



А.А. Волков

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ
АВТОМОБИЛЕЙ,
ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И АВТОНОМНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Екатеринбург
2023

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)**

А.А. Волков

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ
АВТОМОБИЛЕЙ,
ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И АВТОНОМНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине
«Техническая эксплуатация автомобилей, электромобилей и автономных
транспортных средств» для обучающихся всех форм обучения по
направлению 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»

Екатеринбург
2023

Печатаются по рекомендации методической комиссии **Инженерно-технического** института.

Протокол [REDACTED]

Рецензент – канд. с.-х. наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой сервиса и эксплуатации наземного транспорта Сопига В.А.

Редактор
Оператор компьютерной верстки

Подписано в печать		Поз. [REDACTED]
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л.	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ВВЕДЕНИЕ

Надежное функционирование электрического и электронного оборудования автомобиля зависит от бесперебойной работы системы электроснабжения, обеспечивающей производство электрической энергии в необходимом количестве и заданного качества в любых условиях эксплуатации. Система электроснабжения состоит из генератора, регулятора напряжения и аккумуляторной батареи.

Основным источником электроэнергии в системе электроснабжения автомобиля является генератор, приводимый во вращение от двигателя внутреннего сгорания. Аккумуляторная батарея рассматривается как вспомогательный источник энергии, основное назначение которого – питание электрического стартера при пуске двигателя. Следовательно, ее емкость определяется из условия надежного пуска двигателя в заданных условиях. Кроме того, аккумуляторная батарея обеспечивает питание потребителей электрической энергии на автомобиле при неработающем двигателе, а также их питание совместно с генератором в случае, когда мощность включенных потребителей превышает мощность генератора. При выходе из строя генераторной установки аккумуляторная батарея должна обеспечивать питание минимально включенных потребителей на автомобиле в течение определенного времени, характеризуемого резервной емкостью батареи. Если мощность, отдаваемая генератором, больше мощности включенных потребителей, то происходит заряд батареи. Таким образом, аккумуляторная батарея на автомобиле выполняет функции как источника, так и приемника электрической энергии.

В течение срока службы батарея должна находиться в качественном состоянии, определяемом степенью заряженности и величиной внутреннего сопротивления. Срок службы батареи зависит от режима работы. Глубокие разряды или постоянный перезаряд резко снижают срок службы аккумуляторной батареи. При правильно выбранной системе электроснабжения на автомобиле создаются условия работы аккумуляторной батареи, при которых обеспечивается максимально возможный срок службы. Выходные характеристики системы электроснабжения должны быть выбраны таким образом, чтобы при любых условиях работы автомобиля не наблюдался прогрессирующий разряд батареи, при этом генераторная установка должна своевременно и качественно восполнять аккумуляторной батарее то количество электричества, которое она отдает потребителям, в том числе электрическому стартеру при пуске двигателя.

Соответствие системы электроснабжения динамике автомобиля и установленным на нем электропотребителям проводится по балансу электроэнергии, под которым понимается разница между количеством

электричества, вырабатываемого генератором за единицу времени, и количеством электричества, необходимого для питания установленных на автомобиле потребителей.

1. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА АВТОМОБИЛЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ

Электропотребители на автомобиле классифицируются по двум признакам:

а) времени работы по отношению ко времени движения автомобиля;

б) по рабочему режиму (в соответствии с ГОСТ 52230-2004 [1] изделия электрооборудования в зависимости от рабочего режима изготавливаются: в продолжительном S_1 , кратковременном S_2 и повторно-кратковременном S_3 исполнениях).

Согласно принятой классификации все потребители электрической энергии на автомобиле делятся на 4 группы.

Группа 1. Потребители длительного включения

Одна часть потребителей этой группы включена и работает в течение всего времени движения автомобиля, например: система топливоподачи, впрыска топлива и зажигания, контрольно-измерительные приборы, электродвигатель масляного насоса, вентилятор салона, дневные ходовые огни, электродвигатель привода компрессора кондиционера. Другая часть работает только во время ночной езды: фары, габаритные фонари, лампы освещения приборов, фонарь освещения номерного знака.

Группа 2. Временно включаемые потребители

Потребители этой группы включаются и работают по потребности в течение ограниченных, но довольно длительных промежутков времени в зависимости от дорожных, погодных и прочих условий: сигнал торможения, указатель поворота, противотуманные фары и фонари, зарядные устройства навигатора, телефона, видеорегистратора и т.п.), электропривод роботизированной коробки переключения передач, аудиосистема, телевизор, стеклоочиститель, стеклоомыватель, электрическая муфта кондиционера и др.

Группа 3. Кратковременно включаемые потребители

Время включения потребителя данной группы составляет от долей секунды до нескольких секунд, а суммарное время включения потребителя за поездку, как правило, не превышает 1–2 мин. К таким потребителям, например, относятся: звуковой сигнал, сигнальные лампы аварийных режимов, прикуриватель, электроподъемник оконных стёкол, фароомыватели, электропривод зеркал и регулировки передних сидений, электропривод багажного отделения (на автомобилях высокого класса) и т.д.

Группа 4. Потребители, включаемые на стоянках

Потребители этой группы питаются только от аккумуляторной батареи, и расход энергии на эти потребители должен быть возмещен в процессе последующего движения автомобиля. В данную группу входят: стартер, электродвигатель предпускового подогревателя, свечи накаливания (для дизельных двигателей), лампы освещения кабины (пассажирского салона), лампы освещения габаритов открытой двери и багажника, подкапотная и переносные лампы.

Величина потребляемого тока приемников электрической энергии зависит от условий эксплуатации автомобиля. Например, ток, потребляемый электродвигателем стеклоочистителя, при отсутствии осадков (дождя, снега) равен нулю, а при их наличии зависит от режима работы стеклоочистителя (интенсивности осадков) и состояния поверхности очищаемого стекла. При движении автомобиля по шоссе зимой ночью работает максимальное количество потребителей электрической энергии, устанавливаемых на автомобиле (режим максимальной электрической нагрузки). Часть потребителей работает в повторно-кратковременном режиме (например, электромагнитная муфта вентилятора) или непрерывно, но с изменяющимся значением тока. Эквивалентный ток таких потребителей при расчете зарядного баланса определяется как среднее арифметическое значение¹. Таким образом, режим работы электропотребителей на автомобиле характеризуется широким диапазоном и случайным характером нагрузки.

Все возможные условия эксплуатации автомобиля можно свести к типовым режимам работы, которые принимаются при расчете баланса электроэнергии.

Для автомобилей и автобусов общего назначения, не имеющих установки кондиционирования воздуха:

- а) режим движения по шоссе ночью зимой;
- б) режим движения по шоссе днем зимой;
- в) режим движения в городе ночью зимой;
- г) режим движения в городе днём зимой.

Для автомобилей и автобусов, оборудованных установками для кондиционирования воздуха (потребляющим электроэнергию), режимы а), б), в), г) проверяются для условий движения летом (с работающим кондиционером).

Для типовых режимов работы автомобиля совокупности случайных значений тока потребителей оказываются статически устойчивыми и вполне закономерными². Эта закономерность может быть выра-

¹ Среднее квадратичное значение тока принимается при расчете изделий электрооборудования на нагрев.

² Для экспериментального определения статистических характеристик применяются специальные приборы статического учета (режимомеры).

жена коэффициентом времени работы потребителя по отношению ко времени работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) K_t и коэффициентом нагрузки K_H для потребителей, имеющих несколько ступеней включения, соответствующих работе с различной нагрузкой.

На основании статического анализа режимов работы потребителей определены значения коэффициентов K_t и K_H [2] (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Значения коэффициентов нагрузки и времени работы $K_H \cdot K_t^3$ потребителей электроэнергии на автомобиле

Потребители электроэнергии	Движение в городских условиях		Движение по магистрали	
	зима	лето	зима	лето
1	2	3	4	5
Фары передние: – дальний свет;	—	—	$\frac{0}{1,0}$	$\frac{0}{1,0}$
– ближний свет;	$\frac{0}{1,0}$	$\frac{0}{1,0}$	—	—
Дневные ходовые огни (городской свет)	$\frac{1,0}{0}$	$\frac{1,0}{0}$	$\frac{1,0}{0}$	$\frac{1,0}{0}$
Фары сверхдальнего света, прожектор	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0,3}$	$\frac{0}{0,3}$
Противотуманные фары	$\frac{0,2}{0,2}$	$\frac{0,2}{0,2}$	$\frac{0,3}{0,3}$	$\frac{0,3}{0,3}$
Габаритные фонари передние ⁴	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$
Габаритные фонари задние	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$
Фонарь освещения номерного знака	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$
Указатель поворота: передний, задний, боковой	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,1}{0,1}$
Сигнал торможения: основной и дополнительный	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,05}{0,05}$	$\frac{0,05}{0,05}$
Антиблокировочная система (АБС)	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,05}{0,05}$	$\frac{0,05}{0,05}$
Дополнительные постоянно включаемые фонари: контурные, опознавательные и т.п.	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$
Освещение приборов	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$
Противотуманные фонари	$\frac{0,3}{0,3}$	$\frac{0,3}{0,3}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,5}{0,5}$

³ Примечание: в числителе приведены значения для дня, в знаменателе – ночь.

⁴ В дневное время суток днем включены дневные ходовые огни, и габаритные огни не работают. При включении ближнего света дневной ходовой огонь выключается, и включаются габаритные огни. Часто функции объединяют, и ходовые огни диммируются, снижая яркость источника. Они начинают выполнять роль габаритных огней [7].

Продолжение табл. 1.1

Потребители электроэнергии	Движение в городских условиях		Движение по магистрали	
	зима	лето	зима	лето
1	2	3	4	5
Внутреннее освещение автобусов	$\frac{0}{1,0}$	$\frac{0}{1,0}$	$\frac{0}{1,0}$	$\frac{0}{1,0}$
Приборы (датчики, панель комбинации приборов, электронный щиток и бортовая система контроля (БСК), маршрутный компьютер и т.п.)	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$
Система автоматического управления (САУ) ДВС (системы топливоподачи, впрыска топлива, зажигания)	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$
Стеклоочистители – передний;	$\frac{0,2}{0,2}$	$\frac{0,2}{0,2}$	$\frac{0,2}{0,2}$	$\frac{0,2}{0,2}$
– задний	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,15}{0,15}$	$\frac{0,15}{0,15}$
Стеклоомыватели	$\frac{0,05}{0,05}$	$\frac{0,05}{0,05}$	$\frac{0,05}{0,05}$	$\frac{0,05}{0,05}$
Система вентиляции салона	—	$\frac{1,0}{0,5}$	—	—
Холодильник	—	$\frac{1,0}{1,0}$	—	$\frac{1,0}{1,0}$
Электроклапаны (сервопривод) автоматического управления трансмиссией	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,05}{0,05}$	$\frac{0,05}{0,05}$
Кондиционер	—	$\frac{1,0}{0,3}$	—	$\frac{1,0}{0,3}$
Электродвигатель, муфта системы охлаждения ДВС	$\frac{0,1}{0}$	$\frac{0,3}{0,2}$	—	$\frac{0,1}{0,1}$
Электродвигатель отопителя: – основной;	$\frac{1,0}{1,0}$	—	$\frac{1,0}{1,0}$	—
– добавочный	$\frac{0,5}{0,5}$	—	$\frac{0,5}{0,5}$	—
Устройство обогрева стекол	$\frac{1,0}{1,0}$	—	$\frac{1,0}{1,0}$	—
Устройство обогрева зеркал заднего вида	$\frac{0,6}{0,6}$	—	$\frac{0,6}{0,6}$	—
Устройство обогрева сидений	$\frac{0,2}{0,2}$	—	$\frac{0,2}{0,2}$	—
Аудиосистема, радио, мультимедийная система, телевизор	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,7}{0,7}$	$\frac{0,7}{0,7}$
Устройство подогрева замков дверей	$\frac{1,0}{1,0}$	—	$\frac{1,0}{1,0}$	—
Устройство подогрева жиклера стеклоомывателя	$\frac{1,0}{1,0}$	—	$\frac{1,0}{1,0}$	—
Устройство подогрева низкозамерзающей жидкости для очистки стекол	$\frac{1,0}{1,0}$	—	$\frac{1,0}{1,0}$	—
Электродвигатель вентиляции	—	—	—	$\frac{1,0}{1,0}$

Расчётный ток нагрузки определяется суммированием эквивалентных токов одновременно функционирующих электропотребителей в рассматриваемом режиме работы автомобиля

$$I_H = \sum I_{\text{ЭКВ}} = \sum I_{\text{ПОТР}} \cdot K_t \cdot K_H, \quad (1.1)$$

где $I_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный ток потребителя, А; $I_{\text{ПОТР}}$ – номинальный ток потребителя, определяемый по каталогу [3] или техническим условиям [4], А; K_t – коэффициент времени работы потребителя; K_H – коэффициент нагрузки.

Произведение коэффициентов $K_t \cdot K_H$ является коэффициентом спроса на электроэнергию.

Ток потребителей электроэнергии определяется при напряжении питания 13,5 или 27 В соответственно для электрооборудования с номинальным напряжением 12 и 24 В. Для грузовых автомобилей, предназначенных для работы с прицепом, расчётная нагрузка I_H определяется как для одиночного автомобиля, так и с учетом потребления электроэнергии светосигнальными фонарями прицепа и другими устройствами, обеспечивающими безопасность движения автопоезда.

Потребление электроэнергии потребителями *группы 3*, временно – временно и редко включаемыми, не учитывается, а расход энергии стартером и другими потребителями *группы 4*, включаемыми только на стоянках с неработающим двигателем, учитывается отдельно при расчете суточного баланса электроэнергии.

Ток, потребляемый лампами накаливания осветительных и светосигнальных приборов, определяется по формуле:

$$I_{\text{л}} = \frac{P_{\text{р}}}{U_{\text{р}}}, \quad (1.2)$$

где $U_{\text{р}}$ – расчётное напряжение лампы, В; $P_{\text{р}}$ – мощность лампы при расчётном напряжении, Вт.

Значения $U_{\text{р}}$ и $P_{\text{р}}$ приведены в Приложении 1 [5].

2. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ВЫБОРА МОЩНОСТИ ГЕНЕРАТОРА

Проверка правильности выбора мощности генератора проводится для режима максимальной электрической нагрузки, когда одновременно длительно включаемые приемники электрической энергии на автомобиле потребляют от генератора максимальный ток. Для автомобилей и автобусов общего назначения таким режимом является режим движения по междугородному шоссе ночью зимой. В автомобилях и автобусах, имеющих установки для кондиционирования воздуха, расчетная нагрузка потребителей проверяется для режима движения летом, и в дальнейшем расчете принимается большее значение из полученных значений расчетной нагрузки.

Расчетный ток потребителей в режиме максимальной электрической нагрузки определяется по формуле (1.1).

Минимально необходимая мощность генератора должна быть такой, чтобы в режиме максимальной электрической нагрузки был практически нулевой баланс электроэнергии и обеспечивался подзаряд аккумуляторной батареи установившимся зарядным током.

Тогда требуемый максимальный ток генератора, необходимый для обеспечения установившегося зарядного баланса в данном режиме

$$I_{\Gamma_{\max}} = \frac{I_{H_{\max}}}{1 - \text{ПР}},$$

где $I_{H_{\max}}$ – расчетный ток потребителей, включаемых при движении и на остановках с работающим двигателем в режиме максимальной электрической нагрузки, А; ПР – относительная продолжительность разряда аккумуляторной батареи.

При движении автомобиля по шоссе разряд аккумуляторной батареи возможен только в периоды движения автомобиля накатом, когда двигатель работает в режиме принудительного холостого хода. Следовательно, относительная продолжительность разряда батареи ПР при движении автомобиля по шоссе равна относительному времени наката. Установлено, что ПР = 0,13 для легковых автомобилей и ПР = 0,2 для грузовых автомобилей, тогда требуемый максимальный ток генератора будет определяться по формулам:

для легковых автомобилей

$$I_{\Gamma_{\max}} = 1,15 \cdot I_{H_{\max}}; \quad (2.1)$$

для грузовых автомобилей

$$I_{\Gamma_{\max}} = 1,25 \cdot I_{H_{\max}}, \quad (2.2)$$

где 1,15 и 1,25 – коэффициенты, учитывающие установившийся ток заряда батареи.

Требуемая мощность генератора

$$P_{\Gamma_{\min}} = U_{\text{НОМ}} \cdot I_{\Gamma_{\max}}, \quad (2.3)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение генератора (принимается равным 14 или 28 В соответственно для электрооборудования с номинальным напряжением 12 и 24 В).

Полученное расчётное значение $P_{\Gamma_{\min}}$ не должно превышать значения мощности штатного генератора рассматриваемого автомобиля при максимальной частоте вращения его ротора⁵, т.е. $P_{\Gamma_{\min}} \leq P_{\Gamma}$.

3. СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА

При работе автомобиля на скоростной режим генератора влияют, кроме параметров самого автомобиля, условия движения (движение по городу или шоссе, качество дорожного покрытия, интенсивность

⁵ Для автомобильных генераторов переменного тока $n_{\Gamma_{\max}} = 5000$ или 6000 мин^{-1} .

транспортного потока, погодные условия и т.д.). Пределы изменения частоты вращения генератора определяются частотой вращения коленчатого вала двигателя $n_{дв}$ и передаточным отношением привода i_r ($n_r = n_{дв} \cdot i_r$). Скоростной режим работы генератора, как и режим работы электропотребителей, характеризуется широким диапазоном и случайным характером. Однако для типовых режимов работы автомобиля скоростной режим работы генератора является статистически устойчивым и может быть описан функцией вероятности распределения или функцией плотности вероятности распределения частоты вращения ротора генератора (рис. 3.1).

Функция вероятности распределения частоты вращения ротора генератора $T(n_r)$ является монотонно возрастающей в пределах изменения величины n_r изменяется от 0 до 1. Функция плотности вероятности распределения частоты вращения ротора генератора $t(n_r)$ получается путем дифференцирования функции вероятности распределения $t(n_r) = dT(n_r)/dn_r$ и характеризует частоту повторений данного значения величины n_r . Учитывая связь между этими характеристиками, функцию вероятности распределения называют интегральной кривой, а функцию плотности вероятности – дифференциальной кривой распределения.

Скоростной режим работы генератора характеризуется коэффициентом оборотности

$$K_r = \frac{n_r}{V_a} \left[\frac{\text{ч}}{\text{мин} \cdot \text{км}} \right],$$

где n_r – частота вращения ротора генератора, мин^{-1} ; V_a – скорость автомобиля, км/ч .

Для сопоставления скоростных режимов генераторов разных марок автомобилей их приводят к единому (типовому) коэффициенту оборотности генератора, равному

$$K_r' = 60 \frac{\text{ч}}{\text{мин} \cdot \text{км}}.$$

Тогда, несмотря на многообразие марок автомобилей, скоростные режимы генераторов могут быть сведены к нескольким типовым кривым.

При расчете рассматривается наиболее неблагоприятный (с точки зрения обеспечения зарядного баланса) рабочий режим автомобиля – режим движения в крупном городе (минимальная скорость движения с частыми остановками, а, следовательно, низкая частота вращения ротора генератора). На рисунках 3.2–3.4 представлены типовые кривые скоростного режима генераторов в виде интегральных кривых распределения, т.е. зависимостей относительного времени работы генератора с частотой вращения ротора ниже данного значения [2], а в табл. 3.1 указаны значения относительного времени Δt работы генератора в интервалах частот вращения ротора для типового

скоростного режима при движении по городу. Для расчета баланса электроэнергии легкового автомобиля приняты рекомендации [6], согласно которым относительное время работы двигателя в режиме холостого хода равно $t_x=0,35$.

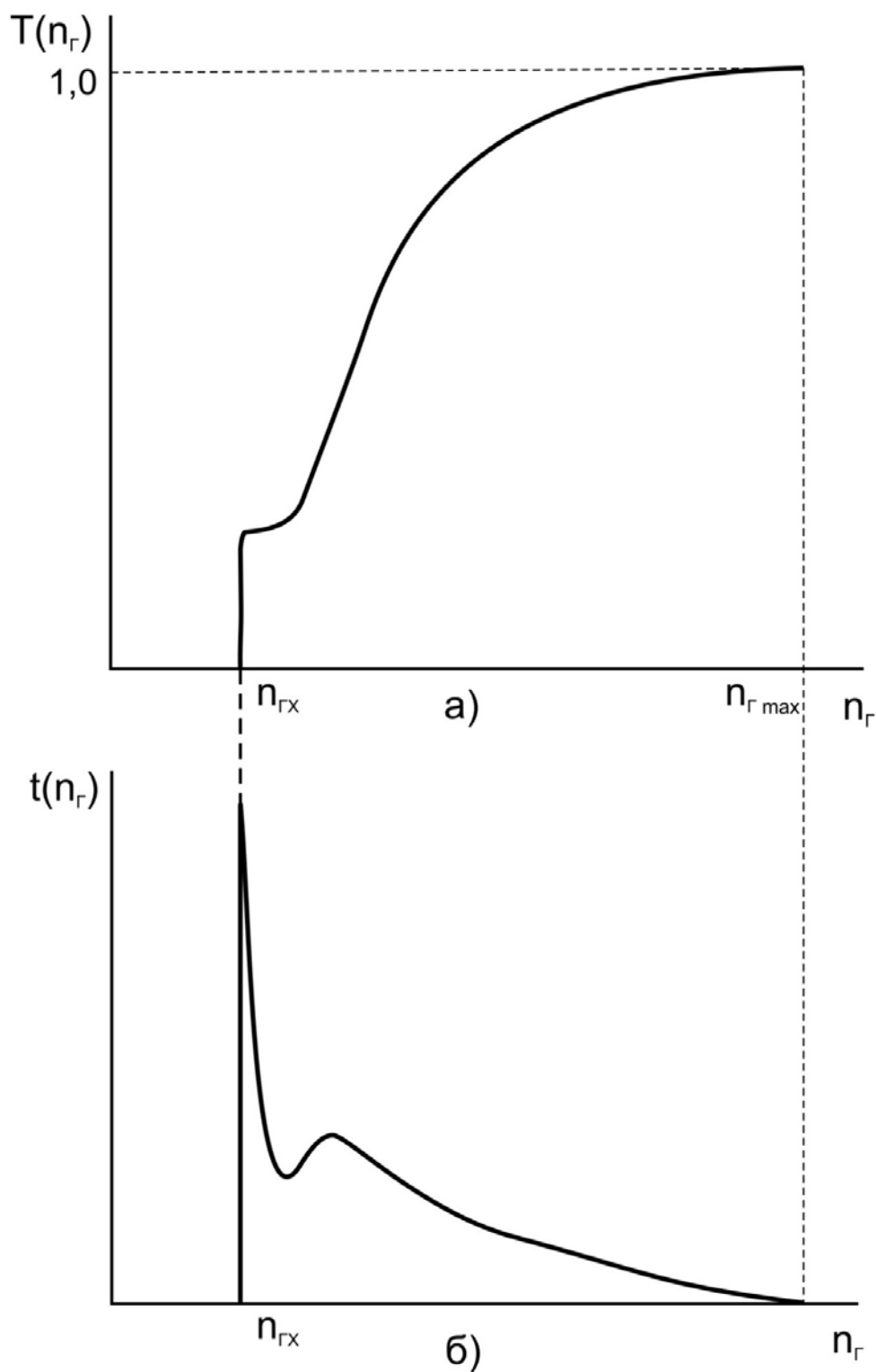


Рис. 3.1. Характеристики скоростного режима работы генератора:
 а – функция вероятности распределения; б – функция плотности вероятности распределения

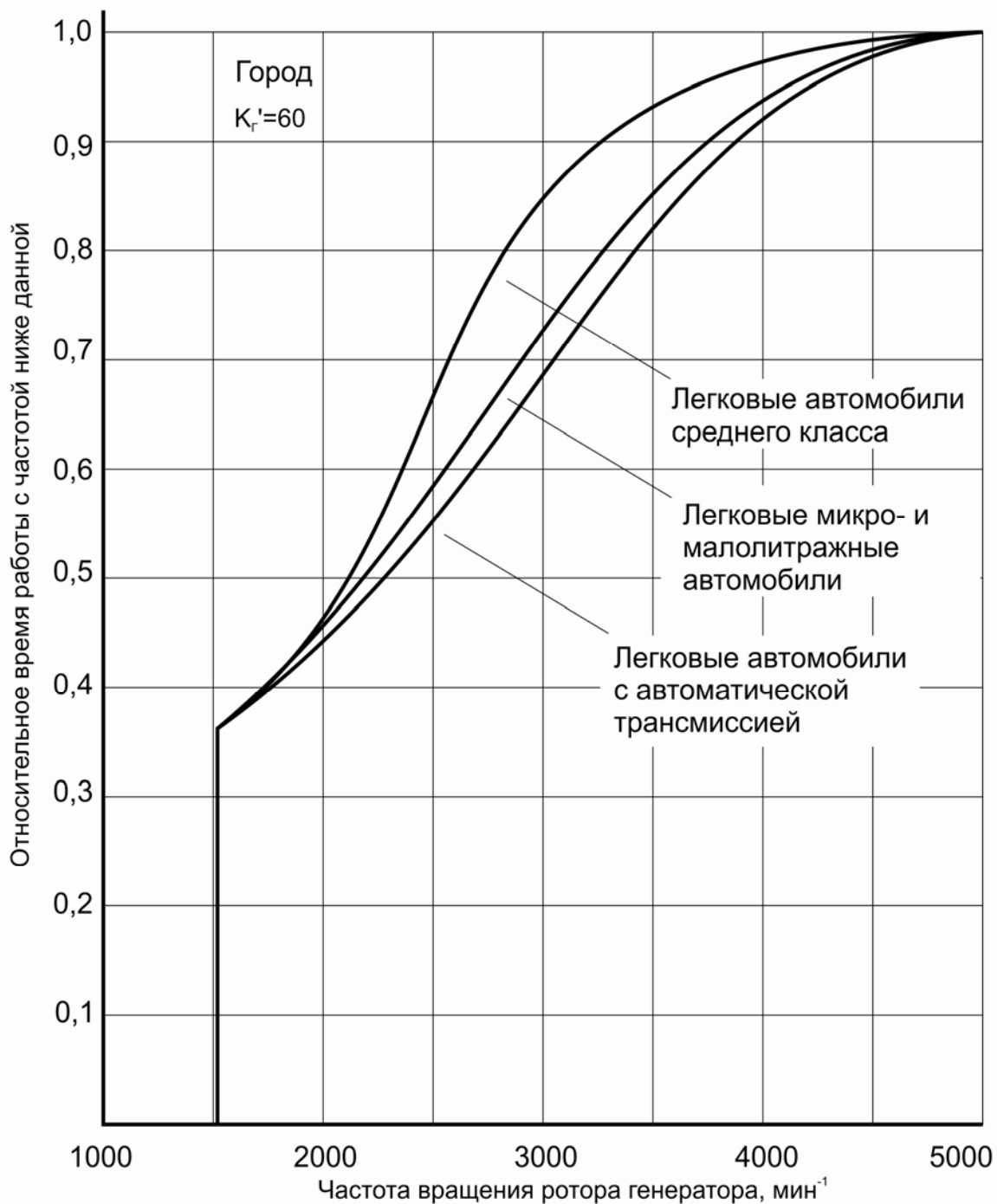


Рис. 3.2. Типовые кривые скоростного режима генераторов для расчета баланса электроэнергии легковых автомобилей

При расчете выбранная типовая кривая скоростного режима пересчитывается на фактический коэффициент оборотности генератора

$$K_{Г} = 2660 \cdot \frac{i_{Г} \cdot i_{КП} \cdot i_{ЗМ}}{R_{К}}, \quad (3.1)$$

где $i_{Г}$ – передаточное отношение привода генератора; $i_{КП}$ – передаточное отношение коробки перемены передач на высшей передаче при движении в городе (для автомобилей с гидротрансформатором рав-

но 1); i_{3M} – передаточное отношение главной передачи (заднего моста) с учётом добавочных или бортовых редукторов, если они имеются; R_k – статический радиус ведущих колес (с учетом смятия шин), мм.

