

3. Электрическая часть

3.1. Общие сведения о главной цепи

Главная цепь электровоза состоит главным образом из пантографа, быстродействующего выключателя, инвентора тяги и тягового электродвигателя и др. Разделение тягового электродвигателя независимо контролируется отдельными инвенторами, чтобы осуществлять самый плотный контроль.

3.2. Электролинии электровоза

3.2.1. Главная цепь осуществляет контроль тяги и рекуперативного торможения с помощью четырёхквadrантного преобразователя, состоящий из блоков IGBT.

3.2.2. Вспомогательный источник питания электровоза применяет трансформатор тока, состоящий из блоков IGBT, система энергоснабжения 3AC380V/50Hz.

3.2.3 Источник питания системы управления DC110V.

3.2.4 Главная цепь электровоза, вспомогательная цепь, цепь управления в разных рабочих ситуациях имеют прекрасные и надёжные средства защиты от короткого замыкания, перегрузки, сверхтока, перенапряжения, пониженного давления, перегрева, холостого хода, прокатывания по инерции, а также от неисправностей заземления, системы вентилирования и системы течения масла. На экране микро-ЭВМ в кабине машиниста отображается информация о неисправности и указания о её устранении.

3.2.5 При нормальной эксплуатации защитные устройства и блок преобразователя в промежуток с момента появления неисправности до срабатывания защитных устройств могут принять на себя удар тока короткого замыкания.

3.2.6 При неисправности в части электровоза можно автоматически или вручную с пульта управления отключить соответствующую цепь для сохранения работоспособности.

3.2.7 Электровоз обладает интеллектуализированной диагностической функцией и может проводить диагностику и давать руководство по безопасности при возникновении неисправностей в главной, вспомогательной цепях, системах управления и пневмотормозной. В режиме сцепки состояние сцепки и информация о неисправностях отображается в ведущем локомотиве.



Закупка 45 локомотивов в Грузии

3.2.8 Электровоз имеет защитную систему блокировки, приближаться к высоковольтной зоне, открывать дверцы шкафа оборудования высокого напряжения или люк на крыше электровоза можно только если главный выключатель отключён, пантограф опущен, а заземляющий переключатель стоит в позиции заземление. Когда дверцы шкафа оборудования высокого напряжения или люк на крыше электровоза открыты можно препятствовать поднятию пантографа и выключить главный выключатель.

3.2.9 Электрический щиток на внешней части локомотива хорошо защищён от попадания посторонних предметов, пыли, дождя и снега. Уровень защиты оболочки не менее IP65 по ГОСТ 14254 (EN 60529).

3.3 Электромагнитная совместимость (ЭМС)

Всё оборудование соответствует требованиям ГОСТ Р 55176.3.1, ГОСТ 16842.

3.3.1 Всё установленное на электровозе электронное и электротехническое оборудование соответствует требованиям ГОСТ Р 55176.3.1. Предотвращают взаимные помехи.

3.3.2 Сигнальное оборудование соответствует требованиям ГОСТ Р 55176.3.1. Данное оборудование не испытывает влияние от электромагнитного поля, создаваемого электрооборудованием тяги, электровозом, энергоснабжением, рекуперацией рельсов и силовыми кабелями.

3.3.3 Электромагнитная совместимость локомотива удовлетворяет стандартным требованиям ГОСТ Р 55176.3.1. Все детали на локомотиве не оказывают влияния друг на друга взаимными помехами.

3.4 Тяговое электрооборудование

Тяговое электрооборудование включает в себя высоковольтные аппараты, предназначенные для регулирования тяги и торможения поезда.

