

26

# ЭЛЕКТРОВОЗЫ ОДНОФАЗНОГО ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ



ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ 1956



---

# ЭЛЕКТРОВОЗЫ ОДНОФАЗНОГО ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Под общей редакцией  
кандидата технических наук  
*Л. М. ТРАХТМАНА*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Москва 1956

В сборнике описаны электровозы переменного тока промышленной частоты зарубежных железных дорог, а также приводится сравнение различных типов электровозов.

Сборник рассчитан на работников электрифицированных железных дорог.

Редактор В. К. Калинин

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
Трахтман Л. М. Современные электровозы и моторные вагоны переменного тока промышленной частоты . . . . .	4
Гарро (M. Garreau). Однофазные электровозы линии Валенсьенн — Тионвилль . . . . .	31
Даней (M. Dapey). Электровозы $C_0-C_0$ типа 14100, оборудованные преобразовательными агрегатами, состоящими из синхронного однофазного двигателя и генераторов постоянного тока . . . . .	42
Бодмер, Лейврац, Андерег (M. C. Bodmer, M. P. Leyvraz, M. E. Anderegg). Электровозы $C_0-C_0$ 14000 с преобразователем однофазно-трёхфазного тока . . . . .	66
Россиньоль и Машефер-Тассен (M. Rossignol et M. Machefer-Tassin). Электровозы $B_0-B_0$ с игнитронными выпрямителями . . . . .	89
Гейдман (M. Heidmann). Электровозы $B_0-B_0$ с однофазными коллекторными двигателями . . . . .	121
Результаты эксплуатации электровозов однофазного тока на северо-востоке Франции . . . . .	140
Хуайттекер и Хутчисон (C. C. Whittaker, W. M. Hutchison). Электровозы с игнитронными выпрямителями на Пеннсильванской железной дороге . . . . .	146
Гоуэнс (F. D. Gowans). Электровозы с выпрямителем для линии Нью-Йорк — Нью-Хавен . . . . .	159
Эмс, Хутчисон, Моор (E. W. Ames, W. M. Hutchison, V. A. Moore). Моторные вагоны с игнитронами для линии Нью-Хавен . . . . .	169
Инженеры-электрики обсуждают вопросы электрической тяги . . . . .	178

Обложка художника И. И. Румянцева

Технический редактор П. А. Хитров

Корректор В. Ф. Малькова

Сдано в набор 20/III 1956 г. Подписано к печати 22/VI 1956 г.

Формат бумаги  $60 \times 92/16$ . Печатных листов 11,5. Бумажи. листов 5,75.

Учётно-изд. листов 12. Тираж 3 000. Т 06171. ЖДИЗ 54208. Заказ тип. 328.

Цена 6 руб. Переплет 1 руб.

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ, Москва, Басманный туп., 6а

1-я типография Трансжелдориздата МПС. Москва, Б. Переяславская, 46.



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Директивами XX съезда КПСС по шестому пятилетнему плану предусмотрено освоение серийного производства электровозов переменного тока промышленной частоты. В связи с этим значительный интерес представляет ознакомление с современным зарубежным опытом электровозостроения и в особенности с электроподвижным составом, работающим на переменном токе промышленной частоты.

В настоящем сборнике материалов помещены описания электровозов однофазного тока 50 гц, эксплуатирующихся на линии Валенсьенн—Тионвилль французских железных дорог, а также электровозов и моторных вагонов однофазного тока 25 гц с игнитронами в США.

В статье канд. техн. наук Л. М. Трахтмана дана характеристика современных электровозов и моторных вагонов однофазного тока промышленной частоты.

Все замечания и предложения по настоящему сборнику, просьба направлять по адресу: Москва, Б-174, Басманный туп. ба, Трансжелдориздат.

---

## СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОВОЗЫ И МОТОРНЫЕ ВАГОНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

### 1. ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТ ПО ВНЕДРЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ 50 гц

Электрическая тяга на магистральных железных дорогах в различных странах развивалась по двум основным направлениям: по системе постоянного тока и по системе переменного тока пониженной частоты— $16\frac{2}{3}$  гц в Европе и 25 гц в США.

На постоянном токе электрифицировано около 60%, а на переменном токе пониженной частоты около 35% общего протяжения электрифицированных дорог мира.

В некоторых странах (Италия, Швейцария) применяется также в небольшом объёме тяга по системе трёхфазного тока, которая не получила распространения вследствие необходимости устройства двух контактных проводов, усложняющих систему токоснабжения и ограничивающих величину допустимого напряжения в сети, что не даёт возможности использовать в полной мере преимущества переменного тока.

