

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Электронные системы управления мобильными машинами

Направление подготовки (специальность) 35.03.06 «Агроинженерия»

Профиль образовательной программы Технический сервис в АПК

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1	Методические материалы по выполнению лабораторных работ.....	4
1.1	Лабораторная работа № ЛР-1 Проверка технического состояния аккумуляторной батареи.....	4
1.2	Лабораторная работа № ЛР-2 Исследование электрических характеристик проверка технического состояния генератора переменного тока.....	16
1.3	Лабораторная работа № ЛР-3 Проверка технического состояния регуляторов напряжения.....	30
1.4	Лабораторная работа № ЛР-4 Снятие электромеханических характеристик стартера на тормозном стенде.....	46
1.5	Лабораторная работа № ЛР-5 Проверка технического состояние приборов системы пуска автомобилей.....	56
1.6	Лабораторная работа № ЛР-6 Проверка технического состояния свечей зажигания.....	64
1.7	Лабораторная работа № ЛР-7 Проверка технического состояния приборов и аппаратов контактной системы зажигания.....	72
1.8	Лабораторная работа № ЛР-8 Проверка технического состояния приборов и аппаратов контактной системы зажигания.....	86
1.9	Лабораторная работа № ЛР-9 Проверка технического состояния приборов и аппаратов контактной системы зажигания.....	91
1.10	Лабораторная работа № ЛР-10 Проверка технического состояния приборов и аппаратов электронной системы зажигания.....	99
1.11	Лабораторная работа № ЛР-11 Проверка технического состояния приборов и аппаратов электронной системы зажигания.....	108
1.12	Лабораторная работа № ЛР-12 Проверка технического состояния приборов и аппаратов электронной системы зажигания.....	114
1.13	Лабораторная работа № ЛР-13 Проверка технического состояния карбюраторного двигателя сканером АД-9000.....	120
1.14	Лабораторная работа № ЛР-14 Проверка технического состояния карбюраторного двигателя сканером АД-9000.....	124
1.15	Лабораторная работа № ЛР-15 Проверка технического состояния дизельного двигателя сканером АД-9000.....	129
1.16	Лабораторная работа № ЛР-16 Проверка технического состояния дизельного двигателя сканером АД-9000.....	137
2	Методические материалы по проведению практических занятий.....	142
2.1	Практическое занятие № ПЗ-1 Изучить устройство аккумуляторной батареи и генераторов, их маркировку.....	142
2.2	Практическое занятие № ПЗ-2 Изучить устройство реле-регуляторов и их маркировку.....	159
2.3	Практическое занятие № ПЗ-3 Изучить устройство электростартеров и их маркировку.....	174
2.4	Практическое занятие № ПЗ-4 Изучить устройство систем зажигания от магнето.....	184
2.5	Практическое занятие № ПЗ-5 Изучить устройство батарейной системы зажигания.....	191
2.6	Практическое занятие № ПЗ-6 Изучить устройство контактно-транзисторной системы зажигания.....	198
2.7	Практическое занятие № ПЗ-7 Изучить схему электрооборудования отечественного автомобиля.....	203
2.8	Практическое занятие № ПЗ-8 Изучить схему электрооборудования импортного автомобиля.....	209

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1.1 Лабораторная работа №1 (2 часа).

Тема: «Проверка технического состояния аккумуляторной батареи»

1.1.1 Цель работы: Изучение конструкции стартерных аккумуляторных батарей, их техническая характеристика, способы проверки аккумуляторных батарей и методы их зарядки.

1.1.2 Задачи работы:

1. Определение эксплуатационной массы трактора для обеспечения его тягово-сцепные качества в заданных условиях эксплуатации.
2. Определения номинальной мощности двигателя из условия равномерного движения на горизонтальном поле с номинальной силой тяги на крюке и действительной скоростью движения в определенных почвенных условиях при допустимом буксовании.

1.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. При выполнении лабораторной работы используются следующие материалы:
 - методическое указание к лабораторной работе;
 - справочные материалы;
 - работоспособный аккумуляторная батарея с электролитом, натурные аккумуляторные батареи, денсиметр, стеклянная трубка, нагрузочная вилка, термометр, мерная посуда, резиновая груша, зарядное устройство.

1.1.4 Описание (ход) работы:

Аккумуляторная батарея обеспечивает электроснабжение электростартера при пуске двигателя, а также электроснабжение других потребителей электроэнергии на автомобиле и тракторе при неработающем генераторе или его недостаточной мощности. Во втором случае аккумуляторная батарея работает параллельно с генератором. Основным потребителем энергии аккумуляторной батареи является электростартер. Работа в стартерном режиме определяет тип и конструкцию аккумуляторных батарей и выделяет их в особый класс стартерных батарей.

На автомобилях и тракторах в качестве стартерных применяются свинцовые аккумуляторные батареи. По конструктивно функциональному признаку различают батареи:

- обычной конструкции – в моноблоке с ячеечными крышками и межэлементными перемычками над крышками;
- в моноблоке с общей крышкой и межэлементными перемычками под крышкой;
- необслуживаемые* – с общей крышкой, не требующие технического обслуживания в эксплуатации.

Работая параллельно с генераторной установкой, аккумуляторная батарея устраняет перегрузки генератора и перенапряжения в системе электрооборудования. После разряда на электростартер и другие потребители электроэнергии аккумуляторная батарея подзарядается от генераторной установки с определенным уровнем регулируемого напряжения. Генератор должен восполнить энергию, отданную батареей при разряде. Чередование режимов разряда и заряда (циклирование) – одна из характерных особенностей работы аккумуляторных батарей на автомобилях и тракторах.

Аккумуляторная батарея является не только элементом систем электроснабжения и электростартерного пуска, но и составной частью других систем в электрооборудовании.

Условия, в которых работает аккумуляторная батарея, зависят от типа, назначения и климатической зоны эксплуатации, а также от места ее установки на автомобиле и тракторе. На эксплуатационную надежность и срок службы батареи влияют температура окружающей среды, уровень вибрации и тряски, периодичность, объем и качество технического обслуживания, параметры стартерного разряда, сила токов и продолжительность разряда и заряда при циклировании, уровень надежности и исправности электрооборудования, продолжительность работы и перерывов в эксплуатации. Стартерные свинцовые аккумуляторные батареи могут эксплуатироваться при температуре окружающей среды от 40 до 60С (аккумуляторные батареи группы I) и от 50 до 60С (батареи группы II). При этом рабочая температура электролита должна быть не выше 50С. При повышении температуры электролита батареи разрушаются электроды, ускоряется сульфитация. Для уменьшения химической активности электролита его плотность в жарких и теплых влажных климатических районах понижают до 1,25–1,27 г/см³. Рост температуры вызывает интенсивное испарение воды из электролита. Под действием солнечных лучей и высокой температуры в батареях обычной конструкции уменьшается прочность эбонитовых моноблоков, крышек и герметизирующей мастики.

