

Александр Фещенко (г. Москва)

Эксплуатационные показатели автомобильных аккумуляторных батарей

Основное назначение автомобильной аккумуляторной батареи — питание стартера при пуске двигателя. Поэтому на автомобилях применяются батареи стартерного типа, которые обеспечивают достаточно высокое разрядное напряжение на полюсных выводах при разрядном токе, сила которого в несколько раз превышает номинальную емкость батареи. Эта величина разрядного напряжения должна быть такой, чтобы при пуске холодного двигателя в условиях отрицательных температур стартерный электродвигатель прокручивал коленчатый вал двигателя с частотой не ниже минимальной пусковой, а также надежно работали система зажигания и тяговое реле стартера.

Пусковые качества аккумуляторной батареи определяются ее внутренним электрическим сопротивлением. Сопротивление батареи зависит как от конструктивных, так и от внешних факторов, главными из которых являются температура электролита и степень разряженности. По мере снижения температуры электролита и увеличении степени разряженности внутреннее сопротивление батареи возрастает, т.е. при неизменном токе разряда напряжение на выводах батареи уменьшается. Питание стартера при низком напряжении приводит к тому, что его ротор вращается медленнее, что является одной из причин затрудненного пуска двигателя при низких температурах окружающей среды. Для конкретных условий разряда (температура, степень разряженности) величина внутреннего сопротивления в основном зависит от числа электродов в аккумуляторах батареи и особенностей ее конструкции. В настоящее время выпускаются различные автомобильные стартерные батареи: традиционные с отдельными крышками, малообслуживаемые, необслуживаемые, гибридные, герметизированные с гелеобразным электролитом и др. Очевидно, из ряда аккумуляторных батарей, имеющих сопоставимые размеры и одинаковую номинальную емкость (С20), лучшими показателями стартерного разряда будет обладать батарея с меньшим внутренним сопротивлением. Высокие показатели стартерного разряда современных аккумуляторных батарей достигаются за счет применения следующих конструктивных решений:

- тонких электродов с улучшенной конфигурацией решеток из малосурьмянистого или свинцово-кальциевого (бессурьмянистого) сплавов с многокомпонентными добавками, которые обладают малым электрическим сопротивлением;
- тонкостенных сепараторов-конвертов из микропористого полиэтилена, обладающих высокими показателями электрической проводимости;
- укороченных межэлементных соединений через отверстия в перегородках моноблока;

– специальных добавок в активные вещества электродов.

Величина внутреннего электрического сопротивления аккумуляторной батареи в зависимости от ее типа и условий разряда составляет сотые и тысячные доли Ом. Поэтому на практике пусковые качества стартерной батареи оцениваются величиной тока «холодной прокрутки», которая указана на корпусе или крышке батареи. Существует несколько методик определения тока «холодной прокрутки», которые регламентированы стандартами SAE J537 (США), DIN 43539, часть 2 (Германия) и EN-60095-1 (страны Европейского экономического сообщества) (табл. 1). Во всех стандартах предусмотрены испытания полностью заряженных батарей при температуре — 18°C (0°F)* в режиме разряда таким максимальным током (I_{SAE} , I_{DIN} или I_{EN}), при котором по истечении определенного времени t_p (30 или 10 с) напряжение на выводах 12-вольтовой батареи соответствует нормированному уровню (7,2; 9,0 или 7,5 В). На стартерные батареи отечественного производства распространяется ГОСТ 959-2002 (введен с июля 2003 г.), согласно которому ток «холодной прокрутки» указывается в соответствии с требованиями EN-60095-1**.