Системы постоянного и переменного тока пониженной частоты применяются в Европе для всех видов магистрального движения и для участков с различным профилем. Развитие обеих систем сопровождалось значительным прогрессом техники электровозостроения, но ни одна из них не получила в конечном счёте решающих преимуществ перед другой по всем основным технико-экономическим показателям.

Главным преимуществом системы постоянного тока является применение простых, надёжных и коммутационностойких тяговых двигателей. Главным недостатком этой системы является относительно низкое напряжение, вызывающее необходимость сооружения большого количества тяговых подстанций и тяжёлой контактной сети, а также применение реостатного пуска тяговых двигателей на электровозах.

Величина напряжения контактной сети постоянного тока всегда являлась вынужденным компромиссом между двумя противоречивыми тенденциями: с одной стороны, стремлением по возможности уменьшить расходы на энергоснабжение и, с другой, — стремле-

нием не превышать оптимальное напряжение на тяговых двигателях.

При современном состоянии техники можно считать общепризнанным, что напряжение постоянного тока в контактной сети для магистральной тяги нецелесообразно принимать более 3 000 в и что дальнейшее повышение этого напряжения, например до 4 500 или 6 000 в при непосредственном питании двигателей от сети, привело бы к существенному повышению их веса на единицу мощности и, следовательно, к ухудшению тяговых показателей электроподвижного состава.

Главным преимуществом системы переменного тока пониженной частоты является возможность применения высокого напряжения в контактной сети. Известным преимуществом этой системы является также возможность широкого экономического регулирования скорости электровозов и реализации длительного тягового усилия при максимальной скорости движения.

Применение переменного тока пониженной частоты  $16\frac{2}{3}$  гц в отдельных европейских странах требовало постройки специальных электрических станций для питания электрифицированных участков железных дорог, что при относительно слабом развитии энергосистем в начальный период электрификации было экономически оправдано.

В дальнейшем, однако, по мере строительства крупных энергосистем сооружение отдельных электростанций для целей тяги было нерентабельным, в связи с чем стали применяться специальные тяговые подстанции, преобразующие частоту с 50 на  $16\frac{2}{3}$  гц при помощи вращающихся преобразователей. Эти подстанции более сложны и дороги, чем подстанции трёхфазно-постоянного тока, достигшие благодаря внедрению ртутных выпрямителей значительного прогресса. Между тем все попытки создания эксплуатационно надёжных ионных преобразователей частоты с 50 на  $16\frac{2}{3}$  гц для подстанций однофазного тока до настоящего времени остаются безуспешными.

В связи с необходимостью применения преобразовательных подстанций главное преимущество тяги по системе переменного тока пониженной частоты перед системой постоянного тока в известной мере оказалось утраченным; в то же время опыт эксплуатации показал решающие преимущества тяговых двигателей постоянного тока перед коллекторными двигателями переменного тока пониженной частоты в отношении коммутационной стойкости и по расходам на содержание и ремонт.

Опыт эксплуатации показал также, что опасные последствия повышенной трансформаторной э. д. с. однофазных коллекторных двигателей  $16\frac{2}{3}$  гц в области низких скоростей движения в значительной степени зависят от длительности пускового периода. Согласно статистическим данным при среднем межремонтном пробеге коллекторов двигателей грузовых немецких электровозов (серии Е-92)

320 000 км фактический пробег их колеблется в очень широких пределах — от 10 000 до 625 000 км, что объясняется высокой аварийностью [коллекторов, вызванной, повидимому, затяжными пусками<sup>1</sup>.

Между тем получение минимальных ускорений позволяет значительно повысить веса поездов, в особенности на дорогах с равнинным профилем; например, при руководящем подъёме 5‰, уменьшение ускорения с 8 до 2,5 см/сек<sup>2</sup> позволяет увеличить вес поезда в 1,7 и в 2,6 раза при коэффициентах сцепления соответственно 0,2 и 0,3.

Необходимость устройства сложных преобразовательных подстанций при питании от районных электростанций и защиты воздушных линий связи от влияния переменного тока, с одной стороны, и недостатки однофазных коллекторных двигателей, с другой, — способствовали выбору системы постоянного тока в ряде европейских стран, позднее других приступивших к электрификации своих железных дорог, в том числе в СССР и во Франции.

