в силуэт внешнего вида транспортного средства, в том числе по требованиям снижения аэродинамического сопротивления.

### **4.2.1. Рабочий процесс светового прибора**

Оптическая система светового прибора включает в себя лампу, являющуюся источником света, отражатель и рассеиватель. Параболоидный отражатель концентрирует световой поток, излучаемый лампой в пределах малого телесного угла, и направляет его на рассеиватель. В рассеивателе, представляющем собой систему линз и призм, световой поток формируется в виде потока световых лучей, направленных к освещаемой поверхности.

Основными светотехническими параметрами световых приборов являются площадь светоотражающей поверхности оптической системы, площадь светового отверстия, телесный и плоский углы охва-

Рис. 4.1. Схема работы светового прибора с параболическим отражателем



та, углы излучения и рассеивания света, фокусное расстояние оптической системы, коэффициент светоотражения, коэффициент светопропускания рассеивателя.

Активным элементом оптической системы является зеркальная поверхность отражателя. Ее проекция на плоскость, перпендикулярную оптической оси  $X$  (рис. 4.1), называется *световым отверстием*, площадь которого определяет характеристики светового потока. Оптическая ось  $X$  является осью симметрии светового прибора, на которой размещается точка  $F$  его фокуса. Отрезок  $f$  оптической оси от фокуса до вершины параболического отражателя есть *фокусное расстояние* оптической системы. В фокусе параболического отражателя размещается источник света малых размеров. Световые лучи от данного источника поступают на внутреннюю поверхность отражателя, от которой отражаются параллельно оптической оси  $X$ .

Высота поверхности параболического отражателя относительно оптической оси в плоскости определяется уравнением

$$Z = \sqrt{fX}.$$

Располагаемый в фокусе отражателя источник света в виде нити накала лампы производит световой поток  $\Phi_{\text{л}}$ , однако на поверхность отражателя поступает его часть  $\Phi_1$ , определяемая зависимостью

$$\Phi_1 = I_{\text{л}} \alpha_1,$$

где  $I_{\text{л}}$  — средняя сила света лампы, распространяющаяся в пределах внутреннего телесного угла  $\alpha_1$  отражателя.

Коэффициент использования светового потока лампы можно определить по отношению

$$\eta_{\text{л}} = \frac{\Phi_1}{\Phi_{\text{л}}}.$$

Световой поток лампы может быть определен по формуле

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{I_{\text{л}} \alpha_1}{\eta_{\text{л}}}.$$

Отходящий от отражателя световой поток  $\Phi_2$  распространяется в пределах наружного телесного угла  $\alpha_2$ :

$$\Phi_2 = I_{\text{отр}} \alpha_2,$$

где  $I_{\text{отр}}$  — средняя сила отраженного света.

Коэффициент отражения света  $\eta_{\text{отр}}$ , характеризующий качество поверхности отражателя, можно определить по отношению световых потоков:

$$\eta_{\text{отр}} = \frac{\Phi_2}{\Phi_1}.$$

Световой поток на выходе светового прибора

$$\Phi_{2\text{в}} = \Phi_{\text{л}} \eta_{\text{л}} \eta_{\text{отр}} \eta_{\text{р}},$$

где  $\eta_{\text{р}}$  — коэффициент светопропускания рассеивателя.

*Сокращение потерь светового потока лампы* при передаче к выходной части светового прибора может быть достигнуто следующими действиями:

- увеличение внутреннего телесного угла  $\alpha_1$ . При этом в качестве ограничителей можно рассматривать диаметр светового отверстия  $D$  и фокусное расстояние  $f$ . В результате поиска из возможных вариантов для существующих конструкций световых приборов в качестве оптимальной величины было рекомендовано  $\alpha_1 = 4,18 \text{ рад} = 240^\circ$  [3], в результате чего коэффициент использования светового потока лампы  $\eta_{\text{л}} = 0,7 \dots 0,75$ ;

- увеличение коэффициента отражения  $\eta_{\text{отр}}$ . Величина данного коэффициента в основном определяется качеством покрытия и характеристиками материала, напыленного на внутреннюю поверхность отражателя. В качестве отражающих материалов для напыления на внутреннюю поверхность отражателя могут использоваться серебро ( $\eta_{\text{отр}} = 0,89 \dots 0,92$ ), хром, никель ( $\eta_{\text{отр}} = 0,85 \dots 0,87$ ), алюминий ( $\eta_{\text{отр}} = 0,92 \dots 0,94$ ) [5];

- увеличение коэффициента светопропускания рассеивателя  $\eta_{\text{р}}$ . Наличие светопреломляющих и светоконцентрирующих линз в материале рассеивателя в определенной степени затрудняет прохождение светового потока. Однако наличие линз необходимо для формирования требуемой формы потока световых лучей. Прозрачность материала рассеивателя не является идеальной и за счет применения

современных более прозрачных материалов может быть достигнуто повышение величины  $\eta_p$ .

Смещение нити накала относительно точки фокуса приводит к снижению степени концентрации светового потока и соответствующему изменению направления световых лучей, что реализуется в различных вариантах системы светораспределения ближнего света фар головного освещения.

Световой поток, исходящий от светового прибора, может быть сформирован в виде прожекторного луча или проекторного потока. В приборах светосигнального назначения и местного освещения более предпочтительным является формирование световых лучей в виде проекторного потока. В приборах освещения дороги и близлежащей местности лучшая видимость обеспечивается посредством светового потока в виде прожекторного луча, позволяющего в освещаемой поверхности выделять зону светового пятна с большей освещенностью. Концентрация или рассредоточение светового потока обеспечивается как расположением нити накала относительно фокуса, так и наличием, формой и расположением преломляющих линз, расположенных впереди отражателя.

#### **4.2.2. Световые приборы головного освещения**

Световые приборы головного освещения предназначены для освещения дороги впереди автомобиля на расстоянии 50...200 м с яркостью, обеспечивающей водителю качественную оценку дорожной обстановки и своевременное обнаружение препятствий по условиям безопасности движения. К световым приборам головного освещения относятся фары дальнего и ближнего света, фары-прожекторы, фары-искатели, а также противотуманные фары.

**Фары дальнего и ближнего света** обеспечивают водителю видимость дороги перед автомобилем на расстоянии, достаточном для движения с высокой скоростью. По способу реализации рабочего процесса освещения дороги система светораспределения фар может быть двухфарной или четырехфарной.

При *двухфарной системе светораспределения* в световом приборе устанавливается лампа с двумя нитями накала, из которых нить дальнего света размещается в фокусе, а нить ближнего света смещается относительно фокуса вверх или вперед в зависимости от типа светораспределения.

При *четырефарной системе светораспределения* на автомобиле устанавливаются две фары ближнего света и две фары дальнего света, отличающиеся между собой световой мощностью ламп, углами наклона оптических осей к плоскости дороги и формами световых пятен на дороге. Нить накала при этом устанавливается в фокусе светового прибора.

Одним из основных требований к системе светораспределения ближнего света является обеспечение наименее возможного слепящего действия фары, в связи с чем его реализация проявилась в создании двух разновидностей ближнего света: американской и европейской. При этом обе разновидности могут быть использованы как при двухфарной, так и при четырехфарной системе светораспределения.

В американской системе светораспределения нить накала ближнего света имеет подковообразную или цилиндрическую располагаемую перпендикулярно оптической оси фары форму и находится выше фокуса с небольшим смещением влево. Такое решение позволяет наклонить вниз центральную ось светового потока с небольшим смещением вправо относительно оптической оси фары. Это приводит к смещению светового пятна ближе к автомобилю и лучшему освещению правой части дороги. Световой поток ближнего света приобретает асимметричную, смещенную вправо форму, что способствует уменьшению слепящего действия фар. Недостатком данной конструкции является отсутствие резкой границы освещенной и неосвещенной частей дороги и слепящее действие на глаза водителей встречных автомобилей.

В европейской системе светораспределения нить накала ближнего света выполняется цилиндрической формы, размещается впереди фокуса  $F$  на оптической оси фары или несколько выше. Для создания резкой границы освещенной части дороги под нитью ближнего света  $1$  (рис. 4.2) размещается корытообразный экран  $2$  с небольшим вырезом в левой передней части под углом  $15^\circ$ , позволяющим увеличить прохождение светового потока в правую сторону дороги. В лампах для автомобилей, предназначенных для эксплуатации на дорогах с левосторонним движением, такой вырез для асимметричности светового потока делается справа.

Рассматриваемые решения позволяют существенно снизить слепящее действие фар европейской системы светораспределения ближнего света (рис. 4.3).

В европейской системе светораспределения в режиме ближнего света используется только верхняя часть поверхности отражателя. Кроме того, совмещение в одной фаре двух рабочих режимов приводит к некоторому ухудшению характеристик как ближнего, так и

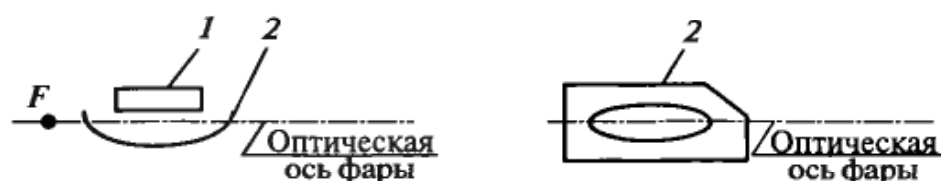


Рис. 4.2. Размещение нити накала ближнего света в фаре европейской системы светораспределения

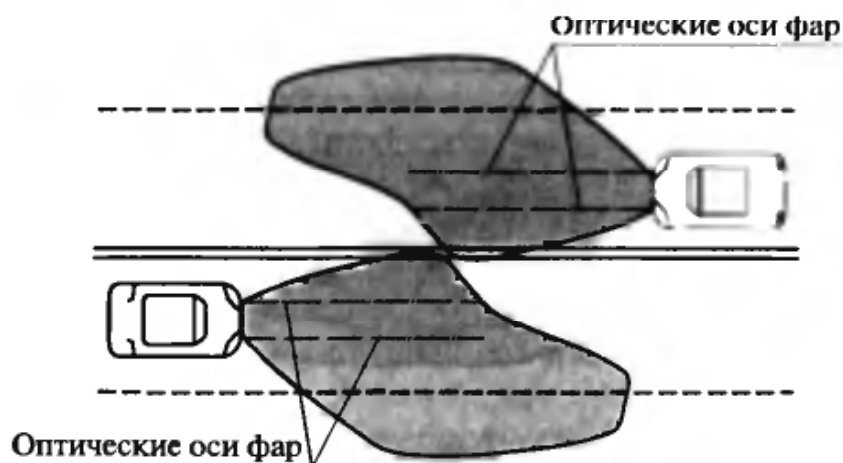


Рис. 4.3. Схема реализации световых потоков при европейской асимметричной системе светораспределения ближнего света

дальнего света. Стремление повысить показатели светоотдачи привело к созданию комбинированной четырехфарной системы, при которой в режиме дальнего света к основным двухрежимным фарам добавляются две однорежимные фары. Такое решение позволяет снизить мощность и размеры нити накала дальнего света основных двухрежимных фар и одновременно за счет этого улучшить характеристики системы ближнего света. Нить накала ближнего света располагается в фокусе отражателя, а нить накала дальнего света — за фокуса. Максимальный коэффициент светоотдачи такая фара обеспечивает в режиме ближнего света. Снижение светоотдачи основных фар в режиме дальнего света при этом компенсируется параллельным включением двух однорежимных фар. В режиме ближнего света работают две фары, в режиме дальнего света — четыре.

Стремление уменьшить габаритные размеры фар в целях улучшения дизайна или фронтального аэродинамического сопротивления привело к созданию так называемых *гомофокальных* конструкций. Конструктивное построение гомофокальной фары (рис. 4.4) базируется на введении второго отражателя с меньшим фокусным расстоянием. Такое решение позволяет увеличить концентрацию светового потока при уменьшении высоты отражателя.

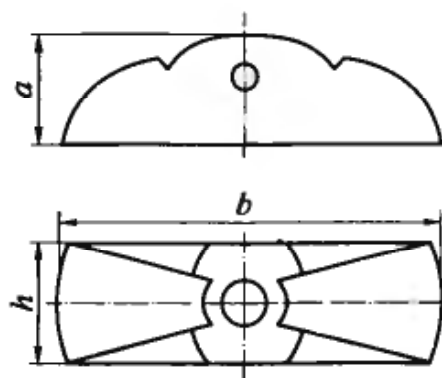


Рис. 4.4. Конструктивное построение гомофокальной фары

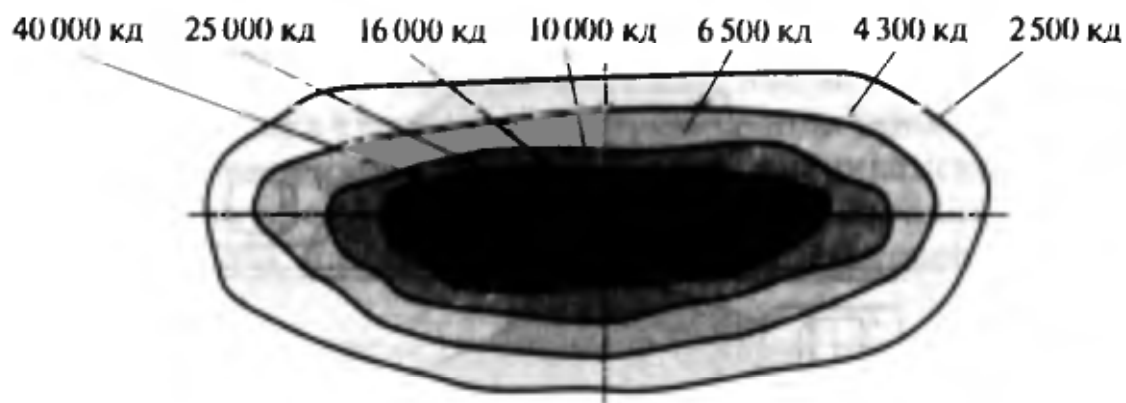


Рис. 4.5. Световое пятно фары дальнего света

По сравнению с фарами традиционной конструкции гомофокальное построение позволяет уменьшить длину отражателя  $a$  на 15... 20 %, соотношение размеров ширины  $b$  и высоты  $h$  фары может находиться в диапазоне  $b/h = 3 \dots 3,5$ .

Вторичное формирование светового потока фары осуществляется путем его прохождения через систему оптических призм и линз рассеивателя. Вертикальные цилиндрические линзы рассеивают световой пучок в стороны. Применение эллипсоидных линз позволяет осуществлять рассеивание светового потока в перпендикулярно расположенных плоскостях, при этом максимальная сила света проходит вдоль оптической оси прибора (рис. 4.5).

При отклонении в вертикальной плоскости происходит резкое уменьшение силы светового потока, причем в верхней части более значительное (рис. 4.6), что наряду с другими мероприятиями позволяет снизить слепящее действие фары. При отклонении в горизонтальной плоскости происходит несколько меньшее снижение светового потока, что расширяет зону светового пятна на дороге. В современных конструкциях фар головного освещения угол максимальной концентрации светового потока обычно составляет 5... 9° в вертикальной плоскости и 18... 24° в горизонтальной плоскости [30].

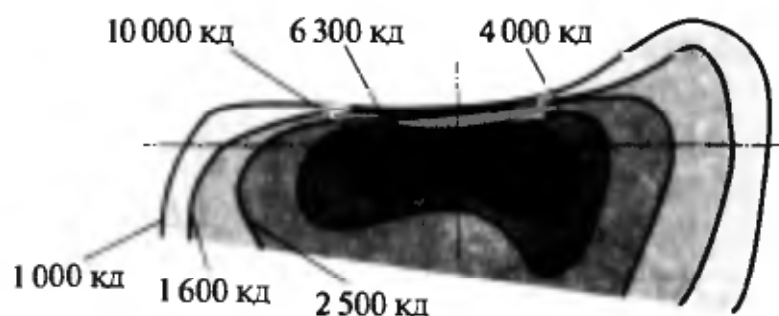


Рис. 4.6. Световое пятно европейской фары ближнего света



Согласно требованиям ЕЭК ООН по безопасности движения общее число фар, располагаемых на транспортном средстве, должно быть четным; при этом сила светового потока одновременно работающих фар дальнего света не должна превышать 225 000 кд. Высота расположения фар ближнего света должна быть не менее 500 мм и не более 1 200 мм от поверхности дороги. Расстояние от внешнего габаритного края транспортного средства до внешнего края светового отверстия не должно превышать 400 мм; при этом расстояние между внутренними краями световых отверстий фар должно быть не менее 600 мм.

*Светотехнические характеристики фар* головного освещения подчинены нормативным требованиям по обеспечению комфортных условий видимости дороги при условии минимально возможного слепящего действия. По условиям безопасности движения в темное время суток необходимо, чтобы гарантированная дальность видимости  $L_{\text{вид}}$  превосходила величину остановочного пути  $L_{\text{ост}}$ :

$$L_{\text{вид}} > L_{\text{ост}} + l_{\text{пр}},$$

где  $l_{\text{пр}}$  — запас остановочного пути до препятствия.

Остановочный путь транспортного средства, являющийся функцией его скорости в момент начала аварийного торможения, может быть определен по формуле

$$L_{\text{ост}} = \frac{v_{\text{н}} t_{\text{р.в}} + v_{\text{н}} t_{\text{р.т}}}{3,6} + \frac{K_{\text{д}} v_{\text{н}}^2}{254 \varphi_{\text{x}}},$$

где  $v_{\text{н}}$  — скорость транспортного средства в момент начала торможения, км/ч;  $t_{\text{р.в}}$  — время реакции водителя на появление препятствия, с, обычно  $t_{\text{р.в}} = 0,4 \dots 0,8$  с;  $t_{\text{р.т}}$  — время срабатывания тормозной системы, обычно  $t_{\text{р.т}} = 0,2 \dots 0,4$  с;  $K_{\text{д}}$  — коэффициент учета дорожных условий, для сухой горизонтальной дороги  $K_{\text{д}} = 0,8 \dots 1$ ;  $\varphi_{\text{x}}$  — коэффициент сцепления колес с дорогой, для сухого асфальта  $\varphi_{\text{x}} = 0,4 \dots 0,6$ .

Необходимая для обнаружения препятствия освещенность  $E_{\text{пр}}$  зависит от прозрачности воздуха и цветовой контрастности предметов и может быть определена по формуле [36]

$$E_{\text{пр}} = 0,2 + 0,01 L_{\text{ост}},$$

при этом суммарная сила света фар

$$I_{\text{ф.с}} = E_{\text{пр}} L_{\text{ост}}^2.$$

С учетом того что остановочный путь автомобиля  $L_{\text{ост}}$  является квадратичной функцией относительно его начальной скорости  $v_{\text{н}}$ ,

сила света фар согласно предыдущей зависимости прямо пропорциональна четвертой степени скорости автомобиля:  $I_{ф.с} \sim v_{п}^4$ .

Нормативными характеристиками ближнего света фар являются коэффициент ослепленности  $C_{осл}$  и дальность видимости  $L_{вид}$ .

Коэффициент ослепленности, определяющий слепящее действие фары, показывает, насколько ухудшаются условия видимости дороги водителем от фар встречного автомобиля. Данный коэффициент зависит от ряда факторов, среди которых можно выделить яркость поля адаптации на уровне глаз водителя, угол действия светового потока относительно траектории движения автомобиля, угол рассеивания светового потока и др. В экспериментальных условиях с достаточной точностью коэффициент ослепленности  $C_{осл}$  может быть определен по формуле

$$C_{осл} = \frac{I_о + I_ф}{I_о},$$

где  $I_о$  — сила света фар встречного автомобиля, начинающая вызывать эффект ослепленности;  $I_ф$  — сила света фар встречного автомобиля, фактически попадающая на глаза водителя.

Дальность видимости  $L_{вид}$  зависит от создаваемой фарами освещенности дороги  $E$  на расстоянии  $l_в$  и с учетом необходимой для обнаружения препятствия на дороге освещенности  $E_{пр}$  может быть определена по формуле

$$L_{вид} = l_в \sqrt{\frac{E}{E_{пр}}}.$$

**Фары-прожекторы** предназначены для освещения наиболее удаленных участков дороги, расположенных за зоной освещения фарами дальнего света. Конструктивное построение таких фар осуществляется по принципу однорежимного светового прибора (см. рис. 4.1), но с большей длиной фокусного расстояния  $f$ . Это позволяет при наличии специальных призматических линз рассеивателя формировать узкий концентрированный световой поток, проникающий на достаточно большое расстояние.

Включение фар-прожекторов осуществляется совместно с дальним светом фар при отсутствии встречных автомобилей. Установка таких фар разрешается только на специальных автомобилях, технические характеристики которых могут выступать за установленные пределы дорожных ограничений. В соответствии с требованиями безопасности движения на одном автомобиле может устанавливаться не менее двух симметрично располагаемых относительно продольной оси фар. Высота расположения фар-прожекторов не нормируется.

На специальных технологических транспортных средствах, производящих технологические работы, могут устанавливаться фары-прожекторы, освещающие зону проведения работ. Отличие таких фар от транспортных фар-прожекторов состоит в формировании более широкого угла рассеивания светового потока, позволяющего без значительного снижения освещенности расширить площадь светового пятна в зоне работ.

**Фары-искатели** имеют примерно такой же принцип построения, как и фары-прожекторы, и служат для поиска предметов, расположенных вне зоны действия фар головного освещения. На автомобиле устанавливается обычно одна фара-искатель, располагаемая на поворотном кронштейне с возможностью управления с рабочего места водителя.