3.4.1 Функции тягового электрооборудования:

На электровозах предусмотрены следующие тяговые режимы работы электрооборудования:

маневровый режим с ограничением скорости движения 3 км/ч;

режим автоматического пуска со скоростями движения от 0 до 120 км/ч;

режим пуска до установленной скорости движения с заданным значением силы тяги с интенсивностью, ограниченной по тепловой мощности тяговых двигателей и условиям сцепления, и движение с постоянной скоростью. Конкретные значения скоростей устанавливаются машинистом;

режим снижения скорости движения с заданной интенсивностью (выбег или электрическое торможение);



Закупка 45 локомотивов в Грузии

На электровозах предусмотрены следующие тормозные режимы работы электрооборудования:

режим электрического торможения с интенсивностью, ограниченной по тепловой мощности тяговых двигателей и условиям сцепления, с максимальной скорости до критического ее значения, определяемого тормозными расчетами и результатами испытаний

автоматический ввод тягового электропривода в режим электродинамического (рекуперативно-реостатного) торможения;

поддержание заданной тормозной силы до заданной скорости с последующим автоматическим поддержанием скорости;

регулирование задаваемой силы торможения и скорости;

смешанное торможение электродинамическим тормозом на электровозе и пневматическим – на вагонах.

автоматическое замещение электродинамического тормоза фрикционным при отказе или низкой эффективности электродинамического тормоза;

предусмотрено автоматическое замещение электродинамического рекуперативного торможения на реостатное в случае превышения напряжения в контактной сети постоянного тока свыше 3.85-4.0 кВ из-за отсутствия потребителей энергии на данном участке и автоматического повторного включения режима рекуперации при снижении напряжения в контактной сети ниже 3.85-4.0кВ.

3.4.2 В случае отказа части электрооборудования обеспечена работа электровоза в аварийном режиме с возможностью включения схемы резервирования из кабины машиниста. Обеспечивается минимальная потеря мощности в тяговом и тормозном режимах.

3.4.3 Предусмотрены специальные устройства защиты от:

коротких замыканий на любом участке электрической схемы (в том числе междуфазных и на корпус);

внешних коротких замыканий в режиме рекуперативного торможения

токов перегрузок в цепях тягового привода

воздействия внешних перенапряжений

недопустимо высокого нагрева элементов электрооборудования

кратковременного повышения напряжения в контактной сети выше установленного уровня

буксования (при избыточном проскальзывании колес более 4%) и юза колесных пар.



Закупка 45 локомотивов в Грузии

3.5 Приборы высокого напряжения

Включает в себя электрооборудование контактной сети и обратной рельсовой цепи (токоприемники, коммутационная и защитная аппаратура, фильтры радиопомех, кабельные и шинные токопроводы и т.д.)

КПД электровоза в продолжительном режиме составляет не менее 86% с учетом нагрузки собственных нужд при номинальном напряжении на токоприемнике, отключенных компрессорах, кондиционерах, других приборах, обеспечивающих комфортные условия труда локомотивной бригаде.

Цепь обратного тока в рельсы осуществляется через специальные заземляющие устройства на оси колесной пары для исключения повреждения буксовых подшипников.

3.5.1 Пантограф (токоприёмник)

На электровозе предусмотрено не менее двух токоприемников. Конструкция их соответствует требованиям инструкции ЦТ-ЦЭ-844, а также требованиям по токовой нагрузке. Токоприемники рассчитаны:

номинальное напряжение	3000V
Рамки нормального рабочего напряжения	2200~4000V
номинальный ток	≤3200 A
максимальная скорость	120 km/h

Максимальный потребляемый ток одного электровоза (на один токоприёмник) в часовом режиме не превышает 3200 А.

Локомотив использует отдельные стрелы для получения электричества. Если с работающим в данный момент пантографом произошла неисправность, его можно отключить через разъединитель пантографов и использовать другой пантограф для дальнейшей работы.

Токосъемные элементы выполнены из металлокерамики, графита или медно-графитной композиции.

Ресурс токосъемных материалов составляет не менее 40 тыс. км пробега.

Токоприемники сохраняют функциональную работоспособность в условиях гололёдообразования.

Токоприемник сохраняет работоспособность при воздействии на него тока короткого замыкания в 30 кА в течении 0,1 с.

Токоприемники изготовлены из коррозионностойкого материала и сохранять коррозионную стойкость в условиях воздействия моющих средств (пресной



Закупка 45 локомотивов в Грузии

воды до 60 °С, каустической соды, синтетических и др. моющих средств).