В отличие от методик SAE и DIN, в стандарте EN время стартерного разряда принято равным 10 с. Для полностью заряженной батареи, подвергнутой предварительному циклированию, в режиме постоянства разрядного тока, ее напряжения на 10 и 30 с различаются незначительно, т.е. влиянием продолжительности разряда в указанном диапазоне можно пренебречь. Тогда можно предположить, что параметры разряда аккумуляторной батареи по методикам SAE, DIN и EN являются координатами точек общей вольт-амперной характеристики (рис. 1). Связующим звеном, позволяющим провести сопоставление показателей стартерного разряда, является внутреннее сопротивление батареи, которое рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{\text{в}} = \frac{U_{\text{HP}} - U_{\text{P}}}{I_{\text{ХП}}} = \frac{U_{\text{HP}} - 7,2}{I_{\text{SAE}}} = \frac{U_{\text{HP}} - 9}{I_{\text{DIN}}} = \frac{U_{\text{HP}} - 7,5}{I_{\text{EN}}}, \quad (1)$$

где U_{HP} — начальное разрядное напряжение при $I_{\text{P}} = 0$.

Учитывая, что в пределах диапазона рабочих токов, потребляемых стартером, вольт-амперная характеристика батареи аппроксимируется линейной зависимостью (см. рис. 1), из выражения (1) можно установить связь между нормативными значениями тока «холодной прокрутки»:

$$6 I_{\text{EN}} = 5 I_{\text{SAE}} + I_{\text{DIN}}. \quad (2)$$

* °F — градус Фаренгейта.

** Ранее действовал ГОСТ 959-91, согласно которому ток «холодной прокрутки» соответствовал нормам DIN 43539, ч. 2.

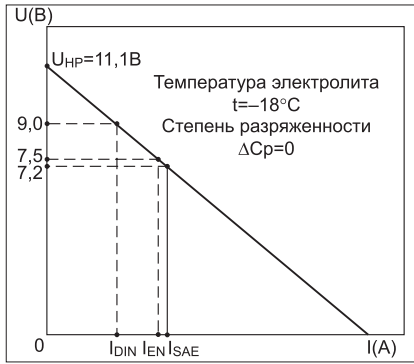


Рис. 1. Нормативные показатели стартерного разряда аккумуляторной батареи на ее вольт-амперной характеристике

Нормативные показатели стартерного режима разряда аккумуляторных батарей для различных стандартов приведены в таблице.

Независимо от номинальной емкости при 100% зарядности батареи и температуре электролита -18°C величина $U_{HP} = 11,5 \text{ В}$

Нормативные показатели стартерного режима разряда аккумуляторных батарей

Показатели	Стандарты		
	SAE J537	DIN 43539, ч.2	EN-60095-1
Температура электролита $t_э, ^{\circ}\text{C}$	-18	-18	-18
Длительность разряда $\tau_p, \text{с}$	30	30	10
Разрядное напряжение $U_p, \text{В}$	7,2	9,0	7,5
Разрядный ток $I_{\text{пл}}, \text{А}$	Нормирован для каждого типа батареи		
	I_{SAE}	I_{DIN}	I_{EN}

(1), тогда соотношения, связывающие токи «холодной прокрутки» по стандартам SAE, DIN и EN, выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} I_{\text{SAE}} &= 1,72 I_{\text{DIN}} \text{ или } I_{\text{DIN}} = 0,58 I_{\text{SAE}}, \\ I_{\text{SAE}} &= 1,07 I_{\text{EN}} \text{ или } I_{\text{EN}} = 0,93 I_{\text{SAE}}, \\ I_{\text{EN}} &= 1,6 I_{\text{DIN}} \text{ или } I_{\text{DIN}} = 0,625 I_{\text{EN}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Пересчет нормативных показателей стартерного разряда аккумуляторных батарей, выпускаемых по различным стандартам, по приведенным выше соотношениям (3) позволяет привести сопоставимую оценку пусковых качеств батарей по любому, принятому при сравнении току «холодной прокрутки».

Поскольку ток «холодной прокрутки» является нормативным показателем, то производители аккумуляторных батарей задают его величину с некоторым производственным запасом. Поэтому расчетные значения токов могут несколько отличаться от фактических данных, если они приведены в каталогах или проспектах фирм-производителей. На рис. 2-4 приведено сравнение результатов расчета по (3) с каталожными данными по батареям некоторых фирм.