Статический радиус колес определяется по параметрам шины автомобиля, которые указаны в ее маркировке. Расчет статического радиуса колес с учетом смятия шин приведен в Приложении 2.

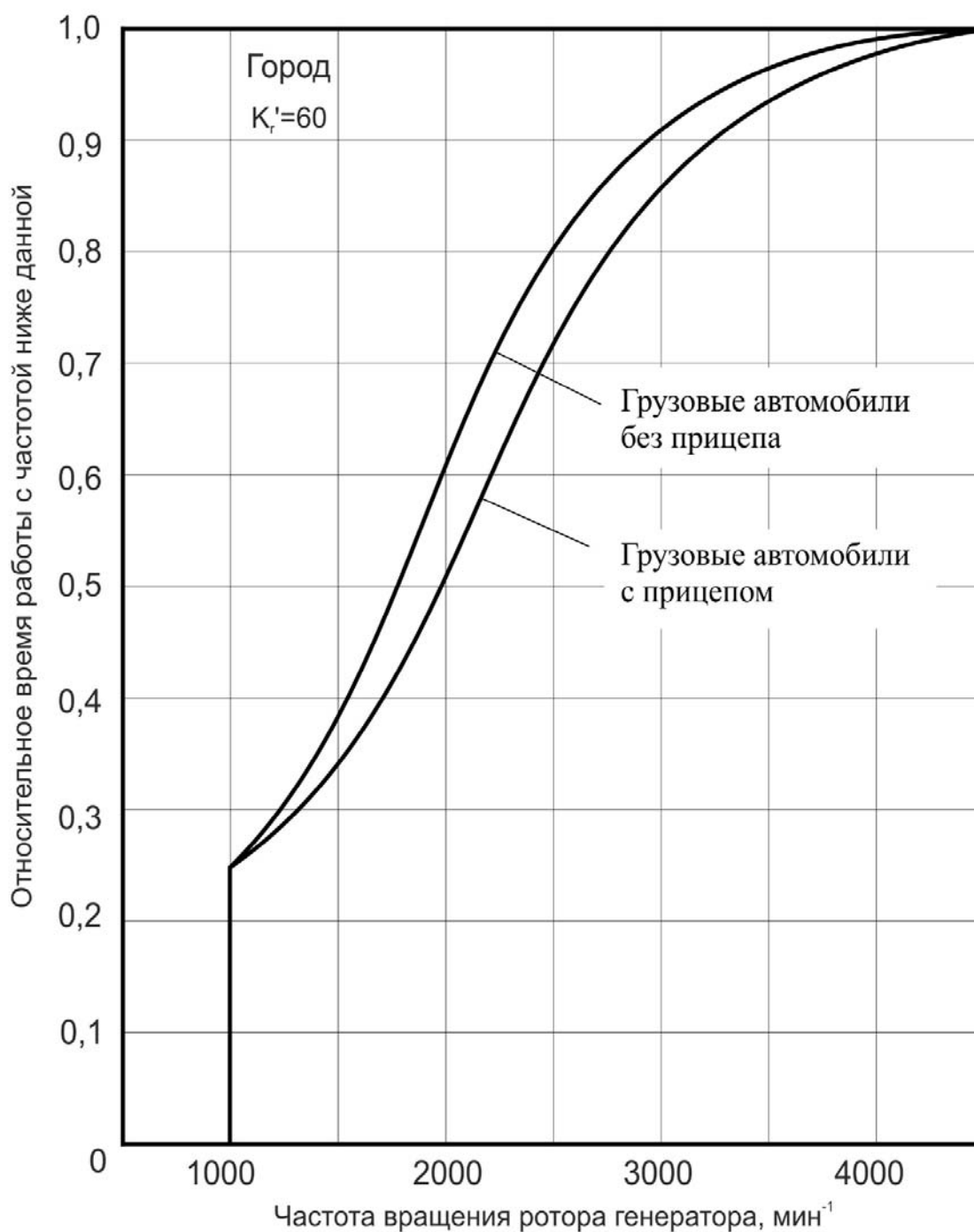


Рис. 3.3. Типовые кривые скоростного режима генераторов для расчета баланса электроэнергии грузовых автомобилей

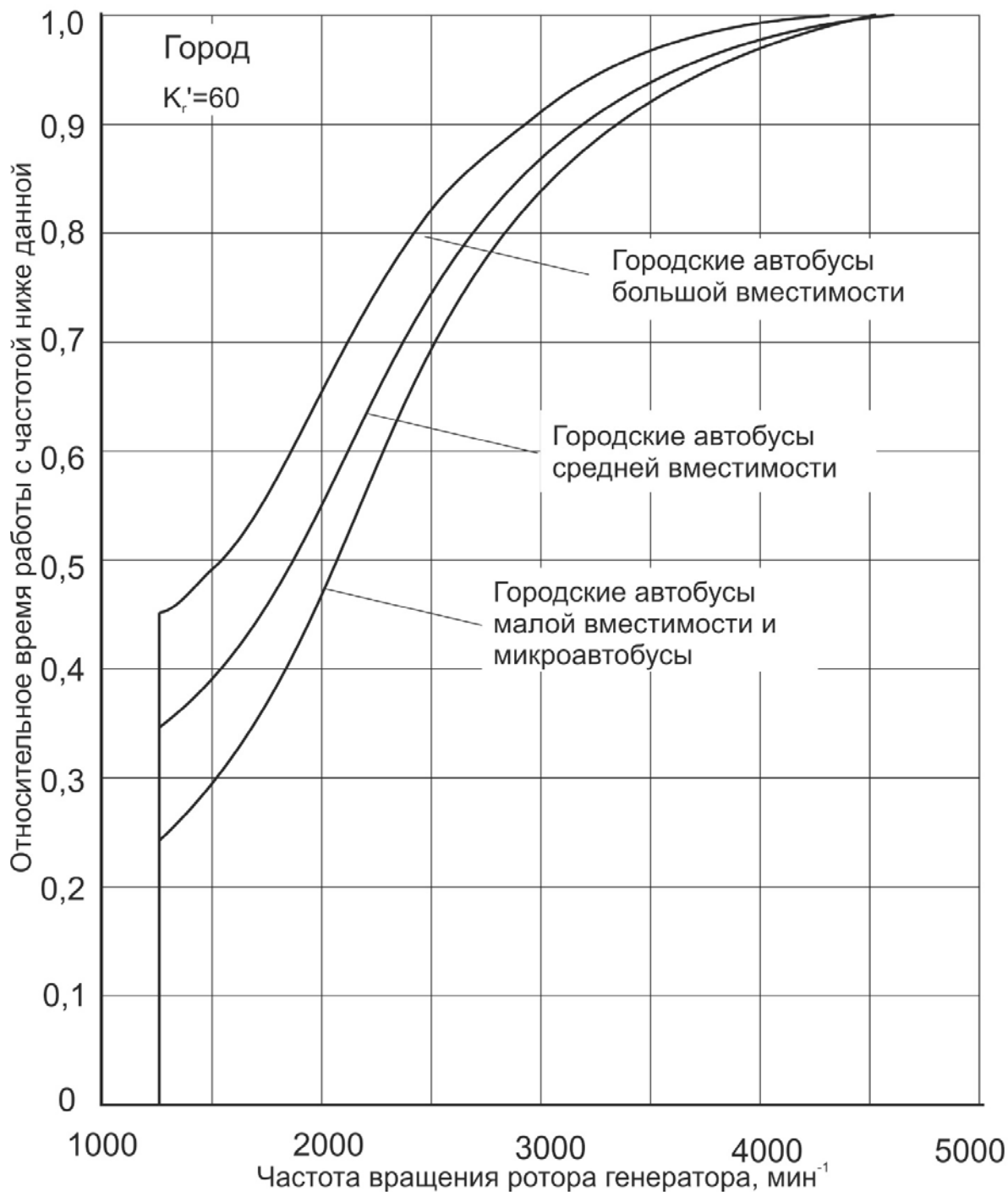


Рис. 3.4. Типовые кривые скоростного режима генераторов для расчета баланса электроэнергии городских автобусов

Пересчет типовой кривой скоростного режима генератора производится перемножением абсцисс кривой на отношение $K_r/60$ по формуле

$$n_r = n_r' \frac{K_r}{60}, \quad (3.2)$$

где n_r' – абсцисса кривой, соответствующая $K_r = 60$; n_r – пересчитанная абсцисса, соответствующая фактическому значению K_r .

Таблица 2.1

Относительное время работы автомобильного генератора в интервалах вращения ротора для типового скоростного режима при движении по городу ($K_r = 60$)

Частота вращения ротора, мин ⁻¹	Легковые автомобили			Грузовые автомобили		Городские автобусы		
	среднего класса	малого, особо малого класса	с автоматической коробкой передач	без прицепа	с прицепом	большой вместимости	средней вместимости	малой вместимости
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n'_{r\Gamma}$	0,350	0,350	0,350	0,250	0,250	0,450	0,350	0,250
1000...1250	0	0	0	0,055	0,045	0	0	0
1250...1500	0	0	0	0,085	0,055	0,030	0,050	0,050
1500...1750	0,055	0,050	0,045	0,110	0,070	0,070	0,075	0,075
1750...2000	0,065	0,055	0,050	0,100	0,080	0,100	0,090	0,105
2000...2250	0,095	0,070	0,055	0,120	0,125	0,090	0,100	0,120
2250...2500	0,115	0,070	0,065	0,090	0,105	0,075	0,085	0,100
2500...2750	0,095	0,070	0,065	0,060	0,080	0,060	0,070	0,080
2750...3000	0,075	0,075	0,065	0,045	0,055	0,045	0,055	0,070
3000...3250	0,055	0,065	0,065	0,030	0,040	0,030	0,050	0,045
3250...3500	0,035	0,055	0,060	0,020	0,030	0,020	0,020	0,035
3500...3750	0,020	0,045	0,055	0,015	0,020	0,015	0,020	0,020
3750...4000	0,015	0,035	0,050	0,010	0,020	0,010	0,015	0,020
4000...4250	0,010	0,020	0,030	0,005	0,015	0,005	0,015	0,020
4250...4500	0,005	0,020	0,020	0,005	0,01	0	0,005	0,010
4500...4750	0,005	0,010	0,010	0	0	0	0	0
4750...5000	0,005	0,010	0,015	0	0	0	0	0

При пересчете типовых кривых скоростного режима на фактический коэффициент оборотности генератора абсцисса начальной части кривой должна быть определена по формуле:

$$n_{гх} = n_{двх} \cdot i_{г} \quad (3.3)$$

При этом частота вращения коленчатого вала двигателя в режиме холостого хода $n_{двх}$ принимается по заводским данным, но не ниже следующих значений, мин⁻¹:

- для микро- и малолитражных легковых автомобилей – 800;
- для легковых автомобилей среднего класса – 700;
- для легковых автомобилей с дизельным двигателем – 600;
- для легковых автомобилей с автоматической трансмиссией – 500;
- для грузовых автомобилей с 4-цилиндровым бензиновым двигателем – 700;
- для грузовых автомобилей с 6- и 8-цилиндровыми бензиновыми двигателями – 500;
- для грузовых автомобилей с дизельным двигателем – 600;
- для автобусов с 6- и 8- цилиндровым бензиновым двигателем – 500;
- для остальных автобусов с бензиновыми или дизельными двигателями – 600.

4. ТОКОСКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНЕРАТОРА

Баланс электроэнергии на автомобиле определяется разностью между количеством электричества, которое отдает генератор в сеть электрооборудования, и количеством электричества, которое необходимо для питания включенных на автомобиле электропотребителей.

Количество электричества, которое может отдать генератор, определяется токоскоростной характеристикой – зависимостью тока отдачи генератора $I_{г}$ от частоты вращения $n_{г}$ при постоянном значении напряжении $U_{г}$, т.е. $I_{г}(n_{г})$ при $U_{г} = \text{const}$.

Токоскоростная характеристика генератора на самовозбуждении определяется при нормальных значениях факторов внешней среды в горячем состоянии при напряжении 14 или 28 В. Для генераторов со встроенным интегральным регулятором напряжения токоскоростная характеристика определяется при напряжении 13...13,5 или 26...27 В.

Современные автомобильные генераторы переменного тока обладают свойством самоограничения отдаваемого им тока и имеют характеристику, соответствующую рис. 4.1.

В технических условиях [3, 4] на генератор, как правило, указывают следующие параметры его токоскоростной характеристики в горячем состоянии:

- частота вращения ротора начала отдачи n_0 ;
- расчетная частота вращения ротора n_p ;
- расчётный ток отдачи I_p ;

- максимальный ток отдачи $I_{\Gamma_{\max}}$;
- максимальная частота вращения ротора $n_{\Gamma_{\max}}$.

Расчетные параметры генератора можно определить, проведя из начала координат касательную к токоскоростной характеристике. Точка касания является расчетной точкой на характеристике и определяет расчетные величины I_p и n_p (см. рис. 4.1).

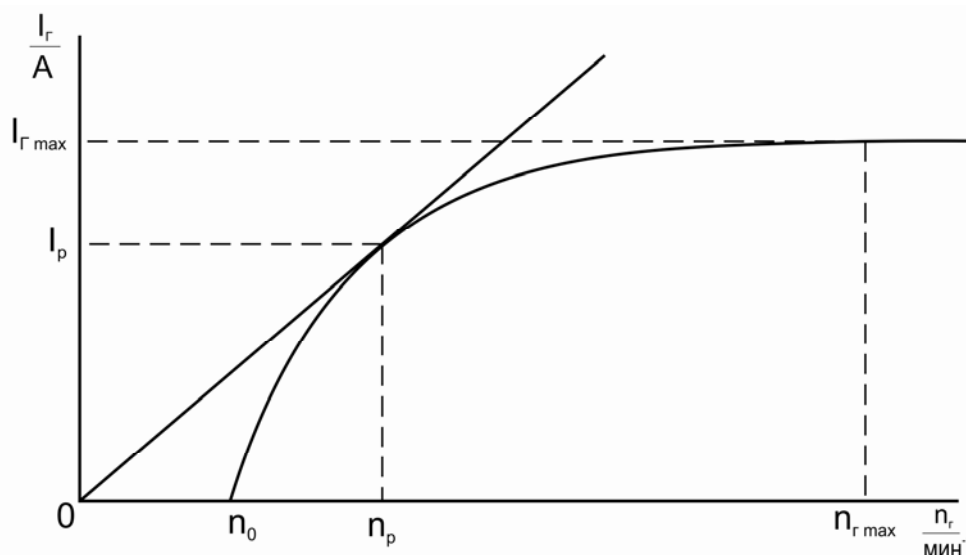


Рис. 4.1. Токоскоростная характеристика автомобильного генератора переменного тока

Токоскоростная характеристика автомобильного генератора переменного тока может быть аппроксимирована выражением:

$$I_{\Gamma} = I_{\Gamma_{\max}} \left(1 - e^{-\frac{n_0 - n_{\Gamma}}{\tau}} \right), \quad (4.1)$$

где τ – постоянная времени экспоненты, аппроксимирующей кривую токоскоростной характеристики.