**Противотуманные фары** предназначены для освещения дороги в условиях затрудненной видимости при наличии на пути следования автомобиля тумана, метели, пыли или дыма.

По конструктивному построению противотуманная фара отличается от обычной однорежимной фары ближнего или дальнего света прежде всего формой светового потока (рис. 4.7). Ухудшение видимости дороги в условиях тумана при работе фар ближнего или дальнего света происходит из-за свечения светоотражающих частиц в пространстве, охватываемом световыми лучами таких фар; при этом включение фар дальнего света значительно ухудшает видимость дороги.

Улучшение видимости дороги в условиях тумана может быть достигнуто приданием световому потоку фары щелевидной формы, резко ограничивающей попадание лучей света на заполненное туманом пространство. Для достижения такого эффекта противотуманная фара должна производить узкий, с углом рассеивания не более  $5^\circ$  световой поток в вертикальной плоскости и расширенный, с углом рассеивания  $80 \dots 110^\circ$  в горизонтальной плоскости (рис. 4.8). В целях лучшей освещенности дороги при таком распределении светового потока противотуманные фары необходимо располагать как можно ближе к поверхности дороги.



Рис. 4.7. Распределение в вертикальной плоскости светового потока:

1 — противотуманной фары; 2 — фары ближнего света

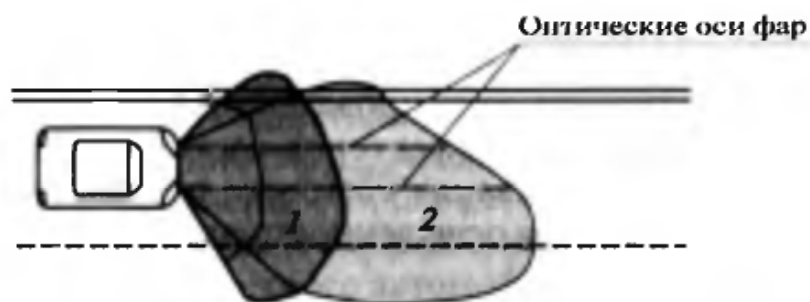


Рис. 4.8. Распределение в горизонтальной плоскости светового потока:  
 1 — противотуманных фар; 2 — фар ближнего света

Действие противотуманных фар должно обеспечивать хорошую видимость дороги на расстоянии 15... 20 м перед автомобилем. Высота расположения противотуманных фар в меньшей степени влияет на освещенность дороги, чем светораспределение и точность их установки. По данным специалистов [23], увеличение высоты установки фар с 0,25 до 1 м от поверхности дороги снижает дальность видимости до 10 %, тогда как отклонение оптической оси фары по вертикали на 3 % от нормального положения уменьшает дальность видимости более чем в 2 раза.

При освещении плоскости, перпендикулярной оптической оси, противотуманная фара дает световое пятно, сжатое по вертикали и растянутое по горизонтали.

В ходе поиска мер по повышению цветовой контрастности изображения дороги было установлено ([23], [30]), что наиболее высокая цветовая контрастность в тумане средней и высокой плотности с относительно большими размерами светящихся частиц достигается при приближении спектра света лампы к спектру дневного света. В то же время при наличии тумана малой плотности или пылевой среды с малыми размерами светящихся частиц лучший эффект дают лучи желтого света с бóльшей длиной световых волн, соизмеримых с размерами частиц тумана или пыли. Согласно требованиям ЕЭК ООН по безопасности движения рассеиватели противотуманных фар, располагаемых на одном транспортном средстве, должны быть одного цвета.

Для уменьшения слепящего действия противотуманных фар могут применяться те же мероприятия, что и для фар ближнего света: расположение светоотражающего экрана под нитью накала, установка экрана прямых лучей перед лампой, смещение оптических осей фар вправо. Рассеиватель противотуманной фары выполняется в виде многорядной структуры преломляющих элементов, представляющих собой усеченные прямолинейные цилиндрические линзы.

В результате взаимодействия прямых лучей, исходящих от лампы, с частицами тумана происходит значительное рассеивание несформированного светового потока, образующего непрозрачную пелену,

резко снижающую дальность видимости. Для уменьшения эффекта непрозрачной пелены применяется экран прямых лучей, располагаемый впереди лампы и возвращающий прямые лучи на отражатель. Это позволяет исключить взаимодействие прямых лучей лампы с частицами тумана и тем самым улучшить условия видимости в тумане.

Наличие большего угла рассеивания светового потока в горизонтальной плоскости позволяет использовать достоинства противотуманных фар при движении на крутых поворотах в горной местности или при маневрировании в стесненных условиях. Применение противотуманных фар в условиях плохой видимости значительно повышает безопасность движения и увеличивает скорость транспортной работы автомобилей на 20...30 %.

При движении в тумане в светлое время суток включение противотуманных фар не улучшает видимости. Однако при этом они могут выполнять роль дополнительных источников света, обозначающих в условиях плохой видимости движущееся транспортное средство.

### 4.2.3. Светосигнальные приборы

Светосигнальные приборы предназначены для информирования участников движения о режиме работы и виде транспортного средства, его габаритных размерах, совершаемом маневре и принадлежности в виде освещаемого номерного знака.

К светосигнальным приборам относятся габаритные и стояночные фонари, сигналы торможения, указатели поворота, специальные сигналы и световозвращатели. Форма, размеры и расположение светосигнальных приборов должны отвечать нормативным требованиям по безопасности движения и соответствовать внешнему виду транспортного средства. Согласно действующим международным и отечественным стандартам установлены перечень и основные параметры обязательных и необязательных, но допускаемых к применению осветительных и светосигнальных приборов. При этом работа светосигнальных приборов может происходить в активном режиме с использованием собственного источника света либо в пассивном режиме посредством отражения света фар другого автомобиля.

В комплект *обязательных* светосигнальных приборов транспортных средств входят:

- габаритные огни (два передних белого цвета и два задних красного цвета);
- сигналы торможения в виде двух располагаемых сзади транспортного средства фонарей красного цвета;
- фонарь освещения заднего номерного знака белого цвета;
- указатели поворота и аварийной световой сигнализации оранжевого цвета, располагаемые попарно спереди, сбоку и сзади транспортного средства;

- задние световозвращатели красного цвета;
- фары заднего хода белого цвета.

Некоторые виды транспортных средств согласно действующим стандартам должны оснащаться:

- контурными фонарями грузовых фургонов или автобусов;
- специальными опознавательными фонарями;
- фонарями преимущественного права проезда.

К *необязательным, но допускаемым к установке* на транспортные средства светосигнальным приборам относятся:

- задние противотуманные фонари;
- стояночные фонари;
- дополнительные сигналы торможения;
- боковые огни;
- указатели траектории.

По функциональным особенностям светосигнальные приборы могут рассматриваться в виде источников и отражателей света.

По условиям режима работы светосигнальные приборы подразделяют на приборы длительного, в том числе круглосуточного, действия и приборы краткосрочного действия, например сигналы торможения или указатели поворота.

В зависимости от условий использования световые приборы могут быть ночного или круглосуточного действия. Излучаемая от приборов ночного действия сила света обычно составляет 5... 12 кд. Для приборов круглосуточного действия, видимость которых должна обеспечиваться при ярком солнечном свете, сила света находится в пределах 500... 700 кд. В необходимых случаях должна обеспечиваться соответствующая защита от слепящего действия таких приборов в ночное время.

Нормирование характеристик светосигнальных приборов осуществляется по условиям их зрительного восприятия в конкретных условиях видимости с учетом динамических свойств транспортных средств. Исходя из функционального назначения для каждого светосигнального прибора в качестве нормативных характеристик рассматриваются сила света, углы видимости, расстояния от крайних габаритных точек и по высоте транспортного средства, цветовые различия. Нормируется количество светосигнальных приборов с каждой стороны транспортного средства, углы геометрической видимости светящейся поверхности в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Опознаваемость светосигнальных приборов достигается изменением силы света, цветовым спектром, а также проблесковым режимом их работы.

Передние габаритные огни, фары заднего хода, фонари освещения номерного знака, передние световозвращатели должны быть белого цвета, в некоторых случаях допускается желтого селективного цвета. Задние габаритные фонари, задние световозвращатели, сигналы торможения должны быть красного цвета. Указатели пово-

рота, работающие в мигающем режиме, должны быть оранжевого цвета. Проблесковые маячки автомобилей специальных служб, устанавливаемые в верхней части транспортного средства, могут выполняться синего, красного, оранжевого или бело-лунного цвета.

Видимость светосигнальных приборов характеризуется углами геометрического светораспределения в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Углы геометрического светораспределения в вертикальной плоскости обычно составляют  $\pm 15^\circ$  относительно оптической оси. В горизонтальной плоскости обычно применяется асимметричное светораспределение с большими углами фронтальной видимости  $\theta_\phi$  и меньшими углами боковой видимости  $\theta_\delta$  относительно оптической оси (рис. 4.9).

Для передних и задних габаритных фонарей и указателей поворота углы геометрического светораспределения обычно составляют  $\theta_\phi = 80^\circ$  и  $\theta_\delta = 45^\circ$  в пределах телесного угла  $\theta = \theta_\phi + \theta_\delta = 80^\circ + 45^\circ = 125^\circ$ . Для сигналов торможения применяется симметричное светораспределение при  $\theta_\phi = \theta_\delta = 45^\circ$ . Задние световозвращатели также выполняются с симметричным светораспределением при  $\theta_\phi = \theta_\delta = 30^\circ$ .

**Габаритные огни (фонари)** предназначены для обозначения наличия и примерных габаритных размеров транспортного средства в темное время суток и в условиях недостаточной видимости. Прицепные звенья обозначаются двумя задними габаритными фонарями, а при ширине более 2,6 м — двумя передними. Автобусы длиной более 7 м и транспортные средства с кузовами фургонного типа должны обозначаться четырьмя верхними габаритными фонарями: двумя спереди белого цвета и двумя сзади красного цвета. Сила света по соответствующим оптическим осям должна находиться в пределах 40...60 кд для нижних габаритных фонарей и 5...12 кд для верхних габаритных фонарей.

Габаритные фонари располагают на одной высоте симметрично продольной оси транспортного средства на равных расстояниях от его крайних габаритов. Согласно нормативным требованиям правил ЕЭК ООН по безопасности дорожного движения расстояния

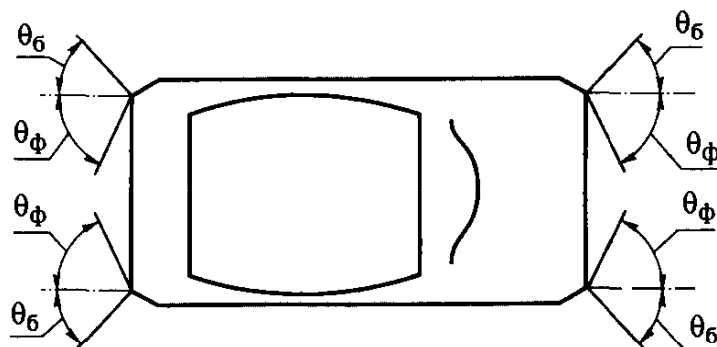


Рис. 4.9. Углы светораспределения светосигнальных приборов в горизонтальной плоскости

между фонарями по ширине должно быть не менее 600 мм, для транспортных средств особо малого класса допускается 400 мм. Расстояние до плоскости бокового габарита транспортного средства должно быть не более 400 мм. Высота установки нижних габаритных фонарей должна находиться в пределах 400... 1 500 мм. Высота расположения верхних габаритных фонарей должна быть не ниже 400 мм от плоскости верхнего габарита транспортного средства. На транспортных средствах длиной более 6 м должны устанавливаться боковые габаритные фонари оранжевого цвета с углами рассеивания  $\theta = 90 \dots 120^\circ$  и силой света 2... 5 кд. Аналогичные характеристики должны иметь фонари сигнализации открытия дверей, указывающие на увеличение ширины транспортного средства.

**Стояночные фонари** предназначены для обозначения стоящего транспортного средства в темное время суток в качестве дублирующей подсистемы габаритных фонарей, использование которых требует значительных затрат энергии и приводит к быстрому разряду аккумуляторной батареи, при этом не требуется значительной яркости источников света.

Размещение и углы светораспределения стояночных фонарей аналогичны соответствующим характеристикам габаритных фонарей, однако сила света ламп обычно составляет 2... 3 кд, что достаточно для видимости стоящего автомобиля на расстоянии до 100 м. На транспортных средствах стояночные фонари могут быть сгруппированы или совмещены с соответствующими габаритными фонарями. Электрическая схема управления стояночными фонарями обычно предусматривает возможность их включения с одной стороны, обращенной к проезжей части дороги.

**Противотуманные фонари** предназначены для увеличения расстояния, при котором можно заметить располагающийся впереди автомобиль, поскольку применение в условиях тумана задних габаритных огней малоэффективно. Задние противотуманные фонари имеют рассеиватели красного цвета и обладают повышенной светотдачей. Светораспределение противотуманных фонарей осуществляется таким же образом, как и у противотуманных фар. Угол светораспределения в вертикальной плоскости не должен превышать  $5^\circ$ . Согласно требованиям безопасности движения на транспортном средстве может устанавливаться один или два противотуманных фонаря силой света 500... 1 000 кд и более. Такая сила света при отсутствии тумана может вызывать эффект ослепления или зрительного дискомфорта, в связи с чем включение противотуманных фонарей допускается только в условиях тумана, причем более эффективно в дневное время. Свет заднего противотуманного фонаря воспринимается водителем следующим позади автомобиля в виде вытянутого по горизонтали красного светового луча.

Высота установки противотуманных фонарей ограничивается по условиям безопасности движения величиной 0,25... 1 м. Один про-



тивотуманный фонарь может быть расположен посередине транспортного средства или в его левой части, при этом противотуманные фонари могут быть составными частями задних блоков светосигнальных приборов.

При раздельной компоновке противотуманные фонари должны располагаться выше или ниже светосигнальных блоков для исключения наложения световых потоков. Схема включения противотуманных фонарей должна предусматривать их работу только совместно с габаритными фонарями.

**Сигналы торможения** служат для предупреждения находящихся сзади транспортного средства участников движения о снижении скорости или остановке. Обязательный комплект сигналов торможения включает в себя два симметрично расположенных сзади транспортного средства фонаря красного цвета. Допускается наличие двух дублирующих фонарей с аналогичными характеристиками; располагаемых непосредственно за задним стеклом на уровне выше штатных сигналов.

Сигналы торможения включаются автоматически при срабатывании тормозной системы. С учетом того что световой сигнал должен быть хорошо заметен при ярком солнечном свете, от данных фонарей должна исходить достаточно высокая сила света. Однако в темное время суток это может вызвать зрительный дискомфорт находящихся сзади участников дорожного движения, в связи с чем сила света сигналов торможения ограничивается в пределах 40...100 кд. Для повышения безопасности движения могут применяться двухрежимные сигналы торможения силой света 130...500 кд в дневное время и 50...80 кд в ночное время.

Электрическая схема управления сигналами торможения должна предусматривать их работу в любых условиях, независимо от положения ключа в замке зажигания и работы других приборов. В связи с большой ответственностью в обеспечении безопасности движения к цепи управления сигналами торможения предъявляются дополнительные требования по надежности, в том числе отсутствие защиты цепи от короткого замыкания посредством предохранителей.

**Указатели поворотов** предназначены для передачи информации другим участникам движения о намерении водителя изменить направление следования. Обязательный комплект указателей поворота для всех механических транспортных средств включает в себя два передних, два задних и два боковых фонаря оранжевого цвета, работающих в проблесковом режиме. Частота мигания указателей поворота определяется из условий зрительного восприятия информации и находится в пределах 1...2 с<sup>-1</sup>. При уменьшении частоты мигания ухудшается восприятие сигнала, и он может быть не замечен другими участниками движения. Увеличение частоты мигания сигнала более 2 с<sup>-1</sup> приводит к восприятию его как постоянно горящего.

Нормативные характеристики указателей поворота определяются так же, как и для сигналов торможения с учетом работы в режимах яркого дневного света и отсутствия ночного освещения. Исходя из этого указатели поворота могут быть как однорежимными, так и двухрежимными. Однако двухрежимное исполнение передних указателей поворота нецелесообразно, поскольку их работа ночью происходит при включенных фарах и не вызывает ослепления при силе света в пределах 200... 500 кд. Сила света задних указателей поворота при однорежимном исполнении должна находиться в пределах 100... 200 кд, а при двухрежимном исполнении — 200... 700 кд в дневное время и 50... 120 кд в ночное время. Такими же характеристиками могут обладать боковые повторители.

Электрическая схема включения указателей поворота должна предусматривать их работу только при замыкании цепи выключателя зажигания во избежание создания зрительных помех и разряда аккумуляторной батареи во время стоянки автомобиля.

Схема включения указателей поворота должна предусматривать их работу в режиме *аварийной световой сигнализации* — одновременного синхронного мигания всех указателей поворота. При этом частотные и световые характеристики должны оставаться такими же, как и для соответствующих режимов указателей поворота. Включение аварийной световой сигнализации должно производиться вне зависимости от положения выключателя зажигания посредством кнопочного выключателя, располагаемого в легкодоступном месте на панели приборов. Работа приборов системы указателей поворота должна предусматриваться в режиме длительной работы по схеме аварийной световой сигнализации.

**Фонари освещения номерных знаков** обеспечивают читаемость номерных знаков в темное время суток. Освещение номерного знака должно быть равномерным от одного или двух фонарей белого цвета, включаемых совместно с габаритными фонарями. Согласно нормам ЕЭК ООН по безопасности дорожного движения освещенность таблицы номерного знака должна находиться в пределах 10... 490 лк. Яркость света в контрольных точках поверхности знака должна быть не менее 2,5 кд/м<sup>2</sup>. Поле видимости номерного знака должно быть в пределах углов 10° в вертикальной плоскости и 60° в горизонтальной плоскости симметрично оси, перпендикулярно направленной к плоскости знака и проходящей через его центр.

**Фонари заднего хода** должны обеспечивать видимость дороги на определенном расстоянии при движении назад. Согласно действующим требованиям по безопасности дорожного движения на транспортном средстве должны устанавливаться один или два фонаря заднего хода белого цвета, работающих при включении передачи заднего хода. По конструкции и предъявляемым требованиям фонари заднего хода относятся к светосигнальным приборам. Размещение таких

фонарей производится в задней части автомобиля на уровне 400...1200 мм от поверхности дороги. Углы светораспределения данных фонарей могут незначительно различаться для разных видов транспортных средств и обычно находятся в пределах 20...30° в вертикальной плоскости и 85...90° в горизонтальной плоскости.

Электрическая схема включения фонарей заднего хода должна предусматривать их работу при включении зажигания и передачи заднего хода независимо от включения габаритных фонарей. Такое решение позволяет сообщать дополнительную информацию другим участникам о движении назад независимо от условий освещенности.

**Опознавательные фонари** устанавливаются на автопоездах и сочлененных транспортных средствах в виде трех расположенных рядом фонарей оранжевого цвета, устанавливаемых на крыше кабины тягача. Расстояние между фонарями должно находиться в пределах 150...300 мм; углы светораспределения должны быть 10...15° в вертикальной плоскости и до 180° в горизонтальной плоскости. Работа опознавательных фонарей должна предусматриваться в длительном режиме при транспортной работе и стоянке автопоезда, в связи с чем их включение должно осуществляться независимо от положения и наличия ключа в замке зажигания.

**Фонарь преимущественного проезда**, или проблесковый маячок, устанавливается в верхней части автомобиля и работает в проблесковом режиме с частотой 1...2 с<sup>-1</sup>. Углы светораспределения находятся в пределах 10...20° в вертикальной плоскости и 360° в горизонтальной плоскости. В зависимости от назначения и принадлежности к виду специальных служб цвет таких фонарей может быть синим, красным, оранжевым или бело-лунным. В необходимых случаях параллельно с работой фонаря преимущественного проезда синего цвета должен включаться специальный звуковой сигнал.

**Световозвращатели** относятся к пассивным светосигнальным приборам с возвратно-отражающим действием. Световозвращатели служат для передачи информации другим участникам движения о наличии и примерных габаритных размерах транспортного средства с неработающими габаритными фонарями путем отражения света, исходящего от другого транспортного средства. Требования к установке световозвращателей аналогичны требованиям к установке габаритных фонарей.

Отражающий эффект световозвращателя основывается на принципе отражения световых лучей, проходящих через треугольную призму. Каждая секция световозвращателя (рис. 4.10) состоит из четырех трехгранных ячеек, расположенных на его внутренней стороне и наклоненных под углом 90°. Лучи света поступают на светоотражатель со стороны внешней гладкой поверхности и после отражения от трехгранных ячеек выходят в обратном направлении.

На транспортном средстве должны симметрично располагаться два передних световозвращателя белого цвета и два задних — крас-

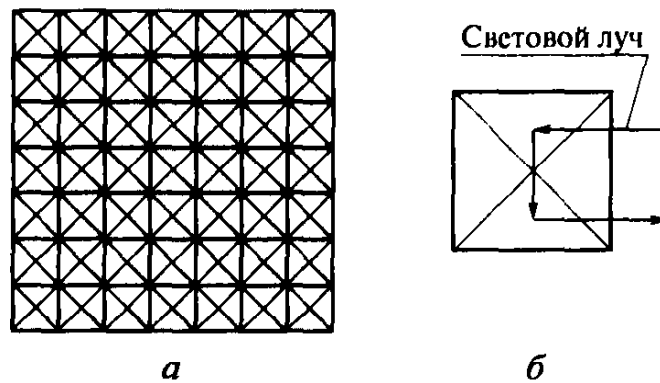


Рис. 4.10. Схемы световозвращателя (а) и его ячейки (б)

ного цвета. На автопоездах и автобусах длиной более 6 м необходимо устанавливать также боковые световозвращатели оранжевого цвета. Прицепные звенья должны оснащаться передними белыми световозвращателями круглой или прямоугольной формы и задними красными световозвращателями треугольной формы с симметричным расположением по периферии.