При низких температурах герметизирующая мастика теряет эластичность, растрескивается и отслаивается от поверхности крышек и моноблоков. Моноблоки, крышки и пробки становятся хрупкими. При таянии снега на поверхности батареи образуется влага. Лед на поверхности пробок может закрыть вентиляционные отверстия. При недостаточной плотности электролита и значительной разряженности батареи возможно замерзание электролита. Поэтому батареи, эксплуатируемые при низких температурах, рекомендуется заполнять электролитом большей плотности (1,29–1,31 г/см³) и содержать в заряженном состоянии.

Низкие температуры значительно ухудшают условия заряда аккумуляторных батарей. Уже при температуре 10 С разряженная на 50 % батарея может быть заряжена только на 60–65 % номинальной емкости. В условиях зимней эксплуатации увеличивается число включенных потребителей. Резко возрастает сила тока, потребляемого электростартером.

Все это затрудняет обеспечение положительного зарядного баланса батареи на автомобиле. При температуре ниже 10 С для поддержания батареи в заряженном состоянии необходимо повышать регулируемое напряжение генераторной установки трактора. Зарядное напряжение должно соответствовать значению, указанному в техническом описании и инструкции по эксплуатации трактора. Максимальное регулируемое напряжение генераторной установки не должно превышать 15,5 и 31,0 В соответственно для 12 и 24 вольтных систем электрооборудования. Высокая механическая прочность, достаточный срок службы, необходимая емкость при небольших размерах и массе, работоспособность в широком диапазоне температур и значений силы разрядного тока, небольшие потери энергии при длительном бездействии, минимальное внутреннее сопротивление и внутреннее падение напряжения при большой силе тока разряда в стартерном режиме – это не полный перечень требований к стартерным аккумуляторным батареям на тракторе. Аккумуляторные батареи должны выдерживать кратковременные разряды стартерными токами большой силы без разрушения электродов и ухудшения характеристик при дальнейшей эксплуатации, а также иметь достаточный запас энергии для питания потребителей в случае выхода из строя генераторной установки и для других нужд, возникающих в аварийных ситуациях.

К аккумуляторным батареям на тракторах должен быть обеспечен свободный доступ для осмотра и технического обслуживания. Аккумуляторные батареи размещают ближе к стартеру с целью уменьшения длины стартерного провода и падения напряжения на нем. Массовый провод батареи крепят к двигателю или жесткой раме.

Уровень вибрации в местах установки аккумуляторных батарей не должен превышать 1,5g (ускорение 14,7 м/с²) в диапазоне частот до 60 Гц. Допускается кратковременная вибрационная нагрузка при ускорении 49 м/с² (5g) с частотой до 30 Гц. При вибрации

и тряске батарея не должна перемещаться по опорной площадке. Посадочные места должны иметь амортизаторы и амортизационные прокладки.

Саморазряд заряженной батареи, кроме необслуживаемой, после бездействия в течение 14 суток при температуре окружающей среды не должен превышать 10 %, а после бездействия в течении 28 сут 20 % номинальной емкости. Саморазряд необслуживаемой батареи после бездействия в течении 90 сут не должен превышать 10 % номинальной емкости, а после бездействия в течении года – 40 %.

Минимальный срок службы аккумуляторной батареи в эксплуатации считается до момента уменьшения разрядной емкости ниже 40 % номинальной емкости или снижения продолжительности стартерного разряда до 1,5 мин при температуре $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ до конечного разрядного напряжения 4,5 и 9,0 В соответственно для 6 и 12 вольтных батарей.

Минимальный срок службы батарей обычной конструкции и с общей крышкой в эксплуатации должен составлять один год при наработке транспортного средства не более 90 тыс. км пробега.

Минимальный срок службы необслуживаемых батарей в эксплуатации должен составлять три года при наработке транспортного средства не более 100 тыс. км пробега.

Гарантийный срок сохраняемости не залитых электролитом батарей – три года с момента изготовления. Гарантийный срок сохраняемости сухозаряженных батарей – один год с момента изготовления.

Для необслуживаемых батарей, залитых электролитом, устанавливается срок сохраняемости два года при условии промежуточного заряда в пределах минимального срока службы.

Химический источник тока должен удовлетворять следующим требованиям:

- максимальная ЭДС электрохимической системы;
- максимальное количество электрической энергии, снимаемой с единицы массы или объема;
- минимальный саморазряд;
- максимальный срок службы;
- минимальная стоимость материалов и изготовления;
- возможность обеспечения работы в наиболее широких температурных пределах.

2.3. Принцип действия аккумулятора

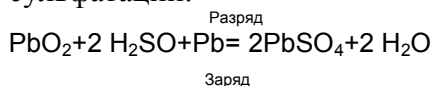
Аккумуляторные батареи являются вторичными химическими источниками тока, которые могут использоваться многократно. Активные вещества, израсходованные в процессе разряда, восстанавливаются при последующем заряде. При протекании разрядной химической реакции в аккумуляторе отрицательный электрод окисляется, а положительный восстанавливается. При окислении происходит отдача электронов, при восстановлении – присоединение электронов.

В свинцовом аккумуляторе в токообразующих процессах участвуют диоксид свинца PbO_2 (окислитель) положительного электрода, губчатый свинец Pb (восстановитель) отрицательного электрода и электролит – водный раствор серной кислоты H_2SO_4 . Активные вещества электродов представляют собой относительно жесткую электропроводящую массу с диаметром пор 1–5 мкм у диоксида свинца и 5–10 мкм у губчатого свинца. Объемная пористость активных веществ в заряженном состоянии составляет около 50 %.

Часть серной кислоты в электролите диссоциирована на положительные ионы водорода H^+ и отрицательные ионы кислотного остатка SO_4^{2-} . Губчатый свинец при разряде аккумулятора выделяет в электролит положительные ионы двухвалентного свинца Pb^{2+} . Избыточные ионы отрицательного электрода по внешнему участку замкнутой электрической цепи перемещаются к положительному электроду, где восстанавливают четырехвалентные ионы свинца Pb^{4+} до двухвалентного свинца Pb^{2+} . Положительные ионы свинца Pb^{2+} соединяются с отрицательными ионами кислотного остатка SO_4^{2-} , образуя на обоих электродах сернокислый свинец PbSO_4 (сульфат свинца).

При подключении к зарядному устройству электроны движутся к отрицательному электроду, нейтрализуя двухвалентные ионы свинца Pb^{2+} . На электроде выделяется губчатый свинец Pb . Отдавая под влиянием напряжения внешнего источника тока по два электрона, двухвалентные ионы свинца Pb^{2+} у положительного электрода окисляются в четырехвалентные ионы Pb^{4+} . Через промежуточные реакции ионы Pb^{4+} соединяются с двумя ионами кислорода и образуют диоксид свинца PbO_2 .

Химические реакции в свинцовом аккумуляторе описываются уравнением двойной сульфатации:



Содержание в электролите серной кислоты и плотность электролита уменьшаются при разряде и увеличиваются при заряде. Образование воды при разряде происходит у положительного электрода, в результате плотность электролита у положительных электродов падает быстрее, чем у отрицательных. При заряде серная кислота образуется у положительного электрода, поэтому плотность электролита у положительного электрода растет быстрее, чем у отрицательного. На 1 А·ч электрической емкости расходуется: при разряде – 3,86 г свинца, 4,44 г диоксида свинца, 3,67 г серной кислоты, а при заряде – 0,672 г. воды, 11,6 г сульфата свинца.