Постоянная τ может быть определена по параметрам расчетной точки токоскоростной характеристики:

$$I_p = I_{\Gamma_{\max}} \left(1 - e^{-\frac{n_0 - n_p}{\tau}} \right),$$

или

$$1 - \frac{I_p}{I_{\Gamma_{\max}}} = e^{-\frac{n_0 - n_p}{\tau}}.$$

Прологарифмируя последнее выражение, получим:

$$\tau = \frac{n_0 - n_{\Gamma}}{\ln \left(1 - \frac{I_p}{I_{\Gamma_{\max}}} \right)}. \quad (4.2)$$

Таким образом, зная паспортные данные генератора (n_0 , n_p , I_p , $I_{\Gamma_{\max}}$), можно рассчитать по формулам (4.1) и (4.2) его токоскоростную характеристику.

5. РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛАНСА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА АВТОМОБИЛЕ

Цель расчета – определить потенциальные возможности генератора, обеспечивающего баланс электроэнергии при заданных режимах эксплуатации автомобиля. При этом расчет проводится в предположении, что генератор отдает свою полную мощность, а состояние аккумуляторной батареи (ее степень заряженности и температура электролита) и величина регулируемого напряжения таковы, что батарея полностью воспринимает зарядный ток.

Количество электричества, отдаваемое генератором в сеть электрооборудования автомобиля, можно характеризовать относительной величиной этого параметра – часовой отдачей q_r , т.е. количеством электричества, отдаваемого генератором за один час движения автомобиля. При этом предполагается, что генератор работает при неизменной токоскоростной характеристике $I_r(n_r)$ и в определенном скоростном режиме (езда в большом городе).

В общем виде часовая отдача генератора определяется значением определенного интеграла:

$$q_r = \int_{n_{rx}}^{n_{rmax}} I_r(n_r) t(n_r) dn_r, \quad (5.1)$$

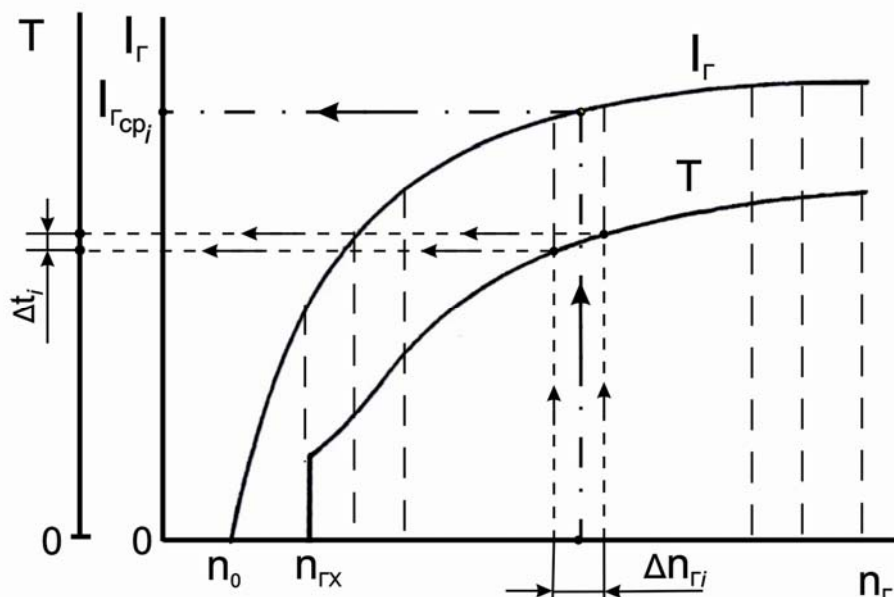
где $I_r(n_r)$ – токоскоростная характеристика генератора; $t(n_r)$ – функция плотности вероятности распределения частоты вращения ротора генератора.

Функция $t(n_r)$, характеризующая скоростной режим работы генератора, не имеет аналитического выражения. Поэтому значение определенного интеграла (5.1) определяется графоаналитическим методом. Для этого графически совмещают токоскоростную характеристику генератора $I_r(n_r)$ с интегральной кривой распределения $T(n_r)$ для фактического коэффициента оборотности K_r (рис. 5.1). Рабочий диапазон частоты вращения ротора генератора разбивается на m интервалов. Причем ширина интервала Δn_{rj} выбирается такой, чтобы участки токоскоростной характеристики и кривой скоростного режима мало отличались от прямолинейных отрезков. Для каждого интервала частоты вращения ротора по кривой $T(n_r)$ определяется относительное время работы генератора Δt_j в каждом интервале, а по характеристике $I_r(n_r)$ – ток отдачи генератора I_{rcpi} , соответствующий середине каждого интервала Δn_{rj} .

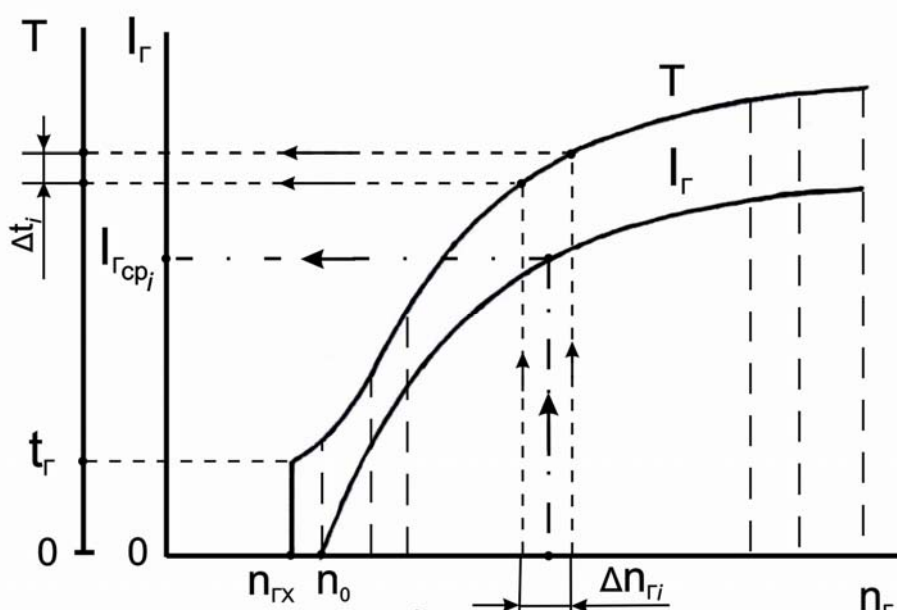
Тогда значение определенного интеграла (5.1) можно определить методом приближённого интегрирования:

$$q_r = \sum_{i=1}^m I_{rcpi} \cdot \Delta t_i, \quad (5.2)$$

где m – количество интервалов; $I_{Г\text{ср}i}$ – среднее значение тока генератора в i -интервале; Δt_i – относительное время работы генератора в i -интервале.



а)



б)

Рис. 5.1. Совмещение токоскоростной характеристики генератора $I_G(n_e)$ с интегральной кривой распределения $T(n_e)$ для фактического коэффициента оборотности K_e : а) $n_0 < n_{ex}$; б) $n_0 > n_{ex}$

Количество электричества, необходимого для питания электропотребителей, также характеризуется относительной величиной, т.е. количеством электричества, требуемым для питания электропотребителей в течение одного часа работы автомобиля q_n .

В этом случае величина q_n будет равна расчётному току нагрузки I_H , так как $t_1 = 1$ час:

$$q_n = I_H \cdot t_1 = I_H \cdot 1 = I_H. \quad (5.3.)$$

Расчётная нагрузка I_H определяется по формуле (1.1).

В тех случаях, когда частота вращения начала отдачи генератора n_0 больше частоты вращения ротора, соответствующей частоте вращения вала двигателя в режиме холостого хода $n_{гх}$ (рис. 5.1, б), и не происходит отключения обмотки возбуждения генератора, необходимо учесть потребление тока цепью обмотки возбуждения.

Для случая $n_0 > n_{гх}$ величина q_n определяется выражением

$$q_n = I_H + I_{Вм} \cdot t_x, \quad (5.4)$$

где $I_{Вм}$ – значение максимального тока возбуждения генератора при $U_r = U_{ном}$; t_x – значение относительного времени работы генератора при частоте вращения $n_{гх}$, определяемого по кривой $T(n_r)$.

Для случая $n_0 < n_{гх}$ (рис. 5.1, а) величина q_n определяется по формуле (5.3).

Разность между часовой отдачей генератора и количеством электричества, необходимым для питания электропотребителей, за один час работы автомобиля определяет часовой баланс электроэнергии (часовой заряд или разряд аккумуляторной батареи)

$$q_б = q_r - q_n. \quad (5.5)$$

Если значение $q_б$, вычисленное по формуле (5.5), равно нулю ($q_б = 0$), т.е. $q_r = q_n$, то имеет место нулевой баланс электроэнергии. Если $q_б$ имеет положительный знак ($q_б > 0$), то имеет место положительный часовой баланс. Если $q_б$ имеет отрицательный знак ($q_б < 0$), то имеет место отрицательный часовой баланс.

Суточный баланс электроэнергии подсчитывается по формуле

$$Q_{сут} = q_{БД} \cdot t_д + q_{БН} \cdot t_н - Q_{ст} - Q_о, \quad (5.6)$$

где $q_{БД}$, $q_{БН}$ – количество электричества, полученное «+» или отданное «-» аккумуляторной батареей за один час соответственно дневной и ночной эксплуатации автомобиля в рассматриваемом режиме; $t_д$, $t_н$ – число часов движения автомобиля за сутки соответственно при дневной и ночной эксплуатации; $Q_{ст}$ – расход емкости батареи на пуски двигателя внутреннего сгорания за сутки; $Q_о$ – расход емкости батареи на потребители, включаемые на стоянках с неработающим двигателем (в том числе на предпусковой подогреватель).

Значения $t_д$, и $t_н$ выбираются в соответствии с режимом эксплуатации автомобиля. При отсутствии особых указаний принимаются:

зимой $t_д = t_н = 5$ ч;

летом $t_д = 8$ ч, $t_н = 2$ ч.

Суточный расход ёмкости батареи на пуски двигателя стартером принимается равным:

– для автомобилей с бензиновым двигателем

$$Q_{СТ} = 0,03 \cdot C_{20}; \quad (5.7)$$

– для автомобилей с дизельным двигателем

$$Q_{СТ} = 0,1 \cdot C_{20}; \quad (5.8)$$

где C_{20} – номинальная ёмкость батареи.

При расчете суточного баланса электроэнергии летом (у автомобиля с кондиционером) расход на пуски стартером принимается равным 50% от указанных выше значений.

Суточный расход емкости батареи Q_0 на питание потребителей, включаемых на стоянках с неработающим двигателем (например, на пусковой подогреватель), указывается заводом-изготовителем в зависимости от числа, мощности и требуемого режима работы этих потребителей. Пример расчета величины Q_0 приведен в Приложении 4.

Для поверочного расчета баланса электроэнергии целесообразно использовать типовой режим работы генератора, заданный в виде табл. 3.1. В этом случае среднее значение тока генератора в i -интервале $i'_{гср}$ определяется при частоте вращения ротора

$$n_{гср_i} = n'_{гср_i} \frac{K_{Г}}{60}, \quad (5.9)$$

где $n'_{гср_i}$ – частота вращения ротора генератора, соответствующее середине каждого интервала $\Delta n'_{г_i}$ типового скоростного режима ($n'_{гх}$, 1125, 1375, 1625, ..., 4875 мин⁻¹).

6. ОЦЕНКА БАЛАНСА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЁТА

По ОСТ 37.003.031-77 [2] соответствие системы электроснабжения, применяемой для данного типа автомобиля, оценивается следующими критериями:

1) суточным балансом электроэнергии, который при эксплуатации автомобиля в городе должен быть положительным, т.е. $Q_{СУТ} > 0$;

2) относительным зарядом или разрядом батареи при эксплуатации автомобиля в городе ночью зимой (без учета расхода емкости на пуски)

$$q_{БН\%} = \frac{q_{БН}}{C_{20}} \cdot 100 [\%]. \quad (6.1)$$

Относительный разряд аккумуляторной батареи не должен быть более:

- | | |
|--|-----|
| а) для автобусов и одиночных грузовых автомобилей с дизельным двигателем | 0%; |
| б) для грузовых автомобилей с дизельным двигателем и прицепом | 2%; |
| в) для одиночных грузовых автомобилей с бензиновым двигателем | 1%; |

г) для грузовых автомобилей с бензиновым двигателем и прицепом	3%;
д) для легковых автомобилей среднего и высокого классов с бензиновым двигателем	2%;
е) для легковых автомобилей с дизельным двигателем	0%;
ж) для остальных легковых автомобилей	3%;

3) током отдачи генератора при частоте вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу $I_{ГХ}$. Генераторная установка должна обеспечивать на холостом ходу двигателя питание следующих потребителей:

– на легковых автомобилях особо малого и малого классов и грузовых автомобилях – систем топливоподачи, впрыска топлива и зажигания, приборов, габаритных фонарей, фонаря освещения номерного знака, отопителя на половину мощности;

– на легковых автомобилях среднего класса – систем топливоподачи, впрыска топлива и зажигания, приборов, габаритных фонарей, фонаря освещения номерного знака, отопителя на половину мощности, обогревателя стекла на половину мощности;

– на городских и пригородных автобусах – систем топливоподачи, впрыска топлива и зажигания, приборов, габаритных фонарей, фонаря освещения номерного знака, плафонов внутреннего освещения на половину мощности, обогревателей пассажирского салона на половину мощности и электромагнитного вентиля (для автобусов с дизельным двигателем), т.е. $I_{ГХ} \geq I_{ПХ}$.