**Приборы внутреннего освещения** должны обеспечивать видимость в кабине грузового автомобиля, пассажирском салоне легкового автомобиля или автобуса, в подкапотном пространстве, багажном отсеке, вещевых ящиках.

Кабина грузового автомобиля и пассажирский салон легкового автомобиля должны освещаться одним или несколькими светильниками, выдающими неслепящий рассеянный свет. Для обеспечения таких характеристик внутренняя сторона рассеивателя выполняется в виде матовой поверхности с коэффициентом пропускания света в пределах 0,74...0,83 [31]. Применение для этих целей молочных стекол нецелесообразно ввиду малого коэффициента пропускания в пределах до 0,5.

В салонах автобусов освещенность на высоте 1 м от пола должна быть не менее 80 лк. В современных условиях для этих целей могут использоваться светильники с люминесцентными лампами, выдающими свет со спектром, близким к спектру дневного света. Для питания таких ламп требуется переменный ток напряжением 110 или 220 В. Промышленностью освоено производство люминесцентных ламп со встроенными полупроводниковыми преобразователями постоянного тока напряжением 12 или 24 В в переменный ток указанных уровней напряжения и частотой порядка 1 кГц. Высокий уровень частоты переменного тока подавляет реакцию лампы на колебания питающего напряжения и снижает зрительный дискомфорт от стробоскопического эффекта.

Использование индивидуальных преобразователей тока позволяет исключить применение в системе электроснабжения автобуса высоковольтных электрических цепей с повышенными требованиями по безопасности. В качестве основных достоинств люминесцентных ламп могут рассматриваться не только их спектральные характерис-

тики, но и более высокая светоотдача при меньшей затрате энергии, а также больший в 3—4 раза по сравнению с лампами накаливания срок службы.

Конструкция приборов освещения подкапотного пространства и багажного отделения должна обеспечивать возможность осмотра освещаемого пространства без зрительного дискомфорта. При этом световые приборы могут оборудоваться поворотными колпаками с внутренней отражающей поверхностью. Светотехнические характеристики таких приборов до настоящего времени не нормированы. В качестве источников света могут применяться как лампы накаливания, так и люминесцентные лампы или светодиоды.

Освещение шкал контрольно-измерительных приборов должно обеспечивать хорошую видимость их показаний в темноте и не вызывать повышенного утомления глаз водителя от чрезмерно яркого света. Включение контрольных световых сигнализаторов при этом должно быть хорошо заметно.

Эффективность освещения приборов повышается при соответствующем сочетании цвета освещающей лампы и цвета шкалы. Как установлено проведенными исследованиями [31], наименее утомительным для водителя и наиболее эффективным по восприятию является освещение черной шкалы с белыми цифрами и красной стрелкой зеленым источником света. В определенных случаях вместо ламп накаливания могут применяться светодиоды соответствующих цветов. Сигнализаторы, свидетельствующие о нахождении подконтрольного показателя в заданных пределах, должны выполняться в виде элемента зеленого цвета. При приближении показателя к граничной зоне может включаться сигнализатор желтого цвета. Выход показателя за установленные границы должен сопровождаться включением красного сигнализатора, показания которого могут сопровождаться звуковым сигналом.

#### **4.2.4. Источники света**

Основным требованием к автомобильным световым приборам внешнего освещения является постоянная готовность к работе, поэтому в качестве источников света в них могут использоваться преимущественно лампы накаливания. Требования к их параметрам и областям применения нормируются Правилом № 37 ЕЭК ООН и ГОСТ 2023.1—88. В качестве характеристик лампы, определяющих ее соответствие типу светового прибора, выступают категория и тип лампы, номинальное и расчетное напряжение, электрическая мощность, контрольный световой поток, световая отдача, средняя продолжительность работы, тип цоколя, масса, геометрические координаты нитевой системы относительно базовой плоскости.

Электрическая мощность лампы  $P_{л}$  есть произведение напряжения на контактах лампы  $U_{л}$  на потребляемый лампой ток  $I_{л}$ :

$$P_{л} = U_{л} I_{л}.$$

Контрольный световой поток есть номинальный световой поток эталонной лампы, при котором определяются оптические характеристики данного светового прибора. Световая отдача лампы  $\eta_{л}$  есть отношение светового потока лампы  $\Phi$  к потребляемой лампой мощности  $P_{л}$ :

$$\eta_{л} = \frac{\Phi}{P_{л}}.$$

Основными элементами автомобильной лампы (рис. 4.11) являются стеклянная колба  $1$ , нити накала  $2$ , цоколь  $4$  с фиксирующим фланцем  $3$ , штифт  $5$ , контактные выводы  $6$ .

Цоколь служит для крепления лампы в патроне и подключения энергии к контактным выводам. Крепление колбы к цоколю осуществляется посредством высокотемпературного клея. Для более точной фиксации нитей накала относительно фокуса светового прибора служит фиксирующий фланец, позволяющий устанавливать лампу в световой прибор только в строго определенном положении. Размеры и расположение нитей накала в лампе определены нормативными документами.

При подключении электрического тока нить накала лампы нагревается и при высокой температуре начинает излучать свет. Энергия светового излучения при этом не превышает 6...8%. Остальная часть затрачиваемой на нагрев нити накала энергии расходуется на тепловое излучение. Материалом для изготовления нити накала служит вольфрам, имеющий температуру плавления 3380°C.

Повышение температуры нити накала позволяет увеличить яркость и световой поток, а также приблизить спектр светового потока лампы к спектру дневного света, при котором человеческий глаз

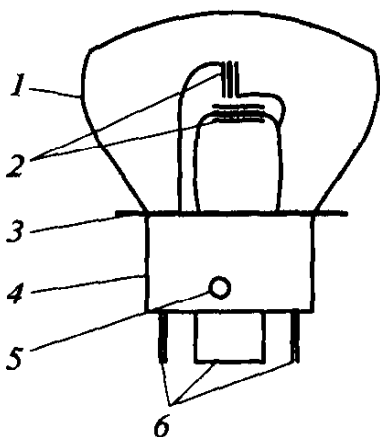


Рис. 4.11. Автомобильная двухнитевая лампа:  
 $1$  — колба;  $2$  — нити накала;  $3$  — фиксирующий фланец;  $4$  — цоколь;  $5$  — штифт;  $6$  — контактные выводы

испытывает наименьшее утомление и наиболее полное восприятие зрительной информации. Однако чрезмерное увеличение температуры нити накала приводит к интенсификации потока молекулярной эмиссии, т. е. к отхождению от нее при высокой температуре молекул вольфрама, которые осаждаются на внутренней поверхности колбы и затрудняют прохождение через нее светового потока. В результате температурного перегрева масса нити накала уменьшается, и лампа вскоре перегорает.

Исходя из указанных особенностей работы в практике автомобилестроения нашли применение следующие типы ламп:

- с вакуумной колбой;
- с газонаполненной колбой;
- с восстанавливающим циклом, или галогенные, лампы.

В лампе с вакуумной колбой температура нити накала находится в пределах  $1\,500 \dots 1\,800 \text{ }^\circ\text{C}$ , в результате чего лампа выдает спектр с преобладанием желтых и розовых тонов, что приводит к повышенной утомляемости глаз и ухудшению восприятия изображения.

Заполнение внутренней поверхности колбы инертными по отношению к вольфраму газами в некоторой степени замедляет процесс молекулярной эмиссии и позволяет увеличить температуру нити накала до  $2\,200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Такое решение позволяет несколько приблизить характеристики спектра лампы к спектру дневного света, однако удлинение срока службы лампы при этом не достигается.

Наличие восстанавливающего цикла позволяет практически ликвидировать процесс снижения массы нити накала от молекулярной эмиссии и одновременно повысить ее рабочую температуру до  $2\,800 \text{ }^\circ\text{C}$ , что существенно позволяет приблизить состав ее спектра к спектру дневного света. В лампе с восстанавливающим циклом внутреннее пространство колбы заполняется парами галогенов, в качестве которых могут использоваться йод, бром, а также их соединения — йодистый метилен  $\text{CH}_2\text{I}_2$  или бромистый метилен  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ . Рабочий процесс такой лампы протекает следующим образом. Отошедшая от нити накала молекула вольфрама по пути к внутренней поверхности стенки колбы при температуре  $1\,000 \dots 1\,200 \text{ }^\circ\text{C}$  вступает в химическую реакцию с парами галогена, образуя молекулу прозрачного соединения, например йодида вольфрама  $\text{WI}_2$ . Циркулируя по внутреннему пространству колбы под действием конвективного теплообмена, эта молекула попадает на нить накала, где при температуре порядка  $3\,000 \text{ }^\circ\text{C}$  она разлагается на молекулу вольфрама, соединяющуюся с нитью накала, и молекулу галогена, которая аналогичным образом вступает в реакцию с другой, отошедшей от нити накала молекулой вольфрама, и цикл повторяется.

Для обеспечения непрерывности протекания восстановительного цикла необходимо наличие высокой температуры на стенках колбы:  $800 \dots 900 \text{ }^\circ\text{C}$  на внутренней поверхности и  $700 \dots 800 \text{ }^\circ\text{C}$  на наружной поверхности. В связи с этим для изготовления колб галогенных

ламп применяется кварцевое стекло, выдерживающее такую температурную нагрузку. После установки галогенной лампы в фару необходимо провести очистку ее колбы спиртом, иначе при высокой температуре произойдет обугливание следов пальцев рук, что вызовет снижение световой отдачи лампы.

Наиболее неблагоприятный режим работы галогенной лампы возникает в момент включения, когда температура нити накала низка и, следовательно, низко ее сопротивление, ток в момент включения в 10 — 15 раз превышает ток, потребляемый лампой в рабочем режиме. После того как нить накала лампы достигнет рабочей температуры, ее сопротивление возрастет и тем самым стабилизирует ток лампы на заданном уровне. Исходя из этого импульсный режим кратковременного включения является нежелательным для галогенных ламп, в то время как для ламп с вакуумными или газонаполненными колбами короткие промежутки включения несколько не снижают их срок службы.

Исходящий от лампы световой поток во многом определяется уровнем расчетного питающего напряжения, которое несколько отличается от номинального. При номинальном напряжении 12 В расчетное напряжение должно находиться на уровне 13,3... 14,2 В, при номинальном напряжении 24 В — 26,6... 28,4 В. При определении расчетного напряжения на контактах цоколя лампы  $U_{л}$  необходимо учитывать падение напряжения в цепи  $\Delta U_{ц}$ , обусловленное ее сопротивлением:

$$U_{л} = U_{г} - \Delta U_{ц},$$

где  $U_{г}$  — напряжение на контрольной точке генератора;

Таблица 4.1

**Галогенные лампы отечественного производства**

Категория	Обозначение	Номинальное напряжение, В	Светоотдача, кд	
			в режиме дальнего света	в режиме ближнего света
Н4	АКГ 12-60-55	12	60	55
	АКГ 24-75-70	24	75	70
Н3	АКГ 12-55-1	12	55	
	АКГ 24-70-1	24	70	
Н1	АКГ 12-55	12	55	
	АКГ 24-70	24	70	



$$\Delta U_{\text{ц}} = R_{\text{с}} I_{\text{л}},$$

где  $R_{\text{ц}}$  — сопротивление цепи питания;  $I_{\text{л}}$  — ток лампы.

Конструкция автомобильных ламп подчинена требованиям правил ЕЭК ООН, которыми предусмотрено три категории однонитевых галогенных ламп Н1, Н2, Н3 и одна категория двухнитевой лампы Н4. Лампы Н1 и Н2 имеют продольно расположенные цилиндрической формы нити накала и различаются только конструкциями цоколей. Наибольшее распространение получила лампа Н3, имеющая перпендикулярно расположенную к оси нить накала. В лампе Н4 нить накала дальнего света цилиндрической формы расположена параллельно продольной оси, а нить накала ближнего света, также в форме цилиндра, расположена впереди нити дальнего света на продольной оси лампы.

Отечественной промышленностью выпускаются однонитевые галогенные лампы типа АКГ (автомобильная кварцевая галогенная) категорий Н1 и Н3, а также двухнитевые лампы категории Н4 (табл. 4.1).

#### **4.2.5. Система обозначения световых приборов**

Автомобильные световые приборы как составные элементы конструктивной безопасности перед началом производства должны быть аттестованы на соответствие правилам ЕЭК ООН с получением знака международного утверждения. Знак международного утверждения (табл. 4.2) представляет собой круг, в который вписана буква Е и номер страны — участницы Женевского Соглашения по безопасности движения 1958 г., выдавшей разрешение на официальное утверждение. Знак наносится на рассеиватель светового прибора. Номера присвоены странам в порядке ратификации ими упомянутого Соглашения. Под знаком или справа от него указывается порядковый номер официального утверждения прибора.

Под знаком над порядковым номером официального утверждения может стоять горизонтальная стрелка, указывающая, что световой прибор сконструирован только для автомобилей, используемых в странах с левосторонним или правосторонним движением. Двусторонняя стрелка в обозначении фары указывает на возможность ее использования с соответствующей регулировкой положения лампы в обоих вариантах движения. На фарах, используемых в странах с правосторонним движением, стрелка не ставится.

В обозначении светосигнальных фонарей стрелки указывают на соответствующие направления, в которых обеспечивается требуемый геометрический угол видимости сигнала в горизонтальной плоскости. При установке передних и задних указателей поворота стрелка должна быть направлена к близлежащей боковой части ав-

## Обозначение световых приборов

Световой прибор	Знак международного утверждения						
Фары головного освещения и противотуманные фары	<b>R</b>	<b>C</b>	<b>CR</b>	<b>CSR</b>	<b>HR</b>	<b>HCR</b>	<b>HSCR</b>
	(E2)	(E2)	(E2)	(E2)	(E2)20	(E2)25	(E2)
	296	297	258	180 →	182 ↔	185	148
Габаритные огни		<b>A</b>	<b>R</b>	<b>R</b>			
		(E2)	(E2)	(E2)			
		518	1021 ←	1021 →			
Указатели поворотов		1	2a	2b			
		(E2)	(E2)	(E2)			
		680 ←	851 →	456			
Сигналы торможения		R-S1	R-S2	S1			
		(E2)	(E2)	(E2)			
		596 ←	512	1022			
Световозвращатели				I(E2)147			
Задние противотуманные фонари				<b>B</b>			
				(E2)			
				00242			

томобиля, а при установке боковых повторителей — вперед по ходу движения.

В прямоугольнике, размещаемом над знаком официального утверждения, располагаются буквы C, R, S, H. Буквы C и R означают, что фара удовлетворяет европейским нормам в отношении ближнего или дальнего света. Наличие двух букв CR указывает на то, что оптическая система фары предусмотрена в двух режимах — ближнего и дальнего света. Буква S означает наличие цельностеклянного оптического элемента лампы — фары. Отсутствие буквы S указывает на наличие металлокерамического элемента. Буква H указывает на возможность использования в световом приборе только галогенных ламп. Справа от знака на фарах с галогенными лампами указывается значение силы света фары в канделах при дальнем свете.

На рассеивателях задних габаритных огней в квадрате над знаком официального утверждения наносится буква R. Буквой A обозначаются передние габаритные огни.

Над знаком официального утверждения указателей поворотов указывается категория светового прибора. К категории I относятся передние однорежимные указатели поворотов, к категориям 2a и 2b — соответственно однорежимные и двухрежимные задние указатели поворотов. Боковые повторители указателей поворотов разделены на категории 3; 4 и 5.

Однорежимные или двухрежимные сигналы торможения обозначаются знаками S1 или S2 соответственно.

В обозначении световозвращателей слева от знака официального утверждения ставятся римские цифры I; II; III, указывающие их категорию. Световозвращатели категории I предназначены для установки на внедорожные транспортные средства шириной более 1,6 м. Световозвращатели категории II предназначены для использования на дорожных транспортных средствах шириной до 1,6 м. Световозвращатели категории III устанавливаются на прицепные звенья автопоездов.

В настоящее время автомобильные световые приборы komponуются в блочное исполнение. В передние световые блоки включаются фары головного освещения ближнего и дальнего света, габаритные фонари, указатели поворотов, противотуманные фары, стояночные огни, светоотражатели белого цвета. Задние световые блоки содержат габаритные фонари, сигналы торможения, указатели поворотов, фары заднего хода, стояночные огни, задние противотуманные фонари, светоотражатели красного цвета.

Перспективным направлением может рассматриваться создание конструкций световых приборов, прежде всего стояночных и габаритных огней, на основе использования светодиодов, располагаемых с внутренней стороны линз рассеивателей. Такое решение позволяет повысить надежность световых приборов и значительно сократить расход потребляемой ими электрической энергии.

## **4.3. Вспомогательное оборудование**

### **4.3.1. Звуковые сигнальные приборы**

Звуковые сигнальные приборы (звуковые сигналы) предназначены для оповещения других участников движения о приближении транспортного средства или о состоянии его агрегатов, а также о срабатывании охранной сигнализации.

Звуковые сигналы подразделяют:

- на приборы внешней сигнализации, передающие информацию другим участникам движения;

- приборы внутренней сигнализации, передающие информацию водителю о выходе контролируемых показателей работы агрегатов или систем за установленные пределы.

В зависимости от источника энергии внешние звуковые сигналы могут быть электрическими вибрационными или пневматическими.

По характеристикам звучания внешние электрические вибрационные звуковые сигналы могут быть подразделены на шумовые и тональные. Конструктивные схемы таких сигналов могут быть выполнены в двух разновидностях: с рупорным резонатором или с дисковым резонатором. При этом шумовые сигналы оснащаются дисковым резонатором, а тональные — рупорным.

На современных транспортных машинах устанавливается комплект из двух звуковых сигналов — одного низкого и одного высокого тона. На легковых автомобилях представительского класса устанавливается комплект из трех сигналов — одного низкого и двух высокого тона. После установки на автомобиль сигналы настраиваются на требуемую звуковую частоту и включаются одновременно. В некоторых случаях на автомобилях особо малого класса устанавливается один звуковой сигнал с дисковым резонатором.

Частотный диапазон действия звуковых сигналов обычно находится в пределах 300... 600 Гц. Разница основных частот звука сигналов низкого и высокого тонов составляет 70... 100 Гц. Однако, по данным специалистов [2], наиболее хорошо перекрывают шум движения и слышны в кабине обгоняемого автомобиля сигналы с частотным спектром в пределах 1 800... 3 550 Гц.

Уровень звукового давления внешних сигналов находится в пределах 105... 125 дБ А. Превышение указанных пределов может травмировать органы слуха.

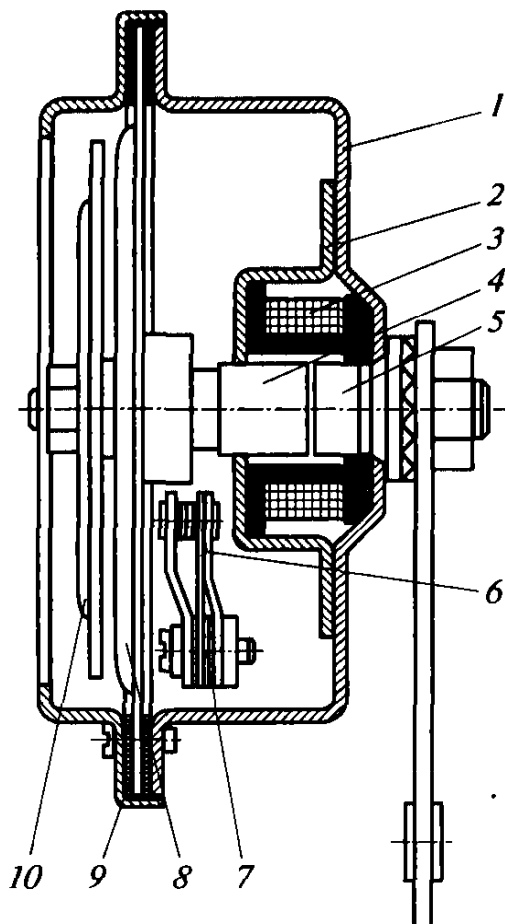
Для исключения влияния массы автомобиля на звуковые характеристики сигнала применяется упругая подвеска. Вихревое движение воздуха, возникающее при движении автомобиля, уменьшает расстояние слышимости сигнала, это тем более ощутимо, чем выше скорость автомобиля.

Питание звуковых сигналов осуществляется от бортовой сети номинальным напряжением 12 или 24 В в повторно-кратковременном режиме с длительностью рабочего цикла 5 с. Основными исполнительными элементами таких сигналов являются электромагнит с катушкой, подключенной к сети питания через контакты прерывателя, и якорь электромагнита, соединенный со звукоизлучающей мембраной. В редких случаях при наличии в бортовой сети переменного тока, например на мопедах или легких мотоциклах, могут применяться сигналы с мембраной, реагирующей на изменение амплитуды и частоты переменного тока в силовой катушке.