Не допускается отрыв токоприемника от контактного провода после первого касания при его подъеме и удар подвижных частей токоприемника о неподвижные при его опускании при движении с конструкционной скоростью.

Токоприемник выдерживает ускорение 50 м/с² с сохранением работоспособности всех частей токоприемника.

Токоприемник обладает поперечной жесткостью не менее 17 Н/мм.

Опорные изоляторы токоприемника полимерные или фарфоровые.

При движении со скоростью, превышающей конструкционную на 10 %, опущенный токоприемник не поднимается встречным потоком воздуха.

Параметры статической характеристики токоприемника соответствуют таблице.

Показатели	Значение
Диапазон регулировки активного нажатия токоприемника, Н	60:120
Диапазон регулировки пассивного нажатия токоприемника, Н	80: 140
Неравномерность активного (пассивного) нажатия токоприемника, не более, Н	15
Двойное сухое трение токоприемника, не более, Н	20

3.5.2 Защитная и коммутационная аппаратура (быстродействующий выключатель)

Коммутационная высоковольтная аппаратура, гальванически связанная с контактным проводом или тяговым преобразователем, удовлетворяет требованиям ГОСТ 9219.

Для защиты от токов короткого замыкания и перегрузок электровоз оборудован быстродействующими выключателями.

Коммутационная способность выключателей составляет не менее 30 кА при индуктивности цепи короткого замыкания 5..15 мГн.

Быстродействующий выключатель неполяризованный и обладает достаточным быстродействием, чтобы селективно (без срабатывания защитных выключателей тяговой подстанции) отключать ток короткого замыкания при нахождении электровоза в конце межподстанционной зоны



Закупка 45 локомотивов в Грузии

питания контактной сети.

При включении выключателя электровоза в нормальном эксплуатационном режиме не происходит срабатывания выключателей устройств электроснабжения.

Для защиты электрооборудования электровоза от грозовых и внешних коммутационных перенапряжений предусмотрены ограничители перенапряжений.

Уровень остающегося напряжения на устройствах ограничителях перенапряжений составляет 8,0..9,0 кВ.

Ограничители перенапряжений для системы постоянного тока 3 кВ многократно выдерживают импульсы тока амплитудой до 2500 А и энергией до 160 кДж.

Ограничители перенапряжений ограничивают перенапряжение локомотива до 35 кВ.

3.5.3 Функция предохранительной блокировки системы высокого напряжения

Система предохранительной блокировки системы высокого напряжения состоит из стопорного устройства пневматической линии пантографа/предохранительного выключателя с ключом, заземляющего переключателя высокого напряжения, коробки предохранительной блокировки с ключом (функционирование можно осуществлять на заземляющем переключателе), соответствующие дверцы и ключи. Они обладают следующими функциями:

Стопорное устройство пневматической линии пантографа/предохранительный выключатель с ключом ограничивает открытие/закрытие пневматической линии поднятия стрелы пантографа, поднятие и опускание стрелы.

Заземляющий переключатель заземляет основные линии связи сети.

Заземляющий переключатель можно переключить с состояния открыт на состояние закрыт только если пантограф опущен, подача воздуха пантографу прекращена, а воздушное давление в трубопроводе подачи воздуха пантографу сброшено.

Когда заземляющий переключатель находится в положении закрыт, подача воздуха пантографу прекращена, он не может подняться, а главный выключатель нельзя закрыть.



Закупка 45 локомотивов в Грузии

Люк на крыше электровоза и входная экранная дверь электрооборудования имеют надёжные устройства защиты, с коробкой предохранительной блокировки с ключом и заземляющим переключателем обладают блокировкой.

Люк на крыше и входная экранная дверь электрооборудования могут быть открыты, только когда заземляющий переключатель находится в положении закрыт.

Когда люк на крыше и входная экранная дверь электрооборудования открыты, заземляющий переключатель находится в положении закрыт, пантограф не может подняться, а главный выключатель нельзя закрыть.