В случаях, когда оценка по критериям дает неудовлетворительный результат и указывает на недостаточный заряд аккумуляторной батареи, необходимо для улучшения параметров баланса электроэнергии либо повысить передаточное число проводов, либо применить другой тип генератора с меньшим значением частоты начала отдачи или большей мощностью.

7. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА БАЛАНСА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА АВТОМОБИЛЕ

7.1. Исходные данные для расчета

Используя описание заданного типа автомобиля и справочники, определяют исходные данные:

- тип генератора;
- параметры токоскоростной характеристики генератора:
 - частоту вращения ротора начала отдачи n_0 ;
 - частоту вращения ротора в расчётном режиме n_P ;
 - ток отдачи в расчётном режиме I_P ;
 - максимальный ток отдачи $I_{Гmax}$;

- передаточное число привода генератора i_f ;
- тип регулятора напряжения;
- тип аккумуляторной батареи;
- номинальную емкость аккумуляторной батареи C_{20} ;
- перечень потребителей электрической энергии на автомобиле и их номинальные токи;
- передаточное число коробки передач на высшей передаче при движении в городе $i_{кп}$;
- передаточное число главной передачи с учетом добавочных и бортовых редукторов, если они имеются $i_{зм}$;
- обозначение шины автомобиля для расчета статического радиуса ведущих колес под нагрузкой R_k ;
- частоту вращения коленчатого вала двигателя в режиме холостого хода $n_{двх}$;
- другие дополнительные данные (например, для определения расхода емкости батареи на питание предпускового подогревателя (см. Приложение 4)).

7.2. Определение расчетной нагрузки от потребителей электроэнергии

Расчетная нагрузка от потребителей электроэнергии определяется по формуле (1.1) для тех типовых режимов работы автомобильного транспортного средства, которые возможны в его реальной эксплуатации.

7.3. Проверка правильности выбора мощности генератора

По максимальному значению расчетного тока нагрузки $I_{ншн}$ определяется требуемый максимальный ток отдачи генератора по формуле (2.1) или (2.2) в зависимости от типа автомобиля и минимально необходимая мощность генератора по формуле (2.3).

7.4. Совмещение кривой скоростного режима работы генератора с его токоскоростной характеристикой

В зависимости от типа рассматриваемого автомобиля по рис. 3.2...3.4 выбирается типовая кривая скоростного режима работы генератора $T(n_r)$.

По формуле (3.1) определяется фактический коэффициент оборотности генератора, и по формуле (3.2) пересчитывается типовая кривая скоростного режима работы генератора. Абсцисса начальной части кривой определяется формулой (3.3).

Используя формулы (4.1) и (4.2), рассчитывается токоскоростная характеристика генератора.

На одном графике строятся токоскоростная характеристика генератора $I_r(n_r)$ и интегральная кривая скоростного режима $T(n_r)$ при фактическом коэффициенте оборотности K_r .

Рабочий диапазон частоты вращения ротора генератора разбивается на интервалы Δn_{r_i} шириной 250 мин^{-1} . Для каждого интервала частоты вращения Δn_{r_i} по интегральной кривой скоростного режима графически определяется относительное время работы генератора в каждом интервале Δt_i , а по токоскоростной характеристике – средняя величина тока генератора $I_{Гсрi}$, соответствующая середине каждого интервала Δn_{r_i} .

Перемножением среднего значения тока генератора $I_{Гсрi}$ и относительного времени работы Δt_i в интервале частоты вращения Δn_{r_i} определяется часовая отдача генератора для каждого интервала частоты вращения $I_{Гсрi} \cdot \Delta t_i$.

Суммированием по всем интервалам (формула 5.2) определяется часовая отдача генератора q_r , т.е. максимальное число А·ч, которое может отдать генератор при работе на своей токоскоростной характеристике в заданном скоростном режиме в течение одного часа.

Расчет часовой отдачи генератора может быть проведен с использованием типового скоростного режима работы генератора, заданного в табличном виде (см. пример расчета в Приложении 4).

7.5. Поверочный расчет баланса электроэнергии и его оценка

В зависимости от отношения частот вращения ротора генератора n_0 и $n_{гх}$ по формуле (5.3) или (5.4) определяется количество электричества, необходимое для питания потребителей, включенных на автомобиле зимой в городе днем $q_{пд}$ и ночью $q_{пн}$.

По формуле (5.5) определяется часовой заряд «+» или разряд «-» аккумуляторной батареи в дневном $q_{бд}$ или ночном $q_{бн}$ режимах эксплуатации автомобиля.

Определяется суточный баланс электроэнергии $Q_{сут}$ на автомобиле по формуле (5.6).

Оценка баланса электроэнергии проводится по следующим его параметрам:

- а) суточному балансу электроэнергии;
- б) относительному заряду или разряду батареи при эксплуатации автомобиля в городе ночью зимой $q_{бн}\%$ (см. формулу 6.1);
- в) току отдачи генератора при частоте вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу $I_{гх}$.

Величина тока $I_{гх}$ определяется по токоскоростной характеристике при частоте вращения ротора $n_{гх}$.

Для оценки найденной величины тока генератора $I_{гх}$ определяются токи потребителей, питание которых в режиме холостого хода двигателя осуществляется генераторной установкой.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1.1

Электрические характеристики ламп осветительных и светосигнальных приборов

Категория	Тип лампы по предыдущему ГОСТ	Тип цоколя	Напряжение, В		Мощность, Вт при напряжении		Назначение, категория
			номинальное	расчетное	номинальном	расчетном	
1	2	3	4	5	6	7	8
Фары головного освещения, противотуманные фары							
R2, 12 В	A12-45+40	P45t/41	12	14,0-14,0	45+40	55,0+49,0	БС, ДС
R2, 24 В	A24-55+50	P45t/41	24	28,0-28,0	55+50	60,5+55,0	БС, ДС
H1, 12 В	АКГ12-55	P14.5S	12	13,2	55	68,0	ДС, ПФ ⁶
H1, 24 В	АКГ24-70	P14.5S	24	28,0	70	84,0	ДС, ПФ
H2, 12 В	—	X511	12	13,2	55	68	ПФ
H2, 24 В	—	X511	24	28	70	80	ПФ
H3, 12 В	АКГ12-55-1	PK22s	12	13,2	55	68	ПФ
H3, 24 В	АКГ24-70-1	PK22s	24	28,0	70	84	ПФ
H4, 12 В	АКГ12-60+55	P43t-38	12	13,2	60+55	75,0+68,0	БС, ДС, ПФ
H4, 24 В	АКГ24-75+70	P43t-38	24	28,0	75+70	85,0+80,0	БС, ДС, ПФ
H5, 12 В	—	PY43d	12	13,2	50		ПФ
H6, 12 В	—	PZ43t	12	13,2	65+55	78,0+68,0	БС, ДС
H7, 12 В	—	PX26d	12	13,2	55	58	ПФ
H7, 24 В	—	PX26d	24	28,0	70	75	БС, ПФ
H8, 12 В	—	PGJ19-1	12	13,2	35	43	БС, ПФ
H9, 12 В	—	PGJ19-5	12	13,2	65	73	ДС
H10, 12 В	—	PY20d	12	13,2	42	50	БС, ДС
H11, 12 В	—	PGJ19-2	12	13,2	55	62	БС, ДС
H11, 24 В	—	PGJ19-2	24	28	70	80	БС, ДС
H12, 12 В	—	PZ20d	12	13,2	53	61	БС, ДС
—	A12-50+21	P42d/11	12	13,0-13,5	50+21	41,6+19,0	БС, ДС

⁶ БС – ближний свет, ДС – дальний свет, ПФ – противотуманные фары.

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
—	A12-60+40	P42d/11	12	13,0-13,5	60+40	43,0+30,2	БС, ДС
—	A24-60+40	P42d/11	24	28,0-28,0	60+40	50,0+35,0	БС, ДС
—	A12-21-2	P42s	12	13,5	21	19,0	ПФ
—	A12-32	P42s	12	13,5	32	27,7	ПФ
—	A12-50+21-2	2ФД30-1	12	13,0-13,5	50+21	41,6+19,0	БС, ДС
—	A12-50+40	P42d/2ФД142	12	13,0-13,5	50+40	50,0+40,5	БС, ДС
—	A12-35+35	Ba20d	12	13,5-13,5	35+35	35,0+35,0	БС, ДС, ПФ
F2	A12-35	Ba20s/Ф-Ш20	12	13,5	35	35,0	БС, ПФ
HB1 ⁷	—	P29t	12	13,2	65+45	73+52	БС, ДС
HB3	—	P20d	12	13,2	60	73	БС, ДС
HB3A	—	P20d	12	13,2	60	73	БС, ДС
HB4	—	P22d	12	13,2	51	62	БС, ДС
HB4A	—	P22d	12	13,2	51	62	БС, ДС
HS1	—	PX43t	12	13,2	35+35	35+35	БС, ДС, ПФ
HS5	—	P23t	12	13,2	35+30	35+30	БС, ДС, ПФ
HIR1	—	PX20d	12	13,2	65	80	БС, ДС, ПФ
HIR2	—	PX22d	12	13,2	55	68,0	БС, ДС, ПФ
D1S	—	PK32d-2	12	85 ⁸	35	35	БС, ДС
D2S	—	P32d-2	12	85	35	35	БС, ДС
D3S	—	PK32d-5	12	42	35	35	БС, ДС
D4S	—	P32d-5	12	42	35	35	БС, ДС
D1R	—	PK32d-3	12	85	35	35	БС, ДС
D2R	—	P32d-3	12	85	35	35	БС, ДС
D3R	—	PK32d-6	12	42	35	35	БС, ДС
D4R	—	P32d-6	12	42	35	35	БС, ДС
Сигнальные фонари торможения и поворота, противотуманные фонари, освещение при заднем ходе							
P21/5W, 12 В	A12-21+5	BAУ15d/19	12	13,5-13,5	21+5	25,0+6,0	ЗПФ, СТ ⁹

⁷ Лампы категории НВ используются в основном в автомобилях производства США и Японии. Лампы НВ1 – 2 нити; НВ3, НВ4 – 1 нить.

⁸ Расчетное напряжение на газоразрядной лампе.

⁹ ЗПФ – задний противотуманный фонарь, СТ – сигнал торможения.

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
P21/5W, 24 B	A24-21+5	BAУ15d	24	28,0-28,0	21+5	28,0+10,0	ЗПФ, СТ
—	A12-21+6	BAУ15d	12	13,5-13,5	21+6	19,0+8,5	совмещенные сигнальные фонари
—	A12-32+4	BAУ15d	12	13,0-14,0	32+4	27,7+7,4	совмещенные сигнальные фонари
—	A24-32+4	BAУ15d	24	28,0-28,0	32+4	29,0+10,0	
P21/4W, 12 B	—	BAZ15d	12	13,5-13,5	21+4	25,0+4,0	ЗПФ, СТ
P21/4W, 24 B	—	BAZ15d	24	28,0-28,0	21+4	25,0+5,0	ЗПФ, СТ
W21/5W	—	W3x16q	12	13,5-13,5	21+5	25,0+6,0	ЗПФ, СТ
W21/5W	—	WX3x16q	12	13,5-13,5	21+5	25,0+6,0	ЗПФ, СТ
P27/7W	—	W2.5x16q	12	13,5-13,5	27+7	29,2+7,7	ЗПФ, СТ
PY27/7W	—	WX2.5x16q	12	13,5-13,5	27+7	29,2+7,7	УП
P21W, 12 B	A12-21	BA15s (BA15d)	12	13,5	21	19,0	ЗПФ, УП, ЗХ ¹⁰
P21W, 24 B	A24-21	BA15s (BA15d)	24	28,0	21	20,0	ЗПФ, УП, ЗХ
PY21W, 12 B	—	BALU15s	12	13,5	21	19,0	ЗПФ, УП, ЗХ
PY21W, 24 B	—	BALU15s	24	28,0	21	20,0	УП
P27W	—	W2.5x16d	12	13,5	27	29,2	УП
H21W, 12 B	—	BAУ9s	12	13,5	21	25,0	ЗПФ, УП, СТ, ЗХ
H21W, 24 B	—	BAУ9s	24	28,0	21	28,0	ЗПФ, УП, СТ, ЗХ
H27W/1	—	PG13	12	13,5	27	31,0	УП

27

¹⁰ ЗХ – сигнал(фара) заднего хода, УП – указатель поворота.

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
H27W/2	—	PGJ13	12	13,5	27	31,0	УП
C21W	AC12-21	SV8.5	12	13,5	21	25,0	УП, ЗХ, ЗПФ, СТ
W21W	—	W3x16d	12	13,5	21	25,0	УП, ЗХ, ЗПФ, СТ
WY21W	—	WX3x16d	12	13,5	21	25,0	УП
W16W	—	W2.1x9.5d	12	13,5	16	19,4	УП, ЗХ
—	A12-21-3	B15s/19	12	13,5	21	25,0	ЗПФ, УП, ЗХ
—	A24-21-3	B15s/19	24	28,0	21	28,0	ЗПФ, УП, ЗХ
—	A12-15	B15s	12	13,5	14,3	14,3	
Габаритные фонари, Фонари освещения номерного знака, боковые повторители							
—	A12-3	B15s	12	13,5	3	5,9	ПУП ¹¹
—	A24-3	B15s	24	28,0	3	6,8	
R5W, 12 В	A12-5	BA15s (BA15d)	12	13,5	5	5,0	ГО, СО, НЗ, подсветка багажника ¹²
R5W, 24 В	A24-5	BA15s (BA15d)	24	28,0	5	7,0	ГО, СО, НЗ, подсветка багажника
T5W, 12 В	A12-4	BA9s/14	12	13,5	4	4,0	НЗ, освещение ПП, КО ¹³
T5W, 24 В	A24-4	BA9s	24	28,0	4	5,0	НЗ, освещение ПП, КО
W5W, 12 В	—	W2.1x9.5d	12	13,5	5	5,0	ПУП
W5W, 24 В	—	W2.1x9.5d	24	28,0	5	7,0	ПУП
WY5W, 12 В	—	W2.1x9.5d	12	13,5	5	5,0	ПУП
WY5W, 24 В	—	W2.1x9.5d	24	28,0	5	7,0	ПУП

¹¹ ПУП-повторитель указателя поворота.¹² ГО – габаритные огни, СО – стояночные огни, НЗ – освещение номерного знака.¹³ ПП-панель приборов, КО – контурные огни.