Расход кислоты у положительных электродов больше, чем у отрицательных. Если учитывать количество воды, образующейся у положительных электродов, то количество кислоты, необходимой для них в течении разряда, в 1,6 раза больше, чем для отрицательных. Это является основной причиной того, что сепаратор со стороны положительного электрода имеет желоба с целью увеличения объема кислоты около такого электрода. При заряде происходит незначительное увеличение объема электролита, а при разряде – уменьшение.

По плотности электролита можно судить о степени разряженности $\Delta Cr(\%)$ свинцового аккумулятора:

$$\Delta Cr = 100 (\rho_3 - \rho_{25}) / (\rho_3 - \rho_p),$$

где ρ_3 и ρ_p – плотность электролита соответственно полностью заряженного и полностью разряженного аккумуляторов при температуре 25 °С, г/см³ ($\rho_3 - \rho_p = 0,16$ г/см³); ρ_{25} – измеренная плотность электролита, приведенная к плотности при температуре 25 °С, г/см³ (далее плотность, приведенная к температуре).

Для приведения плотности электролита к температуре 25 °С используют формулу $\rho_{25} = \rho_t - 0,0007 (t - 25)$, где t – температура электролита в момент измерения плотности.

Степень разряженности батареи по измеренной плотности определяют с учетом начальной плотности электролита полностью заряженной батареи (табл. 2.1). Батареи, степень разряженности которых больше 50 % летом и 25 % зимой, необходимо снять с эксплуатации и зарядить в стационарных условиях.

Таблица

Плотность электролита, приведенная к температуре 25 °С, г/см³

Полностью заряженная батарея	Разряженная батарея	
	на 25 %	на 50 %
1,30	1,26	1,22
1,28	1,24	1,20
1,26	1,22	1,18
1,24	1,20	1,16
1,22	1,18	1,14

Батарея в зависимости от требуемого напряжения содержит три или шесть последовательно соединенных аккумуляторов.

Стартерная свинцовая аккумуляторная батарея обычной конструкции с межэлементными перемычками над ячеичными крышками состоит из собранных в полублоки 2 и 3 (рис. 2.1) положительных и отрицательных электродов (пластин), сепараторов 1, моноблока 12 (корпуса), крышек 7 с пробками 10, межэлементных перемычек 9, полюсных выводов 11 и предохранительного щитка 5.

Аккумуляторная батарея с общей крышкой и межэлементными перемычками под крышкой дана на рис. 2.2. Положительные 3 и отрицательные 4 электроды имеют решетку 1 с нанесенной на нее активной массой. Для предохранения от коротких замыканий электроды разделены сепараторами 2. Положительные и отрицательные электроды соединены бареткой в полублоки 12 и 5.

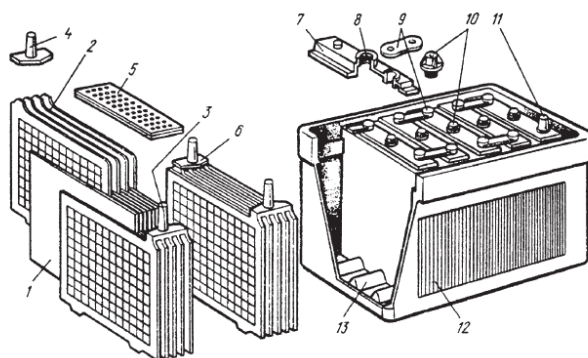


Рис. 2.1. Стартерная аккумуляторная батарея обычной конструкции:

1 – сепаратор; 2, 3 – полублоки соответственно положительных и отрицательных электродов; 4 – баретка; 5 –; 6 – мостик; 7 – крышка; 8 – заливочное отверстие; 9 – межэлементная перемычка; 10 – пробка; 11 – полюсный вывод; 12 – моноблок; 13 – опорная призма

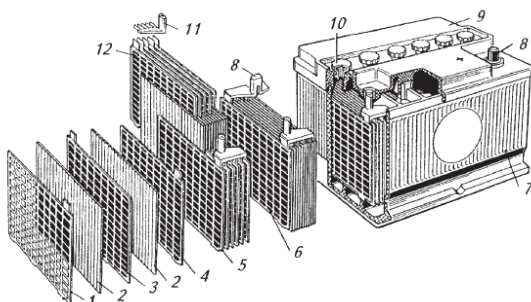


Рис. 2.2. Аккумуляторная батарея с общей крышкой:

1 – решетка; 2 – сепаратор; 3, 4 – электроды соответственно положительный и отрицательный; 5, 12 – полублоки соответственно отрицательных и положительных электродов; 6 – блок электродов с сепараторами; 7 – корпус моноблока; 8 – полюсный вывод; 9 – общая крышка; 10 – пробка; 11 – мостик с борном

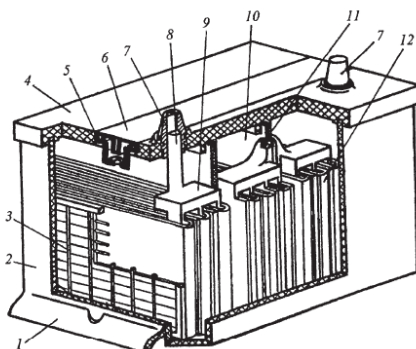


Рис. 2.3. Аккумуляторная батарея с сепараторами-конвертами:

1 – выступ моноблока; 2 – моноблок; 3 – электрод; 4 – крышка; 5 – пробка; 6 – планка; 7 – вывод; 8 – борн; 9 – мостик; 10 – перегородка; 11 – межэлементная

перемычка; 12 – сепаратор конверт Полублоки объединяются в блоки, которые опускаются в секции моноблока и соединяются между собой межэлементными перемычками.

Аккумуляторная батарея с сепараторами конвертами и межэлементными перемычками под общей крышкой через перегородку для тракторов приведена на рис. 2.3.

В полностью заряженной свинцовой батарее активным веществом положительных электродов является диоксид свинца PbO_2 (темно-коричневого цвета), а отрицательных – губчатый свинец Pb (серого цвета).

Решетки электродов выполняют функции подвода тока к активной массе при ее заряде и токоотвода при ее разряде, а также механического удержания активной массы.

Одинаковые по конструкции решетки положительных и отрицательных электродов имеют ушки, рамку с вертикальными ребрами и горизонтальными жилами, опорные ножки. В некоторых решетках в случае применения сепараторов конвертов ножки имеют меньшую высоту или отсутствуют. Профиль ребер и жилок обеспечивает легкое извлечение решетки из литейной формы и хороший контакт между активной массой и решеткой.

Освинцованная сетка металлической решетки с увеличенной поверхностью имеет лучшее сцепление с активным веществом электрода, что уменьшает действие коррозии и увеличивает срок службы батареи.

