

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра технической эксплуатации и ремонта автомобилей

А.В. Пузаков

РАСЧЁТ БАЛАНСА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ АВТОМОБИЛЕЙ И АВТОБУСОВ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов и специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Оренбург

2018

УДК 629.33(075.8)

ББК 39.33-04я73

П 88

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Р.Х. Хасанов

Пузаков, А.В.

П 88 Расчёт баланса электроэнергии автомобилей и автобусов: методические указания / А.В. Пузаков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018.

Методические указания по выполнению контрольной работы (для обучающихся заочной формы) и расчётно-графического задания (для обучающихся очной формы) содержат порядок расчёта зарядного баланса, в ходе которого проверяются правильность выбора параметров генератора и его привода, а также определяется минимально необходимая мощность генератора на автомобилях и автобусах.

Методические указания предназначены для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов при изучении дисциплины «Электротехника и электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования»; по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства при изучении дисциплин «Электрооборудование автомобилей и тракторов» и «Электротехника и электрооборудование автомобилей».

УДК 629.33(075.8)

ББК 39.33-04я73

© Пузаков А.В., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

Введение.....	4
1 Теоретические сведения	5
1.1 Баланс электроэнергии на автомобиле.....	7
2 Расчёт зарядного баланса	13
2.1 Расчётная сила тока потребителей	13
2.2 Токоскоростная характеристика генератора.....	15
2.3 Расчет баланса электроэнергии.....	18
2.4 Оценка баланса электроэнергии по результатам расчета	20
Список использованных источников	21
Приложение А (справочное) Параметры автомобильных генераторов	23
Приложение Б (обязательное) Варианты заданий	25
Приложение В (рекомендуемое) Пример выполнения расчёта	30

Введение

Целью расчётно-графических (контрольных) работ по курсу «Электротехника и электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования» является получение навыков расчёта и выбора элементов систем электрооборудования автомобилей.

Расчёт баланса электроэнергии производится по ОСТ 37.003.34-77. В процессе расчёта проверяются правильность выбора параметров генератора и его привода, а также определяется минимально необходимая мощность генератора на автомобилях и автобусах.

Исходными данными для расчёта являются токоскоростная характеристика генератора, передаточное отношение его привода и ёмкость аккумуляторной батареи, установленной на автомобиле.

Варианты заданий задаются четырёхзначным числом. Согласно варианту задания, из таблицы Б.1 (приложение Б) выписываются данные, необходимые для выполнения расчёта.

1 Теоретические сведения

Электрооборудование автомобиля включает в себя генератор как преобразователь энергии, одну или несколько аккумуляторных батарей и устройства – электропотребители. Энергия аккумуляторной батареи подаётся на стартер, который затем запускает двигатель автомобиля. Во время работы автомобиля на систему зажигания, систему впрыска топлива, блоки управления, системы обеспечения безопасности и комфорта, освещения и другое оборудование подаётся питание от генератора, который, кроме этого, заряжает аккумуляторную батарею.

Повышение требований к комфорту и безопасности приводит к значительному росту энергопотребления в бортовой сети. Кроме того, продолжается тенденция к электрификации все большего числа компонентов (например, регулировка сидений, электрический стояночный тормоз, электроусилитель рулевого управления). Номинальная мощность генераторов варьируется от 1,5 кВт в субкомпактном классе до более 5 кВт в представительском классе. Это меньше, чем в общей сложности требуется потребителям. Другими словами, аккумуляторная батарея тоже должна подавать электрическое питание во время работы автомобиля. Все компоненты должны быть рассчитаны таким образом, чтобы баланс заряда аккумуляторной батареи был всегда положительным или хотя бы равным.

Электропотребители имеют разную длительность включения. Различают:

- постоянные нагрузки, включённые всегда (электрический топливный насос, блок управления двигателем);
- длительные нагрузки, включаемые по необходимости и остающиеся включёнными в течение длительного времени (фары ближнего света, радиоприёмник, вентилятор радиатора);

– кратковременные нагрузки, включаемые лишь на короткое время (указатели поворотов, стоп-сигналы, электрорегулировка сидений, электростеклоподъёмники).

Потребности в электрической энергии не являются постоянными. Первые минуты после запуска двигателя обычно характеризуются большой потребляемой мощностью (обогрев заднего стекла, сидений, зеркал), после чего происходит резкое падение потребляемой мощности (см. рисунок 1).

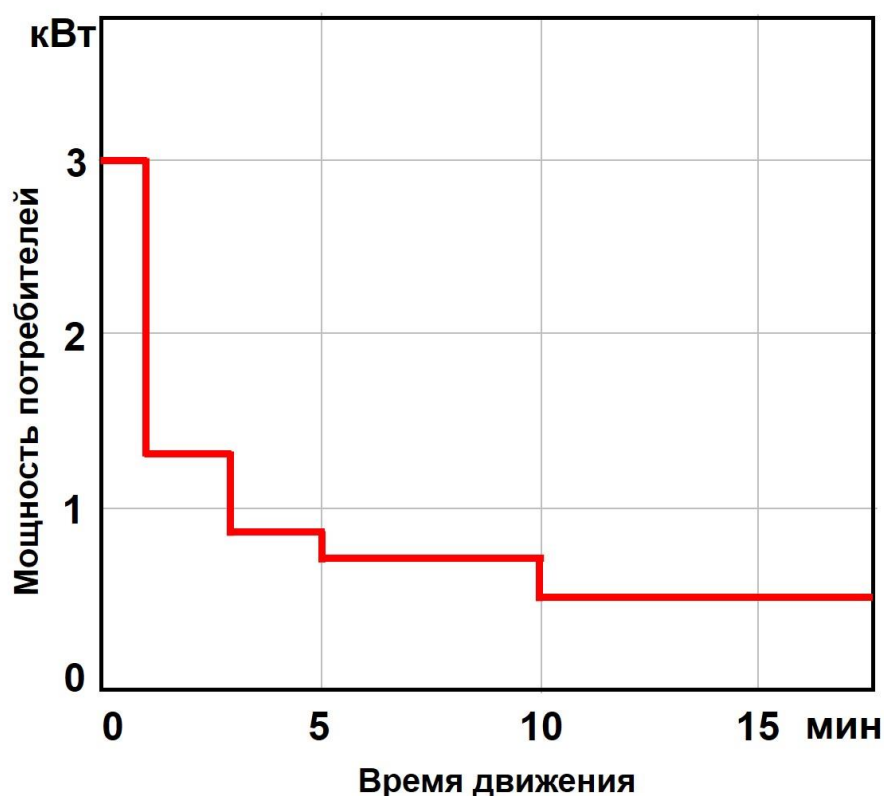


Рисунок 1 – Изменение мощности потребителей в процессе движения

Эти потребители выключаются через несколько минут. Здесь требования к электрической нагрузке главным образом определяются постоянной и длительной нагрузкой.

Различным ЭБУ и потребителям требуется питание даже тогда, когда автомобиль стоит на стоянке. Безнагрузочный ток (ток утечки) составляется из общего тока этих включённых потребителей. Большинство этих потребителей выключаются вскоре после выключения двигателя (например,

освещение салона). Некоторые же всегда остаются включёнными (например, система охранной сигнализации).