Питание электромагнитной катушки 3 (рис. 4.12) подается через контакты 7 прерывателя. Возникающий в катушке 3 магнитный по-

Рис. 4.12. Шумовой звуковой сигнал С304 с дисковым резонатором:

1 — корпус; 2 — ярмо электромагнита; 3 — электромагнитная катушка; 4 — якорь; 5 — сердечник; 6 — держатель подвижного контакта прерывателя; 7 — контакты прерывателя; 8 — мембрана; 9 — крышка мембраны; 10 — дисковый резонатор



ток притягивает якорь 4 к сердечнику 5. При этом перемещающийся выступ якоря действует на держатель 6 подвижного контакта прерывателя и разрывает цепь питания электромагнитной катушки 3.

Под действием упругой силы мембрана 8 возвращается в исходное состояние, в результате чего контакты прерывателя замыкаются, и цикл повторяется. Для уменьшения искрения между контактами прерывателя может быть включен конденсатор емкостью 0,4... 0,6 мкФ.

Звуковая частота шумового сигнала с дисковым резонатором в значительной мере зависит от толщины мембраны. Увеличение толщины мембраны вызывает снижение частоты звуковых колебаний, и наоборот снижение толщины мембраны приводит к увеличению частоты звуковых колебаний.

Регулировка звуковой частоты шумового сигнала осуществляется поворотом винта, расположенного на его задней крышке, регулировочный винт изменяет амплитуду хода подвижного контакта прерывателя.

Рабочий процесс тонального звукового сигнала (рис. 4.13) аналогичен действию шумового сигнала. Отличие состоит в том, что резонатором его сигнала является столб воздуха, находящийся в рупоре.

Эффект рупорного резонатора образуется под давлением мембраны 6 на столб воздуха, находящегося в полости между корпусом 7 и крышкой 8 резонатора. Конфигурация резонатора обеспечивает взаимное наложение частот колебаний мембраны 6 и воздушного столба в рупоре. Этим достигается значительное увеличение амплитуды звуковых колебаний определенной частоты. Для повышения эффекта резонансного наложения частот осуществляется расширение конца рупорного резонатора. Настройка тонального сигнала на требуемую звуковую частоту осуществляется путем изменения хода подвижно-

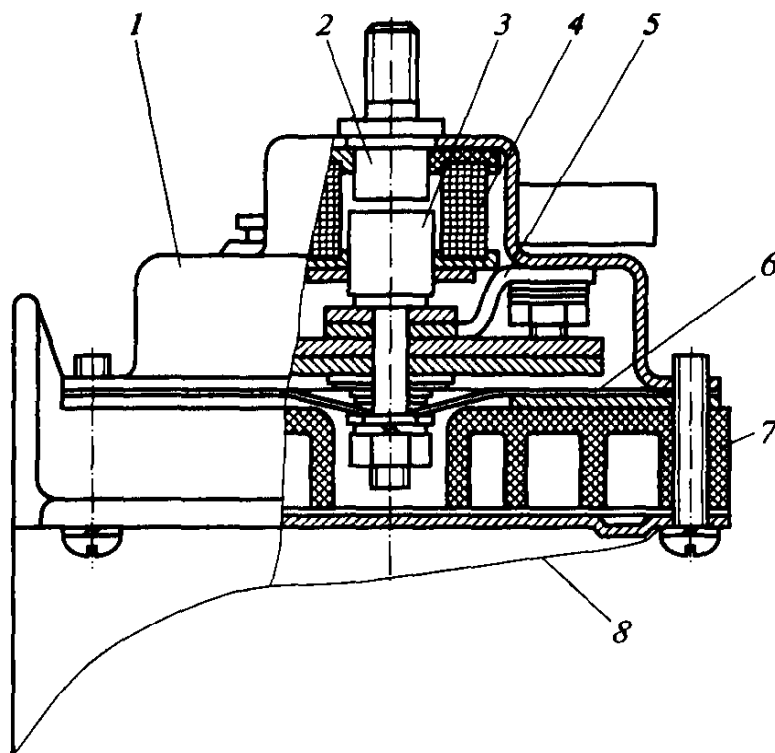


Рис. 4.13. Тональный звуковой сигнал С308 с рупорным резонатором:  
 1 — корпус; 2 — сердечник электромагнита; 3 — якорь; 4 — катушка электромагнита; 5 — ярмо электромагнита; 6 — мембрана; 7 — корпус рупорного резонатора; 8 — крышка рупорного резонатора

го контакта прерывателя. При этом определенное значение имеет объем воздуха, находящегося в рупоре.

По сравнению с шумовыми сигналами, потребляющими ток порядка 4...6 А, тональные сигналы потребляют ток до 10 А, в связи с чем их включение не может осуществляться посредством механических кнопок. Для включения таких сигналов используются промежуточные реле.

Для обеспечения постоянной готовности звуковых сигналов к работе цепь управления работой звуковых сигналов обычно не защищается от короткого замыкания, так как существующая вероятность их перегорания значительно снижает надежность системы. В некоторых случаях для защиты цепи используются термобиметаллические предохранители, имеющие по сравнению с плавкими больший период задержки размыкания цепи при токовых перегрузках.

Периодически в работе сигналов могут возникать отказы, обусловленные окислением контактов прерывателя вследствие искрения. Такая неисправность устраняется путем зачистки контактов. После зачистки контактов при сборке сигнала необходимо обеспечить требуемую величину зазора между контактами. Звуковые характеристики сигнала могут измениться при нарушении расстояния между его корпусом и мембраной.

### 4.3.2. Электропривод вспомогательного оборудования

К вспомогательному оборудованию относится система узлов, приборов и аппаратов, обеспечивающих возможность работы транспортного средства в неблагоприятных условиях и создание для водителя и пассажиров достаточно комфортной обстановки по наличию отопления и вентиляции, очистке стекол, радиосвязи, подъему и опусканию стекол дверей, приводу замков и т. д.

В зависимости от класса конструкция современного автомобиля предусматривает наличие до 30 и более узлов вспомогательного оборудования, действие которого обеспечивается электрическим приводом (электроприводом).

Электропривод представляет собой электромеханическую систему, объединяющую электродвигатель, передаточный механизм, исполнительный механизм, коммутационную аппаратуру и аппаратуру управления электродвигателем. В некоторых случаях электропривод может включать в себя несколько электродвигателей и соответственно передаточных механизмов.

Объектами использования вспомогательного оборудования с электроприводом являются нагнетатели воздуха системы отопления и вентиляции салона, обдува радиатора, предпусковые подогреватели, стеклоомыватели и фароомыватели, стеклоочистители и фароочистители, механизмы подъема и опускания стекол, нагнетания топлива от бака к двигателю, механизмы выдвижения антенн, поворота фар-искателей и фар-прожекторов, механизмы регулировки положения сидений и т. д. Довольно часто конструкция механизма предусматривает объединение электродвигателя с системой передачи энергии и частично с системой управления и защиты. При этом электродвигатель, объединенный с редуктором, представляет собой моторредуктор, а электродвигатель, объединенный с насосом, может рассматриваться как мотонасос.

Основным показателем, характеризующим длительность рабочего цикла электродвигателя, является его рабочий режим, который может быть продолжительным, кратковременным или повторно-кратковременным.

**Продолжительный рабочий режим** характеризуется неограниченной по времени длительностью рабочего цикла, при которой температура электродвигателя и других устройств привода находится в заданных границах. В качестве примеров могут быть рассмотрены нагнетатели воздуха системы отопления и вентиляции салона, электродвигатели стеклоочистителей непрерывной работы, электробензонасосы.

**Кратковременный рабочий режим** характеризуется относительно короткими промежутками времени включения, в течение которых температура электродвигателя не успевает достичь предельного значения. Перерыв в работе механизма оказывается достаточным для охлаждения

электродвигателя до температуры окружающей среды. В кратковременном режиме работают электродвигатели механизмов подъема и опускания стекол, выдвижения антенн, регулировки сидений и т.д.

**Повторно-кратковременный рабочий режим** характеризуется периодическим чередованием циклов работы и пауз остановки. При этом во время работы температура электродвигателя не успевает достичь предельного значения, а во время остановки не успевает снизиться до температуры окружающей среды. В качестве примера устройств, работающих в таком режиме, могут быть рассмотрены электродвигатели стеклоочистителей периодического включения, электродвигатели стеклоомывателей и т.д. Основным показателем повторно-кратковременного режима является относительная продолжительность включения ПВ, представляющая собой отношение

$$ПВ = \frac{t_p}{T_{ц}},$$

где  $t_p$  — временной промежуток работы электродвигателя;  $T_{ц}$  — время цикла,  $T_{ц} = t_p + t_o$ ;  $t_o$  — временной промежуток отдыха электродвигателя.

**Требования, предъявляемые к электродвигателям**, обусловлены режимами работы узлов. Электродвигатели отопителей и вентиляторов имеют продолжительный режим работы и обладают малым пусковым моментом. Электродвигатели стеклоподъемников должны обладать большим пусковым моментом при кратковременном режиме работы. Электродвигатели стеклоочистителей должны обладать «жесткой» механической характеристикой, обеспечивающей постоянство частоты вращения вала при переменных нагрузках. Электродвигатели предпусковых подогревателей, выдвижения антенн, наклона фар должны нормально работать в широком диапазоне температур окружающего воздуха.

В автомобильной и тракторной промышленности нашли применение электродвигатели постоянного тока номинальным напряжением 12 и 24 В. Номинальная мощность таких электродвигателей соответствует ряду 6; 10; 16; 25; 40; 60; 90; 120; 150; 180; 250; 370 Вт при номинальной частоте вращения вала из ряда 2 000; 2 500; 3 000; 4 000; 5 000; 6 000; 8 000; 9 000; 10 000 мин<sup>-1</sup>.

В зависимости от требуемой механической характеристики электродвигатели электромагнитного возбуждения имеют последовательное или параллельное возбуждение. Электродвигатели, работающие в реверсивном режиме, оснащаются двумя обмотками возбуждения. Перспективным направлением в настоящее время считается конструкция электродвигателей мощностью до 120 Вт с возбуждением от постоянных магнитов. Это позволяет в определенной мере уменьшить их массогабаритные параметры, повысить КПД, улучшить безотказность и долговечность за счет упрощения электрической схемы. Все



электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов могут работать в реверсивном режиме. В конструкции электродвигателей мощностью до 100 Вт в качестве опор ротора используются подшипники скольжения с металлокерамическими вкладышами. Электродвигатели большей мощности оснащаются радиально-упорными подшипниками качения с запасом смазки на весь период эксплуатации.

Электродвигатели мощностью более 100 Вт, как правило, оборудуются обмоткой возбуждения, располагаемой на сердечниках, в качестве которых используются постоянные магниты. Для обеспечения «жесткой» механической характеристики электродвигателя включение обмотки возбуждения производится параллельно обмотке якоря. В некоторых случаях, когда требуется наличие «мягкой» механической характеристики, осуществляется последовательное соединение обмотки возбуждения.

При необходимости работы электродвигателя с «жесткой» механической характеристикой в режиме с несколькими скоростями обмотка возбуждения оснащается дополнительными выводами, на которые подается электропитание исходя из потребности в скоростном режиме. Электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов оборудуются дополнительными щетками, при включении или отключении которых изменяется частота вращения якоря.

Электродвигатели привода систем отопления и вентиляции, а также нагнетания воздуха предпусковых подогревателей должны иметь мощность до 40 Вт при частоте вращения вала в диапазоне 2 500... 3 000 мин<sup>-1</sup>, обладать «жесткой» механической характеристикой и работать в диапазоне температур окружающей среды -40...+70 °С. Скоростной режим такого электродвигателя должен иметь 2 — 3 ступени.

Электродвигатели привода стеклоочистительных установок и стеклоподъемников также должны обладать «жесткой» механической характеристикой, обеспечивающей постоянство скорости перемещения рабочего органа независимо от сил сопротивления его движению. При этом для увеличения момента на выходном валу и снижения частоты его вращения используется механический редуктор, объединяемый с электродвигателем.

Единая конструкция представляет собой моторредуктор (рис. 4.14), используемый для привода различных механических систем: стеклоочистителей, фарочистителей, регулировки углов наклона оптических осей фар, привода стеклоподъемников, выдвижения и поворота антенн, фар-искателей. В конструкциях автомобилей представительского класса моторредукторы используются для привода механизмов перемещения крыш, открытия моторного и багажного отсеков, а также других вспомогательных механизмов.

В дополнение работы стеклоочистителей устанавливаются омыватели ветрового и заднего стекол. Система омывателя стекла представляет собой небольшой бачок жидкости с центробежным насосом, приводимым от электродвигателя. Электродвигатель обладает «жест-

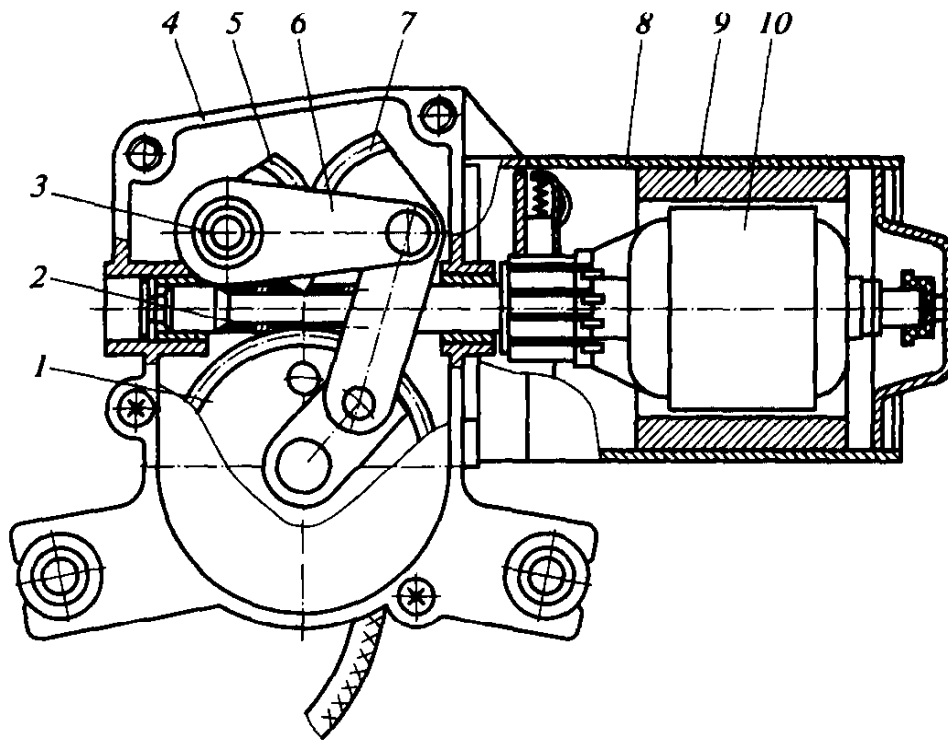


Рис. 4.14. Моторредуктор привода стеклоочистителя:

1 — шестерня; 2 — червяк; 3 — выходной вал; 4 — корпус редуктора; 5, 7 — зубчатые секторы; 6 — серьга; 8 — корпус электродвигателя; 9 — постоянный магнит; 10 — якорь электродвигателя

кой» механической характеристикой и рассчитан на работу в кратковременном режиме. При включении электродвигателя жидкость под давлением до 0,1 МПа подается к форсункам, от которых в распыленном виде смачивает стекло для облегчения работы щеток стеклоочистителя.

Очистка фар от грязи может производиться как посредством механических щеток, так и струйным способом посредством подачи потока жидкости на стекло под давлением порядка 0,3 МПа. Струйный способ очистки фар оказывается более предпочтительным, поскольку представляет собой более простую конструкцию, однако его применение требует большего объема омывающей жидкости.

Важным элементом в конструкции электродвигателя является удовлетворение требований по подавлению радиопомех, поскольку показатель уровня радиопомех входит в состав сертификационных требований автомобилестроения. Основным источником радиопомех является искрение в щеточно-коллекторном узле. Для электродвигателей до 100 Вт оказывается достаточным применение встроенных емкостных или емкостно-индуктивных фильтров, включаемых параллельно щеточно-коллекторному узлу. Для электродвигателей мощностью более 100 Вт подавление радиопомех осуществляется посредством выносных емкостно-индуктивных фильтров, а также экранированием корпуса электродвигателя на «массу» автомобиля.

В качестве перспективного направления может рассматриваться создание конструкций бесконтактных электродвигателей постоянного тока с полупроводниковыми коммутаторами, замещающими механический коллектор [36]. Положение ротора при этом определяется встроенными бесконтактными датчиками. Такое решение позволяет в несколько раз продлить ресурс электродвигателя, повысить его КПД и резко снизить уровень радиопомех.

Требование по сокращению габаритной длины электродвигателей, применяемых, в частности, для приводов вентиляторов обдува радиаторов, привело к созданию конструкций с торцовыми щеточно-коллекторными узлами и дисковыми якорями. Управление работой электродвигателей привода вспомогательных механизмов может осуществляться как действием выключателя в силовой цепи, так и посредством контактов промежуточного реле.

### **4.3.3. Электропривод технологического оборудования**

Применение электропривода технологического оборудования представляется целесообразным на автомобилях с максимальной разрешенной массой до 5 т, когда использование гидравлического привода оказывается более дорогостоящим. Объектами электропривода в таком случае могут быть механизмы привода грузоподъемного борта, стреловые грузоподъемные устройства, приводы различного рода выдвигаемых устройств, приводы холодильных установок и т. д.

По виду энергоснабжения рассматриваемые системы электропривода могут быть:

- с питанием от бортовой сети;
- с питанием от стационарной электрической сети.

В любом случае длительность рабочего цикла электродвигателя определяется расчетным режимом продолжительности его включения таким же образом, как и для электродвигателей электропривода вспомогательного оборудования. При этом подбор или расчет механического редуктора осуществляется по показателям крутящего момента и частоты вращения выходного вала.

Выбор электродвигателя производится с учетом его механической характеристики и мощности, удовлетворяющей требованиям экономичности, производительности и надежности системы электропривода. В большинстве случаев для привода рабочих органов технологического оборудования транспортно-технологических машин применяются электродвигатели параллельного возбуждения с «жесткой» механической характеристикой, при которой изменение нагрузки не оказывает заметного влияния на частоту вращения выходного вала. Однако если электродвигатель должен работать в условиях регулируемой частоты вращения вала, например в приводе подъемного механизма, то большую привлекательность представляет электродвига-

тель последовательного возбуждения с «мягкой» механической характеристикой.

При кратковременном или повторно-кратковременном, а также продолжительном с переменной нагрузкой режиме работы электродвигателя важное значение приобретает прирост температуры электродвигателя относительно температуры окружающей среды. Если считать электродвигатель однородным телом, то изменение количества теплоты, выделяющегося в его обмотках в единицу времени, можно выразить следующим равенством:

$$Qdt = Cd\theta + H\theta dt,$$

где  $Q$  — количество теплоты, выделяющееся в обмотках электродвигателя в единицу времени;  $t$  — время;  $C$  — теплоемкость материалов электродвигателя;  $\theta$  — превышение температуры электродвигателя над температурой окружающей среды;  $H$  — теплоотдача электродвигателя в пространство.

При  $t \rightarrow \infty$   $Qdt = H\theta_{\max}dt$ ;  $\theta_{\max} = \frac{Q}{H}$ .

Тогда прирост температуры электродвигателя в единицу времени

$$\theta_{\max}dt = \frac{C}{H}d\theta + \theta dt.$$

В результате решения этого уравнения можно получить разность температур

$$\theta_{\max} - \theta = Ae^{-\frac{t}{\tau}},$$

где  $A$  — постоянная величина;  $\tau = \frac{C}{H}$  — постоянная времени нагрева электродвигателя.

При  $t = 0$   $\theta = \theta_0$  и  $A = \theta_{\max} - \theta_0$ , где  $\theta_0$  — температура электродвигателя до его включения.

Тогда прирост температуры электродвигателя при его работе будет происходить по экспоненциальному закону, стремясь к достижению максимально допустимой температуры  $\theta_{\max}$ :

$$\theta = \theta_{\max} - (\theta_{\max} - \theta_0)e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Для защиты электродвигателей от перегрева в рассматриваемом случае применяются различного рода термобиметаллические предохранительные реле, размыкающие цепь питания электродвигателя при достижении предельно допустимой температуры  $\theta_{\max}$  и автоматически включающие цепь после его охлаждения.

## **Контрольные вопросы**

1. Каким образом нормируются характеристики фар головного освещения?
2. Как можно снизить эффект свечения тумана?
3. Как осуществляется рабочий процесс галогенной лампы?
4. Как осуществляется рабочий процесс звуковых сигналов?
5. Каковы особенности работы электропривода вспомогательного и технологического оборудования?

### 5.1. Общие сведения

Информационно-диагностическая система предназначена для передачи информации оператору о показателях рабочих режимов агрегатов машины и диагностики их технического состояния. Составными частями информационно-диагностической системы являются контрольно-измерительные приборы, бортовая система контроля, группа датчиков диагностирования.

**Контрольно-измерительные приборы** предоставляют оператору информацию о текущих показателях работы агрегатов машины. При этом оператор принимает два вида информации: указывающую текущие изменения показателей и сигнализирующую о выходе контролируемых показателей за установленные пределы. В качестве указывающей информации водитель получает сведения о скорости движения автомобиля, частоте вращения коленчатого вала двигателя, уровне топлива в баке, напряжения бортовой сети, температуре охлаждающей жидкости, давлении воздуха в системе пневматического оборудования. Сигнализирующие приборы выдают информацию о наступлении аварийных режимов: падении давления масла в смазочной системе двигателя, уменьшении уровня топлива, снижении уровня тормозной жидкости, перегреве охлаждающей жидкости, износе тормозных накладок.