Способность аккумуляторной батареи обеспечивать необходимый минимум электрической энергии на автомобиле в аварийных случаях оценивается показателем «резервная емкость».

Резервная емкость определяется временем разряда в минутах полностью заряженной батареи при тем-

пературе $+27^{\circ}\text{C}$ током силой 25 А до конечного напряжения на аккумуляторе, равном 1,75 В (10,5 В на 12 В батарее).

Этот показатель позволяет знать время, в течение которого автомобиль может продолжать движение в случае отказа генератора, регулятора напряжения или обрыва приводного ремня генератора, а суммарная сила тока нагрузки системы зажигания и освещения, стеклоочистителя и контрольно-измерительных приборов в режиме движения «зима, ночь».

Автомобильная аккумуляторная батарея, как химический источник тока, характеризуется разрядной емкостью, т.е. количеством электричества, которое можно от нее получить при данных условиях разряда (температура, ток, конечное напряжение). Разрядная емкость батареи выражается в ампер-часах (А·ч)^{***}.

При постоянной силе тока разрядную емкость C_p находят умножением силы разрядного тока I_p на продолжительность разряда τ_p ($C_p = I_p \cdot \tau_p$).

^{***} В системе СИ количество электричества (заряд) измеряется в кулонах (1 Кл = 1 А·с). Однако эта единица измерения очень мелкая, поэтому на практике используют внесистемную единицу А·ч (1 А·ч = 3600 Кл).

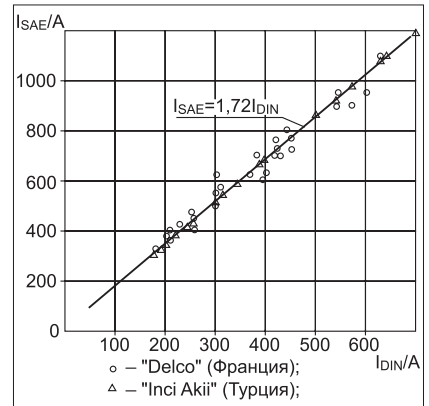


Рис. 2. Зависимость между значениями тока «холодной прокрутки» по нормам SAE и DIN

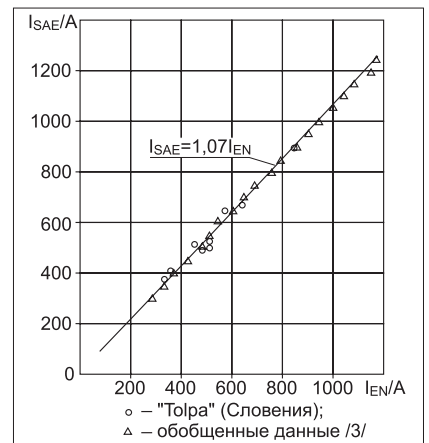


Рис. 3. Зависимость между значениями тока «холодной прокрутки» по нормам SAE и EN

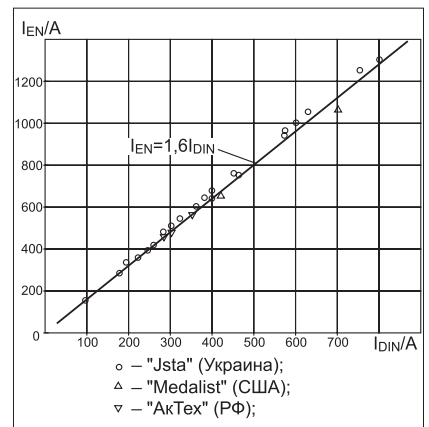


Рис. 4. Зависимость между значениями тока «холодной прокрутки» по нормам EN и DIN

Для автомобильных батарей стартерного типа номинальной разрядной емкостью C_{20} , гарантируемой фирмой-изготовителем, считается емкость 20-часового режима разряда. Разряд батарей при испытании на емкость 20-часового режима разряда проводят током $I_p = 0,05 C_{20}$ при температуре $+25^\circ\text{C}$ до конечного разрядного напряжения 10,5 В у 12-вольтовой батареи (1,75 В на аккумулятор).