Безнагрузочный ток должен подаваться аккумуляторной батареей. Максимальное значение безнагрузочного тока определяется автопроизводителями. Расчёт параметров аккумуляторной батареи помимо всего прочего, базируется и на этом значении.

Типичная величина безнагрузочного тока в легковом автомобиле составляет 3-10 мА.

1.1 Баланс электроэнергии на автомобиле

При работающем двигателе генератор вырабатывает ток, которого обычно хватает в зависимости от параметров напряжения в бортовой сети (в зависимости от частоты вращения генератора и подключённых потребителей), для обеспечения потребителей и зарядки аккумуляторной батареи. Если потребляемый ток в бортовой сети выше тока генератора (например, при работе двигателя на холостом ходу), батарея разряжается. Напряжение бортовой сети понижается до уровня напряжения нагруженной батареи.

Подбором батареи, генератора, стартера и прочих потребителей бортовой сети обеспечивается баланс электроэнергии батареи, чтобы всегда был возможен запуск двигателя внутреннего сгорания и при не работающем двигателе, некоторые электрические потребители могли работать в течение определённого времени.

Решающее влияние на баланс электроэнергии батареи – наряду с самой батареей – оказывает токоотдача генератора, а также мощность потребителя.

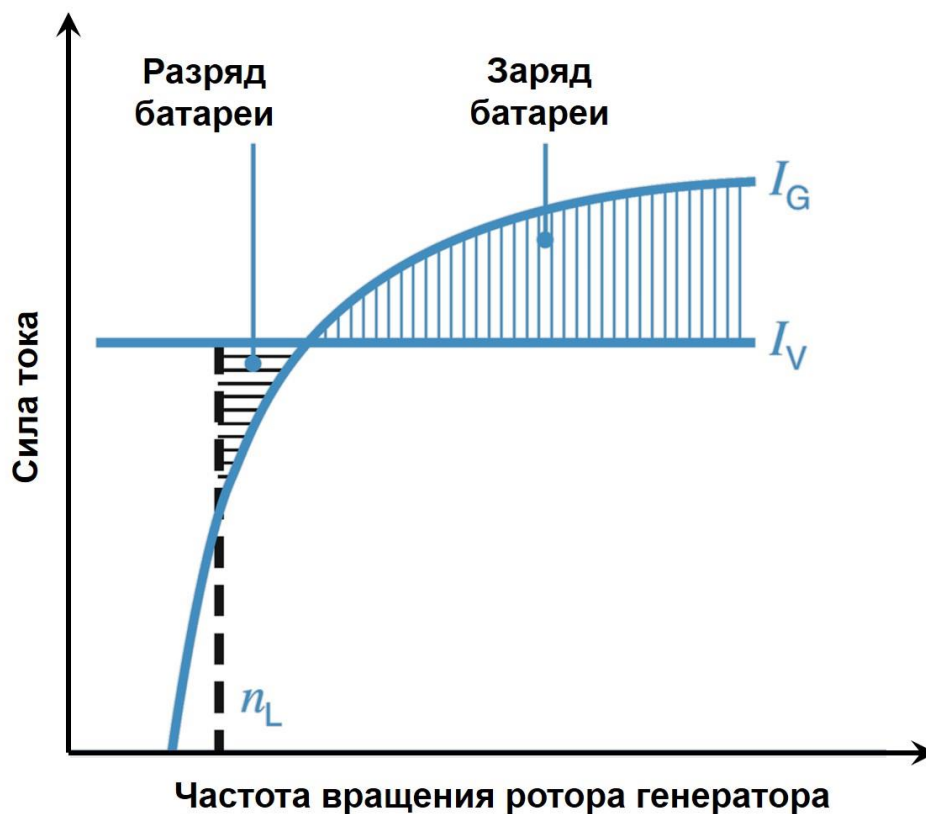


Рисунок 2 – Токоотдача генератора в зависимости от частоты вращения ротора

Токоотдача генератора зависит от частоты вращения. При частоте вращения двигателя на холостом ходе n , генератор может отдать при обычном передаточном соотношении (коленчатый вал – генератор) от 1:2 до 1:3 только часть своего номинального тока. Номинальный ток отдаётся согласно определению при частоте вращения генератора 6000 мин^{-1} .

Электрические потребители обладают различной продолжительностью включения. Различают постоянно включённые потребители (зажигание, впрыск топлива и т.д.), потребители долговременного режима работы (освещение, обогрев заднего стекла и т.д.) и потребители кратковременного режима работы (указатель поворота, сигнал торможения и т.д.).

Использование некоторых электрических потребителей зависит от времени года (кондиционер, обогрев сиденья). Частота включения

электрических вентиляторов системы охлаждения двигателя зависит от температуры и режима работы. Зимой ездят обычно с включённым светом.

Требуемая мощность потребителя во время движения непостоянна. Обычно в первые минуты после старта она очень высокая, а затем понижается:

– обогрев ветрового стекла для размораживания требует до 2 кВт в течение 1-2 минуты после пуска.

– насос дополнительного воздуха, который нагнетается за камерой сгорания для нейтрализации отработанных газов, работает до 3 минут после пуска.

– прочие потребители, такие как обогрев (заднее стекло, сиденья, зеркала и т.д.), вентиляторы и освещение включаются в зависимости от ситуации на долгое или короткое время, в то время как система управления двигателем работает постоянно.

В соответствии с существующими требованиями на холостом ходу двигателя генератор должен обеспечивать питание системы зажигания, приборов, габаритных и номерных фонарей и отопителя при малой частоте вращения его вентилятора для автомобилей особо малого класса и грузовых автомобилей, а для автомобилей среднего класса добавляется обогреватель стекла на половинной мощности, для автобусов – плафоны внутреннего освещения.

Таблица 1 – Установленные потребители с учётом продолжительности включения

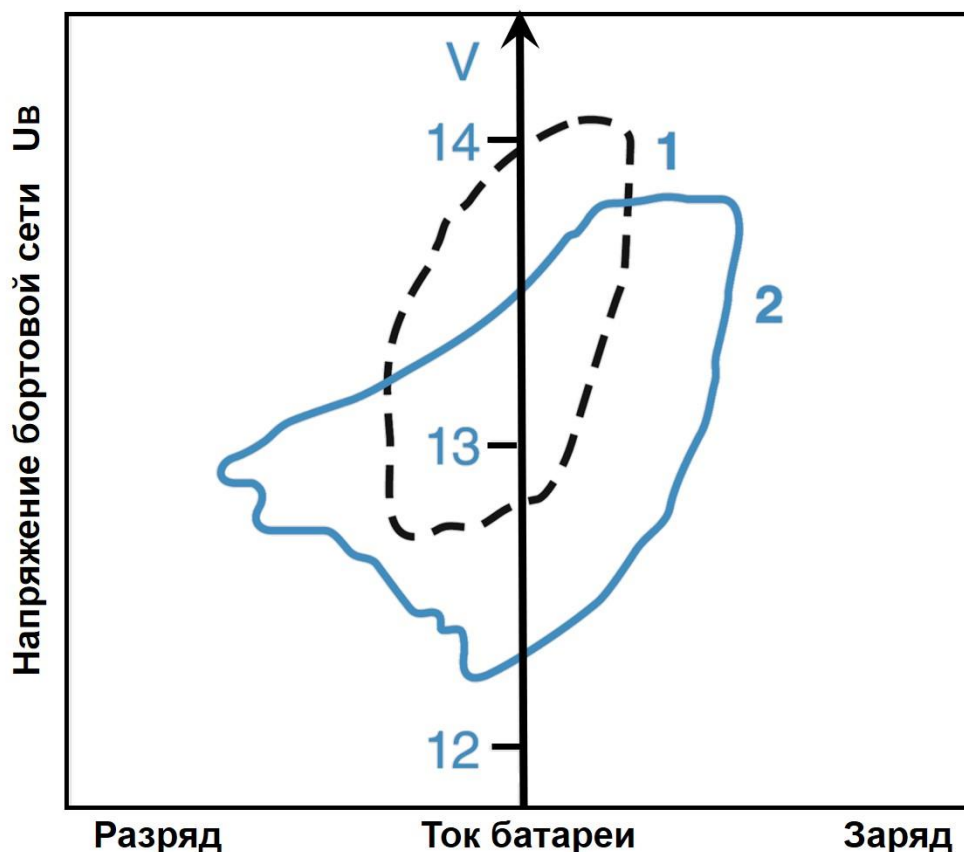
Потребители	Потребляемая мощность, Вт	Средняя мощность нагрузки, Вт
1	2	3
Электронная система Motronic, топливный насос с электроприводом	250	250
Радио	20	20
Стояночный огонь	8	7
Ближний свет	110	90
Фонарь освещения номерного знака, задний габаритный фонарь	30	25