**Бортовая система контроля** предназначена для информирования водителя об изменении контролируемых показателей работы агрегатов в пределах, предупреждающих о необходимости проведения технического обслуживания. При этом может контролироваться состояние тормозных накладок, топливных, масляных и воздушных фильтров, исправность ламп и электрических цепей, состав отработавших газов.

Датчики, выдающие электрические сигналы на штекерные разъемы, к которым подключается стационарная диагностическая аппаратура, размещают на современных автомобилях для повышения удобства диагностирования технического состояния узлов и систем.

К приборам информационно-диагностической системы предъявляется ряд жестких требований:

- сохранение работоспособности в условиях вибрационного нагружения при значительных перепадах температур окружающей среды;

- отсутствие чувствительности к агрессивности окружающей среды и перепадам напряжений бортовой сети;
- стабильность выходных характеристик в течение длительного времени.

## 5.2. Контрольно-измерительные приборы

Контрольно-измерительное оборудование позволяет постоянно информировать водителя о работе соответствующих узлов и агрегатов, в необходимых случаях выдавать специальный сигнал угрозы аварийного состояния или прерывать работу машины во избежание ее разрушения.

### 5.2.1. Приборы измерения температуры

Контроль теплового режима двигателя осуществляется по двум информационным каналам: измерение текущей температуры охлаждающей жидкости и сигнализация о наступлении аварийной температуры. Таким же образом производится контроль теплового режима смазочной системы двигателя и гидравлической передачи.

**Измерение текущей температуры** осуществляется посредством электрической цепи, основными элементами которой являются магнитоэлектрический стрелочный прибор и датчик. В зависимости от способа формирования электрического сигнала — аналога температуры — измерение температуры может производиться по двум известным схемам:

- с термобиметаллическим импульсным преобразователем;
- с терморезисторным преобразователем.

Действие схемы с термобиметаллическим импульсным преобразователем основано на линейной зависимости частоты замыкания и размыкания цепи от температуры в контрольной точке.

Действие терморезисторного преобразователя основано на линейной зависимости сопротивления прохождению тока от температуры на контролируемой поверхности. Основными элементами схемы являются стрелочный магнитоэлектрический указатель и датчик с терморезисторным преобразователем.

Датчик представляет собой закрытый баллон, в корпусе которого размещены токоведущая пружина, прижимающая ко дну корпуса терморезистор. Сопротивление терморезистора линейно зависит от температуры и при ее колебаниях от  $-20$  до  $+100$  °С изменяется в пределах  $50 \dots 500$  Ом. При этом в качестве входной величины стрелочного указателя используется ток, линейно изменяющийся в зависимости от температуры и являющийся ее аналогом.

В современных условиях получают распространение системы измерения температуры с терморезисторным аналоговым преобразо-

вателем, осуществляющем следящее действие не по току, а по напряжению, подаваемому на вход цифрового информационного узла.

**Действие системы аварийной сигнализации** основано на замыкании электрической цепи при достижении определенной температуры контролируемой среды.

Чувствительным элементом датчика является термобиметаллическая пластина, управляющая контактами. Одним концом термобиметаллическая пластина соединена с «массой» датчика, а другим — с подвижным контактом. Изгиб термобиметаллической пластины и, следовательно, расстояние между контактами определяется ее температурой. При достижении определенной температуры происходит замыкание контактов и включение сигнальной лампы, информирующей водителя о наступлении аварийного режима. Датчики сигнализации аварийной температуры обычно устанавливаются в наиболее теплонапряженных зонах, например в верхнем бачке радиатора системы охлаждения двигателя либо в главной масляной магистрали — в двигателях с воздушной системой охлаждения или в гидромеханических передачах. Разрывная мощность контактов датчиков находится в пределах  $15...20 \text{ В} \cdot \text{А}$ , что позволяет использовать их в качестве управляющих элементов для включения через реле электроклапанов обдува радиаторов.

### 5.2.2. Приборы измерения давления

Приборы контроля давления осуществляют измерения текущего или аварийного давления либо разрежения масла в смазочной системе двигателя, масла в гидромеханической передаче, воздуха в пневматической системе, воздуха в пневматической тормозной системе, разрежения воздуха во всасывающем коллекторе.

В зависимости от конструкции приборы измерения давления могут быть непосредственного действия или электрическими.

**Приборы непосредственного действия** (манометры) содержат чувствительный элемент и стрелочный указатель в одном узле, размещаемом на панели приборов, а контролируемая среда под давлением подводится к чувствительному элементу по трубопроводу. В качестве чувствительных элементов могут использоваться трубчатые пружины или в отдельных случаях упругие мембраны с противодействующими пружинами.

**Электрические указатели давления** могут быть двух видов: биметаллические импульсные и магнитоэлектрические с реостатным датчиком. Датчик и стрелочный прибор устанавливаются в разных местах и взаимодействуют между собой по электрическим проводам.

*Биметаллический импульсный указатель давления* имеет принцип действия, идентичный действию термобиметаллического указателя температуры. Датчик давления выдает электрические импульсы,



частота которых зависит от измеряемого давления. В качестве основных недостатков термобиметаллических импульсных приборов следует рассматривать наличие искрящих контактов и расход энергии на нагрев пластин, что предопределило их ограниченное использование.

В современных условиях большее распространение получили логометрические системы измерительных приборов с реостатными датчиками.

*Логометрические (или реостатные) приборы измерения давления* содержат магнитоэлектрический указатель и реостатный датчик давления, преобразующий давление в аналоговый электрический сигнал. В качестве чувствительного элемента используется упругая мембрана с противодействующей пружиной, соединяемая с подвижным контактом реостата.

При работе двигателя под давлением масла мембрана прогибается, и перемещение ее центра передается через передаточный механизм к подвижному контакту реостата. Прогиб мембраны, а следовательно, и перемещение подвижного контакта реостата зависят от давления масла. В результате перемещения подвижного контакта изменяется сопротивление реостата и соответственно величина проходящего через него тока, выполняющего роль аналога давления масла.

В целях унификации деталей логометрические датчики, предназначенные для замера давления масла в разных диапазонах и при разных уровнях напряжения, изготавливают одинаковых размеров с одинаковыми параметрами присоединительных штуцеров. Сопротивление реостата в диапазоне 20... 160 Ом и характеристики передаточного механизма также являются одинаковыми для всех разновидностей датчиков. Индивидуальной деталью для каждого типа датчиков является мембрана с определенной характеристикой упругости, что обуславливает применимость конкретного типа датчика только при работе с данным уровнем напряжения с определенным стрелочным указателем.

Принцип действия стрелочного магнитоэлектрического указателя давления, работающего с реостатным датчиком, аналогичен принципу действия стрелочного магнитоэлектрического указателя температуры, работающего с терморезисторным преобразователем. Перемещение стрелки указателя происходит за счет изменения магнитных полей катушек в зависимости от проходящего через них тока за счет изменения сопротивления реостата датчика.

Характеристики катушек магнитоэлектрических указателей измерения температуры и давления различны в связи с тем, что при измерении давления изменение тока происходит в большем диапазоне, при этом приборы, применяемые при напряжении 12 и 24 В, однотипны. Для адаптации приборов, рассчитанных на напряжение 12 В, к системе с напряжением 24 В в схему вводится добавочный резистор, снижающий напряжение до требуемого уровня.

**Сигнализаторы аварийного давления** содержат чувствительный элемент, воспринимающий давление и контактную группу, замыкающую электрическую цепь при падении давления масла.

При отсутствии давления мембрана под действием упругой силы пружины находится в положении, соответствующем замкнутому состоянию контактов, и электрическая цепь контрольной лампы между выводным контактом и «массой» двигателя является замкнутой. После пуска двигателя под действием силы от давления масла мембрана прогибается, в результате чего контакты размыкаются, разрывая цепь питания контрольной лампы. При падении давления мембрана выпрямляется и замыкает контакты, контрольная лампа загорается, и водитель получает информацию о падении давления масла.

### 5.2.3. Приборы измерения уровня жидкости

В конструкции современных автомобилей требуется информация об уровнях топлива в баке или газовом баллоне, тормозной жидкости в резервуаре, охлаждающей жидкости в расширительном бачке, масла в поддоне картера двигателя.

Сведения об уровне топлива в баке поступают к водителю в виде текущей информации, в остальных случаях водитель информируется о снижении уровня жидкости ниже установленной величины.

Дистанционные указатели уровня топлива могут быть двух видов: электромагнитные и магнитоэлектрические. В обоих случаях в качестве приборов исходной информации используются реостатные датчики с поплавковым устройством.

Реостат датчика, содержащий обмотку *11* (рис. 5.1, *а*), расположенную на диэлектрической пластине *10*, находится в герметичном отсеке внутри нижней *3* и верхней *4* частей корпуса. Подвижный контакт *9* реостата связан с рычагом *7* поплавка *1*. Угол наклона рычага *7* и соответственно положение подвижного контакта *9* реостата зависят от уровня топлива в баке или в газовом баллоне. При наличии нескольких баков в каждом из них должен находиться индивидуальный реостатный датчик. Элементы механической системы датчика, включая детали реостата, выполняются из материалов, устойчивых к агрессивному действию паров топлива.

**Электромагнитный указатель** (рис. 5.1, *б*) содержит две обмотки *15* и *19* с сердечниками из ферромагнитной стали, снабженными полюсными наконечниками *16* и *20*. Полюсный наконечник *12* соединен с полюсным наконечником *20*. Обмотки *15* и *19* установлены под углом  $90^\circ$  на основании механизма. Стрелка *14* указателя расположена на оси в сборе с латунным противовесом *13* и стальным якорьком *21*, находящемся в точке пересечения осей катушек.

Ток от выключателя зажигания подводится к входному контакту *17*, далее проходит по обмотке *15* и от контактного зажима *22* идет на

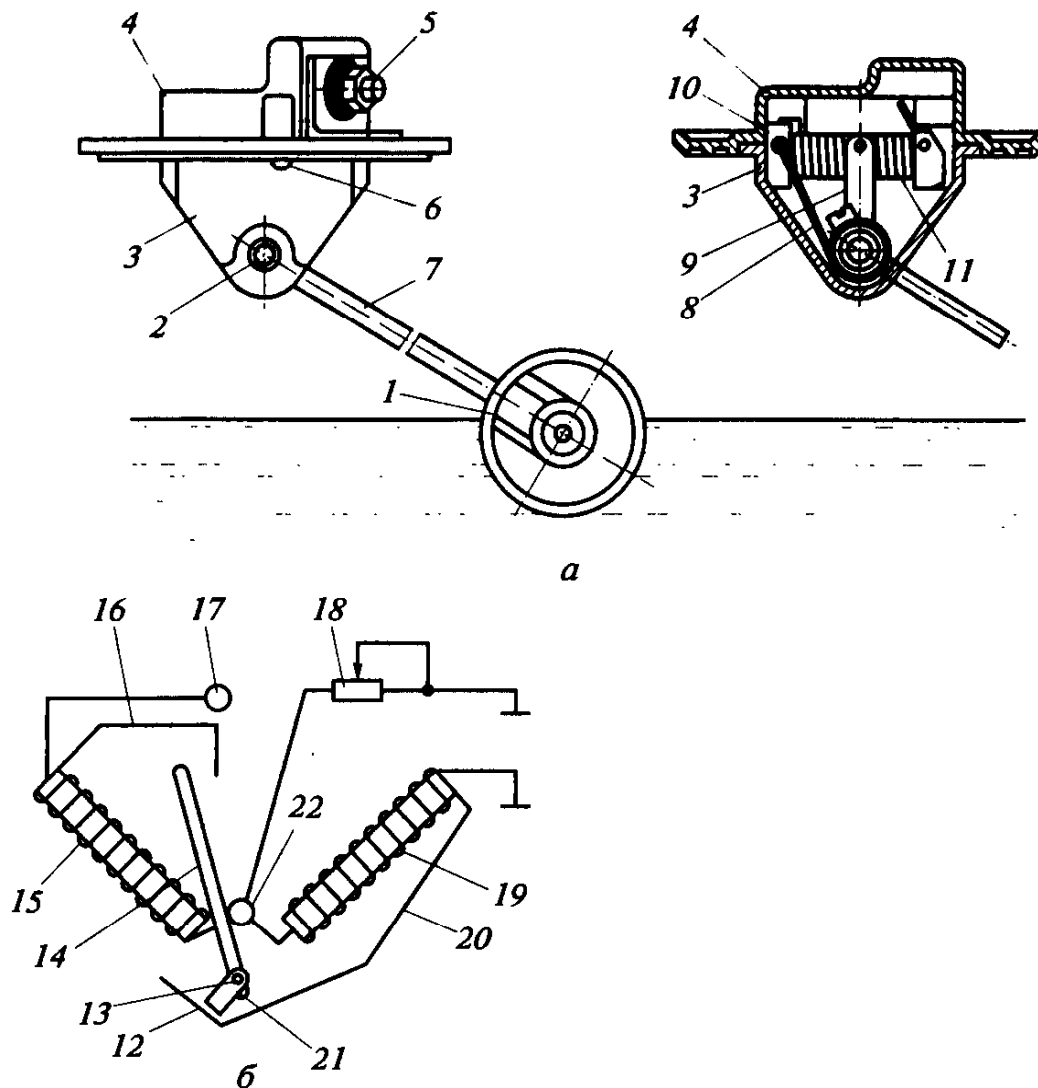


Рис. 5.1. Электромагнитный указатель уровня топлива:

*а* — реостатный датчик; *б* — схема указателя; 1 — поплавок; 2 — ось ползунка реостата; 3 — нижняя часть корпуса; 4 — верхняя часть корпуса; 5 — выводной контакт; 6 — винт крепления; 7 — рычаг поплавка; 8 — проволочная петля; 9 — подвижный контакт (ползунок) реостата; 10 — пластина реостата; 11 — обмотка реостата; 12 — полюсный наконечник указателя; 13 — противовес стрелки указателя; 14 — стрелка указателя; 15, 19 — обмотки указателя; 16, 20 — полюсные наконечники электромагнитной обмотки; 17 — входной контакт питающего напряжения; 18 — реостат датчика; 21 — якорек; 22 — контактный зажим

«массу» по двум направлениям: через подвижный контакт реостата и через обмотку 19. В результате этого магнитный поток обмотки 19 остается постоянным, а магнитный поток обмотки 15 является функцией угла поворота рычага 7 поплавка или уровня жидкости в баке. Магнитные потоки обмоток 15 и 19 пересекаются в точке нахождения подвижного якорька 21 магнитной системы стрелки 14 указателя, положение которой зависит от соотношения этих магнитных потоков или от уровня топлива в баке. При полном топливном баке сопротивление реостата является наибольшим и якорек 21 находится в положении, ближайшем к сердечнику обмотки 19, а стрелка — в

крайнем левом положении. При снижении уровня топлива сопротивление реостата снижается, ток, проходящий по нему, возрастает, и якорек 21 перемещается в положение ближе к сердечнику обмотки 15, а стрелка — соответственно ближе к правому краю шкалы.

Расчетное сопротивление реостата датчика для всех типов магнитоэлектрических указателей находится в пределах 35... 50 Ом. Шкала указателя обычно градуируется в долях топлива в баке: 1; 3/4; 1/2; 1/4; 0. В некоторых случаях градуировка шкалы производится в литрах топлива, остающегося в баке. Датчики различных моделей имеют одинаковые механизмы и отличаются между собой длиной рычага поплавка.

Современные транспортные машины снабжают указателем, сигнализирующим о предельно низком уровне топлива, которого может хватить на пробег 70... 80 км или работу в течение 1,2... 1,5 мото-ч. Для этого в механическую систему датчика вводится контактная группа, посредством которой на панели приборов включается соответствующий сигнализатор.

**Магнитоэлектрический, или логометрический, указатель** уровня топлива имеет реостатный датчик, отличающийся от датчика электромагнитной системы несколько большим сопротивлением реостата, порядка 90 Ом. Конструктивная схема логометрического указателя аналогична схеме указателя температуры или давления, в которой роль чувствительного элемента выполняет реостат датчика уровня топлива, однако указатель уровня топлива отличается обмоточными данными катушек и величинами сопротивления резисторов. По сравнению с электромагнитным указателем логометрический указатель обладает большей точностью измерений из-за отсутствия массивных магнитопроводов, магнитная проницаемость которых зависит от температуры окружающей среды. Логометрические указатели допускают больший поворот стрелки, что позволяет градуировать шкалу не в долях топливного бака, а в литрах остающегося в баке топлива.

Приборы контроля уровня тормозной жидкости работают по схеме контактного датчика, замыкающего цепь питания сигнальной лампы при снижении уровня жидкости до предельно низкого значения. По такой же схеме работают сигнализаторы снижения уровня охлаждающей жидкости и масла в смазочной системе двигателя.

#### **5.2.4. Приборы контроля зарядного режима аккумуляторной батареи**

Для передачи информации водителю или оператору транспортной машины о функционировании системы электроснабжения используются приборы контроля за уровнем напряжения генератора и током разряда или заряда аккумуляторной батареи — амперметры и вольтметры.

**Амперметр** включается в цепь между генератором и аккумуляторной батареей и измеряет величину зарядного или разрядного тока, для чего нулевое деление должно располагаться посередине шкалы. Амперметры могут быть как электромагнитной, так и магнитоэлектрической системы.

Амперметры электромагнитной системы применяются при небольших расстояниях между генератором и приборной панелью, когда весь ток аккумуляторной батареи можно пропускать через амперметр. При больших расстояниях между генератором и приборной панелью, например в автобусах при заднемоторной компоновке, большая длина силовых проводов увеличивает потери на преодоление их сопротивления, что делает целесообразным применение амперметров магнитоэлектрической системы с шунтирующим резистором. В схеме шунтирующий резистор  $R_{ш}$  (рис. 5.2) размещается в цепи между генератором и батареей. Наличие резистора номинальным сопротивлением порядка 0,001 ... 0,003 Ом не оказывает никаких помех в работе системы электроснабжения. Параллельно шунтирующему резистору при значительном расстоянии от него на приборной панели размещается магнитоэлектрический амперметр, стрелка которого реагирует на изменение малых токов, проходящих параллельно резистору  $R_{ш}$ .

По показаниям амперметра можно контролировать состояние заряженности батареи и в некоторой степени работу генератора. Однако в современных условиях при значительном усложнении автомобильного электрооборудования в качестве более значимого фактора выступает уровень напряжения бортовой сети.

**Вольтметры** используют для контроля за напряжением бортовой сети. Стрелочные вольтметры применяют для системы с номинальным напряжением 12 В со шкалой от 8 до 16 В, разделенной на три части: 8... 12,5 В — низкое напряжение; 12,5... 14,5 В — нормальное напряжение; 14,5... 16 В — повышенное напряжение. В современных условиях более эффективным оказывается использование электронных вольтметров со светодиодной индикацией. При пониженном напря-

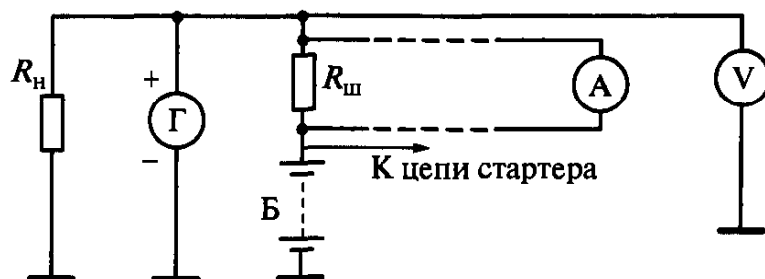


Рис. 5.2. Схема включения магнитоэлектрического амперметра с шунтирующим резистором:

Г — генератор; Б — аккумуляторная батарея;  $R_n$  — резистор, эквивалентный нагрузке от потребителей;  $R_{ш}$  — шунтирующий резистор; А — магнитоэлектрический амперметр; V — вольтметр

жении горит левый красный светодиод, при нормальном напряжении 12,5... 14,5 В горит зеленый светодиод, при повышенном напряжении свыше 14,6 В горит правый красный светодиод. По напряжению бортовой сети можно контролировать как зарядный баланс аккумуляторной батареи в системе электроснабжения, так и работу регулятора напряжения генератора.

### 5.2.5. Приборы контроля частоты вращения и скорости

Для контроля частоты вращения коленчатого вала двигателя и скорости движения автомобиля применяются спидометры и тахометры. По принципу действия данные приборы подразделяют на магнитоиндукционные и электрические; по способу привода — с приводом от гибкого вала и с электроприводом.

**Спидометр** предоставляет водителю информацию о скорости движения автомобиля и пройденном пути, поэтому содержит два функциональных узла, объединенных в одном корпусе и имеющих общий привод. Скоростной узел преобразует частоту вращения входного вала в показания скорости движения автомобиля на шкале. Счетный узел преобразует частоту вращения входного вала или иной сигнал от датчика в показания пробега автомобиля на счетных барабанах. В качестве задающего узла, с которым соединяется привод магнитоиндукционного спидометра, используется винтовой редуктор, располагаемый на выходном валу коробки передач.

**Тахометры** выполняют как в виде одного скоростного узла, когда необходимо контролировать только частоту вращения вала, так и в комплектации со счетным узлом, когда необходимо вести учет моточасов работы двигателя. Принцип действия узлов тахометра идентичен принципу действия аналогичных узлов спидометра. Привод магнитоиндукционного тахометра обычно соединяется с распределительным валом двигателя.

Привод магнитоиндукционных спидометров и тахометров осуществляется посредством гибких валов, если их длина не превышает 3,5 м. При большей длине между спидометром и задающим узлом целесообразно использовать электропривод, так как с увеличением длины гибкого вала увеличивается амплитуда колебаний его угловой скорости, вызывающая колебания стрелки.