Зависимость между резервной M и номинальной C_{20} емкостями батареи можно установить по формуле, связывающей величины разрядного тока и продолжительности разряда. Известно более 10 эмпирических формул для пересчета емкости батареи при изменении условий разряда. В данном случае удобнее воспользоваться формулой Либенова [2].

$$C_p = \frac{a}{b + I_p}, \quad (4)$$

где a, b — постоянные коэффициенты.

Тогда по (4) для $M/60$ — и 20-часовых режимов разряда можно записать следующее:

$$\frac{25 \cdot M}{60} = \frac{a}{b + I_p}, \quad C_{20} = \frac{a}{b + 0,05 \cdot C_{20}}, \quad (5)$$

откуда

$$M = \frac{2,4 C_{20} (b + 0,05 \cdot C_{20})}{b + 25}. \quad (6)$$

Численное значение коэффициента в определяем для контрольной точки $C_{20} = 55 \text{ А}\cdot\text{ч}$, $M = 100 \text{ мин}$ — $b = 66,8$.

Тогда зависимость резервной емкости батареи от ее номинальной емкости примет окончательный вид:

$$M = 0,0013 C_{20} (1336 + C_{20}). \quad (7)$$

Сопоставимость результатов расчета по (7) с каталожными данными по батареям некоторых фирм приведена на рис. 5.

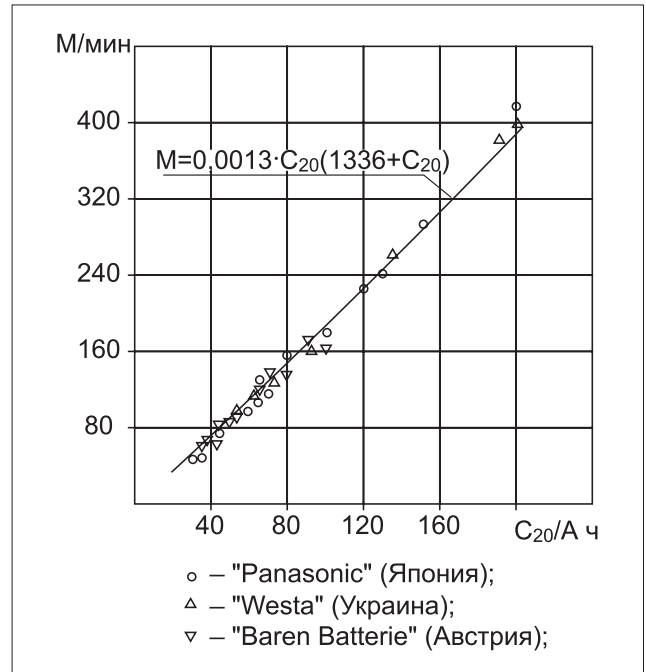


Рис. 5. Зависимость между значениями резервной и номинальной емкостями стартерных аккумуляторных батарей

Найденное по (7) численное значение резервной емкости позволяет водителю в случае отказа генераторной установки определить время, в течении которого батарея обеспечивает работу всем потребителям, необходимым для безопасного движения в неблагоприятных условиях (ночь, осадки) до ближайшей станции техобслуживания.

Литература

1. РТМ 37.003.028-83. Методика расчетного определения вольт-амперных и временных разрядных характеристик стартерных свинцовых батарей.
2. Дасоян М.А. Химические источники тока. — Л.: Энергия, 1969. — 587 с.
3. Курзуков Н.И., Ягнятинский В.М. Аккумуляторные батареи. Краткий справочник. — М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2003. — 88 с.