Окончание табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
C5W, 12 В	AC12-5	SV8,5/8	12	13,5	5	5,0	НЗ, подсветка багажника
C5W, 24 В	AC24-5	SV8,5/8	24	28,0	5	7,0	НЗ, подсветка багажника
R10W, 12 В	A12-10	BA15s (BA15d)	12	13,5	10,0	10,0	ГО, СО, НЗ, подсветка багажника
R10W, 24 В	A24-10	BA15s (BA15d)	24	28,0	10,0	12,5	ГО, СО, НЗ, подсветка багажника
H6W	—	BAX9s	12	13,5	6	7,0	ПУП, НЗ
Освещение приборов и сигнализаторы							
T4W, 12 В	—	BA9s	12	13,5	4	4,0	НЗ, КО, ПУП, ПП
T4W, 24 В	—	BA9s	24	13,5	4	5,0	НЗ, КО, ПУП, ПП
W3W, 12 В	—	W2.1x9.5d	12	13,5	3	3,0	ПП и выключатели
W3W, 24 В	—	W2.1x9.5d	24	28,0	3	4,0	ПП и выключатели
W2.3W	—	W2x4 6d	12	13,5	2,3	2,5	ПП и выключатели
T1.4W	—	P11.5d	12	13,5	1,4	1,4	ПП и выключатели
B1.13W	—	PX13.5S	2,7	2,7	1,13	1,13	ПП и выключатели
A12-1		BA9s/14	12	14,5	1	2,1	ПП и выключатели.
A24-1		BA9s/14	24	28,0	1	2,5	ПП и выключатели
A24-2		BA9s/14	24	28,0	2	3,0	ПП и выключатели
A12-08		BA7s/11	12	12,8	0,8	0,8	ПП и выключатели
AMH12-3		BA9s/14	12	13,5	3	3,0	ПП и выключатели
AMH12-3		BA7s/11	12	28,0	3	3,5	ПП и выключатели
Люминесцентные лампы для освещения салонов автобусов/питание переменным током от преобразователей П12-15 или П12-30							
ЛБ15			127	58,0	15/0,3	15/0,3	освещение салона
ЛБ30			220 ¹⁴	108,0	30/0,34	30/0,34 ¹⁵	освещение салона

29

¹⁴ Напряжение сети.¹⁵ В числителе указана мощность в Вт, в знаменателе ток лампы в Амперах.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Расчет статического радиуса ведущих колес с учетом смятия шин

Расчет ведется по формуле:

$$R_k = 0,96 \left(H + \frac{d}{2} \right),$$

где H – высота профиля шины, мм; d – посадочный диаметр шины, мм; 0,96 – коэффициент смятия шины.

Для обычных шин принимается, что высота H и ширина B профиля шины одинаковы. Размеры B и d шины указаны в маркировке.

В качестве примера рассмотрим определение радиуса колеса автомобиля, на котором применяются низкопрофильные шины, например 225/60 R17.

Из обозначения шины определяем:

- ширину профиля $B = 225$ мм;
- индекс серии шины (60%), характеризующий отношение $H/B = 0,6$;
- посадочный диаметр шины (R17) $d = 17$ дюймов.

По параметрам шины, указанным в её маркировке, находим:

- высоту профиля

$$H = 0,6 \cdot 225 = 135 \text{ мм};$$

- посадочный диаметр в мм

$$d = 25,4 \cdot 17 = 431,8 \text{ мм}.$$

Тогда статический радиус колес с учетом смятия шин составит:

$$R_k = 0,96 \left(135 + \frac{431,8}{2} \right) = 336,9 \text{ мм}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

**Расчет расхода емкости аккумуляторной батареи
на питание предпускового подогревателя**

Количество электричества, расходуемое батареей на прогрев двигателя внутреннего сгорания с применением предпускового подогревателя, определяется по формуле:

$$Q_0 = \frac{I_{CB}t_{CB} + I_{\text{Э}}t_{\text{Э}}}{3600},$$

где I_{CB} – ток, потребляемый свечой накаливания, А; t_{CB} – время работы свечи, с; $I_{\text{Э}}$ – ток, потребляемый электромагнитным клапаном и электродвигателем, А; $t_{\text{Э}}$ – время работы электромагнитного клапана и электродвигателя, с.

Например, для предпускового подогревателя П16 (свеча накаливания СР65-А1, электродвигатель МЭ202, топливный электромагнитный клапан П16-1015500-Б [4] имеем

$$Q_0 = \frac{18 \cdot 120 + 3,7 \cdot 1800}{3600} = 2,45 \text{ А}\cdot\text{ч.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Расчёт баланса электроэнергии легкового автомобиля среднего класса (пример)

1. Исходные данные для расчета

Исходные данные, необходимые для расчета баланса электроэнергии:

- тип генератора – 14V57-105A;
- параметры токоскоростной характеристики генератора:
 - частота вращения ротора начала отдачи $n_0 = 1100 \text{ мин}^{-1}$;
 - ток отдачи в расчетном режиме $I_p = 57 \text{ А}$ при частоте вращения ротора $n_p = 1800 \text{ мин}^{-1}$;
 - максимальный ток отдачи $I_{Г\text{max}} = 105 \text{ А}$;
- передаточное число привода генератора $i_f = 2,5$;
- тип регулятора напряжения – ИРН;
- тип аккумулятора – 12 В, 90 А·ч;
- номинальная ёмкость аккумулятора $C_{20} = 90 \text{ А·ч}$;
- передаточное число коробки передач на высшей передаче при движении в городе $i_{кп} = 1,0$;
- передаточное число главной передачи $i_{ЗМ} = 4,05$;
- марка шины 225/60R17;
- частота вращения коленчатого вала двигателя в режиме холостого хода $n_{двх} = 700 \text{ мин}^{-1}$;

Перечень потребителей электрической энергии на легковом автомобиле среднего класса и их номинальные токи $I_{\text{потр}}$ приведены в табл. 4.1.

2. Определение расчетной нагрузки от потребителей электроэнергии

Расчетный ток нагрузки определяется суммированием эквивалентных токов $I_{\text{ЭКВ}}$ одновременно работающих потребителей в рассматриваемом режиме работы автомобиля

$$I_H = \sum I_{\text{ЭКВ}} = \sum I_{\text{потр}} \cdot K_t \cdot K_H,$$

где $I_{\text{потр}}$ – номинальный ток потребителя по каталогу или техническим условиям (ТУ); K_t – коэффициент времени работы потребителя; K_H – коэффициент нагрузки.

Значения эквивалентных токов потребителей $I_{\text{ЭКВ}}$ приведены в табл. 4.1.

Рассматриваемый автомобиль оборудован установкой для кондиционирования воздуха, поэтому расчетная нагрузка от потребителей электроэнергии определяется для всех типовых режимов работы зимой и летом.

Таблица 4.1

Потребители электрической энергии легкового автомобиля среднего класса и их эквивалентные токи

Потребители электроэнергии на автомобиле	Тип прибора	Кол- во	$I_{\text{потр}},$ А	$K_H \cdot K_t$		$I_{\text{экв.}},$ А		$K_H \cdot K_t$		$I_{\text{экв.}},$ А	
				зима				лето			
				Г	Ш	Г	Ш	Г	Ш	Г	Ш
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Фары передние: – дальний свет; – ближний свет;	АКГ 12-60+55	2	5,68 5,15	– 1,0	1,0 –	– 10,3	11,36 –	– 1,0	1,0 –	– 10,3	11,36 –
Дневные ходовые огни (городской свет)	АКГ 12-55	2	5,15	1,0	1,0	10,3	10,3	1,0	1,0	10,3	10,3
Противотуманные фары	АКГ 12-55	2	5,15	0,2	0,3	2,06	3,09	0,2	0,3	2,06	3,09
Противотуманные фонари	А12-21-3-	2	1,85	0,3	0,5	1,11	1,85	0,3	0,5	1,11	1,85
Габаритные фонари: передние и задние	А12-5	4	0,37	1,0	1,0	1,48	1,48	1,0	1,0	1,48	1,48
Фонарь освещения номерного знака	А12-5	2	0,37	1,0	1,0	0,74	0,74	1,0	1,0	0,74	0,74
Указатель поворота (передний и задний)	А12-21-3	2	1,85	0,15	0,1	0,56	0,37	0,15	0,1	0,56	0,37
Боковой повторитель указателя поворота	А12-4	1	0,3	0,15	0,1	0,045	0,03	0,15	0,1	0,045	0,03
Сигнал торможения	А12-21-3	2	1,85	0,15	0,05	0,56	0,185	0,15	0,05	0,56	0,185
Дополнительный сигнал торможения	светодиодный	1	0,4	0,15	0,05	0,06	0,02	0,15	0,05	0,06	0,02
Антиблокировочная система (АБС)	–	1	2,6	0,15	0,05	0,39	0,13	0,15	0,05	0,39	0,13
Приборы (питание)	–	–	4,5	1,0	1,0	4,5	4,5	1,0	1,0	4,5	4,5
Освещение приборов	–	–	2,5	1,0	1,0	2,5	2,5	1,0	1,0	2,5	2,5
Система автоматиче- ского управления (САУ) ДВС	–	–	14,3	1,0	1,0	14,3	14,3	1,0	1,0	14,3	14,3

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Стеклоочиститель	–	1	5,8	0,2	0,2	1,16	1,16	0,2	0,2	1,16	1,16
Стеклоомыватель	–	1	3,5	0,05	0,05	0,175	0,175	0,05	0,05	0,175	0,175
Система вентиляции салона	–	–	8,3	–	–	–	–	1,0/ 0,5	–	8,3/ 4,15	–
Кондиционер	–	–	8,3	–	–	–	–	1,0/ 0,3	1,0/ 0,3	8,3/ 2,49	8,3/ 2,49
Электродвигатель, муфта системы охлаждения ДВС	–	1	10,0	0,1/0	–	1,0/0	–	0,3/ 0,2	0,1/ 0,1	3,0/ 2,0	1,0/ 1,0
Устройство обогрева стекол	–	1	11,0	–	1,0	11,0	11,0	–	–	–	–
Устройство обогрева зеркал заднего вида	–	2	1,5	0,6	0,6	1,8	1,8	–	–	–	–
Устройство обогрева сидений	–	4	2,5	0,2	0,2	2,0	2,0	–	–	–	–
Аудиосистема	–	–	5,0	0,5	0,7	2,5	3,5	0,5	0,7	2,5	3,5
Усилитель радиоколонок	–	–	26,0	0,5	0,7	13,0	18,2	0,5	0,7	13,0	18,2
Устройство подогрева замков дверей	–	4	0,4	1,0	1,0	1,6	1,6	–	–	–	–
Устройство подогрева жиклера стеклоомывателя	–	1	3,3	1,0	1,0	3,3	3,3	–	–	–	–
Электродвигатель вентиляции	–	7,2	–	–	–	–	–	–	1,0	–	7,2
Электродвигатель отопителя	–	1	5,8	1,0	1,0	5,8	5,8	–	–	–	–

При движении автомобиля зимой по шоссе ночью работают следующие потребители: фары в режиме дальнего света (11,63 А), противотуманные фары (3,09 А), противотуманные фонари (1,85 А), габаритные огни (1,48 А), фонарь освещения номерного знака (0,74 А), указатели поворота (0,37 А), боковой повторитель указателя поворота (0,03 А), сигнал торможения (0,185 А), дополнительный сигнал торможения (0,02 А), АБС (0,13 А), приборы (питание и освещение) (7 А), САУ ДВС (14,3 А), стеклоочиститель (1,16 А), стеклоомыватель (0,175 А), устройство обогрева стекол (11 А), устройство обогрева зеркал заднего вида (1,8 А), устройство обогрева сидений (2 А), аудиосистема (3,5 А), усилитель радиоколонок (18,2 А), устройство подогрева замков дверей (1,6 А), устройство подогрева жиклера стеклоомывателя (3,3 А), электродвигатель отопителя (5,8 А).

Тогда ток нагрузки в режиме «зима – шоссе – ночь»

$$I_{\text{зшн}} = 11,36 + 3,09 + 1,85 + 1,48 + 0,74 + 0,37 + 0,03 + 0,185 + 0,02 + 0,13 + 6 + 14,3 + 1,16 + 0,175 + 11 + 1,8 + 2 + 3,5 + 18,2 + 1,6 + 3,3 + 5,8 = 89,09 \approx 89 \text{ А.}$$

При движении автомобиля зимой по шоссе днём работают следующие потребители: дневные ходовые огни (10,3 А), противотуманные фары (3,09 А), противотуманные фонари (1,85 А), указатели поворота (0,37 А), боковой повторитель указателя поворота (0,03 А), сигнал торможения (0,185 А), дополнительный сигнал торможения (0,02 А), АБС (0,13 А), приборы (питание) (4,5 А), САУ ДВС (14,3 А), стеклоочиститель (1,16 А), стеклоомыватель (0,175 А), устройство обогрева стекол (11 А), устройство обогрева зеркал заднего вида (1,8 А), устройство обогрева сидений (2 А), аудиосистема (3,5 А), усилитель радиоколонок (18,2 А), устройство подогрева замков дверей (1,6 А), устройство подогрева жиклера стеклоомывателя (3,3 А), электродвигатель отопителя (5,8 А).