Система постоянного тока на напряжение 3 000 в была принята также в Италии, которая перевела и продолжает перевод на неё ряда линий, ранее электрифицированных на трёхфазном токе.

Применяемая в СССР с 1932 г. для электрификации магистральных железных дорог система постоянного тока при напряжении сети 3 000 в обеспечила получение высоких технико-экономических показателей электрической тяги перед паровой.

В течение последних лет были преодолены трудности, связанные с применением напряжения 3 000 в для моторвагонной тяги, и в настоящее время проводится электрификация пригородных дорог СССР при этом напряжении.

Тем не менее большие капиталовложения в систему энергоснабжения при значительном расходе цветного металла, присущие системе постоянного тока, являются одним из факторов, затрудняющих электрификацию железных дорог, особенно на грузонапряжённых участках.

В связи с указанными недостатками двух основных систем тяги в течение последних 25 лет в СССР и за границей проводились работы по изучению системы переменного тока 50 гц, которая требует наименьших расходов по сооружению устройств энергоснабжения и, как будет показано ниже, позволяет выполнить электровозы, превосходящие по тяговым свойствам электровозы обеих основных систем тяги.

Первой линией, электрифицированной на переменном токе 50 гц, был участок Будапешт—Хедьяшхалом венгерских железных дорог, пущенный в эксплуатацию в 1934 г.

В 1936 г. был электрифицирован на переменном токе 50 гц опытный участок горной железной дороги Хелленталь в Германии.

---

<sup>1</sup> Electricité. 1953, июнь, № 195-бис, специальное приложение, стр. 6.

В СССР в 1938 г. был построен электровоз переменного тока 50 гц типа ОР с ртутным выпрямителем.

Уровень техники 1932—1938 гг. не дал возможности создать электровозы переменного тока 50 гц достаточно простыми и эксплуатационно надёжными, что не позволило тогда сделать решительные выводы в пользу внедрения этой системы. Лишь в последние годы существенный прогресс, достигнутый в области электромашиностроения, трансформаторостроения и выпрямительостроения, позволил вновь развернуть работы по системе тяги на переменном токе 50 гц.

В Советском Союзе в настоящее время электрифицирован опытный эксплуатационный участок Ожерелье — Павелец по системе переменного тока 50 гц, построены и испытаны первые электровозы однофазно-постоянного тока с ионными преобразователями отечественного производства.

Значительный интерес представляют работы в этой области, проводящиеся в последние годы за границей, и в особенности во Франции, где они приобрели большой размах.

Развитие электрификации французских железных дорог по системе постоянного тока при напряжении сети 1 500 в требовало значительных капиталовложений в устройства сети и подстанций и многократно намечаемые планы широкой электрификации железных дорог оставались нереализованными. В связи с этим во Франции после второй мировой войны были развернуты работы по исследованию и внедрению системы тяги на переменном токе 50 гц.

Эти работы начались с изучения опыта эксплуатации железной дороги Хелленталь (Западная Германия).

В 1950 г. был электрифицирован опытный участок железной дороги Экс-ле-Бан—Ла Рош-сюр-Форон в Савойе (Франция) с руководящим подъёмом 20‰, длиной около 78 км, который в 1954 г. был продлён ещё на 18 км и переведён с напряжения 20 кВ на напряжение 25 кВ. В связи с успешным опытом эксплуатации этого участка было принято решение электрифицировать наиболее напряжённый участок французских железных дорог Валенсьенн—Тионвилль протяжением 363 км, находящийся на северо-востоке Франции; для первой очереди электрификации этого участка было заказано 105 электровозов.

Первый период эксплуатации участка Валенсьенн—Тионвилль показал настолько благоприятные результаты, что была принята программа широкой электрификации французских железных дорог по системе переменного тока 50 гц.

На основе опыта французских железных дорог в Англии также принят план электрификации железных дорог по системе однофазного тока 50 гц.

В 1952 г. был электрифицирован на переменном токе 50 гц участок Ядотвилль—Тенке (Бельгийское Конго) протяжённостью 94 км; в дальнейшем электрификацию дороги намечается увеличить до 340 км

Одним из наиболее сложных вопросов, связанных с внедрением переменного тока 50 гц, является выбор типа электроподвижного состава и в первую очередь типа электровоза.