Магнитоиндукционные скоростные узлы спидометров и тахометров с приводом от гибкого вала и с электроприводом работают по одному принципу. Различия проявляются только в конструктивном исполнении отдельных деталей.

Задающим элементом магнитоиндукционного скоростного узла (рис. 5.3, а) является постоянный магнит 2, закрепленный на оси приводного вала 1. Магнит может иметь одну или несколько пар полюсов, расположенных на его периферии. На оси 6, вращающей-

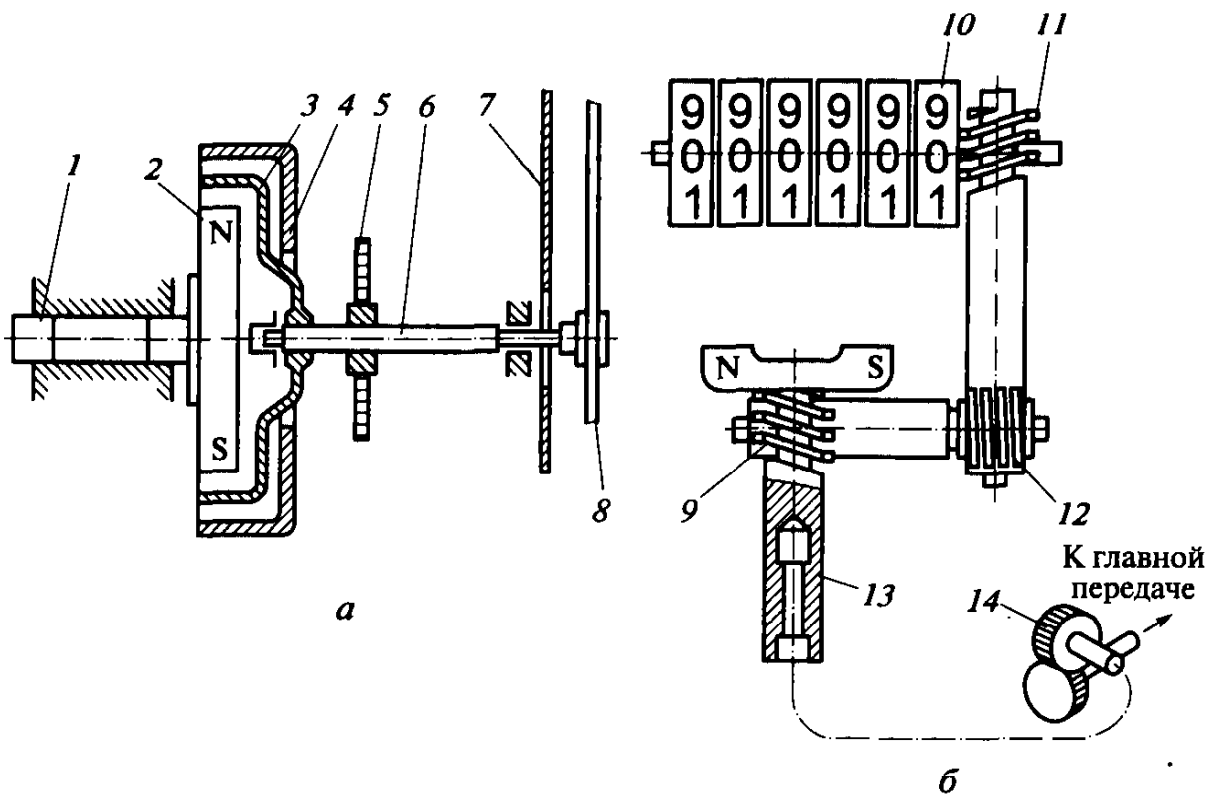


Рис. 5.3. Магнитоиндукционный скоростной узел (а) и привод счетного узла (б):

1 — приводной вал; 2 — постоянный магнит с полюсами N и S; 3 — алюминиевая катушка; 4 — магнитный экран; 5 — возвратная пружина; 6 — ось стрелки; 7 — шкала; 8 — стрелка; 9 — ведущий червяк; 10 — начальный барабанчик счетного узла; 11 — ведомый червяк; 12 — промежуточный червяк; 13 — входной валик; 14 — винтовой редуктор

ся на двух подшипниках, вместе со стрелкой 8 закреплена алюминиевая катушка 3. С противоположной от магнита стороны за катушкой размещен магнитный экран 4, концентрирующий магнитное поле от вращающегося магнита 2. Экран 4 изготовляют из ферромагнитной стали типа сталь 10 [3].

При вращении магнита 2 его поле наводит в катушке вихревые токи, образующие ее собственное магнитное поле. Взаимодействие поля магнита с магнитным полем катушки создает тяговый крутящий момент, стремящийся повернуть катушку 3 в направлении вращения магнита 2 против действия момента от возвратной пружины 5. Величина тягового момента  $M_T$ , действующего на катушку, прямо пропорциональна угловой скорости магнита:

$$M_T = \frac{c\Phi^2\omega}{\rho},$$

где  $c$  — постоянный коэффициент;  $\Phi$  — магнитный поток, создаваемый постоянным магнитом;  $\omega$  — угловая скорость магнита;  $\rho$  — электрическое сопротивление материала катушки.

Тяговый момент  $M_T$  уравнивается противодействующим моментом  $M_{пр}$  возвратной пружины 5:

$$M_{пр} = \frac{Ehb^3\varphi}{12L},$$

где  $E$  — модуль упругости материала пружины, обычно  $E = 215$  МПа;  $h$ ,  $b$ ,  $L$  — соответственно ширина, толщина и длина возвратной пружины;  $\varphi$  — угол поворота картушки, рад.

При постоянной скорости движения автомобиля частота вращения магнита также является постоянной и моменты, действующие на картушку со стороны магнита и возвратной пружины, уравниваются:  $M_T = M_{пр}$ .

Тогда угол поворота картушки или стрелки спидометра

$$\varphi = \frac{12c\Phi^2 L}{Eb^3hr} \omega.$$

Если выразить постоянные величины одним коэффициентом:

$$\frac{12c\Phi^2 L}{Eb^3hr} = K,$$

то угол поворота стрелки  $\varphi = K\omega$  можно рассматривать как величину, прямо пропорциональную угловой скорости или частоте вращения магнита. Следовательно, зависимость показаний спидометра от скорости автомобиля может рассматриваться как линейная величина в пределах равновеликой шкалы. Точность показаний скоростного узла спидометра регулируется двумя действиями: изменением натяжения возвратной пружины 5 и изменением степени намагниченности постоянного магнита 2.

На приводном валу спидометра располагается однозаходный червяк, от которого приводится в действие счетный узел. Привод барабанчиков счетного узла представляет собой механический редуктор с последовательным действием трех пар червячных передач. Общее передаточное число такого редуктора в зависимости от модели прибора находится в пределах  $i_c = 600 - 1000$ .

Точность показаний счетного узла спидометра (рис. 5.3, б) зависит от правильности расчета передаточного числа редуктора спидометра и состояния шин автомобиля. Передаточное число  $i_p$  редуктора 14 спидометра, располагаемого на ведомом валу коробки передач, определяется в зависимости от передаточного числа главной передачи  $i_0$  и радиуса качения колеса  $r_k$ .



Если за 1 км пути колесо сделает  $n_k = \frac{1000}{2\pi r_k}$  оборотов, то за это

же расстояние входной валик спидометра сделает число оборотов

$$n_{в.с} = \frac{1000}{2\pi r_k i_0 i_p}.$$

Откуда при известном передаточном числе спидометра  $i_c$  передаточное число редуктора спидометра можно выразить следующим образом:

$$i_p = \frac{i_c}{i_0} \frac{2\pi r_k}{1000} = 6,28 \cdot 10^{-3} \frac{i_c r_k}{i_0}.$$

Точность измерения пройденного пути зависит как от точности выбора передаточного числа редуктора спидометра  $i_p$ , так и от отклонений действительного радиуса качения колеса  $r_k$  от расчетного из-за износа протектора, деформации шин, пробуксовки колес. Отклонения в показаниях спидометра, вызываемые такими факторами, по данным специалистов [3], достигают 10... 15 % от общего пробега. Показания счетного узла спидометра могут быть занижены у автомобилей, совершающих значительную часть пробега задним ходом вследствие сброса показаний при движении назад. Для исправления такого недостатка некоторые спидометры, устанавливаемые на грузовые автомобили, оборудуются специальным приводом счетного узла, суммирующим показания независимо от направления движения.

Привод спидометра посредством гибкого вала получил достаточно широкое распространение, однако в современных условиях его применение считается нежелательным вследствие присущих ему недостатков: малый срок службы, наличие крутильных колебаний, ограничения по длине, сложность прокладки. В качестве более совершенного варианта получает распространение электропривод по схеме генератор — электродвигатель.

В схеме с электроприводом в качестве задающего узла используется трехфазный синхронный тахогенератор, приводимый в действие от ведомого вала коробки передач, а в качестве исполнительного элемента используется трехфазный синхронный электродвигатель, вал которого приводит во вращение приводной вал 1 (см. рис. 5.3, а) спидометра. Ротор тахогенератора, выполняемый в виде постоянного магнита, соединен через редуктор с ведомым валом коробки передач. Напряжение, снимаемое с каждой обмотки фазы тахогенератора, подается по линиям связи на базу соответствующего транзистора. Частота импульсов напряжения, снимаемых с фазных обмоток тахогенератора, прямо пропорциональна скорости движения автомобиля. В коллекторную цепь каждого транзистора вклю-

чается соответствующая фазная обмотка исполнительного электродвигателя. Импульсы напряжения имеют синусоидальную форму, что вызывает соответствующее переключение транзисторов в открытое и закрытое состояние. При переходе каждого транзистора в открытое состояние импульс напряжения от бортовой сети поступает на соответствующую фазную обмотку исполнительного электродвигателя, расположенную в его статоре. В результате чередования таких импульсов в статоре электродвигателя создается вращающееся магнитное поле, частота вращения которого прямо пропорциональна скорости движения автомобиля. Ротор электродвигателя, содержащий постоянный магнит, приводит в действие скоростной и счетный узлы спидометра.

Частота вращения коленчатого вала двигателя может быть измерена следующими тремя способами:

- посредством тахогенератора, приводимого в действие от коленчатого или распределительного вала;
- путем регистрации частоты размыкания контактного датчика момента искрообразования в контактной системе зажигания;
- путем регистрации частоты импульсов напряжения с одной из фаз генератора.

Конструкция тахометра, работающего с тахогенератором, аналогична конструкции спидометра с электроприводом. Основные отличия определяются местом и деталями установки тахогенератора и градуировкой шкалы. В электрической схеме тахометра предусмотрен вывод для блокировки стартера от случайного включения при работающем двигателе.

Принцип действия тахометра, регистрирующего частоту размыкания контактного датчика момента искрообразования, основан на преобразовании импульсов, возникающих в первичной цепи системы зажигания, в аналог напряжения с последующим измерением его магнитоэлектрическим прибором со шкалой, градуированной в единицах частоты вращения вала.

Контактный датчик выдает импульсы напряжения прямоугольной формы с частотой, прямо пропорциональной частоте вращения подконтрольного вала. Блок формирования запускающих импульсов БФИ (рис. 5.4) принимает входные сигналы и преобразует их в импульсы определенной амплитуды и формы с последующей их передачей на вход блока измерительных импульсов БИИ. Блок измерительных импульсов преобразует поток импульсов постоянной формы с переменной частотой в напряжение с линейной зависимостью от частоты импульсов. Это напряжение подается на вход магнитоэлектрического прибора с соответствующей градуировкой шкалы в минутах в минус первой степени или в секундах в минус первой степени.

При наличии на автомобиле бесконтактной системы зажигания в качестве входного сигнала для тахометра используется частота им-

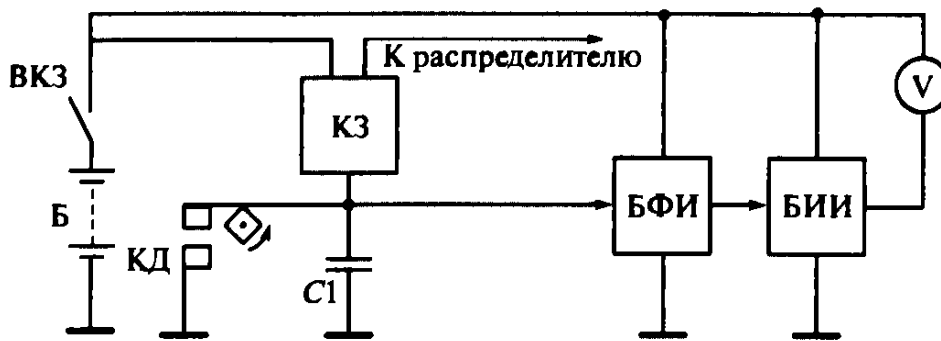


Рис. 5.4. Функциональная схема тахометра, регистрирующего частоту размыкания контактного датчика момента искрообразования:

ВКЗ — включатель зажигания; КЗ — катушка зажигания; Б — аккумуляторная батарея; КД — контактный датчик; БФИ — блок формирования импульсов; БИИ — блок измерения импульсов; V — магнитоэлектрический стрелочный прибор; С1 — первичный конденсатор

пульсов размыкания первичной обмотки катушки зажигания. При этом определенные изменения вносятся в схему блока формирования управляющих импульсов.

На транспортных машинах с дизелями в качестве управляющих импульсов используется сигнал напряжения с одной из фаз генератора, который оснащается специальным выводом для электронного тахометра. Функциональная схема электронного тахометра аналогична схеме, представленной на рис. 5.4. Соответствующие изменения вносятся только в схему блока формирования импульсов.

### 5.2.6. Тахографы

В ряде случаев при выполнении транспортной работы на автомобилях, совершающих дальние перевозки, требуется учет фактических данных пройденного пути, скорости движения и расхода топлива на участках пути. Цель установки тахографа — контроль за режимом работы автомобиля и его водителей, а также предоставление необходимых данных в случае дорожно-транспортных происшествий.

Тахограф представляет собой записывающий прибор, осуществляющий непрерывное измерение и регистрацию показателей: например, скорости движения в километрах в час, времени в часах и минутах, пройденного пути в километрах, превышения заданной скорости, действий каждого из водителей по управлению автомобилем, проведения ремонтных работ и отдыха.

Регистрирующая система тахографа может производить запись подконтрольных показателей как в аналоговой форме на диаграммных дисках, так и в цифровой форме с записью на компьютерных носителях информации. Питание тахографа осуществляется от бортовой сети автомобиля либо от автономного источника.

Составными частями тахографа являются блоки часового механизма с записью показаний отметчика времени, механизма записи пройденного пути, механизма записи скорости, механизма записи расхода топлива, устройства регистрации режимов работы водителей, устройства регистрации попыток вскрытия тахографа и электронных блоков.

**Часовой механизм** тахографа осуществляет отсчет и индикацию текущего времени, а также вращение диаграммного диска. Привод часового механизма производится посредством шагового электродвигателя, питаемого от бортовой сети. При отключении питания часовой механизм производит соответствующие отметки на диске.

**Механизм записи пройденного пути** включает в себя электродвигатель, кинематическую цепь самописца и суммирующий счетчик.

**Механизм записи скорости** состоит из электродвигателя постоянного тока, самописца и стрелочного индикатора скорости. Датчик скорости тахографа приводится в действие от ведомого вала коробки передач параллельно спидометру.

**Механизм записи расхода топлива** включает в себя шаговый электродвигатель, кинематический механизм и самописец. Датчик расхода топлива включается в магистраль между топливopодкачивающим насосом и топливным насосом высокого давления, чтобы исключить долю потока топлива, проходящую по обратной магистрали.

Конструкция тахографа предусматривает возможность предоставления информации на дополнительном индикаторе посредством переключателя о пройденном пути в километрах, расходе топлива в литрах, удельном расходе топлива в литрах в час и путевом расходе топлива в литрах на 100 км.

Отдельные модели тахографов предусматривают возможность записи информации как на диаграммных дисках, так и на бумажной ленте.

При записи на диски их замена производится автоматически, что позволяет обеспечить непрерывную регистрацию показателей в течение 7 сут. При записи на бумажной ленте по продольной оси ее движения производится запись отметчика времени, а по перпендикулярной ей оси осуществляется запись всех остальных показателей. Запись на бумажной ленте представляется более удобной для расшифровки, однако тахографы с записью на диаграммных дисках получили большее распространение вследствие лучшей защищенности их записывающих систем от толчков и вибраций, а также меньшей собственной массы прибора, находящейся в пределах 3,5... 5 кг.

Тахограф цифровой записи принимает аналоговые сигналы от датчиков требуемых показателей. В каждом канале аналоговый сигнал преобразуется в цифровую форму с последующей записью на магнитный диск или CD (компакт-диск). Расшифровка записи осу-

ществляется посредством бортового или стационарного компьютера при сдаче отчетной документации о проделанной транспортной работе.

Тахограф любого типа регистрирует также попытки несанкционированных вмешательств в его рабочий процесс.

### 5.3. Бортовая система контроля

В соответствии с рекомендациями ЕЭК ООН по безопасности движения каждый автомобиль должен оборудоваться бортовой системой контроля или системой, информирующей водителя о возникновении неисправностей и предельных состояний работоспособности деталей, узлов и агрегатов. В качестве основных, подконтрольных бортовой системе контроля показателей рассматриваются уровень масла в картере двигателя, коробке передач и главной передаче, уровень охлаждающей жидкости, уровень тормозной жидкости, уровень жидкости в бачке стеклоомывателя, износ тормозных накладок, неисправность ламп световых приборов, неплотность закрытия дверей.

Проведение водителем таких проверок перед каждым выездом значительно трудоемко, в связи с чем более удобной является система, информирующая водителя о состоянии подсистем автомобиля в процессе движения.

В зависимости от предъявляемых требований к безотказности систем автомобиля и безопасности движения перечень указанных показателей может изменяться.

Простейшая бортовая система контроля включает в себя датчики подконтрольных показателей, блоки управления и отображения информации на панели приборов.

Для контроля уровней эксплуатационных жидкостей используются герметичные контактные датчики (герконы), замыкающие электрическую цепь при приближении к ним постоянного магнита.

При снижении уровня эксплуатационной жидкости поплавков 2 (рис. 5.5) с встроенным постоянным магнитом опускается по направляющей трубке 3. При достижении поплавком определенного положения срабатывает геркон 1, замыкая электрическую цепь питания

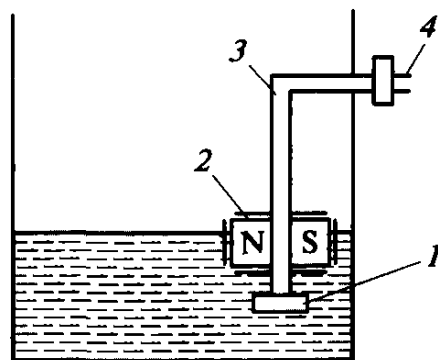


Рис. 5.5. Датчик уровня жидкости:

1 — геркон; 2 — поплавок с встроенным постоянным магнитом с полюсами N и S; 3 — направляющая трубка; 4 — контактный разъем

сигнальной лампы или светодиода, при этом на панели бортовой системы контроля высвечивается соответствующий информационный сигнал. Могут применяться также герконы, срабатывающие как на замыкание, так и на размыкание электрической цепи при приближении к ним или удалении от них постоянного магнита.

Для контроля износа тормозных накладок и накладок сцепления могут применяться датчики двух видов: размыкающие и замыкающие подконтрольную электрическую цепь.

При наличии размыкающего датчика в накладку на определенную глубину, соответствующую ее предельному износу, вводится тонкий провод, который при наступлении предельного состояния перетирается и размыкает электрическую цепь, о чем передается соответствующая информация водителю.

При наличии замыкающего датчика в накладку на глубину предельного износа встраивается пластина из мягкого металла, замыкающая электрическую цепь при соприкосновении с барабаном или диском при торможении, о чем также передается соответствующий сигнал на информационную панель.

Контроль износа накладок сцепления в настоящее время представляется затруднительным вследствие сложности подвода электрической цепи к вращающимся деталям.

Контроль исправности ламп приборов светотехнической системы осуществляется посредством специального реле, контролирующего нормальную работу ламп подконтрольных цепей.

При исправном состоянии ламп Л1 — Л6 реле контроля исправности ламп РКЛ (рис. 5.6) пропускает ток требуемой величины по каждой из контролируемых цепей. Сигнальная лампа, расположенная на информационной панели, не горит. При возникновении неисправности в одной из контролируемых цепей в случаях перегора-

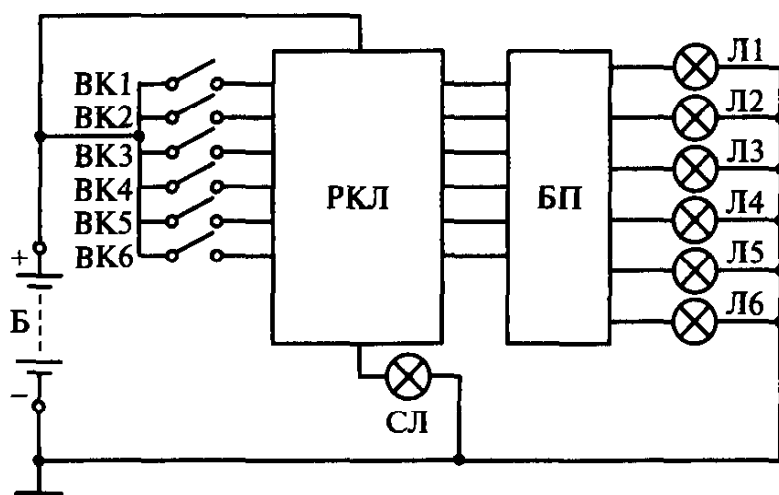


Рис. 5.6. Функциональная схема реле контроля ламп световых приборов: Б — аккумуляторная батарея; ВК1 — ВК6 — включатели цепей подконтрольных ламп; БП — блок предохранителей; РКЛ — реле контроля исправности ламп; Л1 — Л6 — подконтрольные лампы световых приборов; СЛ — сигнальная лампа

ния лампы, замыкания предохранителя, повышения переходного сопротивления в контактном переходе срабатывает соответствующая подсистема реле контроля РКЛ, в результате чего на информационной панели включается сигнальная лампа СЛ, сообщающая водителю о возникновении неисправности в системе световых приборов. В качестве дальнейших действий от водителя требуется установление места и причины неисправности.