Решетки электродов должны обеспечивать равномерное токораспределение по всей массе активных веществ. Степень неравномерности токораспределения на электродах зависит от отношения высоты к ширине электродов. С приближением данного отношения к единице (квадратный электрод) степень неравномерности токораспределения снижается. В стартерных батареях обычной конструкции применяют электроды шириной 143 мм и высотой без ножек 119 и 133,5 мм.

Толщина решеток электродов зависит от режимов работы и установленного срока службы батареи. Для автомобильных батарей толщина решеток равна 1,5–2 мм.

Решетки отрицательных электродов имеют меньшую толщину, так как они менее подвержены коррозии. Масса решетки составляет до 50 % массы электрода.

Решетки электродов отливают из сплава свинца и сурьмы (4–6 %) с добавлением мышьяка (0,1–0,2 %). Сурьма увеличивает механическую прочность и коррозионную стойкость решетки, повышает ее твердость, улучшает текучесть сплава при изготовлении решеток, снижает их окисление при хранении. Добавка мышьяка увеличивает коррозионную стойкость решеток, заметно повышает предел прочности на разрыв и твердость. Легирование мышьяком свинцово-сурьмянистых сплавов решеток электродов позволяет увеличить срок службы батарей.

Ячейки решеток электродов заполнены пористой активной массой. Основой пасты электродов является свинцовый порошок, замешиваемый в водном растворе серной кислоты. Для увеличения прочности активной массы в пасту положительных электродов добавляют полипропиленовое волокно. Добавление волокна повышает механическую прочность пасты и увеличивает пористость активной массы положительного электрода с 40 до 50 %, в результате чего повышается срок службы и улучшаются энергетические характеристики батареи на 9–15 %. Содержание волокна и капрона или пропилена диаметром 25 мкм, длиной 3–5 мм составляет 0,4 % сухой массы активного вещества. Уплотнение активного вещества отрицательных электродов в процессе эксплуатации предотвращается благодаря добавлению в пасту расширителей (сажа, дубитель БНС, гумматы, получаемые из торфа, и т.д.) в смеси с сернокислым бариумом.

Пористая структура активной массы электродов обеспечивает лучшее проникновение электродов в глубинные слои и повышает коэффициент использования активных веществ. Активная поверхность пористой массы (поверхность, непосредственно контактирующая с электролитом) в сотни раз превышает геометрическую поверхность электрода.

Губчатый свинец отрицательного электрода имеет меньшее удельное сопротивление (1,83–10 Ом·см) по сравнению с диоксидом свинца ($74 \cdot 10^{-4}$ Ом·см) положительного

электрода, поэтому отрицательный электрод обладает большей механической прочностью, меньше подвержен короблению и коррозии.

Омическое сопротивление решеток стартерных батарей толщиной 2,2–2,5 мм находится в пределах 1,8–2,4 мОм, толщиной 1,6–1,8 мм – в пределах 2,4–3,0 мОм. В заряженном состоянии сопротивление отрицательного электрода составляет 62–70 % сопротивления решетки, а положительного – 92–98 %. По мере разряда батареи сопротивление электродов приближается к сопротивлению решеток.

Отрицательные и положительные электроды с помощью бареток соединены в полублоки. Баретки имеют мостики, к которым ушками приварены решетки электродов, и выводные штыри (борны). Борны являются токоотводами полублоков электродов. Мост и мостики обеспечивают необходимый зазор между электродами. С увеличением числа параллельно соединенных электродов в полублоках увеличивается номинальная емкость аккумулятора.

Полублоки объединены в блоки электродов. В зависимости от предъявляемых к батарее требований соотношение между числом положительных и отрицательных электродов может быть различным. Однако число разнополярных электродов отличается не более чем на единицу: обычно отрицательных электродов в блоках на один больше, чем положительных.

В токообразующих реакциях участвует большее количество активного вещества положительных электродов. Находясь между двумя отрицательными электродами, положительный электрод при заряде и разряде подвергается меньшим изменениям активной массы и меньше деформируется. При таком соотношении толщина положительных электродов, как правило, на 10–20 % больше толщины отрицательных, а толщина крайних отрицательных электродов на 40 % меньше толщины положительных. В некоторых батареях число разнополярных электродов одинаково. В таких случаях оба электрода имеют одинаковую толщину.

Электроды в блоках разделены сепараторами, которые, предотвращая короткое замыкание между разнополярными электродами, обеспечивают необходимый для высокой ионной проводимости запас электролита в междуэлектродном пространстве и возможность переноса электрического заряда от одного электрода к другому. Кроме того, сепараторы фиксируют положение электродов, предупреждая их перемещение при тряске и вибрации. В некоторых конструкциях аккумуля

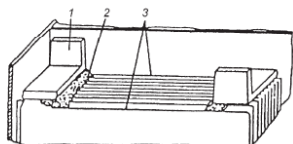


Рис. 2.4. Крепление блока электродов к баретке с помощью полиуретана

торных батарей блок электродов 3 (рис. 2.4) крепится дополнительно к баретке 1 с помощью полиуретана 2, что значительно повышает стойкость аккумуляторной батареи к вибрации.

Технические показатели сепараторов существенно влияют на работу свинцовой аккумуляторной батареи. От омического сопротивления сепараторов зависит внутреннее падение напряжения в аккумуляторной батарее. Сепараторы замедляют оплывание активной массы положительных электродов и сульфатацию отрицательных электродов, продлевая срок службы аккумуляторной батареи.

Сепараторы должны обладать высокой пористостью, достаточными механической прочностью, кислотостойкостью, эластичностью, минимальной гигроскопичностью при длительном хранении аккумуляторной батареи в сухозаряженном состоянии и должны сохранять свои свойства в широком диапазоне температур. Сопротивление сепаратора, пропитанного электролитом, должно быть меньше, чем сопротивление такого же по объему и геометрическим размерам слоя электролита.

В стартерных свинцовых батареях устанавливают сепараторы из мипора, мипласта, поровинила, пластипора (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Материал	Относительное электро-сопротивление ¹ , не более	Объемная пористость, %, не менее	Масса, кг, сепаратора с площадью поверхности 1 м ²
Мипор	5,5	50–60	0,564
Мипласт	5	40–50	0,636
Поровинил	5	75	0,272
Пластипор	—	75	0,250

¹Относительное сопротивление — отношение сопротивления сепаратора, пропитанного электролитом, к сопротивлению слоя электролита той же формы, какую имеет сепаратор.

Мипор (микропористый эбонит) получают в результате вулканизации смеси натурального каучука с силикагелем и серой. Промышленность выпускает сепараторы из мипора толщиной 1,1; 1,5; 1,9 мм. К недостаткам сепараторов из мипора относятся хрупкость, малая скорость пропитки электролитом, дефицитность сырья и высокая стоимость.