Электровозы переменного тока 50 гц венгерских дорог выполнены с преобразователями однофазно-трёхфазного тока по системе инж. Кандо Калман. Остроумное конструктивное решение позволило совместить трансформатор с преобразователем фаз в один общий агрегат и создать преобразовательный электровоз с приемлемыми весовыми показателями.

Однако венгерские электровозы первой серии были оборудованы тяжёлыми тихоходными асинхронными двигателями с переключением полюсов и групповым приводом, которые в настоящее время технически устарели. Электровозы последней серии, выпущенные в 1950 г. фирмой Ганц значительно усовершенствованы, оборудованы преобразователями частоты и тяговыми двигателями без переключения полюсов, с индивидуальным приводом<sup>1</sup>.

Вес 5-осного электровоза составляет 85 т и усилие тяги 13,5 т при скорости 50 км/час. По удельной мощности на 1 т веса этот электровоз приближается к электровозу с преобразователем однофазно-трёхфазного тока французских железных дорог, описание которого приведено в данном сборнике, но в отличие от французского электровоза имеет двигатели с фазовым ротором, реостатный пуск при помощи жидкостных реостатов и ступенчатое регулирование скорости с потерей тягового усилия при переключении ступеней. Преобразователь фаз типа Кандо, так же как и на первых электровозах, имеет масляное охлаждение статора и водяное охлаждение ротора, что значительно усложняет конструкцию электровоза.

Электровозы с преобразователями фаз Кандо не получили общего признания вследствие сложности их исполнения и не были применены за пределами Венгрии.

При электрификации опытного участка железной дороги Хеллен-таль на переменном токе 50 гц были изготовлены 4 электровоза различных типов: один с коллекторными двигателями, один с однофазными асинхронными двигателями с промежуточным ротором и два электровоза однофазно-постоянного тока с насосными многоанодными выпрямителями. Ни один из этих типов, однако, не дал достаточно хороших результатов в эксплуатации главным образом вследствие относительно низкого технического уровня выпрямительного и машиностроения в 1930—1935 гг., когда создавались эти электровозы.

Немецкие специалисты в 1944 г. констатировали, что «к сожалению, несмотря на все усилия, направленные к налаживанию работы электровозов, после 8 лет опытной эксплуатации нельзя сде-

---

<sup>1</sup> См. Б. Н. Тихменев и Л. М. Трахтман. Подвижной состав электрических железных дорог, т. III, стр. 467. Трансжелдориздат, 1951.



лать каких-либо обнадёживающих общих выводов по итогам их работы»<sup>1</sup>.

Таким образом, к послевоенному периоду 1945—1950 гг. ещё не было выявлено такого типа электровоза переменного тока 50 гц, который получил бы всеобщее признание как наиболее перспективный и удовлетворяющий всем современным требованиям.

Для участка Ядотвилль—Тенке были поставлены электровозы В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> со сдвоенными однофазными коллекторными двигателями мощностью по  $2 \times 154$  квт.

Для опытного участка железной дороги Экс-ле-Бан были построены 4 электровоза, в том числе два шестиосных с коллекторными двигателями нормальной частоты фирмами Эрликон и Альстом, один четырёхосный электровоз с ртутными выпрямителями фирмой Альстом и один шестиосный моторгенераторный электровоз однофазно-постоянного тока с асинхронным первичным двигателем фирмой Шнейдер—Вестингауз.

Все электровозы, кроме выпрямительного, были рассчитаны также на возможность питания от постоянного тока 1 500 в.

Основные данные этих электровозов приведены в табл. 1.

Электровозы линии Экс-ле-Бан по своим техническим показателям значительно превосходили построенные ранее электровозы переменного тока 50 гц. Однако их эксплуатация не дала ещё достаточных оснований для того, чтобы остановиться на каком-либо определённом типе.

В связи с этим для первой очереди электрификации участка Валенсьенн—Тионвилль во Франции были заказаны электровозы четырёх различных типов, в разработке конструкции и постройке которых приняли участие крупнейшие фирмы Франции и других стран: 1) электровозы с мотор-генераторами однофазно-постоянного тока — 60 шт.; 2) электровозы с машинным преобразователем однофазно-трёхфазного тока — 25 шт.<sup>2</sup>; 3) электровозы с коллекторными двигателями 50 гц — 15 шт.; 4) электровозы с ионными преобразователями — 5 шт.

Основные данные этих электровозов приведены в табл. 2 и 3.

Описанию этих четырёх типов электровозов посвящена первая часть данного сборника.