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Сигнальные лампочки, приборы	22	20
Заднее стекло с подогревом	200	60
Подогрев внутреннего помещения, вентиляторы	120	50
Электрический вентилятор системы охлаждения двигателя	120	30
Стеклоочиститель	50	10
Сигнал торможения	42	11
Указатели поворота	42	5
Противотуманные фары	110	20
Задний противотуманный фонарь	21	2
Итого:		
установленная мощность нагрузки, Вт	1145	
средняя мощность нагрузки, Вт		600

Динамическая характеристическая кривая системы представляет собой изменение напряжения аккумуляторной батареи по отношению к току батареи во время цикла движения. Огибающая кривая указывает на общее воздействие компонентов батареи, генератора, потребителя, температуры, частоты вращения и передаточного отношения двигатель/генератор. Большая площадь на огибающей означает, что при таком исполнении бортовой сети в выбранном цикле движения возникают сильные колебания напряжения, а батарея быстрее замыкается в цикл, то есть её степень заряженности испытывает сильные временные изменения.

Данная характеристическая кривая системы особая для каждой комбинации, любого условия эксплуатации и, как следствие, любого динамического показания. Характеристическая кривая системы может измеряться на клеммах батареи и отображаться графически с помощью измерительной системы.



1 – при большом генераторе и небольшой батарее; 2 – при небольшом генераторе и большой батарее

Рисунок 3 – Динамическая характеристическая кривая системы электроснабжения

Посредством расчёта баланса электроэнергии определяется тип исполнения генератора и батареи. С помощью компьютерной программы рассчитывается степень заряженности батареи в конце заданного цикла движения на основании нагрузки, создаваемой потребителями, и мощности генератора. Обычным циклом для легкового транспортного средства является интенсивная работа транспорта перед началом и по окончании рабочего дня (незначительная частота вращения) в сочетании с режимом работы в зимний период (незначительное потребление зарядного тока батареи и высокое электрическое потребление). В данных, неблагоприятных для энергетического баланса бортовой сети, условиях батарея должна иметь уравновешенный энергетический баланс.

Профиль езды как входной параметр для расчёта баланса электроэнергии отображается с помощью относительно скоростного режима работы двигателя. На кривой указывается, как часто достигается и превышает определённую частоту вращения двигателя.

Легковой автомобиль во время движения в городских условиях при интенсивной работе транспорта перед началом и по окончании рабочего дня имеет более высокую долю частоты вращения двигателя при холостом ходе, вызванную частой остановкой на светофорах и вследствие высокой интенсивности движения.

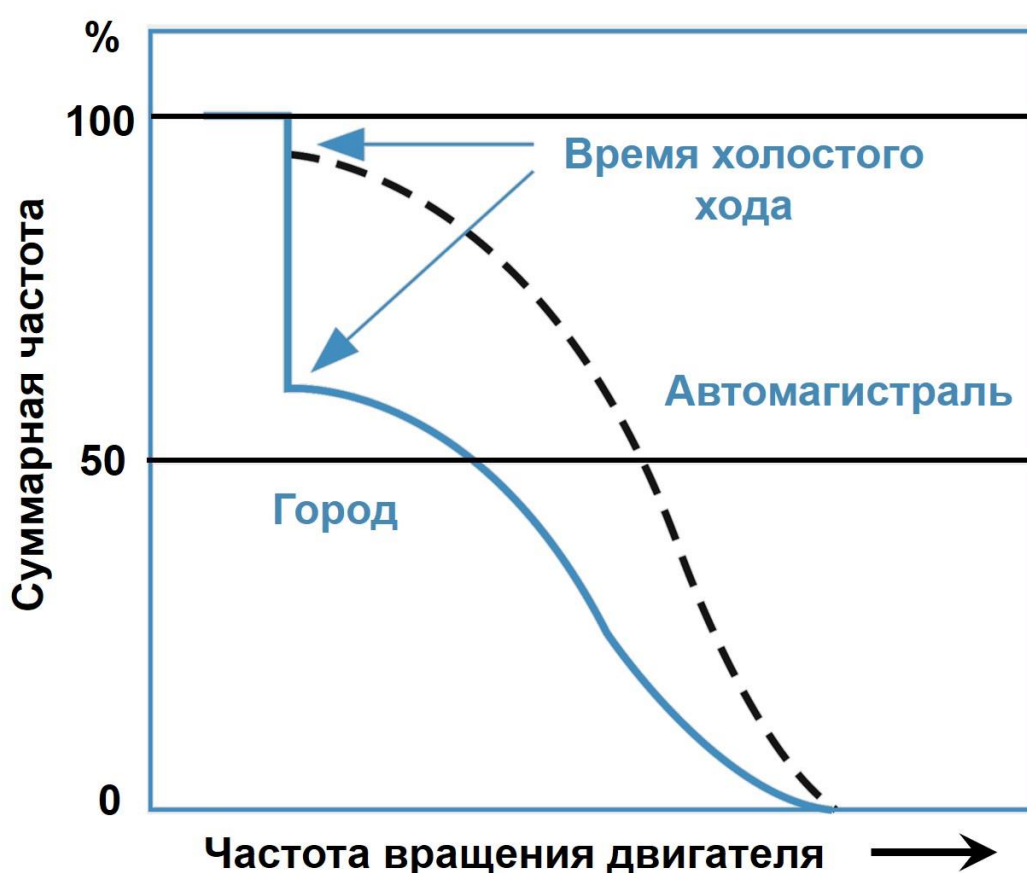


Рисунок 4 – Относительный скоростной режим работы двигателя при движении в городских условиях и на автомагистрали

Городской автобус при маршрутном сообщении имеет дополнительную долю холостого хода в результате остановок для высадки/посадки пассажиров. На баланс электроэнергии батареи кроме всего прочего негативно воздействуют потребители, которые работают при выключенном двигателе.

Автобусы для туристских перевозок, в общем, имеют незначительную долю холостого хода, но доля работы потребителей во время остановки высока.