На автомобилях представительского класса применяют реле контроля ламп световых приборов, сигнализирующих также о месте возникновения неисправности посредством светодиодной индикации на информационной панели.

Для *контроля неплотности закрытия дверей* применяются герконы, располагаемые в замках дверей, с постоянными магнитами, размещаемые на соответствующих штоках, связанных с подвижными элементами замков. Штоки, на которых располагаются магниты, имеют соответствующие регулировки по длине хода магнита для обеспечения точности срабатывания геркона при фиксации двери в закрытом состоянии. При открытой или не полностью закрытой двери высвечивается соответствующая светодиодная индикация.

Для *контроля блока сигнализации* бортовой системы контроля предусматривается соответствующий кнопочный выключатель, при нажатии на который происходит одновременное включение всех контрольных ламп или светодиодов.

К показателям, трудно поддающимся дистанционному контролю бортовой системой контроля, относятся износ накладок ведомого диска сцепления и давление воздуха в шинах. Конструкции таких систем, возможных к применению на автомобилях, находятся в стадии технических разработок.

## **5.4. Система встроенных датчиков**

Для диагностического контроля состояния узлов и агрегатов автомобиля с использованием специальных стендов каждый современный автомобиль оборудуется системой встроенных датчиков. Местом подключения диагностического стенда и системы встроенных датчиков на отечественных автомобилях является универсальный двенадцатиполюсный штекерный разъем, к контактам которого подводятся электрические аналоговые сигналы от датчиков, контролируемых соответствующие показатели работы узлов и агрегатов автомобиля.

Количество контролируемых показателей и, следовательно, количество каналов передачи информации в общем случае не нормируется, однако на современных отечественных автомобилях, работающих на легком топливе, система встроенных датчиков содержит:

- датчик положения коленчатого вала относительно верхней мертвой точки первого или четвертого цилиндра (на автомобилях ВАЗ мод. 2101—2107);
- датчик высокого напряжения системы зажигания;
- датчик опорного цилиндра (при наличии высоковольтного распределителя).

Кроме того, к контактам штекерного разъема подводятся клемма «+» генератора, «масса» двигателя, клеммы «+» и «-» катушки зажигания.

Система встроенных датчиков позволяет определять:

- напряжение аккумуляторной батареи без нагрузки, под нагрузкой от работающего стартера, при заторможенном стартере;
- напряжение генератора при работающем регуляторе напряжения;
- исправность выпрямительных диодов генератора;
- уровень высокого напряжения при пуске двигателя и в зависимости от частоты вращения коленчатого вала;
- показатель скважности в системе зажигания;
- асинхронизм искрообразования по цилиндрам двигателя;
- исправность автоматов регулировки угла опережения зажигания (или впрыска топлива) при контрольных значениях частоты вращения коленчатого вала и, в некоторых случаях, нагрузки на двигатель;
- эффективность работы цилиндров по падению частоты вращения коленчатого вала при отключениях цилиндров.

Система встроенных датчиков позволяет за короткое время провести диагностический анализ состояния двигателя и по полученным показателям принять решение о необходимости регулировочных или ремонтных работ.

Диагностирование состояния узлов и агрегатов силовой передачи и подвески возможно на специальных стендах с беговыми барабанами. Электрическая схема системы встроенных датчиков при этом должна быть согласована с электрической схемой стенда.

## **5.5. Электронные информационные устройства**

Передача водителю информации о режиме транспортной работы современного автомобиля и техническом состоянии его узлов и агрегатов осуществляется как посредством панели, на которой размещаются контрольно-измерительные приборы и блок индикации бортовой системы контроля, так и при помощи электронной информационной системы.

Электронные информационные устройства позволяют водителю получать намного больший поток информации дополнительно к поступающему потоку от приборной панели ограниченной площади. Электронное информационное устройство управляется бортовым



компьютером, который по командам водителя может выдавать на монитор несколько вариантов значимой информации, в том числе с дублированием звуковым сообщением, при этом аварийная информация передается водителю без его участия. Для электронной индикации применяются электронно-лучевые кинескопы, чаще жидкокристаллические дисплеи.

При стоянках автомобиля электронные информационные системы могут работать в режиме приема телевизионных программ. Кроме того, информационное устройство, подключенное к системе спутниковой или местной сотовой связи, позволяет вызывать на экран карту местности с индикацией на ней места нахождения автомобиля и дорожной обстановки на конкретных участках. Водитель может получать информацию о наиболее удобном маршруте движения с выполнением соответствующих расчетов затрат времени и расхода топлива. В некоторых случаях бортовая компьютерная информационная система может информировать водителя о прогнозных оценках последствий принимаемых им действий, в том числе предупреждая о возможных угрозах аварийных ситуаций. Бортовая система контроля дополняется рядом датчиков, позволяющих измерять расстояние до впереди идущего и следующего позади автомобилей, оценивать состояние дорожного покрытия, наличие продольных и поперечных уклонов и т. д.

В качестве недостатков электронных информационных устройств можно рассматривать их повышенную требовательность к температурному режиму и защищенности от вибрационных нагрузок, а также высокую стоимость эксплуатации систем спутниковой связи, составляющую в настоящее время примерно 1 000 долл. США в год на один автомобиль или автопоезд.

### **Контрольные вопросы**

1. Каков принцип действия реостатного преобразователя в схемах измерения температуры или давления?
2. Каким образом осуществляется сигнализация о наступлении аварийных режимов в схемах измерения температуры или давления?
3. Каким образом осуществляется контроль зарядного режима аккумуляторной батареи?
4. Какова роль тахографа в современном автомобиле?
5. Какова роль бортовой системы контроля в современном автомобиле?

# КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА, ПРОВОДНАЯ И ЗАЩИТНАЯ СИСТЕМА

---

### 6.1. Коммутационная аппаратура

Конструктивное совершенствование транспортных и технологических машин, включая автомобильный подвижной состав, в целях повышения безопасности движения, комфортабельности, удобства управления и других потребительских свойств привело к значительному увеличению количества электрических приборов и возрастанию их мощности. Следствием этого явилось усложнение схемы электрических соединений и увеличение количества коммутационных узлов — разъемных соединителей, соединительных панелей, включателей, переключателей, электромагнитных реле, контакторов, предохранительных блоков, розеток, вилок.

В качестве основного узла коммутационной аппаратуры, как правило, рассматривается контактная часть, содержащая **включатели и переключатели** [29], [36], приводимые в действие посредством механического ручного, гидравлического или пневматического привода. По схеме коммутации включатели и переключатели могут различаться числом коммутационных цепей, количеством позиций и числом выводов.

Основными характеристиками включателей и переключателей являются номинальное напряжение, предельно допустимый ток, схема коммутации, падение напряжения на контактах, ресурс по количеству циклов срабатывания.

По функциональному назначению включатели и переключатели могут рассматриваться в следующей последовательности:

- главный включатель зажигания, приборов и стартера;
- центральный переключатель внешних световых приборов;
- вторичный подрулевой переключатель света фар;
- многофункциональный переключатель стеклоочистителя и стеклоомывателя ветрового стекла;
- переключатель стеклоочистителя и стеклоомывателя заднего стекла;
- переключатель работы системы отопления и вентиляции;
- переключатель указателей поворота;
- включатель аварийной световой сигнализации;
- включатель сигналов торможения;
- переключатели приводов стеклоподъемников;

- включатель «массы»;
- включатели различных управляющих и исполнительных систем.

В конструкции современной транспортной машины количество включателей и переключателей превышает 80 ед.

В зависимости от конструктивного исполнения включатели и переключатели могут быть кнопчными, клавишными, поворотными, перекидными, рычажными, ползунковыми, поворотными со съемным ключом.

Величина коммутируемого тока при номинальном напряжении 12 или 24 В составляет 1 ... 80 А.

*Включатели* представляют собой коммутационные устройства с двумя положениями: «Цепь замкнута» — «Цепь разомкнута». Количество одновременно коммутируемых цепей обычно составляет от одной до шести.

*Переключатели* в отличие от включателей могут иметь до 16 положений, что позволяет осуществлять коммутацию в системе, содержащей до 10 цепей.

В современных условиях все большее применение находят комбинированные переключатели, объединяющие несколько первичных включателей и переключателей: внешних световых приборов, работы фар, стеклоочистителей и стеклоомывателей ветрового стекла. Такое решение позволяет сокращать материалоемкость узла и улучшать эргономические свойства машины.

В случае когда требуется работа включателя или переключателя в условиях коммутации больших токов, а также при больших расстояниях от мест управления до исполнительных устройств, применяются электромагнитные реле и контакторы.

**Реле** представляет собой электромагнитный прибор с одной или несколькими парами контактов, управляемых электромагнитом, потребляющим незначительный ток, порядка 1 А. Контакты реле могут быть как нормально разомкнутыми, так и нормально замкнутыми, т. е. размыкаться при включении электромагнита. Применение реле позволяет сократить длину проводов большого сечения, пропускающих большой ток, и применять в цепи управления провода малого сечения. В общем случае по конструктивному исполнению реле подразделяют на три группы: обычные, малогабаритные и специальные. Малогабаритные реле применяются в условиях ограниченного пространства, когда использования обычных реле является затруднительным. Специальные реле применяют в условиях повышенных требований, например герметичного исполнения, отсутствия радиопомех и т. д.

В современных условиях реле применяют для включения стартерного электродвигателя и его тягового реле, звуковых сигналов, фар головного освещения, обогрева заднего стекла, стеклоочистителя и т. д. Ресурс реле определяется числом включений, которое в

зависимости от назначения находится в пределах от 25 до 200 тыс. циклов, что должно превышать эквивалент ресурса транспортной наработки машины.

По схеме коммутации тока реле могут быть замыкающими, размыкающими и переключающими. В зависимости от функционального назначения режим работы реле может быть кратковременным или длительным. Основными параметрами реле являются коммутируемый ток, напряжение срабатывания и напряжение отпускания якорька. Ток, коммутируемый реле, обычно составляет величину до 80 А.

Для удобства доступа реле объединяют в одну группу, размещаемую в одном блоке с группой предохранителей. Для обеспечения удобства монтажа и легкости замены реле оснащают штекерными выводами.

**Электромагнитные контакторы** применяют для включения приборов, потребляющих ток более 80 А. Областью их использования являются электропневматические клапаны дверей автобусов, клапаны пневматических звуковых сигналов и прочие узлы, где применение реле представляется затруднительным в силу ограниченной разрывной мощности их контактов.

**Соединительные панели** применяют при монтаже схем электрооборудования. В современных условиях высокотехнологичного производства используют соединительные панели гнездоштырькового типа с фиксирующим зажимом. Такое решение позволяет упростить схему монтажа и повысить надежность контактного соединения. Панели отечественного производства имеют от 2 до 12 гнездовых зажимов, рассчитанных на напряжение до 28 В при силе тока до 150 А.

**Розетки** для подключения внешних потребителей энергии или диагностического оборудования имеют до семи контактных зажимов, рассчитанных на напряжение до 28 В и ток до 40 А. Обычно розетка выпускается в паре с соответствующей ей по конструкции вилкой, имеющей соответствующие характеристики. Розетка для подключения переносной лампы, прикуривателя или переносного компрессора рассчитывается на ток до 10 А.

**Включатель «массы»** предназначен для отключения аккумуляторной батареи от бортовой сети при длительной стоянке автомобиля, а также при возникновении аварийных режимов. В зависимости от конструктивного исполнения включателя «массы» могут быть непосредственного ручного или дистанционного управления. При наличии дистанционного управления кнопки управления включателем «массы» располагают на панели приборов.

Основными элементами включателя «массы» с дистанционным управлением являются контактное устройство и электромагнит, обеспечивающий передачу усилия от штока к контактному устройству.

## 6.2. Автотракторные провода

Передача электрической энергии от источников тока к потребителям осуществляется посредством электрических проводов. Схема передачи энергии может быть однопроводной или двухпроводной. При *однопроводной* схеме роль одного проводника, как правило отрицательного, выполняет металлическая «масса» машины, а вторым проводником является проводная система. При *двухпроводной* схеме передача энергии осуществляется по двухполюсной проводной системе, как правило, с изоляцией от «массы» машины. К преимуществу двухпроводной схемы по сравнению с однопроводной относится меньший уровень радиопомех, однако это вдвое увеличивает расход проводов, в связи с чем более широкое применение получила однопроводная схема электрооборудования.

В системах электрооборудования транспортных машин используют провода, изоляция которых рассчитана на передачу постоянного тока напряжением до 48 В. При наличии цепей более высокого напряжения, например питания люминесцентных световых приборов в автобусах, используют провода с соответствующими характеристиками изоляции. Во вторичных цепях систем зажигания используются специальные провода высокого напряжения с изоляцией, выдерживающей напряжение до 30...35 кВ.

В качестве основного изоляционного материала автотракторных проводов используют поливинилхлоридный пластикат, удовлетворяющий требованиям маслостойкости, бензостойкости и кислотостойкости, устойчивостью против горения, сохранением пластичности при низких температурах. В случае необходимости снижения радиопомех применяют провода с экранированной оплеткой. В зависимости от характеристик изоляции принята следующая маркировка автотракторных проводов отечественного производства: ПВА, ПГВАБ, ПВАЭ, ПВАЛ и т. д., где буквы имеют следующие обозначения: ПВ — наличие полихлорвиниловой изоляции; А — автотракторный; Г — гибкий; Б — наличие бронированной изоляции; Э — наличие экранированной оплетки; Л — наличие лакостойкой изоляции. Нормальная работа проводов обычно гарантируется производителями в диапазоне температур  $-40...+70^{\circ}\text{C}$ , наличие лакостойкой изоляции позволяет использовать провод при температуре до  $+150^{\circ}\text{C}$ . Наличие бронированной изоляции придает проводу повышенную защиту от механических повреждений. Провод ПГВА-ХЛ применяется на транспортных и технологических машинах, работающих в зоне холодного климата в температурном диапазоне  $-60...+80^{\circ}\text{C}$ .

Высоковольтные провода отечественного производства, применяемые во вторичных цепях систем зажигания, маркируются следующим образом: ПВВ, ПВВО, ПВВП, где используемые буквы имеют следующие обозначения: ПВВ — провод с поливинилхлоридной изоляцией, высоковольтный; О — наличие высокоомного распределен-

ного сопротивления; П — наличие эффекта подавления радиопомех. Провод ПВВП, соответствующий требованиям ЕЭК ООН по безопасности дорожного движения по допустимому уровню радиопомех, имеет в центре льняную нить, на которую нанесен слой ферропласта, состоящего из 20 % поливинилхлоридного пластиката и 80 % ферритового порошка. Поверх ферропластового слоя в виде спирали намотана проволока диаметром 0,12 мм, выполняющая роль токопроводящей жилы. Поверх спирали наложен слой поливинилхлоридной изоляции. Подавление радиопомех в проводе осуществляется спиральным проводником и слоем ферропласта.

Для улучшения условий монтажа и поиска неисправностей применяют маркировку низковольтных проводов по цвету изоляции, которая может иметь сплошную или комбинированную расцветку. Отечественными производителями установлено одиннадцать сплошных цветов изоляции: белый, желтый, оранжевый, красный, розовый, синий, зеленый, коричневый, черный, серый, фиолетовый. Комбинированная расцветка применяется в виде сочетания сплошной расцветки с нанесением на нее полос или колец других цветов: белого, красного, черного, голубого.

Токоведущая часть провода выполняется из медного сплава и состоит из нескольких жил. Суммарное сечение жил определяет механическую прочность провода, а также передаваемую электрическую мощность и соответствующие при этом потери. Минимальная механическая прочность провода обычно ограничивается статическим усилием разрыва 100...120 Н. Для автомобильной и тракторной промышленности изготавливают провода со следующим рядом суммарного поперечного сечения жил: 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70 и 95 мм<sup>2</sup>.

Оценка применимости низковольтного провода для работы в электрической цепи производится посредством теплового расчета по исходным данным передаваемых тока и напряжения с получением прироста температуры провода относительно температуры окружающей среды. Однако в некоторых случаях целесообразно определять допустимую токовую нагрузку на провод с учетом допустимого прироста его температуры относительно температуры окружающей среды. В работе [36] приводятся следующие формулы для определения допустимой токовой нагрузки  $I_d$ :

- для одиночного провода

$$I_d = \sqrt{4\Delta t(S_M + S_M^{1,5})};$$

- для жгута проводов

$$I_d = \sqrt{\Delta t(4S_M + 1,75S_M^{1,5})},$$

где  $\Delta t$  — перегрев провода относительно температуры окружающей среды, °С;  $S_M$  — поперечное сечение медного провода, мм<sup>2</sup>.

Перед установкой на автомобиль или транспортно-технологическую машину провода собирают в жгуты, содержащие кроме проводов их наконечники, защитные колпачки, оплетку, детали крепления к несущей системе. Наконечники выполняют как под винтовое, так и под штекерное соединение. Закрепление наконечников с концами проводов осуществляется посредством пайки или опрессовки. Конструкция плоских штекеров подчинена стандартному ряду, предусматривающему толщину 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 мм и ширину 2,8; 4,8; 6,3 и 9,5 мм. Максимально допустимый ток для таких соединений зависит от контактной площади и составляет 6...40 А.

В современных условиях более широкое применение находят плоские жгуты, в которых крепление проводов к несущей системе осуществляется путем тепловой сварки. Такое решение снижает ремонтпригодность системы, однако позволяет улучшить технологичность и повысить ее безотказность.

Сечение провода в жгуте определяется с учетом тепловой нагрузки на провод относительно температуры окружающей среды, числом проводов в жгуте, конструкцией жгута. В работе [29] приведены величины допустимой токовой нагрузки для жгутов обычной конструкции. При температуре окружающей среды 30 °С и числе проводов в жгуте до семи изменение сечения провода от 1 до 6 мм<sup>2</sup> позволяет изменять допустимую токовую нагрузку на провод от 14,5 до 44 А. Если увеличить число проводов в жгуте до 19, то допустимая токовая нагрузка может быть установлена в пределах от 10,5 до 31 А. Увеличение сечения провода позволяет как уменьшить потери энергии, преобразуемые в тепловыделения, так и улучшить условия охлаждения провода за счет увеличения поверхности охлаждения.

Падение напряжения в проводах определяется по известной формуле

$$\Delta U = \frac{\rho l I}{S},$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление провода, для меди при 20 °С  $\rho = 0,0185$  Ом · мм<sup>2</sup>/м [26];  $l$  — длина провода, м;  $I$  — токовая нагрузка в проводе, А;  $S$  — сечение провода, мм<sup>2</sup>.

При передаче тока по двухпроводной системе длина провода  $l$  должна учитывать суммарную протяженность прямого и обратного проводников. Падение напряжения в цепи складывается из падения напряжения в проводах, переходных контактах, штекерных соединениях, выключателях, переключателях, соединительных панелях.

Допустимые потери напряжения в электрических цепях устанавливаются с учетом потребляемого тока и номинального напряжения бортовой сети 12 или 24 В и не должны превышать соответственно 0,5 и 1 В. При превышении указанных величин необходимо применять для питания потребителей провода большего сечения.

Возрастание электрической мощности потребителей при неизменном номинальном напряжении бортовой сети вызывает необходимость применения силовых проводов достаточно большого сечения, что увеличивает расход дорогостоящих медных материалов. В современных условиях снижение энергетических потерь на преодоление внутреннего сопротивления проводов можно достичь посредством следующих мероприятий:

- использованием проводов с содержанием драгоценных металлов (драгметаллов);
- повышением напряжения бортовой сети;
- применением мультиплексной системы бортовой сети.

**Применение драгметаллов** в содержании сплава, используемого для изготовления проводов, в определенной степени снижает величину их удельного сопротивления и повышает их эластичность. Однако применение драгметаллов в больших количествах вызывает непомерный рост стоимости проводов, в связи с чем данный путь совершенствования электрооборудования транспортных и технологических машин отечественного производства представляется маловероятным.

**Повышение напряжения бортовой сети** позволяет увеличить электрическую мощность при сохранении потребляемого тока и, следовательно, уменьшить площадь поперечного сечения проводов. Однако при этом вынужденно предъявляются более высокие требования к изоляции проводов, коммутационной аппаратуре и безопасному проведению работ по обслуживанию электрооборудования. Кроме того, повышение напряжения бортовой сети вызывает необходимость применения большего количества аккумуляторных батарей, что увеличивает стоимость автомобильного электрооборудования и делает данный путь его развития малоперспективным.

**Применение мультиплексной системы бортовой сети** (рис. 6.1) основано на использовании в электрической системе транспортной машины двух общих шин — питающей силовой, к которой подключен положительный полюс, и управляющей, обеспечивающей прохождение сигнала на включение или отключение данного прибора. Отрицательный полюс при этом соединен с металлической «массой» машины.