Исследовательские работы и эксплуатационные испытания выпущенных во Франции электровозов показали, что система тяги на переменном токе 50 гц имеет не только преимущества в части экономии капитальных расходов по энергоснабжению, но, кроме того, даёт возможность выполнения с приемлемыми весовыми показателями преобразовательных электровозов, которые имеют ряд преимуществ перед электровозами постоянного и переменного тока пониженной частоты.

<sup>1</sup> Elektrische Bahnen. 1944, март-апрель, стр. 50.

<sup>2</sup> По имеющимся сведениям этот заказ полностью не реализован.

Технические данные электровозов переменного тока 50 гц для опытного участка Экс-ле-Бан—Ла Рош-сюр-Форон  
французских железных дорог

Наименование данных	Тип электровоза			
	Однофазно-постоянного тока с мотор-генератором	Однофазно-постоянного тока с выпрямителем	$C_0-C_0^*$	Однофазного тока с коллекторными двигателями с возможностью питания от постоянного тока 1500 в
Осевая формула	$V_0-V_0-V_0$	$V_0-V_0$	$C_0-C_0^*$	$C_0-C_0$
Вес электровозов в т	114	79	104	118
В том числе электрооборудования в т	—	33,5	42,2	62,2
Вес преобразователя в т	18	—	—	—
Тип преобразователя	Двигатель асинхронный 1485 об/мин, три генератора постоянного тока, напряжение 800 в	Ртутный выпрямитель типа экситрон с воздушным охлаждением	—	—
Способ питания от напряжения постоянного тока 1500 в	Три генератора преобразовательного агрегата служат делителями напряжения для тяговых двигателей	Не предусмотрен	Специальный преобразовательный агрегат, состоящий из двигателя постоянного тока и генератора однофазного тока 30—50 гц, мощностью 984 кка	Специальный преобразователь напряжения постоянного тока с двигателем мощностью 367 кат
Мощность длительная в кат	2550	2000	3000	2700
Мощность часовая в кат	2810 (напряжение 675 в)	2090	—	2980
Мощность трансформатора в кка	2900	—	2450	—
Охлаждение трансформатора	Воздушное	—	Масляное	—

Максимальная скорость в км/час	120	105	90	100
Число пускорегулирующих ступеней	42	29	16	22
Вес электровоза на единицу мощности в кг/квт	44,8	39,5	34,8	43,5
Электрическое торможение	Рекуперативное	Нет	Рекуперативное с независимым возбуждением фирмы Эрликон	Реостатное
Система вспомогательных машин	—	Асинхронные двигатели с пуском от вспомогательной фазы, с включением сопротивления	Преобразователь Арно и трёхфазные асинхронные двигатели	
Количество тяговых двигателей	6	4	6	6
Напряжение на коллекторе в в	900	675	250	2×218**
Мощность длительная в квт	—	497	510	450
Мощность часовая в квт	585	523	530	495
Подвеска	Опорно-осевая		Опорно-рамная	
Фирма-изготовитель электрооборудования	Шнейдер—Вестингауз	Альстом	Эрликон-Винтертур	Альстом

\* В настоящее время эксплуатируется 9 таких электровозов.

\*\* На электровозе применены двойные двигатели (близнецы).

Таблица 2

**Основные данные электровозов линии Валенсьенн—  
Тионвиль (Франция) <sup>1</sup>**

Наименование данных	Тип электровоза			
	СС 14100 однофазно- постоянного тока с мотор- генератором	СС 14000 однофазно- трёхфазного тока	ВВ 13000 с коллектор- ными двига- телями	ВВ 12000 однофазно- постоянного тока с выпря- мителем
Осевая формула . . . . .	$C_0-C_0$	$C_0-C_0$	$B_0-B_0$	$B_0-B_0$
Сцепной вес в т . . . . .	126	124	84	84
Максимальная скорость в км/час . . . . .	60	60	120	140/120
Диаметр колеса в мм . . . . .	1 100	1 100	1 250	1 250
Длительная мощность электровоза в квт . . . . .	1 830	2 520	2 000	2 470
Скорость длительного режима (для наполю- вину изношенных бан- дажей) в км/час . . . . .	28	40	53	53/47,5
Длительное усилие тяги на ободу колеса в кг . . . . .	23 200	23 200	13 500	17 000/19 000
Максимальное усилие тяги в кг . . . . .	40 000	40 000	24 000	27 500/ 30 500*
Напряжение двигателя в в . . . . .	600	930	250	775
Ток двигателя в а . . . . .	550	333	3 200	1 000

<sup>1</sup> По материалам Revue Générale des Chemins de Fer (RGCF). 1955, № 1, 3, 5 и 7.