2 Расчёт зарядного баланса

2.1 Расчётная сила тока потребителей

Расчётная сила тока потребителей определяется для следующих типовых режимов движения автомобиля: по шоссе зимой (летом) ночью и днём, в городе зимой (летом) ночью и днём.

Расчётная сила тока I_n потребителей, включённых при движении и на коротких остановках с работающим двигателем, определяется суммированием сил эквивалентных токов потребителей:

$$I_n = \sum I_{\text{экв}} = \sum I_{\text{потр}} \cdot k_i \cdot k_n \quad (1)$$

где $I_{\text{потр}}$ – сила тока потребителя, А;

k_i – коэффициент времени работы потребителей;

k_n – коэффициент, соответствующий режиму нагрузки (для потребителей, имеющих несколько ступеней включения).

Типичные значения мощности потребителей автомобилей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Мощность автомобильных потребителей электроэнергии

Наименование потребителя	Потребляемая мощность, Вт
1	2
Система зажигания	20
Система впрыска топлива	50 - 70
Топливный насос	50 - 70
Управление двигателем	10 - 30

Продолжение таблицы 2

1	2
Противотуманные фары	35 - 55
Фары ближнего (дальнего) света	55 - 75
Габаритные огни	5
Подсветка приборов	2
Фонарь номерного знака	5
Дополнительные фары	55
Противотуманные фонари	20 - 30
Указатели поворота	21
Сигналы торможения	21
Фонарь заднего хода	21
Лампы внутреннего освещения автобусов	36
Стеклоочистители:	
передний	90
задний	60
Омыватели фар и стекла	60
Радиоприёмник, магнитола	20 - 50
Стеклоподъемники	150
Обогрев заднего стекла	120
Обогрев боковых зеркал	60
Звуковой сигнал	20 - 50
Свечи накаливания	100
Вентилятор отопителя (1-2-3)	20-40-70
Подогрев сидений	50 - 70
Прикуриватель	100
Вентилятор системы охлаждения	150 - 250
Автономный отопитель	20 - 60
Автоматическое управление подвеской	20 - 70

В таблице 3 приведены значения ki в различных условиях эксплуатации.

Таблица 3 – Продолжительность включения потребителей

Наименование потребителя	Движение в городе		Движение по шоссе	
	зима	лето	зима	лето
1	2			
Фары, габаритные огни, фонарь номерного знака	0/1			
Противотуманные фары	0,2/0,2	0,2/0,2	0,3/0,3	0,3/0,3
Противотуманные фонари	0,3/0,3	0,3/0,3	0,5/0,5	0,5/0,5

Продолжение таблицы 3

1	2			
Лампы освещения (внутреннего) автобусов	0/1			
Лампы освещения приборов	0/1			
Сигналы торможения	0,15/0,15	0,15/0,15	0,05/0,05	0,05/0,0
АБС	0,15/0,15	0,15/0,15	0,05/0,05	0,05/0,0
Указатели поворота	0,15/0,15	0,15/0,15	0,1/0,1	0,1/0,1
Приборы (датчики, приборная панель, бортовой компьютер и т.п.)	1/1			
Система зажигания	1/1			
Система впрыска топлива и топливоподачи	1/1			
Стеклоочистители:				
передний	0,25/0,25			
задний	0,15/0,15			
Омыватели стекла и фар	0,05/0,05			
Система вентиляции салона	0/0	1/0,5	0/0	1/0,5
Кондиционер	0/0	1/0,3	0/0	1/0,3
Система охлаждения двигателя	0,1/0	0,3/0,2	0/0	0,1/0,1
Система отопления	1/1	0/0	1/1	0/0
Обогрев заднего стекла	0,3/0,5	0/0	0,3/0,5	0/0
Обогрев зеркал заднего вида	0,2/0,3	0/0	0,2/0,3	0/0
Обогрев сидений	0,2/0,3	0/0	0,2/0,3	0/0
Радиоприемник, магнитола	0,5/0,5	0,5/0,5	0,7/0,7	0,7/0,7
Система управления подвеской, трансмиссией	1/1			
Примечание - В числителе приведены значения для дня, в знаменателе – для ночи				

2.2 Токоскоростная характеристика генератора

Способность генераторной установки обеспечивать питанием потребителей электроэнергии на автомобиле во всех режимах его работы характеризует токоскоростная характеристика (ТСХ), то есть зависимость силы тока, отдаваемого генератором в нагрузку, от частоты вращения его

ротора при постоянной величине напряжения на силовых выводах генератора.

Токоскоростная характеристика имеет характерные точки, к которым относятся:

n_0 - начальная частота вращения ротора без нагрузки;

n_p - минимальная рабочая частота вращения ротора, то есть частота вращения примерно соответствующая оборотам холостого хода двигателя. Сила тока I_p при этой частоте обычно соответствует от 40 % до 50 % номинального тока и обычно достаточна для обеспечения питанием жизненно важных потребителей энергии на автомобиле;

n_{max} - максимальная частота вращения ротора. При этой частоте генератор вырабатывает максимальный ток, сила которого мало отличается от силы номинального тока. Отечественные изготовители обычно указывают номинальный ток при частоте вращения 5000 мин⁻¹.

В приложении А приведены характерные точки токоскоростных характеристик отечественных генераторных установок.

Значения относительного времени работы Δt генератора в интервалах частоты вращения для типового скоростного режима при движении по городу и шоссе, приведенные к коэффициенту оборотности генератора $k_r=60$, указаны в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Типовой скоростной режим при движении в городе
в процентах

Частота вращения, мин ⁻¹	Легковые автомобили		Грузовые автомобили		Автобусы	
	среднего класса	малого и особо малого класса	с бензиновым двигателем	с дизельным двигателем	с бензиновым двигателем	с дизельным двигателем
0-1000	21	23	25	25	33	38
1000-1500	20	19	10	14	18	19
1500-2000	17	16	15	21	17	16
2000-2500	14	12	23	21	15	12
2500-3000	12	10	13	10	9	8
3000-3500	7	8	7	5	5	4
3500-4000	4	5	4	3	2	2
4000-4500	3	4	3	1	1	1
4500-5000	2	3	-	-	-	-

Таблица 5 – Типовой скоростной режим при движении по шоссе

в процентах

Частота вращения, мин ⁻¹	Легковые		Грузовые автомобили		Автобусы	
	среднего класса	малого и особо малого класса	с бензиновым двигателем	с дизельным двигателем	с бензиновым двигателем	с дизельным двигателем
0-1000	6	5	6	7	6	6
1000-1500	10	8	19	21	12	16
1500-2000	16	13	22	23	18	20
2000-2500	18	16	25	27	23	25
2500-3000	15	17	12	10	26	20
3000-3500	14	16	9	7	8	9
3500-4000	13	15	5	4	5	3
4000-4500	6	7	2	1	2	1
4500-5000	2	3	-	-	-	-

Типовой скоростной режим выбирается в соответствии с классом автомобиля и пересчитывается на фактический коэффициент оборотности k_r , который определяется из соотношения:

$$k_r = 2,66 \cdot \frac{u_r \cdot u_{кп} \cdot u_{зм}}{r_k} \quad (2)$$

где u_r , $u_{кп}$, $u_{зм}$ - передаточные числа соответственно привода генератора, коробки передач на высшей передаче, главной передачи (для заднеприводных автомобилей - заднего моста);

r_k - статический радиус ведущих колес с учетом смятия шин, м.