Мипласт или микропористый полихлорвинил изготавливают из полихлорвиниловой смолы путем спекания. Сепараторы из мипласта выпускают толщиной 1,1; 1,3; 1,5; 1,7; 1,9 мм. Технологический процесс изготовления сепараторов из мипласта проще. Мипласт быстро пропитывается электролитом, обладает низким относительным сопротивлением и достаточной механической прочностью. Мипласт менее стоек к образованию игольчатых токопроводящих мостиков между электродами, так как имеет меньшую пористость и больший диаметр пор по сравнению с мипором. Срок службы батарей с сепараторами из мипласта меньше.

Поровинил получают из пористого полихлорвинила, а **пластипор** — из перхлорвиниловой смолы.

Влажность сепараторов из мипора и мипласта при сборке, а также сквозных микроотверстий, которые можно обнаружить при просвечивании электрической лампой мощностью 100 Вт, расположенной на расстоянии 100 мм от сепаратора, не должна быть более 2 %.

Механическую прочность сепараторов оценивают по сопротивлению при разрыве, изгибе вокруг валика диаметром 45–60 мм.

Сепараторы представляют собой тонкие (1–2 мм) прямоугольные пластины с вертикальными ребрами, которые обращены к положительному электроду для лучшего доступа к нему электролита. Небольшие ребра высотой 0,15–0,20 мм со стороны, обращенной к отрицательному электроду, снижают вероятность "прорастания" сепаратора, улучшают условия диффузии и конвекции электролита около отрицательного электрода.

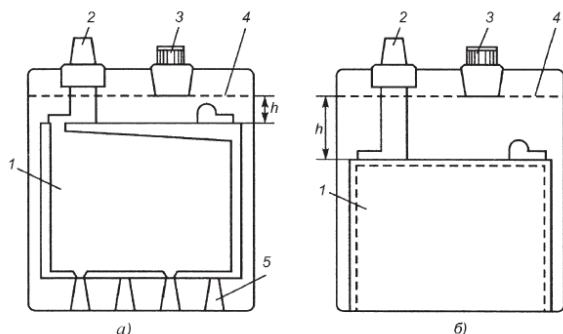


Рис. 2.5. Схемы расположения электродов в аккумуляторных батареях:

а — обычных; б — необслуживаемых с сепараторами-конвертами; 1 — блок электродов; 2 — полюсный вывод; 3 — пробка; 4 — призма моноблока; h — уровень электролита над блоком электродов.

Сепараторы из мипора и мипласта больше электродов по ширине на 3–5 мм, по высоте на 9–10 мм, что исключает появление токопроводящих мостиков по торцам электродов и сепараторов.

В последнее время в необслуживаемых аккумуляторных батареях применяют также сепараторы конверты. Схема расположения электродов в аккумуляторных батареях дана на рис. 2.5.

При установке одного из электродов в сепаратор конверт исключается замыкание электродов разноименной полярности шламом.

Поэтому можно устанавливать блоки электродов непосредственно на дно моноблоков без призм и шламового пространства, что позволяет при сохранении высоты аккумуляторной батареи более чем в 2 раза увеличить высоту уровня электролита над электродами.

Моноблок (корпус) стартерных батарей изготавливают из эбонита (ГОСТ 6980–76) или пластмассы (ГОСТ Р 51977–2002). Тяжелые и хрупкие моноблоки из эбонита в настоящее время заменяют моноблоками из термопласта (наполненного полиэтилена) или тонкостенными моноблоками из морозостойкого сополимера пропилена с этиленом. Высокая прочность в широком интервале температур, стойкость к кислотам, маслам, растворителям и теплостойкость новых моноблоков позволили уменьшить толщину их стенок до 1,8–2,5 мм (вместо 6–8 мм для моноблока из эбонита), а перегородок – до 1,2–2,5 мм (вместо 2,65–5,6 мм).

Внутри моноблок разделен прочными непроницаемыми перегородками на отдельные ячейки по числу аккумуляторов в батарее. В ячейках моноблока размещают собранные в блоки электроды, разделенные сепараторами. В аккумуляторных батареях с обычными сепараторами на дне каждой ячейки предусмотрены четыре призмы, образующие пространство для оседающих на дно ячеек батареи активных веществ электродов (шлама). На каждые две опорные призмы устанавливают разнополярные электроды на опорах, что исключает их короткое замыкание шламом. На перегородках моноблока предусмотрены вертикальные выступы (пилястры) для лучшей циркуляции электролита у электродов, прилегающих к перегородкам.

Применение полипропилена дало возможность при сохранении достаточной механической прочности существенно уменьшить массу моноблока. Плотность пропиленового моноблока на 80 % меньше массы эбонитового, что делает батарею более транспортабельной в процессе эксплуатации.

При одинаковых габаритных размерах в полипропиленовый моноблок можно установить больше электродов, что увеличивает емкость батареи на 15–20 %. Моноблок из полипропилена прочнее, труднее разрушается, более термостоек, полупрозрачен, что упрощает контроль уровня электролита. Полипропилен более устойчив к воздействию электролита, масел, пластичных смазочных материалов и бензина.

При соединении аккумуляторов через перегородки уменьшаются масса свинца и внутреннее сопротивление батареи, что повышает на 10 % ее мощность. Плотное приваренная к моноблоку общая крышка предотвращает подтекание электролита и окисление полюсных выводов в процессе эксплуатации.

Крышки отдельных аккумуляторов или всей батареи изготавливаются из однородного с моноблоком материала. Наиболее распространена крышка с двумя крайними отверстиями для вывода борнов блока электродов и одним средним резьбовым отверстием для заполнения ячейки моноблока электролитом и контроля его уровня. В крайние отверстия отдельных крышек запрессованы свинцовые втулки.

В местах стыка отдельных крышек со стенками моноблока батареи герметизированы битумной мастикой.

Широкие возможности для конструктивных усовершенствований, позволяющих облегчить техническое обслуживание батареи в процессе эксплуатации, обеспечивает при-

менение общих крышек, которые приваривают к моноблокам. Контактно тепловая сварка пластмассового моноблока 1 (рис. 2.6) и общей крышки 2 создает надежную герметизацию.

Применение общей крышки на все аккумуляторы батареи позволяет: уменьшить длину межэлементных соединений, что понижает внутреннее сопротивление батареи; легче поддерживать чистоту верхней части батареи, что снижает вероятность ее саморазряда через крышку; усилить крепление отдельных аккумуляторов в батарее.

Однако использование общей крышки имеет недостатки: нельзя измерить напряжение отдельного аккумулятора и заменить его, если он непригоден; невозможно отремонтировать батарею с общей крышкой.

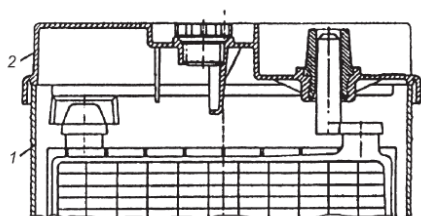


Рис. 2.6. Соединение общей крышки с моноблоком:

1 — моноблок; 2 — крышка

Заливочные отверстия горловины в крышках унифицированы по метрической резьбе М20, М24 и М30 и закрыты пробками с вентиляционными отверстиями.