\* Было достигнуто 41 000 кг.

Тяговые двигатели преобразовательных электровозов однофазно-постоянного тока могут быть выбраны на оптимальное, относительно низкое напряжение, что повышает их эксплуатационную надёжность, позволяет уменьшить их вес и унифицировать с двигателями тепловозов.

В отличие от двигателей электровозов постоянного тока двигатели преобразовательных электровозов присоединяются ко вторичной обмотке трансформатора, а на электровозах с машинными преобразователями совершенно отделены от сети, что позволяет в первом случае уменьшить, а во втором — полностью устранить коммутационные ограничения, связанные с нестационарными явлениями при колебаниях напряжения сети. Поэтому тяговые двигатели преобразовательных электровозов превосходят по своим показателям не только коллекторные двигатели переменного тока, но и двигатели постоянного тока, включаемые непосредственно под напряжение сети.

Короткозамкнутые асинхронные двигатели электровоза с преобразователями однофазно-трёхфазного тока отличаются большой простотой и надёжностью.

Таблица 3

**Весовые показатели электрооборудования электровозов линии  
Валенсьенн—Тионвилль (Франция)**

Наименование данных	Тип электровоза			
	СС 14100 однофазно- постоянного тока с мотор- генераторами	СС 14000 однофазно- трёхфазного тока	ВВ 13000 с коллекторны- ми двигате- лями	ВВ 12000 однофазно- постоянного тока с выпря- мителем
Вес электровоза в <i>т</i> .	126	124	84	84
» электрической части в <i>т</i> . . . . .	—	54	38,1	37,5
Вес трансформатора в <i>т</i> .	6,3	5,9	10,7	12,3
» преобразовательной установки в <i>т</i> . . . .	20,5	26,6	—	—
В том числе:				
преобразователь частоты в <i>т</i> . . . . .	—	12,2	—	—
преобразователь фаз в <i>т</i> . . . . .	—	14,4	—	—
Вес сглаживающего реактора в <i>т</i> . . . . .	—	—	—	2,0
Вес ignитронной установки с системой охлаждения в <i>т</i> . . . . .	—	—	—	1,8
Вес двигателей без передачи в <i>т</i> . . . . .	9,9	10,3	17,4	12,12
Вес одного двигателя без передачи в <i>т</i> . . . . .	1,65	1,72	4,35	3,03
Вес аппаратуры и вспомогательных машин в <i>т</i> . . . . .	—	11,2	10,0	9,3
Вес электровоза на единицу мощности в <i>кг/квт</i> . . . . .	68,8	49,0*	42,0	34,0
Мощность на единицу сцепного веса в <i>квт/кг</i>	14,5	20,3	23,8	29,5

\* По мощности тяговых двигателей.

На электровозах однофазно-постоянного тока с мотор-генераторами и ртутными выпрямителями благодаря применению постоянного параллельного соединения тяговых двигателей и безреостатному пуску характеристики первых пусковых ступеней получаются весьма жёсткими; в связи с этим боксование любой оси, теряющей сцепление, не носит «разносного» характера, но сопровождается резким уменьшением тягового усилия, что способствует быстрому восстановлению сцепления. В целом это свойство проявилось на преобразовательных электровозах переменного тока, эксплуатирующихся на линии Валенсьенн—Тионвилль, в виде значительного повышения использования сцепного веса.

Вес трансформаторов и первичных двигателей преобразовательных агрегатов при 50 *гц* получается значительно меньшим, чем при переменном токе пониженной частоты.

Существенным преимуществом электровозов переменного тока всех типов перед электровозами постоянного тока является возможность широкого экономического регулирования скорости без перегруппировки тяговых двигателей и, следовательно, без потери тягового усилия при переходе с одной ступени на другую.

Возможность получения при электровозах переменного тока 50 *гц* более высоких тяговых показателей, чем при электровозах постоянного тока и переменного тока пониженной частоты, в значительной степени способствовала принятию решения о дальнейшей электрификации французских железных дорог исключительно по системе переменного тока 50 *гц*.

## II. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 50 *гц* ЛИНИИ ВАЛЕНСЬЕНН — ТИОНВИЛЛЬ<sup>1</sup>

Решительный перелом в деле внедрения системы тяги на переменном токе 50 *гц* для электрификации железных дорог Франции был обусловлен значительным техническим прогрессом в области электровозостроения и, в частности, в деле создания преобразовательных электровозов.