Если типовой скоростной режим используется для поверочного расчета баланса электроэнергии, то целесообразно провести пересчет частоты вращения вала, являющейся абсциссой ТСХ, на коэффициент оборотности $k_r=60$, умножив ее на отношение $k_r/60$, оставляя данные таблиц 4 и 5 неизменными. Передаточные числа генератора ряда автомобилей приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Передаточное отношение привода генератора

Марка автомобиля	Передаточное отношение привода генератора
ЗА3-968А	1,5
ВАЗ	2,04
Москвич-2140	1,7
ГАЗ-24	2
ГАЗ-3Ю2	2,4
ЗИЛ-431410	1,82
ГАЗ-53 А	1,78
КамАЗ-5320	2,4
МАЗ-5335	2,08
ЛАЗ-695Н	1,8
ЛиАЗ-677М	2

2.3 Расчет баланса электроэнергии

На первом этапе расчета определяют часовую отдачу генератора для каждого интервала частоты вращения ротора (по таблицам 15 и 16) по формуле

$$Q_{\text{ч}i} = I_d \cdot \Delta t \quad (3)$$

где I_d – сила тока генератора по ТСХ для частоты вращения, соответствующей середине интервала Δt .

Часовую отдачу генератора определяют суммированием часовой отдачи во всех интервалах изменения частоты вращения

$$Q_{\text{г.ч}} = \sum Q_{\text{ч}i} = \sum I_d \cdot \Delta t \quad (4)$$

где $Q_{\text{г.ч}}$ - средняя сила тока генератора в заданном скоростном режиме, А.

Часовой разряд (заряд) для дня или ночи определяется соответственно из выражения

$$Q_{б,д} = Q_{г,ч} - I_{н,д} \quad \text{или} \quad Q_{б,н} = Q_{г,ч} - I_{н,н} \quad (5)$$

Относительный часовой разряд (%) аккумуляторной батареи в ночном режиме оценивается из выражения:

$$Q'_{ч,н} = \frac{Q_{б,н}}{C_{20}} \cdot 100 \quad (6)$$

Суточный баланс электроэнергии:

$$Q_{сут} = Q_{б,д} \cdot t_{д} + Q_{б,н} \cdot t_{н} - Q_{ст} - Q_{с} \quad (7)$$

где $t_{д}$ и $t_{н}$ – время дневной и ночной эксплуатации (зимой $t_{д} = t_{н} = 5$ ч., летом $t_{д} = 8$ ч., $t_{н} = 2$ ч.);

$Q_{ст}$ – суточный расход емкости батареи на пуски двигателя стартером, А·ч;

$Q_{с}$ – суточный расход емкости батареи на электроснабжение потребителей, включаемых на стоянках с неработающим двигателем, А·ч.

Величина $Q_{ст}$ принимается для автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями соответственно равной $0,03 \cdot C_{20}$ и $0,1 \cdot C_{20}$ в летнее время и $0,1 \cdot C_{20}$ и $0,25 \cdot C_{20}$ в зимнее время.

Величина $Q_{с}$ принимается равной $0,05 \cdot C_{20}$ - для грузовых автомобилей и $0,1 \cdot C_{20}$ - для легковых автомобилей и автобусов.

2.4 Оценка баланса электроэнергии по результатам расчета

Результат расчета баланса электроэнергии должен соответствовать перечисленным ниже требованиям:

1. Суточный баланс электроэнергии $Q_{сут}$ должен быть только положительным.

2. Относительный часовой разряд батареи в ночное время не должен превышать для автобусов и грузовых автомобилей с дизельным двигателем 2 %; для грузовых автомобилей с бензиновым двигателем 3 %; для легковых автомобилей среднего и высокого класса с бензиновым двигателем 3 %; для остальных автомобилей и автобусов 4 %.

3. При частоте вращения вала на холостом ходу двигателя генераторная установка должна обеспечивать силу тока отдачи, достаточную для электроснабжения: на легковых автомобилях малого и особо малого класса и грузовых автомобилях с бензиновым двигателем - системы зажигания, приборов, габаритных и номерных фонарей, отопителя на половинной мощности; на легковых автомобилях среднего класса к этому перечню добавляется обогреватель стекла на половинной мощности; на автобусах - плафоны внутреннего освещения.

Список использованных источников

1. Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования: учебник для машиностроительных техникумов по специальности "Автотракторное электрооборудование" / Л.В. Копылова, В.И. Коротков, В.Е. Красильников; под ред. М.Н. Фесенко и др. – М.: Машиностроение, 1992. – 384 с.
2. Пузаков, А.В. Расчет элементов и систем электрооборудования автомобилей: методические указания / А.В. Пузаков. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 78 с.
3. Пузаков, А.В. Оценка технического состояния стартерных аккумуляторных батарей: методические указания / А.В. Пузаков, А.М. Федотов. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 70 с.
4. Пузаков, А.В. Оценка технического состояния системы электроснабжения автомобилей / А.В. Пузаков, А.М. Федотов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2015. – 103 с.
5. Пузаков, А.В. Системы электроснабжения автомобилей: учебное пособие / А.В. Пузаков, М.И. Филатов. – Оренбург: Университет. – 2018. – 336 с.
6. Пузаков, А.В. Оценка технического состояния автомобильных генераторов: методические указания / А.В. Пузаков. – Оренбург: ОГУ. – 2018. – 40 с.
7. Пузаков, А.В. Исследование работы стартерной аккумуляторной батареи: методические указания / А.В. Пузаков. – Оренбург: ОГУ. – 2018. – 38 с.
8. Акимов, А.В. Расчет баланса электроэнергии на автомобиле: Методические указания к выполнению курсового проекта по курсу «Теория, конструкция и расчет систем электроснабжения» для студентов специальности 18.08 «Электрооборудование автомобилей и тракторов» / А.В. Акимов. – М.: МГТУ «МАМИ», 2000. – 36 с.

9. Пузаков, А.В. Анализ работы системы электроснабжения автомобилей: методические указания / А.В. Пузаков. – Оренбург: ОГУ. – 2018. – 24 с.

10. Фещенко, А.И. Методические указания к курсовому проекту «Расчет баланса электроэнергии на автомобиле» / А.И. Фещенко, С.А. Феофанов, Л.С. Феофанова. – М.: МАДИ, 2016. – 48 с.