Пробки изготавливают из эбонита, полистирола или фенолита. Пластмассовые пробки имеют меньшую массу и большую прочность. Для того чтобы предотвратить вытекание электролита, между уплотнительным бортиком корпуса 1 (рис. 2.7) и заливочной горловиной крышки устанавливают резиновую шайбу 3. Герметизация может обеспечиваться также конусным бортиком 5, плотно прилегающим к горловине отверстия в крышке. В новой конструкции пробок предусмотрен пластмассовый уплотнительный элемент 6, расположенный на бортике пробки. Пробки имеют встроенные отражатели 4 и 7, ко

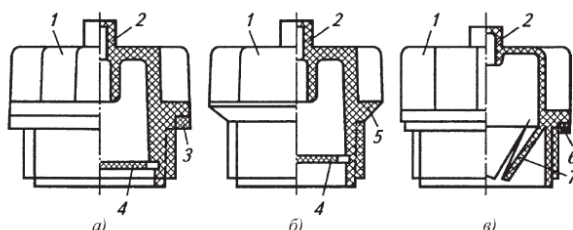


Рис. 2.7. Пробки батарей с уплотнением:

а — резиновым; б — под конус; в — пластмассовым; 1 — корпус пробки; 2 — прилив вентиляционного отверстия; 3 — резиновая шайба; 4 — отражатель; 5 — конусный бортик; 6 — пластмассовый уплотнительный элемент; 7 — лепестковый отражатель, которые не позволяют электролиту выплескиваться через вентиляционное отверстие. В пробках новой конструкции отражатель 7 выполнен в виде лепестков.

Батареи большей емкости снабжены ручками для переноски, прикрепленными к моноблоку специальными металлическими скобами, накладками и винтами. Такая конструкция требует дополнительной оснастки для изготовления крепежных деталей переносных устройств и увеличивает трудоемкость изготовления батарей. Исполнение переносных устройств с ручками, расположенными в отверстиях бортика моноблока, проще. Ручки могут быть жесткими или гибкими, могут перемещаться в вертикальном направлении и поворачиваться на некоторый угол по горизонтали. Переносные устройства и места их крепления должны выдерживать нагрузку, равную двукратной массе батареи с электролитом.

Для последовательного соединения аккумуляторов в батарее используют межэлементные перемычки (рис. 2.8), которые припаивают к борнам бареток полублоков в таком

порядке, чтобы соединить между собой полублок отрицательных электродов одного аккумулятора с полублоком положительных электродов рядом расположенного аккумулятора. При соединении борна с межэлементной перемычкой к ним приваривается верхняя часть свинцовой втулки, запрессованной

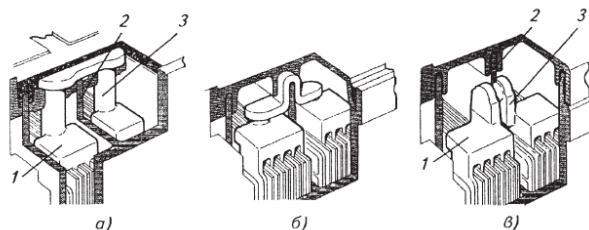


Рис. 2.8. Межэлементные перемычки аккумуляторных батарей:

а – наружные над крышкой; *б* – внутренние над перегородкой; *в* – внутренние через отверстие в перегородке; *1* – мостик баретки; *2* – перегородка моноблока; *3* – борн баретки

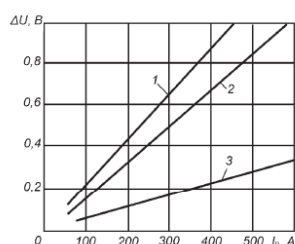


Рис. 2.9. Зависимость падения напряжения ΔU в перемычке между аккумуляторами от силы разрядного тока I_p батареи при различных способах соединения аккумуляторов:

1 – над крышкой; *2* – под крышкой; *3* – через перегородку в крышке. Это обеспечивает надежное уплотнение отверстий в местах вывода борнов. Укороченные межэлементные перемычки через перегородки полиэтиленовых моноблоков позволяют уменьшить внутреннее сопротивление батареи и расход свинцового сплава. Снижение падения напряжения на соединительных деталях позволяет иметь больше на 0,1–0,3 В напряжение на выводах батареи при ее работе в стартерном режиме. На рис. 2.9 приведена зависимость падения напряжения ΔU в перемычке между аккумуляторами от силы разрядного тока I_p при различных способах соединения аккумуляторов.

Для уменьшения внутреннего падения напряжения в батареях 6СТ_182, 6СТ_190 и 3СТ_215 борны и межэлементные перемычки выполнены в виде освинцованных вкладок из меди, имеющей в 12 раз большую электропроводность по сравнению со свинцово-сурьмянистыми сплавами. На рис. 2.10 показаны токоведущие детали с медными вставками.

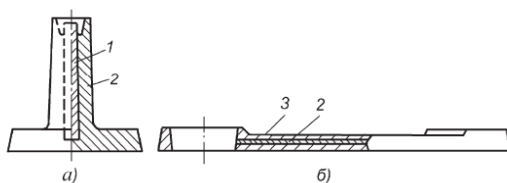


Рис. 2.10. Токоведущие детали с медными вставками:

а – борн; *б* – межэлементная перемычка; *1* – медный стержень борна; *2* – свинцово-сурьмянистый сплав; *3* – медная планка межэлементной перемычки

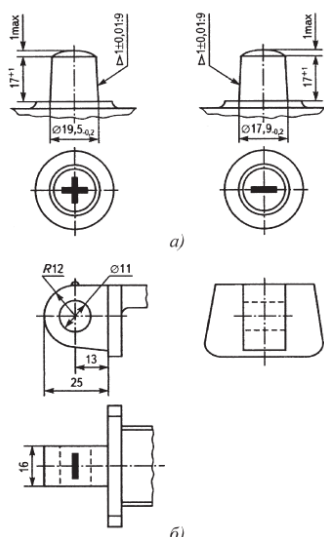


Рис. 2.11. Полюсные выводы стартерных батарей:

а – конусные; *б* – с отверстиями под болт. Поперечное сечение борнов и межэлементных перемычек батарей выбирается из условия, что падение напряжения на каждом из борнов составляет 16 мВ на межэлементных перемычках – 20 мВ при силе тока 3С20 А.

К борнам крайних аккумуляторов приваривают конусные полюсные выводы (рис. 2.11). Размеры выводов стандартизованы.

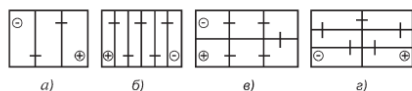


Рис. 2.12. Схемы расположения аккумуляторов в отечественных батареях с номинальным напряжением:

а – 6 В; *б, в, г* – 12 В

Диаметр конуса у основания положительного вывода больше, чем у отрицательного (у зарубежных батарей размер выводов указывается по верхнему диаметру конуса: 17,4 и 15,8 мм соответственно для положительного и отрицательного выводов). Таким образом исключается вероятность неправильного подключения батареи в систему электрооборудования. Некоторые батареи имеют выводы меньших размеров с отверстиями под болты или винты. Необслуживаемые аккумуляторные батареи корпорация GNB выпускает с обоими типами выводов: конусными на крышке и боковыми с резьбовыми втулками. Это позволяет обеспечить подключение к батарее соединительных проводов с различными конструктивными исполнениями наконечников.