Только когда люк на крыше и входная экранная дверь электрооборудования закрыты, можно открыть заземляющий переключатель, поднять пантограф.

На основании вышеописанных правил дизайн локомотива обеспечивает надёжную защиту для оборудования высокого напряжения.

3.6 Тяговый преобразователь

3.6.1 Описание

Тяговые преобразователи должны удовлетворять требованиям ГОСТ 9219, ГОСТ 24607 или EN 61287.

Порт ввода тягового преобразователя соединён с наружной сетью. Разделение проводится через линейный контактор. Тяговый преобразователь состоит главным образом из инвентора.

Тяговый преобразователь имеет ясную маркировку о высоком напряжении, индикатор высокого давления, а также с маркировкой, что только специалист может открывать блок.

Промежуточная обратная цепь постоянного тока тягового преобразователя главным образом состоит из опорного конденсатора промежуточной цепи, цепи ограничения переходного перенапряжения, главной цепи защиты заземления. Цепь ограничения переходного перенапряжения используется для удержания перенапряжения и быстрой разрядки после выключения электровоза. Главная цепь защиты заземления используется для проверки заземления главной цепи преобразователя.

Электромеханический инвентор тягового преобразователя является PWM преобразователем из IGBT деталей. Во время тяги инвентор путём



Закупка 45 локомотивов в Грузии

трансформации прямого тока на переменный методом преобразования напряжения и частоты (VVVF) подаёт электричество тяговому электродвигателю, осуществляет управление осями электровоза. При торможении инвентор путём трансформации переменного тока на прямой подаёт электричество в промежуточную обратную цепь постоянного тока, производимая тяговым электродвигателем энергия возвращается в электросеть.

Если выпрямитель тока или инвентор неэффективны, то теряется только фазовая тяга.

3.6.2 Эффективность тягового преобразователя $\geq 98\%$

3.6.3 напряжение управления DC110V

3.6.4 Особенности конструкции тягового преобразователя

Тяговый преобразователь внутри состоит из блоков, что удобно для унификации деталей, сокращает продолжительность ремонта и повышает надёжность.

3.6.5 Способ охлаждения тягового преобразователя

Для охлаждения силовых элементов тягового преобразователя допускается применение жидкостной системы охлаждения. Элементы системы охлаждения, охлаждающая жидкость и фильтры должны быть химически неагрессивными и экологически чистыми. Применяемые жидкости и материалы должны быть согласованы с Заказчиком. Замена полупроводниковых приборов не должна требовать слива охлаждающей жидкости и разборки системы охлаждения. Тяговый преобразователь использует способ жидкого циркуляционного охлаждения. Охлаждающая жидкость не замерзает при температуре минус 40°C.

3.6.6 Защитные функции тягового преобразователя

Имеет как минимум следующие защитные функции:

- (1) Защита системы охлаждения
- (2) Защита от сверхтока и перегрузки
- (3) Защита заземления
- (4) Защита переходного перенапряжения
- (5) Защита от короткого замыкания деталей IGBT
- (6) Защита от перегрузки и недостаточного вводного напряжения



Закупка 45 локомотивов в Грузии

- (7) Защита источника питания системы управления
- (8) Защита защитной блокировки во время проверки и ремонта
- (9) Другая защита (от короткого замыкания и перегрузки со стороны источника, от обрыва фазы электродвигателя, от неисправностей контактора и др. деталей и др.)

Замена полупроводниковых приборов не требует слива охлаждающей жидкости и разборки системы охлаждения.

3.6.7 На каждом локомотиве установлено от 2 до 4 тяговых преобразователя.

3.6.8 Блок мощности тягового преобразователя

Все блоки состоят из элементов IGBT, триггерной ячейки и блока теплоотвода. Блок тягового преобразователя имеет быстроразъемные муфты для монтажа, т.е. можно быстро вставлять и снимать и нет необходимости выпускать охлаждающую жидкость из контура расхолаживания. Блок тягового преобразователя при помощи коннектора связан с внешней цепью управления. Клеммы для соединения главной цепи, коннектор управления, быстроразъемная муфта прилегают удобно. Открыв дверцу шкафа преобразователя, можно удобно проводить демонтаж и ремонт преобразователя. Для замены блока не нужно специального инструмента и одежды.