Тогда ток нагрузки в режиме «зима – шоссе – день»

$$I_{\text{зшд}} = 10,3 + 3,09 + 1,85 + 0,37 + 0,03 + 0,185 + 0,02 + 0,13 + 4,5 + 14,3 + 1,16 + 0,175 + 11 + 1,8 + 2 + 3,5 + 18,2 + 1,6 + 3,3 + 5,8 = 83,31 \approx 83 \text{ А.}$$

При движении автомобиля летом на шоссе ночью работают следующие потребители: фары в режиме дальнего света (11,63 А), противотуманные фары (3,09 А), противотуманные фонари (1,85 А), габаритные огни (1,48 А), фонарь освещения номерного знака (0,74 А), указатели поворота (0,37 А), боковой повторитель указателя поворота (0,03 А), сигнал торможения (0,185 А), дополнительный сигнал торможения (0,02 А), АБС (0,13 А), приборы (питание и освещение) (7 А), САУ ДВС (14,3 А), стеклоочиститель (1,16 А), стеклоомыватель (0,175 А), кондиционер (2,49 А), электродвигатель системы охлаждения ДВС (1 А), аудиосистема (3,5 А), усилитель радиоколонок (18,2 А), электродвигатель вентиляции (7,2 А).

Тогда ток нагрузки в режиме «лето – шоссе – ночь»

$$I_{\text{лшн}} = 11,36 + 3,09 + 1,85 + 1,48 + 0,74 + 0,37 + 0,03 + 0,185 + 0,02 + \\ + 0,13 + 7 + 14,3 + 1,16 + 0,175 + 2,49 + 1 + 3,5 + \\ + 18,2 + 7,2 = 74,28 \approx 74 \text{ А.}$$

При движении автомобиля летом по шоссе днём работают следующие потребители: дневные ходовые огни (10,3 А), противотуманные фары (3,09 А), противотуманные фонари (1,85 А), указатели поворота (0,37 А), боковой повторитель указателя поворота (0,03 А), сигнал торможения (0,185 А), дополнительный сигнал торможения (0,02 А), АБС (0,13 А), приборы (питание) (4,5 А), САУ ДВС (14,3 А), стеклоочиститель (1,16 А), стеклоомыватель (0,175 А), кондиционер (8,3 А), электродвигатель системы охлаждения ДВС (1 А), аудиосистема (3,5 А), усилитель радиоколонок (18,2 А), электродвигатель вентиляции (7,2 А).

Тогда ток нагрузки в режиме «лето – шоссе – день»

$$I_{\text{зшд}} = 10,3 + 3,09 + 1,85 + 0,37 + 0,03 + 0,185 + 0,02 + 0,13 + 4,5 + 14,3 + \\ + 1,16 + 0,175 + 8,3 + 1 + 3,5 + 18,2 + 7,2 = 74,31 \approx 74 \text{ А.}$$

При движении автомобиля зимой в городе ночью работают следующие потребители: фары в режиме ближнего света (10,3 А), противотуманные фары (2,06 А), противотуманные фонари (1,11 А), габаритные огни (1,48 А), фонарь освещения номерного знака (0,74 А), указатели поворота (0,56 А), боковой повторитель указателя поворота (0,045 А), сигнал торможения (0,56 А), дополнительный сигнал торможения (0,06 А), АБС (0,39 А), приборы (питание и освещение) (7 А), САУ ДВС (14,3 А), стеклоочиститель (1,16 А), стеклоомыватель (0,175 А), устройство обогрева стекол (11 А), устройство обогрева зеркал заднего вида (1,8 А), устройство обогрева сидений (2 А), аудиосистема (2,5 А), усилитель радиоколонок (13 А), устройство подогрева замков дверей (1,6 А), устройство подогрева жиклера стеклоомывателя (3,3 А), электродвигатель отопителя (5,8 А).

Тогда ток нагрузки в режиме «зима – город – ночь»

$$I_{\text{згн}} = 10,3 + 2,06 + 1,11 + 1,48 + 0,74 + 0,56 + 0,045 + 0,56 + 0,06 + \\ + 0,39 + 7 + 14,3 + 1,16 + 0,175 + 11 + 1,8 + 2 + 2,5 + 13 + 1,6 + \\ + 3,3 + 5,8 = 80,94 \approx 81 \text{ А.}$$

При движении автомобиля зимой в городе днем работают следующие потребители: дневные ходовые огни (10,3 А), противотуманные фары (2,06 А), противотуманные фонари (1,11 А), указатели поворота (0,56 А), боковой повторитель указателя поворота (0,045 А), сигнал торможения (0,56 А), дополнительный сигнал торможения (0,06 А), АБС (0,39 А), приборы (питание) (4,5 А), САУ ДВС (14,3 А), стеклоочиститель (1,16 А), стеклоомыватель (0,175 А), электродвигатель системы охлаждения ДВС (1 А), устройство обогрева стекол (11 А), устройство обогрева зеркал заднего вида (1,8 А), устройство

обогрева сидений (2 А), аудиосистема (2,5 А), усилитель радиоколонок (13 А), устройство подогрева замков дверей (1,6 А), устройство подогрева жиклера стеклоомывателя (3,3 А), электродвигатель отопителя (5,8 А).

Тогда ток нагрузки в режиме «зима – город – день»

$$I_{згд} = 10,3 + 2,06 + 1,11 + 0,56 + 0,045 + 0,56 + 0,06 + 0,39 + 4,5 + 14,3 + 1,16 + 0,175 + 1 + 11 + 1,8 + 2 + 2,5 + 13 + 1,6 + 3,3 + 5,8 = 77,22 \approx 77 \text{ А.}$$

При движении автомобиля летом в городе ночью работают следующие потребители: фары в режиме ближнего света (10,3 А), противотуманные фары (2,06 А), противотуманные фонари (1,11 А), габаритные огни (1,48 А), фонарь освещения номерного знака (0,74 А), указатели поворота (0,56 А), боковой повторитель указателя поворота (0,045 А), сигнал торможения (0,56 А), дополнительный сигнал торможения (0,06 А), АБС (0,39 А), приборы (питание и освещение) (7 А), САУ ДВС (14,3 А), стеклоочиститель (1,16 А), стеклоомыватель (0,175 А), система вентиляции салона (4,15 А), кондиционер (2,49 А), электродвигатель системы охлаждения ДВС (2 А), аудиосистема (2,5 А), усилитель радиоколонок (13 А).

Тогда ток нагрузки в режиме «лето – город – ночь»

$$I_{лгн} = 10,3 + 2,06 + 1,11 + 1,48 + 0,74 + 0,56 + 0,045 + 0,56 + 0,06 + 0,39 + 14,3 + 7 + 1,16 + 0,175 + 4,15 + 2,49 + 2 + 2,5 + 13 = 64,08 \approx 64 \text{ А.}$$

Таблица 4.2

Расчетные значения тока нагрузки

Типовые режимы работы автомобиля			Ток нагрузки, А
Шоссе	зима	ночь	89
		день	83
	лето	ночь	74
		день	74
Город	зима	ночь	81
		день	77
	лето	ночь	64
		день	70

При движении автомобиля летом в городе днем работают следующие потребители: дневные ходовые огни (10,3 А), противотуманные фары (2,06 А), противотуманные фонари (1,11 А), указатели поворота (0,56 А), боковой повторитель указателя поворота (0,045 А), сигнал торможения (0,56 А), дополнительный сигнал торможения (0,06 А), АБС (0,39 А), приборы (питание) (4,5 А), САУ ДВС (14,3 А), стеклоочиститель (1,16 А), стеклоомыватель (0,175 А), система вентиляции салона (8,3 А), кондиционер (8,3 А), электродвигатель системы охлаждения ДВС (3 А), аудиосистема (2,5 А), усилитель радиоколонок (13 А).

Тогда ток нагрузки в режиме «лето – город – день»
 $I_{\text{лгд}} = 10,3 + 2,06 + 1,11 + 0,56 + 0,045 + 0,56 + 0,06 + 0,39 + 4,5 +$
 $+ 14,3 + 1,16 + 0,175 + 8,3 + 8,3 + 3 + 2,5 + 13 = 70,32 \approx 70 \text{ А.}$

Результаты расчета токов нагрузки для типовых режимов работы автомобиля представлены в табл. 4.2.

Как видно из табл. 4.2, режимом максимальной электрической нагрузки для рассматриваемого автомобиля является режим движения по шоссе ночью зимой. При расчёте суточного баланса электроэнергии принимается режим движения в городских условиях зимой.

3. Проверка правильности выбора мощности генератора

Режим движения автомобиля по шоссе ночью является режимом максимальной электрической нагрузки, для которого расчётный ток $I_{\text{нmax}} = 89 \text{ А.}$

Требуемый максимальный ток генератора, необходимый для обеспечения установившегося зарядного баланса в данном режиме

$$I_{\text{Гmax}} = 1,15 \cdot I_{\text{нmax}} = 1,15 \cdot 89 \approx 102 \text{ А.}$$

Минимально необходимая мощность генератора

$$P_{\text{Гmin}} = U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{Гmax}} = 14 \cdot 102 = 1428 \text{ Вт.}$$

Мощность штатного генератора рассматриваемого автомобиля составляет:

$$P_{\text{Г}} = 14 \cdot 105 = 1470 \text{ Вт, т.е. } P_{\text{Гmin}} = 1428 < P_{\text{Г}} = 1470 \text{ Вт.}$$

4. Совмещение кривой скоростного режима генератора с его токоскоростной характеристикой

Фактический коэффициент оборотности генератора 14 V, 57–105 А

$$K_{\text{Г}} = 2660 \cdot \frac{i_{\text{Г}} \cdot i_{\text{кп}} \cdot i_{\text{зм}}}{R_{\text{к}}} = 2660 \cdot \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 4,05}{336,9} = 80.$$

Частота вращения ротора генератора в режиме холостого хода двигателя

$$n_{\text{Гх}} = n_{\text{двх}} \cdot i_{\text{Г}} = 700 \cdot 2,5 = 1750 \text{ мин}^{-1}.$$

Используя паспортные данные генератора, определяем постоянную времени экспоненты, аппроксимирующей кривую токоскоростной характеристики

$$\tau = \frac{n_0 - n_{\text{Г}}}{\ln\left(1 - \frac{I_{\text{р}}}{I_{\text{Гmax}}}\right)} = \frac{1100 - 1800}{\ln\left(1 - \frac{57}{105}\right)} = 894. \quad (4.1)$$

Тогда, уравнение токоскоростной характеристики рассматриваемого генератора 14 V, 57–105 А представляется в следующем виде

$$I_{\text{р}} = I_{\text{Гmax}} \left(1 - e^{-\frac{n_0 - n_{\text{Г}}}{\tau}}\right) = 105 \left(1 - e^{-\frac{1100 - n_{\text{Г}}}{894}}\right). \quad (4.2)$$

1-й вариант расчета часовой отдачи генератора

Для рассматриваемого автомобиля по ОСТ 37.003.034-74 [2] выбираем типовой скоростной режим работы генератора, соответствующий легковым автомобилям среднего класса, который задан в виде интегральной кривой распределения частоты вращения ротора.

Типовая интегральная кривая скоростного режима пересчитывается на фактический коэффициент оборотности генератора

$$n_r = n'_r \frac{K_r}{60} = n'_r \frac{80}{60} = 1,33 \cdot n'_r.$$

Результаты пересчета кривой скоростного режима работы генератора сведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Результаты пересчета кривой скоростного режима работы генератора 14 V, 57–105 А

$T, \text{ п/п}$	0,35	0,47	0,565	0,68	0,775	0,85	0,905
$n'_r, \text{ мин}^{-1}$	–	2000	2250	2500	2750	3000	3250
$n_r, \text{ мин}^{-1}$	1750 (n_{rx})	2667	3000	3333	3667	4000	4333

Продолжение табл. 4.3

$T, \text{ п/п}$	0,94	0,96	0,975	0,985	0,99	0,995	1,0
$n'_r, \text{ мин}^{-1}$	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000
$n_r, \text{ мин}^{-1}$	4667	5000	5333	5667	6000	6333	6667

По данным табл. 4.3 строится фактическая интегральная кривая скоростного режима генератора 14 V, 57–105 А при его работе на легковом автомобиле среднего класса (рис. 4.1). Рабочий диапазон частоты вращения ротора генератора от $n_{rx} = 1750 \text{ мин}^{-1}$ до $n_r = 6667 \text{ мин}^{-1}$ разбит на интервалы шириной 250 мин^{-1} . Для каждого интервала частоты вращения Δn_{ri} по интегральной кривой скоростного режима графически определяется относительное время работы генератора в каждом интервале Δt_i . Значения Δt_i заносятся в табл. 4.4. По уравнению токоскоростной характеристики рассчитывается ток отдачи генератора $I_r = I_{r\text{ср}i}$, соответствующей середине каждого интервала $n_{r\text{ср}i}$. Результаты расчета токоскоростной характеристики генератора также заносятся в табл. 4.4.

Таблица 4.4
 Результаты расчета часовой отдачи генератора 14 V,
 57–105 А (по 1 варианту)

$\Delta n_{Гi}, \text{мин}^{-1}$	$n_{Гсрi}, \text{мин}^{-1}$	$\Delta t_i, \text{ч/ч}$	$I_{Гсрi}, \text{А}$	$I_{Гсрi} \cdot \Delta t_i, \text{А} \cdot \text{ч/ч}$
1750 ($n_{ГХ}$)	1750 ($n_{ГХ}$)	0,35	54,30	19,00
1750–2000	1875	0,015	60,9	0,91
2000–2250	2125	0,03	71,6	2,15
2250–2500	2375	0,045	79,8	3,59
2500–2750	2625	0,06	85,9	5,16
2750–3000	2875	0,07	90,6	6,34
3000–3250	3125	0,08	94,1	7,53
3250–3500	3375	0,09	96,8	8,71
3500–3750	3625	0,065	98,8	6,42
3750–4000	3875	0,05	100,3	5,02
4000–4250	4125	0,04	101,4	4,06
4250–4500	4375	0,035	102,3	3,58
4500–4750	4625	0,02	103,0	2,06
4750–5000	4875	0,015	103,5	1,55
5000–5250	5125	0,01	103,8	1,04
5250–6667	5950	0,025	104,5	2,61
		1,000		79,73

2-й вариант расчета часовой отдачи генератора

При использовании типового скоростного режима работы генератора, заданного в виде таблицы расчёт тока отдачи генератора $I_{Г} = I_{Гсрi}$ по формуле (4.2) проводится для частот вращения ротора

$$n_{Г} = n_{Гсрi} = n_{Г} \frac{K_{Г}}{60} = \frac{4n_{Г}}{3}$$

соответствующих серединам интервалов $\Delta n_{Гi} = 4n_{Г}/3$, на который разбивается рабочий диапазон частот вращения.