Приложение А

(справочное)

Параметры автомобильных генераторов

Таблица А.1 – Параметры генераторов

Параметры	Модель генератора				
	Г221А	Г222	Г273В	37.3701	16.3701
$P_{ном}$, Вт	600	700	780	770	900
$U_{ном}$, В	14	14	28	14	14
$I_{дном}$, А	42	50	28	55	65
n_0 мин ⁻¹ , не более	1150	1250	1050	1100	1100
$n_{рп}$ мин ⁻¹ , не более	2500	2400	2200	2000	2500
$U_{др}$, В	14	13	28	13	14
$I_{др}$, А	30	35	20	35	45
Масса, кг	4,2	4,3	5,4	4,4	5,6
Применяемость	ВАЗ-2101,- 21011,- 2103, - 2106	ВАЗ-2105,- 2107, 3А3- 1102	КамАЗ-5320, МАЗ-5335	ВАЗ-2108,- 2109,-21213, АЗЛК- 214201-10	ГАЗ-24- 10, -31029, -33021
Параметры	Модель генератора				
	29.3701	32.3701	38.3701	58.3701	2022.3771
$P_{ном}$, Вт	700	840	1260	730	1260
$U_{ном}$, В	14	14	14	14	14
$I_{дном}$, А	50	60	90	52	90
n_0 мин ⁻¹ , не более	1250	1050	900	1400	1100
$n_{рп}$ мин ⁻¹ , не более	2250	2200	1800	2400	2400
$U_{др}$, В	13	14	14	13	14
$I_{др}$, А	32	40	60	32	60
Масса, кг	5,0	5,0	8,7	4,8	6,0
Применяемость	«Москвич- 2140», ИЖ- 2125,-2715	ЗИЛ- 431410	ЗИЛ-4331,- 133ГЯ	«Москвич- 21412», ИЖ-2125, -2715	ЗИЛ- 53014

Продолжение таблицы А.1

Параметры	Модель генератора				
	65.3701	66.3701	25.3771	1702.3771	16.3771
$P_{ном}$, Вт	2500	840	1120	1260	800
$U_{ном}$, В	28	14	14	28	14
$I_{дном}$, А	90	60	80	45	57
n_0 мин ⁻¹ , не более	1250	1150	1100	1150	1000
$n_{рп}$ мин ⁻¹ , не более	2400	2600	2200	2100	2050
$U_{др}$, В	26	13	13	28	13
$I_{др}$, А	60	40	53	30	40
Масса, кг	9,0	4,6	5,4	5,2	3,4
Применяемость	ЛАЗ-42021, ЛиАЗ-5256	ПАЗ-672М, -3201	ГАЗ-3110	МАЗ, КамАЗ-5332	УАЗ

Параметры	Модель генератора				
	19.3771	26.3771	851.3701	9002.3701	94.3701
$P_{ном}$, Вт	940	770	1150	2240	1000
$U_{ном}$, В	14	14	14	28	14
$I_{дном}$, А	67	55	82	80	70
n_0 мин ⁻¹ , не более	800	1100	1200	1350	900
$n_{рп}$ мин ⁻¹ , не более	2200	2200	3000	2600	1800
$U_{др}$, В	14	14	14	28	14
$I_{др}$, А	45	37	55	53	40
Масса, кг	5,8	3,8	5,2	8,7	4,5
Применяемость	ГАЗ-31029,-3302,-3110	ВАЗ-2104,-2105,-2108,-2109	ЗИЛ-53012	ЗИЛ-4334	ГАЗ-3302, ВАЗ-2110

Приложение Б

(обязательное)

Варианты заданий

Таблица Б.1 – Первые две цифры варианта

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	01	02	03	04
Марка транспортного средства	ВАЗ-1111	ЗАЗ-968М	ЗАЗ-11022	ВАЗ-2106
Тип транспортного средства	Легковой автомобиль			
Тип двигателя	бензиновый			
Число цилиндров	2	4	4	4
Рабочий объем, V _h , л	0,65	1,2	1,09	1,57
Ход поршня, S _n , мм	71	66	67	80
Номинальное напряжение, В	12	12	12	12
Марка АКБ	6СТ35	6СТ55	6СТ44	6СТ55
Марка стартера	39.3708	СТ368	26.3708	35.3708
Марка генератора	37.3701	Г502А	583.3701	Г221А
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	0,9	0,73	0,73	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста)	4,54	3,875	3,875	4,1

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	05	06	07	08
Марка транспортного средства	ВАЗ-2108	ИЖ-2126	ГАЗ-31029	УАЗ-3151
Тип транспортного средства	Легковой автомобиль			
Тип двигателя	бензиновый			
Число цилиндров	4	4	4	4
Рабочий объем, V _h , л	1,3	1,48	2,44	2,44
Ход поршня, S _n , мм	71	70	92	92
Номинальное напряжение, В	12	12	12	12
Марка АКБ	6СТ55	6СТ55	6СТ60	6СТ60
Марка стартера	29.3708	421.3708	СТ230Г	42.3708
Марка генератора	37.3701	58.3701	16.3701	Г250П
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	0,784	0,806	1,0	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста)	3,94	3,91	3,9	5,38

Продолжение таблицы Б.1

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	09	10	11	12
Марка транспортного средства	ГАЗ-14	ЗИЛ-41047	ГАЗ-33021	ПАЗ-3205
Тип транспортного средства	Легковой автомобиль		Автобус	
Тип двигателя	бензиновый			
Число цилиндров	8	8	8	8
Рабочий объем, V _h , л	5,53	7,68	2,89	4,25
Ход поршня, S _п , мм	88	105	92	80
Номинальное напряжение, В	12	12	12	12
Марка АКБ	6СТ55 (x2)	6СТ60 (x2)	6СТ66	6СТ132
Марка стартера	СТ230А1	51.3708	422.3708	СТ230А1
Марка генератора	Г284	4807.3701	9402.3701	Г287
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	1,0	1,0	0,849	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомо-билей – заднего моста)	3,58	3,615	5,125	6,83

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	13	14	15	16
Марка транспортного средства	ЛАЗ-695Н	ЛиАЗ-677М	ЛАЗ-4207	ЛиАЗ-5256
Тип транспортного средства	Автобус			
Тип двигателя	бензиновый		дизельный	
Число цилиндров	8	8	8	8
Рабочий объем, V _h , л	6,0	7,0	11,75	10,85
Ход поршня, S _п , мм	95	95	130	120
Номинальное напряжение, В	12	12	24	24
Марка АКБ	6СТ150	6СТ90 (x2)	6СТ190	6СТ190
Марка стартера	СТ230А1	СТ230А1	СТ142Б	СТ142Б
Марка генератора	Г287	Г287	651.3701	65.3701
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	1,0	1,0	1,0	0,98
Главной передачи (для заднеприводных автомо-билей – заднего моста)	6,98	7,456	3,73	5,44

Продолжение таблицы Б.1

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	17	18	19	20
Марка транспортного средства	IKARUS-543.26	IKARUS-260.50	TAM-260	ГАЗ-3307
Тип транспортного средства	Автобус			Грузовой автомобиль
Тип двигателя	дизельный			бензиновый
Число цилиндров	4	6	8	8
Рабочий объем, Vh, л	3,6	10,35	12,76	4,25
Ход поршня, Sn, мм	110	150	130	80
Номинальное напряжение, В	12	24	24	12
Марка АКБ	6СТ180	6СТ182	6СТ143	6СТ75
Марка стартера	AZJ-1	AZF-46	AZF-46	СТ230А1
Марка генератора	NC-50	N1-20/75	N1-20/120	Г250
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	1,0	1,0	1,0	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомо-билей – заднего моста)	5,57	6,194	4,027	6,17

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	21	22	23	24
Марка транспортного средства	ЗИЛ-431410	ЗИЛ-157КД	ЗИЛ-433100	ЗИЛ-133ГЯ
Тип транспортного средства	Грузовой автомобиль			
Тип двигателя	бензиновый		дизельный	
Число цилиндров	8	6	8	8
Рабочий объем, Vh, л	6,0	5,38	8,74	10,85
Ход поршня, Sn, мм	95	114	115	120
Номинальное напряжение, В	12	12	12/24	12/24
Марка АКБ	6СТ90	6СТ90	6СТ190	6СТ190
Марка стартера	СТ230А1	СТ230А1	СТ142Б	СТ142Б
Марка генератора	32.3701	17.3701	3822.3701	3812.3701
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	1,0	1,0	1,0	0,815
Главной передачи (для заднеприводных автомо-билей – заднего моста)	6,33	6,67	5,29	6,83