Управляющий сигнал, зашифрованный в виде двоичного кода, формируется в мультиплексоре при нажатии соответствующего включателя или переключателя. Демультиплексор прибора расшифровывает сигнал и осуществляет содержание команды на включение или выключение прибора. Синхронизация прохождения управляющих сигналов от мультиплексора до демультиплексоров осуществляется в блоке синхронизации. Силовая шина представляет собой относительно короткий участок толстого провода круглого или прямоугольного сечения, обладающего малым удельным сопротивлением и обеспечивающего ничтожно малую величину энергетических потерь.



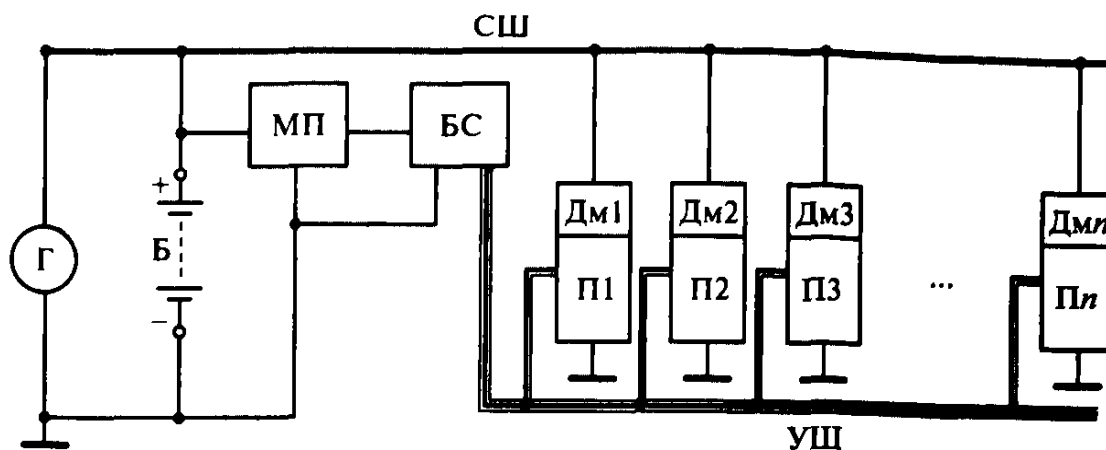


Рис. 6.1. Функциональная схема варианта мультиплексной системы бортовой сети автомобиля:

Г — генератор; Б — аккумуляторная батарея; МП — мультиплексор; БС — блок синхронизации управляющих сигналов; П1 — Пn — приборы электрооборудования; Дм1 — Дмn — демультиплексоры приборов; СШ — силовая шина; УШ — управляющая шина

Управляющая шина может выполняться как в виде тонкого экранированного на «массу» провода, так и в виде световода в системе оптической связи, при этом управляющий электрический сигнал преобразуется в световую форму.

### 6.3. Защитная аппаратура

Для защиты электрических цепей транспортных машин от коротких замыканий, перегрузок и неправильных включений применяют плавкие и термобиметаллические предохранители. В качестве основных показателей, определяющих эффективность действия предохранителя, используются:

- ампер-секундная характеристика;
- коэффициент перегрузки.

Ампер-секундная характеристика представляет собой зависимость промежутка времени  $t$  срабатывания предохранителя от тока  $I_{\text{п}}$  перегрузки.

Коэффициент перегрузки предохранителя определяется по отношению тока перегрузки  $I_{\text{п}}$  к номинальному току  $I_{\text{н}}$  нагрузки от потребителей:

$$k_{\text{п}} = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}}.$$

Современные проводные системы автомобильного электрооборудования предусматривают установку плавких проволочных или ленточных, размещаемых в блоке, биметаллических кнопочных предохранителей.

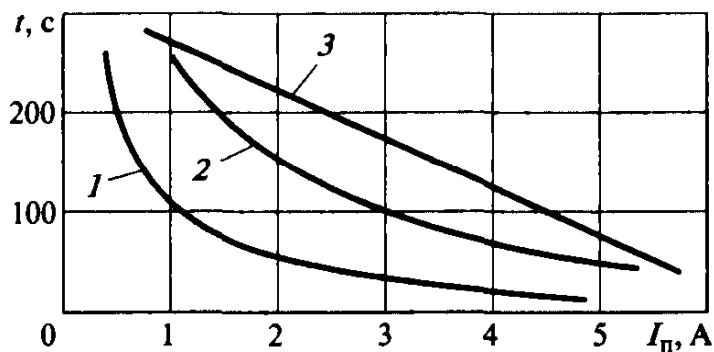


Рис. 6.2. Ампер-секундные характеристики:

1 — плавкого предохранителя; 2 — биметаллического предохранителя; 3 — защищаемого провода

ранителей. По данным специалистов [30], биметаллические предохранители по сравнению с плавкими обладают большей инерционностью в зоне больших перегрузок при  $k_n > 3$ , им свойственна большая чувствительность в зонах малых перегрузок при  $k_n < 2$ . В связи с этим биметаллические предохранители целесообразно применять для защиты цепей, питающих электродвигатели с «жесткими» механическими характеристиками, пусковые токи которых в 4—6 раз превышают номинальные токи.

Биметаллические предохранители могут быть однократного или многократного действия. При перегрузке или коротком замыкании контакты предохранителя однократного действия размыкаются, после устранения неисправности для замыкания цепи требуется нажать на кнопку управления предохранителем. Конструкция предохранителя многократного действия предусматривает при возникновении перегрузки или короткого замыкания нагрев биметаллической пластины и размыкание цепи. После остывания пластины контакты предохранителя вновь замыкаются, питание цепи автоматически восстанавливается.

В зависимости от конструктивного исполнения плавкие предохранители могут быть одиночными проволочными в стеклянной трубке, размещаемыми в разъемном корпусе и устанавливаемыми в жгуте проводов, либо ленточными, размещаемыми в блоке. Размещение предохранителей в блоке позволяет упростить монтаж и облегчить работы по замене предохранителей и поиску неисправностей.

Сила тока срабатывания предохранителя выбирается с учетом сравнения ампер-секундных характеристик предохранителя и провода защищаемой цепи. Ампер-секундная характеристика провода представляет собой зависимость времени достижения изоляцией провода предельной температуры от тока нагрузки (рис. 6.2). Ампер-секундная характеристика провода должна располагаться выше ампер-секундной характеристики предохранителя для достижения опережающего действия предохранителя относительно нагрева провода.

Ток короткого замыкания для любой цепи определяется по отношению

$$I_{\text{к.з}} = \frac{U_{\text{с}}}{R_{\text{б}} + R_{\text{ц}}},$$

где  $U_{\text{с}}$  — напряжение бортовой сети в зоне предохранителя;  $R_{\text{б}}$  — внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи;  $R_{\text{ц}}$  — сопротивление цепи короткого замыкания:

$$R_{\text{ц}} = R_{\text{к}} + R_{\text{м}} + R_{\text{пр}},$$

где  $R_{\text{к}}$  — сопротивление элементов коммутационной аппаратуры;  $R_{\text{м}}$  — сопротивление по металлической «массе»;  $R_{\text{пр}}$  — сопротивление проводов до зоны короткого замыкания.

Как указано в работе [29], номинальные токи биметаллических предохранителей для проводов сечением до  $1 \text{ мм}^2$  составляют 15 А, для проводов сечением  $1,5 \text{ мм}^2$  — 20 А. Номинальные токи плавких ленточных предохранителей для проводов сечением до  $1 \text{ мм}^2$  составляют 15 А, для проводов сечением  $1,5 \text{ мм}^2$  — 16 А.

Для сокращения числа контактных соединений в цепях и уменьшения расхода проводов применяется групповой способ защиты электрических цепей, когда один предохранитель используется для защиты нескольких цепей; при этом одновременная работа группы цепей не должна вызывать срабатывания предохранителя. Ответственные цепи, в частности указателей поворотов, аварийной сигнализации, должны защищаться индивидуальными предохранителями.

Для обеспечения надлежащей работоспособности автомобиля в любых дорожных условиях цепи наиболее важных электрических систем, обеспечивающих постоянную готовность к работе — заряда аккумуляторной батареи, пуска двигателя, управления подачей топлива и зажигания, не защищаются.

### Контрольные вопросы

1. Как определяется ампер-секундная характеристика провода?
2. Как определяется и от чего зависит ток короткого замыкания провода?
3. Как определяется и от чего зависит падение напряжения в проводе?
4. Опишите принцип действия мультиплексной проводной системы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Намечающийся в последние годы дефицит энергоресурсов приводит к повышению стоимости энергоносителей, что определяет необходимость разработки ресурсосберегающих технологий. Непрерывный процесс совершенствования любых видов техники в полной мере затрагивает электрическое и электронное оборудование машин транспортно-го и транспортно-технологического назначения.

Перспективным следует считать более широкое внедрение электронных элементов на основе цифровых технологий в системы управления узлами и агрегатами машин, что позволяет облегчить работу оператора по управлению машиной, своевременно отключать механические системы при угрозе их аварийных режимов и в конечном итоге способствует как повышению безопасности выполняемых работ, так и возрастанию надежности механизмов за счет исключения их перегрузки.

Замещение ламп накаливания в световых приборах светодиодами резко сокращает расход энергии на их питание. Это позволяет уменьшить массу подводящих проводов и соответственно их стоимость.

Повышение номинала напряжения бортовой сети в определенной мере может снизить потери энергии на преодоление сопротивления проводов, однако данное направление представляется малоперспективным вследствие повышения требований к изоляционным материалам и увеличению их стоимости, а также возрастанию опасности электротравматизма. В некоторой степени снижение сопротивления проводов может быть достигнуто путем добавления в сплав для их изготовления драгметаллов.

Значительная часть энергии в существующих в настоящее время электрических установках и электронных узлах вынужденно теряется на преодоление внутреннего сопротивления материалов. Решение в перспективе проблемы сверхпроводимости токопередающих материалов при положительных температурах позволит значительно сократить массу и габаритные размеры электронных приборов и резко уменьшить их энергопотребление.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аджиманбетов С. Б.* Защита аккумуляторной батареи от перезаряда / С. Б. Аджиманбетов // Автомобильная промышленность. — 2004. — № 1. — С. 31 — 32.
2. *Акимов С. В.* Электрическое и электронное оборудование автомобилей / С. В. Акимов, Ю. И. Боровских, Ю. П. Чижков. — М. : Машиностроение, 1988. — 280 с.
3. *Акимов С. В.* Электрооборудование автомобилей : учебник / С. В. Акимов, Ю. П. Чижков. — М. : За рулем, 2003. — 384 с.
4. *Алиев И. И.* Справочник по электротехнике и электрооборудованию / И. И. Алиев. — М. : Высш. шк., 2000. — 255 с.
5. *Банников С. П.* Электрооборудование автомобилей / С. П. Банников. — М. : Транспорт, 1976. — 288 с.
6. *Боровских Ю. И.* Электрооборудование автомобилей / Ю. И. Боровских, Н. И. Гутенев. — Киев : Высш. шк., 1988. — 167 с.
7. *Буна Б.* Электроника на автомобиле : пер. с венгер. / Б. Буна. — М. : Транспорт, 1979. — 192 с.
8. *Галкин Ю. М.* Электрооборудование автомобилей и тракторов / Ю. М. Галкин. — М. : Машиностроение, 1968. — 275 с.
9. *Гируцкий О. И.* Электронные системы управления агрегатами автомобиля / О. И. Гируцкий, Ю. К. Есеновский-Лашков, Д. Г. Поляк. — М. : Машиностроение, 2000. — 213 с.
10. *Горнов В. О.* Новые габаритные световые сигналы автомобилей / В. О. Горнов // Автостроение за рубежом. — 2001. — № 5. — С. 18.
11. *Данов Б. А.* Управление моментом зажигания на автомобиле / Б. А. Данов. — М. : Транспорт, 2002. — 79 с.
12. *Звонкин Ю. З.* Электронные системы автомобилей : учеб. пособие / Ю. З. Звонкин, А. М. Багно. — Ярославль : Изд-во ЯрГТУ, 2003. — 183 с.
13. *Квайт С. М.* Пусковые качества и системы пуска автотракторных двигателей / С. М. Квайт, Я. А. Менделевич, Ю. П. Чижков. — М. : Машиностроение, 1990. — 256 с.
14. *Курзуков Н. И.* Аккумуляторные батареи : краткий справочник / Н. И. Курзуков, В. М. Ягнятинский. — М. : За рулем, 2003. — 88 с.
15. *Литвиненко В. В.* Автомобильные датчики, реле и переключатели : краткий справочник / В. В. Литвиненко, А. П. Майструк. — М. : За рулем, 2004. — 176 с.
16. *Мельников А. А.* Управление техническими объектами автомобилей и тракторов : Системы электроники и автоматики : учеб. пособие / А. А. Мельников. — М. : Издательский центр «Академия», 2003. — 376 с.
17. *Можяев В. И.* Электрооборудование тракторов, автомобилей и комбайнов / В. И. Можяев. — Л. : Колос, 1970. — 256 с.

18. *Моисейчик А. Н.* Пусковые качества карбюраторных двигателей / А. Н. Моисейчик. — М. : Машиностроение, 1968. — 135 с.

19. *Набоких В. А.* Испытания электрооборудования автомобилей и тракторов : учебник / В. А. Набоких. — М. : Издательский центр «Академия», 2003. — 256 с.

20. *Поляк Д. Г.* Электроника автомобильных систем управления / Д. Г. Поляк, Ю. К. Есеновский-Лашков. — М. : Машиностроение, 1987. — 200 с.

21. *Резник А. М.* Электрооборудование автомобилей / А. М. Резник, В. П. Орлов. — М. : Транспорт, 1988. — 239 с.

22. *Синельников Я. Х.* Электронные приборы для автомобилей / Я. Х. Синельников. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 240 с.

23. Система зажигания как источник импульсных помех / А. А. Шевцов, М. А. Саржин, О. Л. Михеев, А. С. Фокин // Автомобильная промышленность. — 2004. — № 4. — С. 21—24.

24. *Сметнев Н. Н.* Электрооборудование автомобилей : варианты замены / Н. Н. Сметнев. — М. : Машиностроение, 1995. — 21 с.

25. Справочник по электрооборудованию автомобилей / [С. В. Акимов, Л. М. Здановский, Л. М. Корец и др.]. — М. : Машиностроение, 1994. — 541 с.

26. Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования / [Л. В. Копылова, В. И. Коротков, В. Е. Красильников и др.] ; под ред. М. Н. Фесенко. — М. : Машиностроение, 1979. — 344 с.

27. Транзисторная и тиристорная системы зажигания автомобильных двигателей : принцип действия, конструкция, техническое обслуживание / [А. А. Зубарев ; под ред. И. М. Опарина]. — М. : Транспорт, 1976. — 88 с.

28. *Туревский И. С.* Электрооборудование автомобилей : учеб. пособие / И. С. Туревский, В. Б. Соков, Ю. Н. Калинин. — М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2004. — 368 с.

29. *Чижков Ю. П.* Электрооборудование автомобилей : учебник / Ю. П. Чижков, А. В. Акимов. — М. : За рулем, 1999. — 384 с.

30. *Чижков Ю. П.* Электрооборудование автомобилей : курс лекций / Ю. П. Чижков. — Ч. 1. — М. : Машиностроение, 2002. — 239 с.

31. *Чижков Ю. П.* Электрооборудование автомобилей : курс лекций / Ю. П. Чижков. — Ч. 2. — М. : Машиностроение, 2002. — 319 с.

32. Электронное управление автомобильными двигателями / [Г. П. Покровский, Е. А. Белов, С. Г. Драгомиров и др.] ; под общ. ред. Г. П. Покровского. — М. : Машиностроение, 1994. — 336 с.

33. Электрооборудование автомобилей : устранение и предупреждение неисправностей / [Ю. Л. Тимофеев и др.]. — М. : Транспорт, 1998. — 298 с.

34. *Чумаченко Ю. Т.* Автомобильный электрик : Электрооборудование и электронные системы автомобилей : учеб. пособие / Ю. Т. Чумаченко, А. А. Федорченко. — Ростов н/Д : Феникс, 2004. — 352 с.

35. Электрооборудование автомобилей : справочник / [А. В. Акимов, О. А. Акимов, С. В. Акимов и др.] ; под ред. Ю. П. Чижкова. — М. : Транспорт, 1993. — 223 с.

36. *Ютт В. Е.* Электрооборудование автомобилей : учебник / В. Е. Ютт. — М. : Горячая линия — Телеком, 2006. — 440 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
<b>Глава 1. Система электроснабжения .....</b>	<b>4</b>
1.1. Общие сведения .....	4
1.2. Генераторные установки .....	4
1.2.1. Генераторы .....	5
1.2.2. Регуляторы напряжения .....	13
1.3. Аккумуляторные батареи .....	22
1.3.1. Общие сведения .....	22
1.3.2. Физико-химический процесс свинцового кислотного аккумулятора .....	24
1.3.3. Конструкция аккумуляторных батарей .....	26
1.3.4. Состав электролита для кислотных аккумуляторов .....	30
1.3.5. Основные характеристики аккумуляторной батареи .....	31
1.3.6. Заряд аккумуляторных батарей .....	40
1.3.7. Неисправности аккумуляторов .....	41
1.4. Параллельная работа генератора и аккумуляторной батареи .....	44
<b>Глава 2. Пусковые системы .....</b>	<b>47</b>
2.1. Общие сведения .....	47
2.2. Условия пуска двигателя .....	48
2.3. Электрическая пусковая система .....	53
2.4. Средства облегчения пуска двигателя .....	82
<b>Глава 3. Системы зажигания .....</b>	<b>89</b>
3.1. Общие сведения .....	89
3.2. Классификация систем электрического зажигания .....	90
3.3. Показатели работы системы зажигания .....	92
3.4. Батарейные системы зажигания .....	94
3.4.1. Классическая система зажигания .....	95
3.4.2. Система зажигания с электронной коммутацией первичного тока и контактным управлением .....	105
3.4.3. Системы зажигания с электронной коммутацией первичного тока и бесконтактным управлением .....	110
3.4.4. Коммутаторы бесконтактных систем зажигания .....	118
3.4.5. Цифровые системы зажигания .....	120
3.4.6. Управление моментом искрообразования .....	124
3.4.7. Конструктивное исполнение приборов батарейного зажигания .....	125
3.5. Свечи зажигания .....	128
3.5.1. Конструкция свечей зажигания .....	128
3.5.2. Условия работы свечи зажигания на двигателе .....	129
3.5.3. Тепловые характеристики и маркировка свечей зажигания .....	132
3.6. Подавление радиопомех в системах зажигания .....	135
<b>Глава 4. Светотехническое и вспомогательное оборудование .....</b>	<b>137</b>
4.1. Общие сведения .....	137
4.2. Светотехническое оборудование .....	138
4.2.1. Рабочий процесс светового прибора .....	138

4.2.2. Световые приборы головного освещения .....	141
4.2.3. Светосигнальные приборы .....	149
4.2.4. Источники света .....	157
4.2.5. Система обозначения световых приборов .....	161
4.3. Вспомогательное оборудование .....	163
4.3.1. Звуковые сигнальные приборы .....	163
4.3.2. Электропривод вспомогательного оборудования .....	167
4.3.3. Электропривод технологического оборудования .....	171
<b>Глава 5. Информационно-диагностическая система .....</b>	<b>174</b>
5.1. Общие сведения .....	174
5.2. Контрольно-измерительные приборы .....	175
5.2.1. Приборы измерения температуры .....	175
5.2.2. Приборы измерения давления .....	176
5.2.3. Приборы измерения уровня жидкости .....	178
5.2.4. Приборы контроля зарядного режима аккумуляторной батареи ....	180
5.2.5. Приборы контроля частоты вращения и скорости .....	182
5.2.6. Тахографы .....	187
5.3. Бортовая система контроля .....	189
5.4. Система встроенных датчиков .....	191
5.5. Электронные информационные устройства .....	192
<b>Глава 6. Коммутационная аппаратура. Проводная и защитная система .....</b>	<b>194</b>
6.1. Коммутационная аппаратура .....	194
6.2. Автотракторные провода .....	197
6.3. Защитная аппаратура .....	201
Заключение .....	204
Список литературы .....	205

*Учебное издание*

**Волков Владимир Сергеевич**  
**Электрооборудование транспортных**  
**и транспортно-технологических машин**

**Учебное пособие**

Редактор *С. И. Зубкова*. Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*  
Компьютерная верстка: *Р. Ю. Волкова*. Корректор *Л. Н. Горожанина*

Изд. № 101113636. Подписано в печать 29.06.2010. Формат 60×90/16.  
Гарнитура «Ньютон». Печать офсетная. Бумага офс. № 1. Усл. печ. л. 13,0.  
Тираж 1 500 экз. Заказ № 30477.

Издательский центр «Академия». [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)  
125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 26б.  
Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.  
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.  
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.60.953.Д.007831.07.09 от 06.07.2009.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных издательством  
электронных носителей в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат».  
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. [www.sarpk.ru](http://www.sarpk.ru)



В. С. ВОЛКОВ

# ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

*Допущено  
Учебно-методическим объединением  
по образованию в области транспортных машин  
и транспортно-технологических комплексов  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности «Сервис транспортных и технологических машин  
и оборудования (автомобильный транспорт)» направления подготовки  
«Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2010

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ  
ТРАНСПОРТНЫХ  
И ТРАНСПОРТНО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
МАШИН**



**Издательский центр «Академия»**  
[www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)