Результаты совмещения гистограммы распределения частоты вращения ротора для типовой кривой скоростного режима с приведенной токоскоростной характеристикой генератора (рис. 4.2) приведены в табл. 4.5.

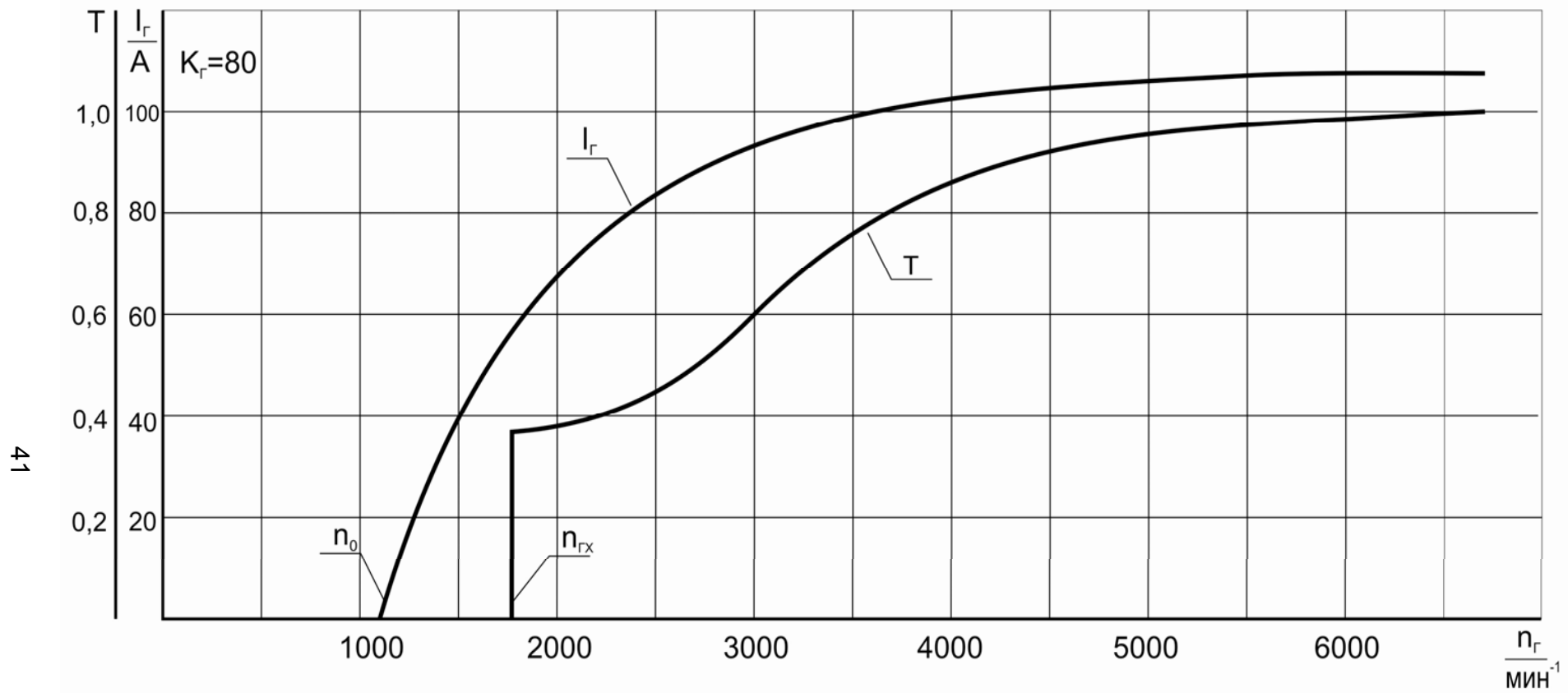


Рис. 4.1. Совмещение фактической токоскоростной характеристики с интегральной кривой скоростного режима генератора 14 V, 57–105 A

Таблица 4.5
 Результаты расчёта часовой отдачи генератора 14 V,
 57–105А (по 2 варианту)

$\Delta n'_Г, \text{мин}^{-1}$	$\Delta t_i, \text{ч/ч}$	$n'_{Гсрi}, \text{мин}^{-1}$	$n_{Гсрi}, \text{мин}^{-1}$	$I_{Гсрi}, \text{А}$	$I_{Гсрi} \cdot \Delta t_i, \text{А} \cdot \text{ч/ч}$
1312,5 ($n'_{ГХ}$)	0,35	1312,5 ($n'_{ГХ}$)	1750 ($n_{ГХ}$)	54,3	19,0
1312,5–1500	0	1406,25	1875	67,8	0
1500–1750	0,055	1625	2167	73,2	4,02
1750–2000	0,065	1875	2500	83,1	5,40
2000–2250	0,095	2125	2833	89,9	8,54
2250–2500	0,115	2375	3167	94,6	10,87
2500–2750	0,095	2625	3500	97,8	9,29
2750–3000	0,075	2875	3833	100,1	7,50
3000–3250	0,055	3125	4167	101,6	5,58
3250–3500	0,035	3375	4500	102,6	3,59
3500–3750	0,02	3625	4833	103,4	2,06
3750–4000	0,015	3875	5167	103,9	1,55
4000–4250	0,01	4125	5500	104,2	1,04
4250–4500	0,005	4375	5833	104,5	0,52
4500–4750	0,005	4625	6167	104,6	0,52
4750–5000	0,005	4875	6500	104,75	0,52
	1,00				80,00

Часовая отдача генератора

$$q_{Г} = \sum_{i=1}^{m=16} I_{Гсрi} \cdot \Delta t_i = 80 \text{ А} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{ч}}$$

5. Поверочный расчет суточного баланса электроэнергии и его оценка

Для случая $n_0 < n_{ГХ}$ количество электричества, необходимое для питания потребителей в течение одного часа, включенных на автомобиле при его движении зимой в городе:

- а) днем $q_{Гд} = I_{згд} = 77 \text{ А} \cdot \text{ч/ч}$;
- б) ночью $q_{Гн} = I_{згн} = 81 \text{ А} \cdot \text{ч/ч}$.

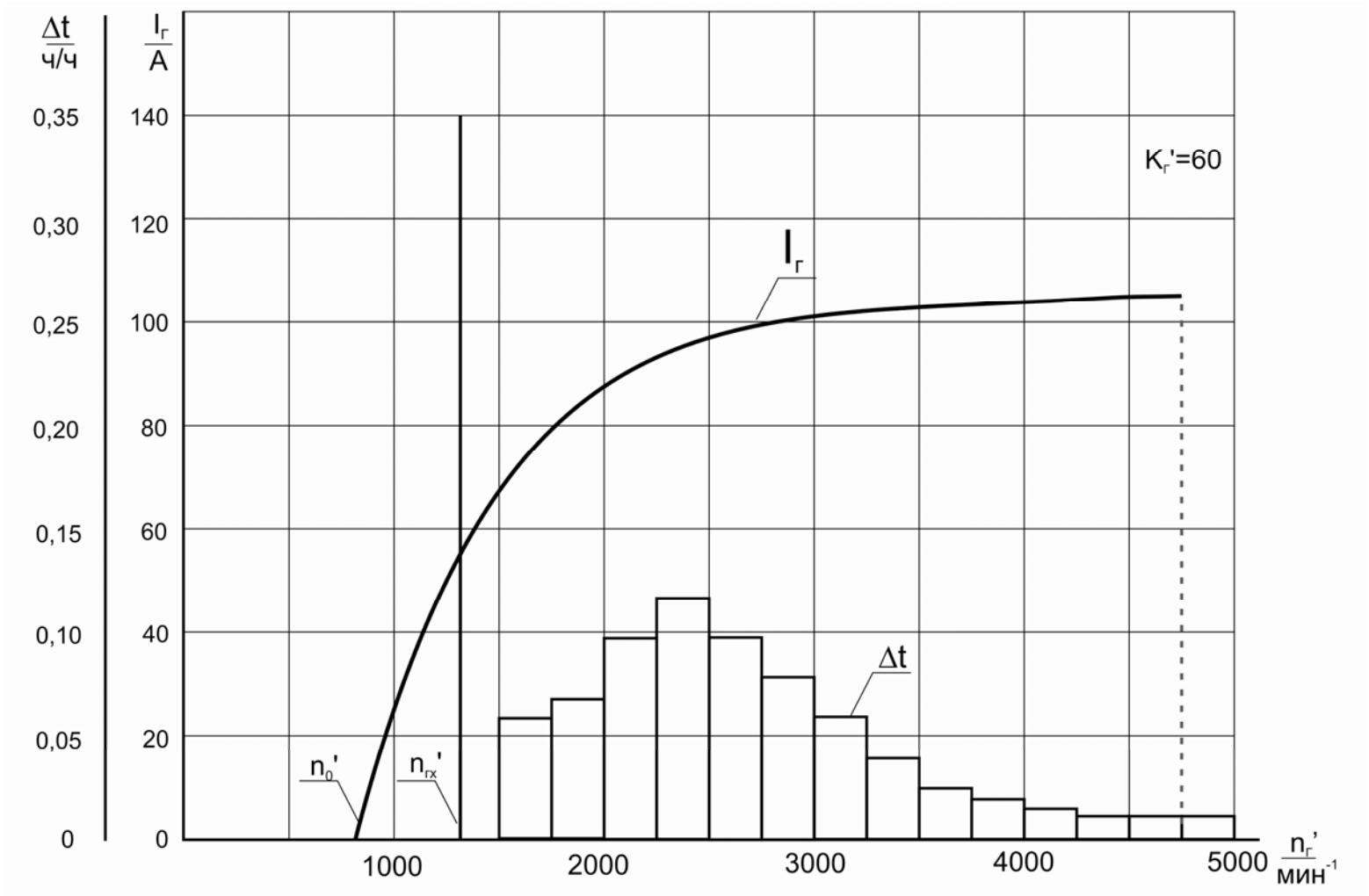


Рис. 4.2. Совмещение приведенной токоскоростной характеристикой генератора 14 В, 57–105 А с гистограммой распределения частоты вращения ротора для типовой кривой скоростного режима

Часовой заряд или разряд аккумуляторной батареи при эксплуатации автомобиля зимой в городе:

а) днем $q_{бд} = q_r - q_{нд} = 80 - 77 = 3 \text{ А}\cdot\text{ч/ч}$;

б) днем $q_{бн} = q_r - q_{пн} = 80 - 81 = -1 \text{ А}\cdot\text{ч/ч}$.

Суточный баланс электроэнергии на автомобиле

$$Q_{сут} = q_{бд} \cdot t_d + q_{бн} \cdot t_n - Q_{ст} - Q_0 = 3 \cdot 5 - 1 \cdot 5 - 2,7 - 0 = 7,3 \text{ А}\cdot\text{ч},$$

где t_d, t_n – число часов движения автомобиля за сутки соответственно при дневной и ночной эксплуатации (для зимней эксплуатации (для зимней эксплуатации $t_d = t_n = 5 \text{ ч}$); $Q_{ст}$ – расход емкости батареи на пуски двигателя за сутки

$$Q_{ст} = 0,03 \cdot C_{20} = 0,03 \cdot 90 = 2,7 \text{ А}\cdot\text{ч};$$

Q_0 – расход емкости батареи на потребители, включаемые на стоянках с неработающим двигателем (принимается $Q_0 = 0$).

Проведем оценку суточного баланса электроэнергии на легковом автомобиле среднего класса.

Суточный баланс электроэнергии на автомобиле положителен, так как $Q_{сут} = 7,3 \text{ А}\cdot\text{ч} > 0$.

Относительный часовой разряд батареи при эксплуатации автомобиля зимой ночью в городе:

$$q_{бн\%} = \frac{q_{бн}}{C_{20}} \cdot 100\% = \frac{-1 \cdot 100}{90} = -1,1\% > -2\%.$$

При эксплуатации автомобиля зимой ночью в городских условиях разряд батареи не превышает допустимого значения.

Ток отдачи генератора при частоте вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу составляет $I_{ГХ} = 54,3 \text{ А}$ (см. табл. 4.4–4.5, рис. 4.1–4.2). Для легковых автомобилей среднего класса с бензиновым двигателем рекомендуется, чтобы в режиме холостого хода двигателя генератор обеспечивал питание САУ ДВС, приборов, габаритных и номерных фонарей, отопителя на половине мощности, обогревателя стекла на половине мощности, т.е. $I_{ГХ} \geq I_{ПХ}$.

Суммарная величина тока указанных потребителей

$$I_{ПХ} = I_{САУ} + I_{КИП} + I_{ГФ} + I_{НФ} + I_{отоп\ 1/2} + I_{обог.ст\ 1/2} = \\ = 14,3 + 4,5 + 1,48 + 0,74 + 5,8 \cdot 0,5 + 11 \cdot 0,5 = 29,42 \approx 29,4 \text{ А}.$$

В режиме холостого хода двигателя генератор 14 V, 57–105 А обеспечивает питание САУ ДВС, приборов, габаритных и номерных фонарей, отопителя и обогревателя на половине мощности, так как $I_{ГХ} = 54,3 > I_{ПХ} = 29,4 \text{ А}$.

Вывод. Поверочный расчет баланса электроэнергии на легковом автомобиле среднего класса показал, что система электроснабжения, состоящая из генератора 14 V, 57–105 А, встроенного интегрального регулятора напряжения и аккумуляторной батареи емкостью 90 А·ч, полностью удовлетворяет требованиям ОСТ 37.003.034-77.