Замена блока преобразователя в локомотиве занимает не более 30 минут (не считая времени разрядки промежуточной цепи постоянного тока).

Все компоненты преобразователей должны обеспечивать работоспособность систем электровоза при оговоренных в разделе общие положения температурах окружающего воздуха.

3.6.9 Испытания тягового преобразователя

Испытания преобразователя проводятся на основании стандарта IEC 61287.

Перед монтажом преобразователя на локомотиве проводятся его комплексные испытания на земле согласно IEC61377-3.

3.7 Трёхфазовый асинхронный тяговый электродвигатель

3.7.1 Краткое описание

тяговый электродвигатель является трёхфазовым короткозамкнутым



Закупка 45 локомотивов в Грузии

Тяговые двигатели имеют принудительную воздушную вентиляцию. Воздух, поступающий в систему охлаждения, очищен. На электровозе установлены мультициклонные фильтры или центробежные механические отделители с непрерывным удалением пыли, влаги и снега. Коэффициент очистки от пыли при номинальном расходе воздуха и удельной поверхности пыли 2800 см²/г не менее 75 %. Система фильтрации воздуха должна исключить попадание в электрические машины снега и влаги.

Роликовый подшипник электродвигателя смазывается маслом/ смазкой. Уплотнение подшипника имеет бесконтактную лабиринтовую структуру.

Для тягового электродвигателя применяются эффективные меры по предотвращению электрокоррозии подшипников.

Дизайн, производство и испытания тягового электродвигателя соответствуют нормам IEC60349-2:2010.

3.7.2 Свойства тягового электродвигателя

Свойства тягового электродвигателя должны удовлетворять стандартам IEC60349-2:2010 и требованиям свойств тяги и рекуперативного торможения.

По расчётам всех свойств тягового электродвигателя, нормальная температура сопротивления равна 150 °C, данная температура выражена в характеристической кривой.

3.7.3 Основные технические параметры тягового электродвигателя

номинальная мощность	≥1100kW
номинальная эффективность (непрерывный момент)	≥94.5 %
класс изоляции	не ниже H класс
способ охлаждения	принудительное воздушное
повышение температуры подшипников электродвигателя не приводной конец ≤55K, приводной конец ≤80K	
Макс. разрешённая температура подшипников	≥120°C
Срок службы подшипников	≥600 тыс. км

Конструкция подшипниковых узлов и их уплотнений должна обеспечивать сохранность смазки в подшипниковых камерах, исключать ее загрязнение.

Исключена возможность попадания смазки внутрь тяговых электродвигателей и электродвигателей вспомогательных механизмов через лабиринтные



Закупка 45 локомотивов в Грузии

уплотнения подшипников и из редуктора в подшипники ТЭД.

Диагностика оборудования

Конструкция основных узлов электрооборудования должна предусматривать возможность оценки текущего состояния и правильности функционирования с помощью встроенных или внешних средств диагностирования.

Диагностика устройств электрооборудования должна обеспечивать следующие функции:

- выявление сверхдопустимых режимов работы электрооборудования;
- регистрацию недопустимых и опасных событий и сохранение электрических процессов в энергонезависимой памяти для возможности дальнейшего анализа аварийных ситуаций ремонтным персоналом и определения причин их возникновения;
- передачу информации в систему управления электровозом.

Наиболее важные устройства электрооборудования, которые должны иметь датчики для контроля состояния или встроенную систему диагностики:

- тяговый и вспомогательный преобразователи;
- быстродействующий выключатель;
- коммутационные аппараты;
- аккумуляторы и устройства заряда.

3.7.4 Другие требования к тяговому электродвигателю

(1) Проверка скорости вращения

Способы проверки скорости вращения тягового электродвигателя:

Устройство контроля скорости состоит импульсного из датчика скорости и шестерни. Используется для определения скорости вращения тягового электродвигателя, а также для передачи импульсного сигнала в систему управления локомотива.