В зависимости от емкости батареи, ее номинального напряжения и типа транспортного средства предусмотрены различные схемы расположения аккумуляторов в батарее (рис. 2.12).

1.1.5. Форма отчета.

1. Дата и тема работы.
2. Расчетные формулы с краткими пояснениями.
3. Исходные данные для расчета.
4. Результаты расчетов.
5. График (на миллиметровой бумаге).

1.1.6. Выводы.

В выводах указать достигнута ли поставленная цель и выполнены задачи. Краткий анализ полученных результатов.

1.2 Лабораторная работа №2 (2 часа).

Тема: «Исследование электрических характеристик проверка технического состояния генератора переменного тока»

1.2.1 Цель работы: Изучение конструкции и работы генераторных установок, правил их эксплуатации и технического обслуживания.

1.2.2 Задачи работы:

1. Изучить устройство генератора переменного тока.
2. Изучить работу генератора переменного тока.
3. Изучить порядок регулировки генератора и технического обслуживания.

1.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. При выполнении лабораторной работы используются следующие материалы:
 - методическое указание к лабораторной работе;
 - справочные материалы;
 - работоспособный генератор и регулятор напряжения, набор инструментов, ходовой трактор, тестер.

1.2.4 Описание (ход) работы:

Автомобильные и тракторные системы электроснабжения – это совокупность оборудования, обеспечивающего производство электрической энергии необходимого качества, распределение и передачу ее потребителям.

На автомобилях и тракторах применяют системы электроснабжения постоянного тока. В систему электроснабжения входят:

источники электрической энергии (генератор, аккумуляторная батарея);
регулирующие устройства;

элементы контроля и защиты от возможных аварийных режимов (реле и контрольная лампа или одна контрольная лампа).

Основным источником электрической энергии в системе электроснабжения является генератор переменного тока с выпрямителем, который приводится во вращение от двигателя внутреннего сгорания посредством ременной передачи. Специальный узел генератора – выпрямитель обеспечивает преобразование переменного тока в постоянный. Поскольку переменный ток выпрямляется полупроводниковыми диодами (вентильными), такие генераторы называются вентильными. Благодаря использованию полупроводникового выпрямителя значительно повысились надежность и удельная мощность генератора, упростилась его конструкция по сравнению с генератором постоянного тока с механическим выпрямителем – коллектором, уменьшилась трудоемкость технического обслуживания в эксплуатации, расширился диапазон рабочих частот вращения вала генератора.

Генератор с регулятором напряжения образует генераторную установку. Генераторные установки в процессе развития претерпели существенные изменения. Коллекторные генераторы постоянного тока, работающие совместно с вибрационными реле-регуляторами, вытеснены вентильными генераторами с транзисторными или тиристорными регуляторами напряжения. Большинство генераторов в настоящее время представляют собой устройство, в которое встроены силовой выпрямитель (в ряде случаев и дополнительный для питания обмоток возбуждения) и регулятор напряжения. Существенно усложнились схемы генераторных установок. В них появились элементы защиты от возможных аварийных режимов.

При наличии встроенного в генератор интегрального регулятора напряжения упрощается монтаж генераторной установки на автомобиле и тракторе, снижается трудоемкость технического обслуживания, уменьшается расход монтажных проводов и снижается

вероятность возникновения аварийных режимов из-за коротких замыканий в бортовой сети электрооборудования и ошибок при монтаже.

Генераторная установка – достаточно надежное устройство, способное выдерживать повышенную вибрационную нагрузку, высокую температуру под капотом автомобиля, воздействие влажной среды, грязи и других факторов.

Режим работы потребителей электроэнергии на автомобиле и тракторе характеризуется широким диапазоном и случайным характером нагрузки. Скоростной режим работы генератора, ротор которого приводится во вращение от двигателя, также имеет случайный характер. При этом даже при частоте вращения коленчатого вала двигателя, соответствующей режиму холостого хода, генератор должен развивать мощность, достаточную для электроснабжения электронной системы впрыскивания топлива, системы зажигания, информационно-измерительной системы, габаритных огней и фонарей освещения номерного знака.

Основное требование к системе электроснабжения – надежное обеспечение потребителей электрической энергией в различных условиях эксплуатации автомобиля и трактора. Кроме того, элементы системы электроснабжения должны отвечать общим требованиям, которые предъявляются к автотракторному электрооборудованию. Кроме электроснабжения потребителей, входящих в систему электрооборудования автомобиля и трактора, генератор должен обеспечивать заряд аккумуляторной батареи при работающем двигателе. Выходные параметры генераторной установки выбираются таким образом, чтобы на любых режимах движения автомобиля и работы трактора не происходил прогрессивный разряд аккумуляторной батареи.

Напряжение в бортовой сети электрооборудования должно быть стабильным в широких диапазонах изменений частоты вращения ротора генератора и нагрузки. Данное требование связано с тем, что аккумуляторная батарея весьма чувствительна к уровню и стабильности напряжения. Слишком низкое напряжение приводит к недозаряду батареи и, как следствие, к затруднениям при осуществлении пуска двигателя. Слишком высокое напряжение вызывает перезаряд батареи и ускоренный выход ее из строя. Весьма чувствительны к уровню напряжения бортовой сети лампы накаливания приборов освещения и сигнализации.

Параллельная работа генератора с аккумуляторной батареей связана со случайным характером распределения нагрузки между ними.

Аккумуляторная батарея на автомобиле и тракторе выполняет функции как источника, так и потребителя электрической энергии. Распределение нагрузки между генератором и аккумуляторной батареей зависит от многих факторов, основными из которых являются скоростной режим работы двигателя и зависимость от силы отдаваемого тока частоты вращения ротора генератора, уровень регулируемого напряжения, состояние аккумуляторной батареи и температура окружающей среды.

При наличии электронных устройств особые требования предъявляют к характеру изменения выходного напряжения генераторной установки. Импульсное напряжение возникает в системе электроснабжения как при нормальных режимах работы в результате действия переключающих устройств (диодов выпрямителя и транзисторов регулятора напряжения), так и в аварийных режимах, например, при внезапном отключении аккумуляторной батареи. Кратковременные импульсы напряжения в системе электроснабжения не должны превышать 150 В, которые могут выдерживать полупроводниковые элементы генераторной установки.

Система генерирования электрической энергии в первую очередь характеризуется установленной мощностью генератора. Мощность генераторных установок существенно возросла. До конца 70-х годов XX века на автомобилях среднего класса преобладали генераторные установки мощностью около 500 Вт. К началу 90-х годов эта мощность возросла до 800–900 Вт. На автомобилях высшего класса мощность генератора стала еще на

300–400 Вт больше, что объясняется наличием приборов повышенного комфорта в салоне, прежде всего, кондиционера.