Если построенные в 1920—1930 гг. американские моторгенераторные электровозы имели вес на единицу мощности от 120 до 180 *кг/квт* (при 25 *гц*), то современные моторгенераторные электровозы железной дороги Валенсьенн—Тионвилль имеют вес на единицу мощности 68,8—49 *кг/квт*. Вес тяговых двигателей постоянного тока французских электровозов снизился с 5,7 *кг/л. с.* в 1936 г. до 3,6 *кг/л. с.* в 1954 г.

Прогресс выпрямительного строения последних лет привёл к созданию надёжных, лёгких и дешёвых запаянных ионных преобразователей в одноанодном исполнении.

Использование новых конструктивных принципов позволило создать коллекторный двигатель однофазного тока 50 *гц*, превосходящий по коммутационным свойствам существующие двигатели 16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> *гц*.

Этот технический прогресс значительно расширил возможности практического выполнения электровозов различных типов

Как уже указывалось, для электрификации линии Валенсьенн—Тионвилль были приняты электровозы четырёх типов, обоснование выбора которых приведено в статье Гарро.

Значительный интерес представляет сравнительный анализ показателей этих электровозов, который, однако, связан с методологическими трудностями ввиду разного их конструктивного исполнения, различных тяговых и энергетических характеристик и степени использования сцепного веса.

По указанным причинам для сравнительной оценки рассматриваемых типов электровозов не всегда пригодны обычно принятые

<sup>1</sup> По материалам, опубликованным в журналах «Revue Générale des Chemins de Fer» (RGCF). 1955, № 1, 3, 4, 7 и 9.



критерии, такие, например, как вес или стоимость на единицу мощности, и в отдельных случаях более показательной является производительность электровоза при работе на данной линии, характеризующаяся максимальным весом поезда в расчёте на тонну веса электровоза при одинаковой средней технической скорости или значением средней технической скорости при одинаковом весе поезда.

Ниже приведено сравнение электровозов четырёх типов по некоторым основным показателям, выполненное на основе опубликованных материалов.

### **1. Электровозы $C_0-C_0$ с машинными преобразователями однофазно-постоянного и однофазно-трёхфазного тока**

**Тяговые двигатели.** Тяговые двигатели на электровозах с преобразователями однофазно-трёхфазного тока — асинхронные короткозамкнутые, а на электровозах с мотор-генераторами — постоянного тока, пониженного напряжения. Вес короткозамкнутого двигателя составляет 1,72 *т*, а двигателя постоянного тока 1,65 *т*. Короткозамкнутый двигатель имеет на 60% больший момент, чем двигатель постоянного тока. Однако длительные усилия тяги и производительность электровозов обоих типов почти одинаковы.

Двигатели постоянного тока унифицированы, в основном, с тепловозными, что должно снизить их стоимость, в то время как двигатели асинхронные — специального исполнения.

Эксплуатационные расходы по двигателям постоянного тока электровоза с мотор-генераторами составляют 7% общих эксплуатационных расходов по электровозу. По короткозамкнутым асинхронным двигателям подобных данных нет, но при сравнительной оценке двигателей обоих типов следует учесть, что известная часть расходов связана с механическими повреждениями, которым подвержены и короткозамкнутые двигатели, в особенности при опорно-осевой подвеске электровозов  $C_0-C_0$ . В электрическом отношении, как уже говорилось, двигатели постоянного тока преобразовательных электровозов работают в значительно лучших условиях, чем двигатели электровозов постоянного тока с непосредственным включением в сеть. Об этом свидетельствует низкая цифра эксплуатационных расходов по двигателям игнитронных электровозов (4,2% к общим эксплуатационным расходам), имеющим подвеску с полым валом и потому менее подверженным механическим износам. Поэтому можно ожидать, что различие эксплуатационных расходов по двигателям обоих сравниваемых типов не будет иметь решающего значения для их сравнительной оценки.

**Использование сцепного веса.** Электровозы обоих типов обладают свойствами «электрического спаривания». Благодаря применению смешанного возбуждения тяговых двигателей моторгенераторного электровоза в области низкой скорости, где преобладает независимое возбуждение, сбрасывание тягового

усилия в процессе начавшегося боксования происходит ещё быстрее, чем при короткозамкнутых асинхронных двигателях.