(2) Способ соединения проводов

Способ соединения обладает средствами гидроизоляции, против ослабления и неправильного соединения. Очерёдность трёх фаз ясно промаркирована, маркировка очерёдности удовлетворяет IEC60034-8.

(3) Шильдик и маркировка



Закупка 45 локомотивов в Грузии

перегрузочную способность. Она может выдерживать кратковременные нагрузки от удара пускового тока. Во время резкого изменения нагрузки изменение мгновенного выходного напряжения не превышает 10% и не влияет на работу другого электрооборудования и электродвигателя.

3.8.1.3 Требования формы волны на выходе (после фильтрации волн)

Выходное переменное напряжение после фильтрации – синусоидальные колебания.

THD) Предельное волновое значение выходного напряжения (THD) $\leq 10\%$

Коэффициент нарастания напряжения $\leq 500V/\mu s$

Пиковое напряжение $\leq 1000V$

3.8.1.4 Функция автоматической проверки

Вспомогательная система электровоза обладает функциями автоматической проверки, диагностики и регистрирования неполадок. Так же может отображать рабочее состояние вспомогательной системы и неполадки на экране кабины машиниста для облегчения анализа и исправления неполадок.

3.8.1.5 Вспомогательная система источников питания обладает полной защитой, включая перенапряжение, недостаток напряжения, перегрузка по току, перенагрузки, заземления, перегрева и др.

3.8.2 Вспомогательные блоки

3.8.2.1 Тяговый вентилятор

Для него применяются прокладки, не требующие технического обслуживания, самосмазывающиеся подшипники.

3.8.2.2 Охладитель

Водяной радиатор тягового преобразователя

В неограниченных условиях (40 °C /1300 m над уровнем моря) охладителю требуется иметь не меньше 15% от безопасной надбавки. Помехи в виде посторонних предметов (перьев, листьев и каких-либо гранул) на входе теплообменника или загрязнение радиатора приводит к снижению подаваемого воздуха на 15%, что всё равно может удовлетворить требованиям охлаждающей способности преобразователя при номинальной рабочей мощности.



Закупка 45 локомотивов в Грузии

3.8.2.4 Вентилятор комплексного охладителя

шум $\leq 110\text{dB(A)}$

Охлаждающий воздух комплексного охладителя поступает снаружи электровоза, входное отверстие снабжено фильтром для предотвращения засорения пластин радиатора. Пластины радиатора можно прочищать воздухом либо водой под давлением.

3.8.2.5 Водяной насос тягового преобразователя

Срок службы подшипников 3 года или 60 тыс. км

3.9 Источник питания системы управления электровоза

3.9.1 Аккумулятор электровоза – свинцово-кислотный герметический с клапанным управлением (Pb)

Ёмкость (10-часовая норма) $\geq 170\text{ Ah}$

срок службы 8 лет

3.9.2 Зарядное устройство аккумулятора

номинальное выходное напряжение DC 110 V

номинальная выходная сила тока $\geq 75\text{ A}$

3.9.3 Источники питания системы управления имеют двухуровневую сигнализацию при низком напряжении и защитную функцию. Когда электрическое напряжение аккумулятора меньше 88 V, через микро-ЭВМ, установленный в пульте управления, выводится сигнализация и пояснение машинисту как сохранить высокую мощность стрелы. Когда электрическое напряжение аккумулятора ниже предельного значения второй ступени (77V), вводится защита от отказа питания.

3.10 Система управления электровоза

3.10.1 Все функции системы управления электровозом, требующие логической последовательности, такие как: управление токоприемниками, быстродействующим выключателем, контакторами вспомогательного привода, тяговыми и вспомогательными преобразователями и другими устройствами, должна осуществлять комплексная микропроцессорная вычислительно-управляющая система (в дальнейшем “комплексная система”) по командам, получаемым с пульта и от контроллера машиниста с учетом сигналов, получаемых от датчиков, предусмотренных схемой электровоза.

3.10.2 Система управления электровоза осуществляет важные функции