Продолжение таблицы Б.1

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	25	26	27	28
Марка транспортного средства	МАЗ-53371	КамАЗ-5320	КрАЗ-255Б1	КАЗ-4540
Тип транспортного средства	Грузовой автомобиль			
Тип двигателя	дизельный			
Число цилиндров	6	8	8	6
Рабочий объем, V _h , л	11,15	10,85	14,86	8,14
Ход поршня, S _п , мм	140	120	140	10
Номинальное напряжение, В	24	24	24	24
Марка АКБ	6СТ190	6СТ190	6СТ182	6СТ182
Марка стартера	СТ142Б1	СТ142Б	25.3708	СТ142Б
Марка генератора	Г273	Г273	Г228	Г288
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	0,66	0,815	0,66	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомо-билей – заднего моста)	7,14	6,53	8,21	5,286

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	29	30	31	32
Марка транспортного средства	МАЗ-64221	IVECO-190-36	TATRA-815-2	IVECO-MAGIRUS-380
Тип транспортного средства	Грузовой автомобиль			
Тип двигателя	дизельный			
Число цилиндров	8	6	10	8
Рабочий объем, V _h , л	17,24	13,8	15,82	12,76
Ход поршня, S _п , мм	140	156	140	130
Номинальное напряжение, В	24	24	24	24
Марка АКБ	6СТ190	6СТ170	6СТ180	6СТ215
Марка стартера	25.3708	AZG	AZF-46	254.3708
Марка генератора	Г273	N1-10/55	N1-10/55	N1-10/105
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	1,0	0,85	0,7	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомо-билей – заднего моста)	4,84	3,768	3,39	6,41

Таблица Б.2 – Вторые две цифры варианта

Номер варианта	Условия движения
01	Лето, город
02	Зима, шоссе
03	Зима, город
04	Лето, шоссе

Приложение В

(рекомендуемое)

Пример выполнения расчёта

Таблица В.1 – Исходные данные

Марка транспортного средства	ЛАЗ-4207
Тип транспортного средства	автобус
Тип двигателя	дизельный
Марка аккумуляторной батареи	6СТ-190
Марка генератора	651.3701
Передаточное отношение коробки передач на высшей передаче, $U_{кп}$	1
Передаточное отношение главной передачи (заднего моста), $U_{зм}$	3,73
Размер шин	11R22,5
Условия движения	Лето, город
Передаточное отношение привода генератора $U_{г}$	2,4

В.1 Расчетная сила тока потребителей

Расчетная сила тока потребителей определяется для следующего типового режима движения автомобиля.

Расчетная сила тока I_H потребителей, включенных при движении и на коротких остановках с работающим двигателем, определяется суммированием сил эквивалентных токов потребителей:

$$I_H = \sum I_{\text{ЭКВ}} = \sum I_{\text{нотр}} \cdot k_i \cdot k_H, \quad (\text{В. 1})$$

где $I_{\text{нотр}}$ - сила тока потребителя, А;

k_i – коэффициент времени работы потребителей;

k_H – коэффициент, соответствующий режиму нагрузки (для потребителей, имеющих несколько ступеней включения).

Результаты расчета представлены в таблице В.2.

Таблица В.2 – Результаты расчета I_H

Наименование потребителя	Потребляемая мощность, Вт	Количество потребителей	Значение k_i	Сила эквивалентного тока потребителя
1	2	3	4	5
Система впрыска топлива	60	1	1/1	2,14/2,14
Топливный насос	60	1	1/1	2,14/2,14
Фары ближнего (дальнего) света	65	2	1/1	4,64/4,64
Габаритные огни	5	8	1/1	1,43/1,43
Подсветка приборов	2	1	1/1	0,07/0,07
Фонарь номерного знака и фонарь подсветки указателя	5	4	1/1	0,71/0,71
Противотуманные фонари	25	2	0,3/0,3	0,54/0,54
Указатели поворота	21	6	0,15/0,15	0,68/0,68
Сигнал торможения	21	2	0,15/0,15	0,23/0,23
Фонарь заднего хода	21	1	0,15/0,15	0,11/0,11
Лампы внутреннего освещения автобуса	36	2x7	0/1	0/18
Стеклоочиститель передний	90	1	0,25/0,25	0,8/0,8
Радио, магнитола	35	1	0,5/0,5	0,63/0,63
Звуковой сигнал	35	2	0,3/0,2	0,75/0,5
Вентилятор системы охлаждения	200	1	0,3/0,2	2,14/1,43
Автоматическое управление подвеской, трансмиссией и т.п.	45	1	1/1	1,61/1,61
Расчетная сила тока, I_H				18,62/35,66
Примечание - В числителе приведены значения для дня, в знаменателе – для ночи.				

В.2 Токоскоростная характеристика генератора

Способность генераторной установки обеспечивать питанием потребителей электроэнергии на автомобиле во всех режимах его работы характеризует токоскоростная характеристика (ТСХ), то есть зависимость

силы тока, отдаваемого генератором в нагрузку, от частоты вращения его ротора при постоянной величине напряжения на силовых выводах генератора.

Токоскоростная характеристика генератора 651.3701 имеет следующие характерные точки (приложение А):

$n_0 = 1250 \text{ мин}^{-1}$ – начальная частота вращения ротора без нагрузки ($I = 0$);

$n_p = 2400 \text{ мин}^{-1}$ – минимальная рабочая частота вращения ротора ($I = 60\text{А}$);

$n_{max} = 5000 \text{ мин}^{-1}$ – максимальная частота вращения ротора ($I = 90\text{А}$).

В.3 Скоростной режим генератора

Типовой скоростной режим выбирается в соответствии с классом автомобиля и пересчитывается на фактический коэффициент оборотности k_G , который определяется из соотношения:

$$k_G = 2,66 \cdot \frac{u_G \cdot u_{кп} \cdot u_{зм}}{r_k}, \quad (\text{В. 2})$$

где $u_G, u_{кп}, u_{зм}$ - передаточные числа соответственно привода генератора, коробки передач на высшей передаче и главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста);

r_k – статический радиус ведущих колес с учетом смятия шин, м.

$$k_G = 2,66 \cdot \frac{2,4 \cdot 1 \cdot 3,73}{0,56} = 42,52.$$

Целесообразно провести перерасчет частоты вращения вала, умножив ее на соотношение $k_G/60$.

$$n_0 = 1250 \cdot \frac{42,52}{60} = 885,8 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_p = 2400 \cdot \frac{42,52}{60} = 1700,8 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{max} = 5000 \cdot \frac{42,52}{60} = 3543,3 \text{ мин}^{-1}.$$

Таблица В.3 – Типовой скоростной режим при движении в городе

Частота вращения, мин ⁻¹	Относительное время работы Δt, %
0 – 1000	38
1000 – 1500	19
1500 – 2000	16
2000 – 2500	12
2500 – 3000	8
3000 – 3500	4
3500 – 4000	2
4000 – 4500	1
4500 – 5000	–

В.4 Расчет баланса электроэнергии

Часовая отдача генератора для каждого интервала частоты вращения ротора:

$$Q_{\text{чи}} = I_d \cdot \Delta t, \quad (\text{В. 3})$$

где I_d - сила тока генератора по ТСХ для частоты вращения, соответствующей середине интервала.