На легковых автомобилях среднего класса и грузовых автомобилях преобладают генераторные установки, рассчитанные на максимальную силу тока 50–70 А, а на автомобилях высшего класса – до 90–100 А, т.е. максимальная мощность, отдаваемая потребителям, достигает 1,4–1,5 кВт. При таких мощностях становится важным обеспечить высокий КПД генераторной установки. Мощность, забираемая генераторной установкой от автомобильного двигателя на максимальной частоте вращения коленчатого вала, приближается к 4,5 кВт.

В этом случае расход топлива на привод генератора может достигать 6 % общего расхода, причем 75 % этого расхода топлива теряется на нагрев узлов генераторной установки.

Рост установленной мощности генератора обусловлен как увеличением мощности и количества потребителей электрической энергии, так и увеличением функций, выполнение которых связано с использованием электрической энергии. *Надежность функционирования системы электроснабжения* в значительной степени предопределяет безопасность движения автомобиля и выполнения технологических операций трактором. Система электроснабжения должна выполнять заданные функции, сохраняя требуемые эксплуатационные показатели в заданных пределах, при заданных режимах и условиях работы в течение требуемого периода времени. *Параметрами, характеризующими генераторную установку*, являются также номинальное напряжение генератора, уровень и диапазон изменения регулируемого напряжения, качество электрической энергии, диапазон частот вращения и передаточное число привода генератора.

Отдачу электрической энергии генератором даже при минимальной частоте вращения ротора, соответствующей минимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя в режиме холостого хода, можно обеспечить за счет увеличения передаточного числа ременной передачи привода генератора. Однако при передаточном числе, большем трех единиц, снижается срок службы ремней и увеличиваются механические нагрузки на вращающиеся узлы и детали генератора и на подшипники. Отдача электрической энергии генератора зависит от дорожных условий, грузопотока автомобилей, времени суток и года. В черте города скорость автомобиля ограничена условиями уличного движения и существенно ниже, чем при движении автомобиля по загородному шоссе.

Наиболее нагружен генератор при работе ночью в зимний период эксплуатации, когда включены отопитель, обогреватели стекол, при боры системы освещения и световой сигнализации. Потребляемая сила тока в этом случае составляет 55–80 % максимальной силы тока отдачи генератора. При движении автомобиля днем в теплый период года токовая нагрузка генератора минимальная и не превышает 10–20 % максимальной.

Генераторные установки автомобилей имеют номинальное напряжение 14 и 28 В. Напряжение 28 В характерно для автомобилей с дизелями. У грузовых автомобилей с дизелями система электроснабжения может обеспечивать два уровня напряжения: 14 В – непосредственно на генераторе для электроснабжения основных потребителей; 28 В – на выходе трансформаторно-выпрямительного блока для подзаряда аккумуляторной батареи, используемой при пуске двигателя.

Принцип действия генератора

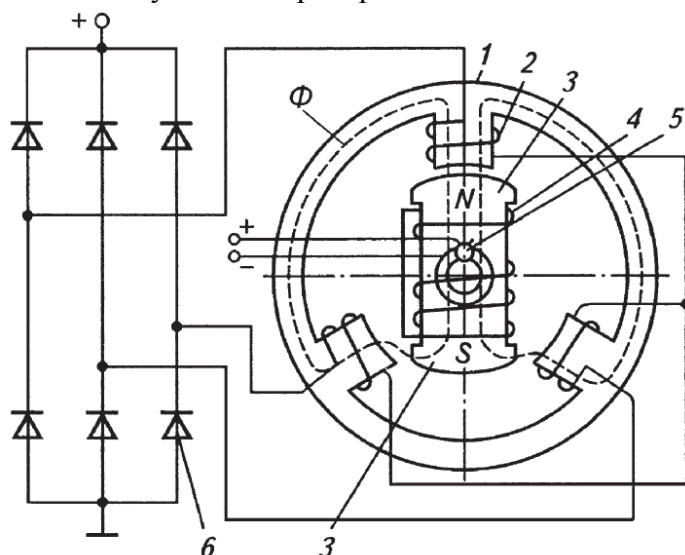
Преобразование в генераторе механической энергии в электрическую происходит в соответствии с явлением электромагнитной индукции. Если с определенной скоростью изменять магнитный поток, пронизывающий контур из токопроводящего материала, то на выводах контура появляется ЭДС. Когда изменяющийся магнитный поток пронизывает катушку с изолированными друг от друга витками токопроводящего провода, то на выводах катушки возникает ЭДС, пропорциональная произведению числа витков и скорости изменения магнитного потока.

Возможны два варианта изменения магнитного потока (наведения ЭДС) в катушках автомобильных и тракторных генераторов:

по величине и направлению, что характерно для щеточной конструкции вентильного генератора с клювообразным ротором;

только по величине, что характерно для бесщеточного генератора, в частности, индукторного.

Основными узлами генератора, в которых происходит преобразование механической энергии в электрическую, являются магнитная система с обмоткой возбуждения 4 (рис. 3.1) и стальными участками магнитопровода 1, по которым протекает магнитный поток Φ , и обмотка 2 статора, в которой индуцируется ЭДС при изменении магнитного потока. Магнитный поток создается обмоткой 4 возбуждения при протекании по ней электриче-



ского тока и системой полюсов.

Рис. 3.1. Вентильный синхронный генератор:

1 – магнитопровод; 2 – обмотка статора; 3 – полюс ротора; 4 – обмотка возбуждения; 5 – щетки; 6 – выпрямитель

Полюса с обмоткой возбуждения, кольца, через которые ток от щеток подводится к обмотке возбуждения, вал и некоторые другие конструктивные элементы образуют вращающийся ротор. Обмотка 2, в которой вырабатывается электрический ток, размещена на неподвижном магнитопроводе 1 и вместе с ним представляет собой статор. При вращении ротора напротив полюсов статора с расположенными на них обмотками фаз оказываются то северный *N*, то южный *S* полюсы ротора. Магнитный поток Φ , пронизывающий обмотки статора, изменяется по величине и направлению, что и приводит к появлению в обмотках переменной ЭДС. Частота f изменения ЭДС связана с частотой n_p вращения ротора и числом p пар полюсов ротора соотношением:

$$f = pn_p / 60.$$

В отечественных автомобильных вентильных генераторах число пар полюсов $p = 6$, поэтому частота их переменного тока в десять раз меньше частоты вращения ротора. Чем выше частота вращения ротора и больше величина магнитного потока, тем быстрее происходит его изменение внутри катушек фаз статора и тем выше значения наводимой в них ЭДС.

Обмотка каждой фазы может иметь несколько катушек, соединенных последовательно, параллельно и смешанно. Фазовые обмотки статора соединяют в многолучевую звезду или многоугольник.

В трехфазном генераторе имеются три группы катушек, расположенные на соседних зубцах статора таким образом, что наводимые в них ЭДС смещены на 120. При соединении фаз в звезду концы всех фаз соединяют в общей нулевой точке, которую изолируют в

```
ERROR: syntaxerror  
OFFENDING COMMAND: --nostringval--  
  
STACK:
```