Часовая отдача генератора во всех интервалах изменения частоты вращения:

$$Q_{\text{чг}} = \sum Q_{\text{чи}} = \sum I_d \cdot \Delta t. \quad (\text{В. 4})$$

Результаты расчета представлены в таблице В.4.

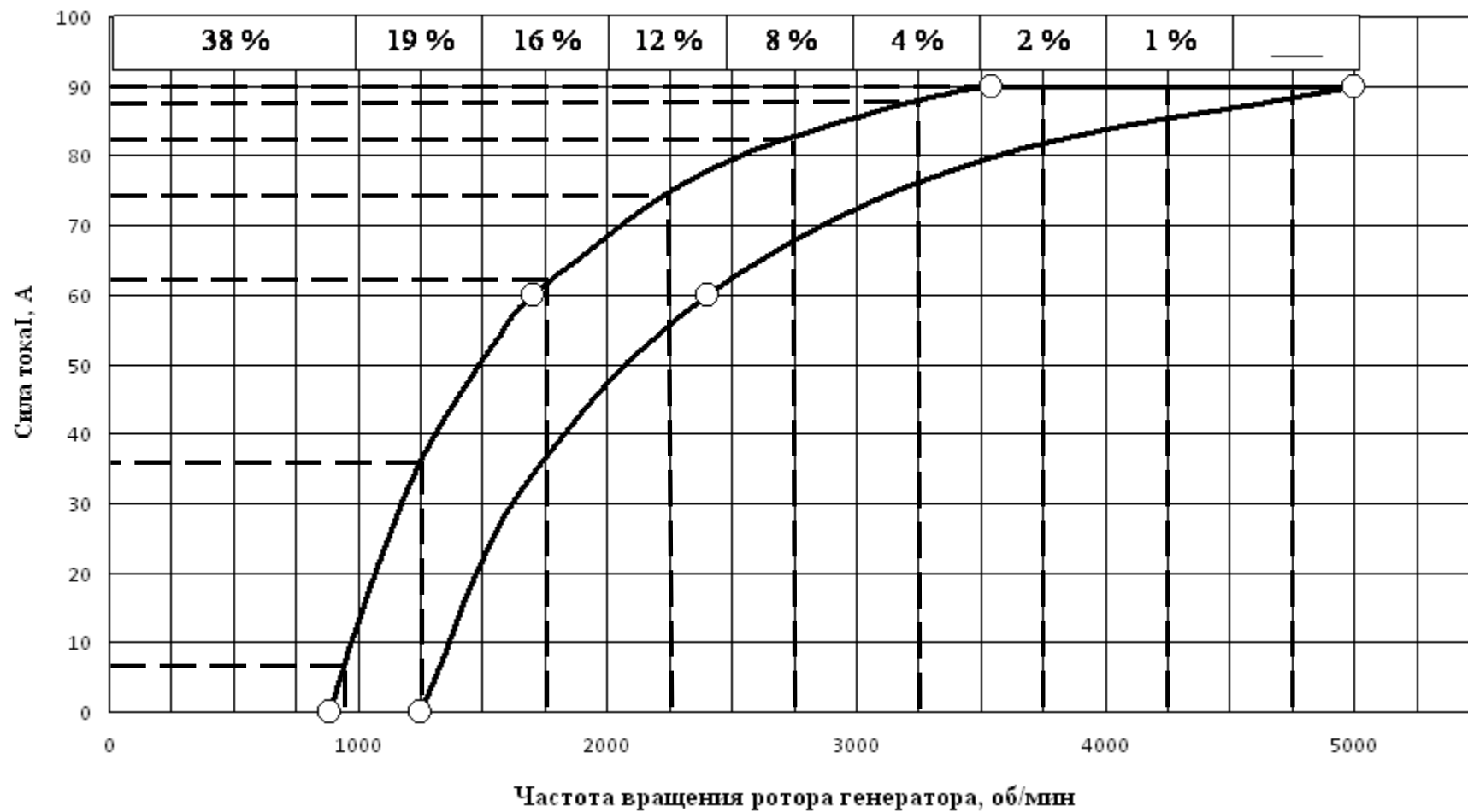


Рисунок В.1 – Токоскоростная характеристика генератора

Таблица В.4 – Результаты расчетов

Сила тока генератора I_d, A	Относительное время работы $\Delta t, \%$	Часовая отдача генератора $Q_{\text{чи}}, A$
6	38	2,28
36	19	6,84
62	16	9,92
74	12	8,88
82	8	6,56
88	4	3,52
90	2	1,8
90	1	0,9
Часовая отдача генератора $Q_{\text{чг}} = \sum Q_{\text{чи}}$		40,7

Часовой разряд (заряд) для дня или ночи определяется соответственно из выражения:

$$Q_{\text{бд}} = Q_{\text{чг}} - I_{\text{нд}}; \quad (\text{В. 5})$$

$$Q_{\text{бд}} = 40,7 - 18,62 = 22,08 A.$$

$$Q_{\text{бн}} = Q_{\text{чг}} - I_{\text{нн}}; \quad (\text{В. 6})$$

$$Q_{\text{бн}} = 40,7 - 35,66 = 5,04 A.$$

Относительный часовой разряд (%) АКБ в ночном режиме оценивается из выражения:

$$Q'_{\text{чн}} = \frac{Q_{\text{бн}}}{C_{20}} \cdot 100\%; \quad (\text{В. 7})$$

$$Q'_{\text{чн}} = \frac{5,04}{190} \cdot 100 = 2,65\%.$$

Суточный баланс электроэнергии:

$$Q_{\text{сут}} = Q_{\text{бд}} \cdot t_{\text{д}} + Q_{\text{бн}} \cdot t_{\text{н}} - Q_{\text{ст}} - Q_{\text{с}}, \quad (\text{В. 8})$$

где $t_{\text{д}} = 8\text{ч}$ и $t_{\text{н}} = 2\text{ч}$ - время дневной и ночной эксплуатации;

$Q_{ст} = 0,1 \cdot C_{20}$ - суточный расход ёмкости батареи на пуски двигателя стартером, А·ч;

$Q_c = 0,1 \cdot C_{20}$ - суточный расход ёмкости батареи на электроснабжение потребителей, включаемых на стоянках с неработающим двигателем, А·ч.

$$Q_{сут} = 22,08 \cdot 8 + 5,04 \cdot 2 - 19 - 19 = 148,72 \text{ Ач.}$$

В.5 Оценка баланса электроэнергии по результатам расчета

При частоте вращения вала на холостом ходу двигателя генераторная установка должна обеспечивать силу тока подачи, достаточную для электроснабжения: топливного насоса, подсветки приборов, габаритных, номерных и указательных фонарей, а также плафонов внутреннего освещения, т.е. при $n_0 = 1250 \text{ мин}^{-1}$:

$$I_{min} = 2,14 + 0,07 + 1,43 + 0,71 + 18 = 22,35 \text{ А.}$$

Из ТСХ видно, что генераторная установка при $n_0 = 1250 \text{ мин}^{-1}$ обеспечивает силу тока 35А, что превышает минимально необходимую силу тока.