Следует отметить, что реализуемый коэффициент сцепления, при прочих равных условиях, тем выше, чем меньше колебания тягового усилия в процессе пуска и чем медленнее процессы его изменения<sup>1</sup>. В этом отношении известное преимущество должны иметь системы, допускающие машинное регулирование пускового процесса, как, например, однофазно-трёхфазный электровоз по сравнению с аппаратным регулированием и системы с тонкоступенчатым регулированием по сравнению с грубоступенчатым. Количественная сторона этого эффекта, впрочем, ещё не установлена, и возможно, что он будет в значительной мере компенсирован тем, что при жёстких характеристиках асинхронных двигателей следует принимать пониженное значение тягового усилия с учётом возможной неравномерности распределения его по осям.

**Рекуперативное торможение.** Оба электровоза допускают лёгкий переход на режим рекуперативного торможения, причём на однофазно-трёхфазном электровозе при рекуперативном торможении может быть развито не меньшее усилие, чем при тяге; рекуперация до полной остановки не представляет никаких трудностей.

Благодаря малой скорости движения грузовых поездов рекуперативное торможение применяется на электровозах обоих типов даже на небольших уклонах, порядка 3—4‰, пневматическое торможение совершенно не используется в эксплуатации.

**Сос φ.** Оба типа электровоза: однофазно-постоянного тока с мотор-генераторами и однофазно-трёхфазного с преобразователем частоты, благодаря применению синхронного первичного двигателя могут поддерживать высокий  $\cos \varphi$ , притом опережающий при напряжении ниже номинального и отстающий при напряжении выше номинального. Это позволяет увеличить расстояние между подстанциями и уменьшить реактивную нагрузку энергосистемы, питающей электрифицированный участок<sup>2</sup>.

Ценным свойством моторгенераторных электровозов в условиях эксплуатации на линии Валенсьенн—Тионвилль с отдельными сосредоточенными подъёмами является постоянное значение потребляемой мощности, что позволяет уменьшить установленную мощность трансформаторов и улучшить режим нагрузки сети и системы энергоснабжения.

Характеристики электровоза однофазно-трёхфазного тока, напротив, дают почти постоянное значение тягового и тормозного усилий в широком диапазоне скорости при автоматическом регулировании, что весьма удобно для управления электровозом, но не обеспечивает постоянства потребляемой мощности, как это имеет место на электровозе с мотор-генератором.

<sup>1</sup> См. RGCF. 1955, № 7, июль, стр. 637.

<sup>2</sup> Количественная оценка экономии, которая может быть при этом получена, в опубликованных материалах отсутствует.

К. п. д. и расход энергии. К. п. д. однофазно-трёхфазного электровоза при номинальном режиме получается несколько более высоким, чем моторгенераторного, так как в первом случае через машины преобразовательного агрегата проходит только половина преобразуемой энергии.

Разница в расходе энергии между двумя типами электровозов может оказаться меньшей, чем разность к. п. д., поскольку моторгенераторный электровоз всегда работает в области оптимального к. п. д., что не имеет места при электровозе однофазно-трёхфазного тока.

Стоимость. Полная стоимость электровоза однофазно-трёхфазного тока, как видно из табл. 4, на 12% превышает стоимость электровоза однофазно-постоянного тока с моторгенераторами, а стоимость на единицу мощности составляет 78% соответствующего показателя для моторгенераторного электровоза. По производительности, однако, моторгенераторный электровоз немногим уступает однофазно-трёхфазному (благодаря свойствам его характеристики постоянной мощности). При мощности 1 830 *квт* он водит на линии Валенсьенн—Тионвилль поезда весом 1 800 *т* со средней скоростью 48 *км/час*, в то время как электровоз однофазно-трёхфазного тока мощностью 2 640 *квт* водит такие же поезда со скоростью 52,5 *км/час*, т. е. во втором случае средняя скорость выше на 9,5%, а мощность на 44% \*. Превышение общей стоимости однофазно-трёхфазного электровоза (на 12,5%) примерно соответствует превышению его средней скорости (на 9,5%), откуда можно сделать вывод, что при одинаковой скорости и весе поезда, т. е. при одинаковой средней реализуемой мощности, стоимости электровозов обоих типов получились бы почти одинаковыми.

Весовые показатели. Веса электровозов обоих типов почти одинаковы (см. табл. 3).

Вес на единицу мощности электровоза однофазно-трёхфазного тока на 29% меньше веса на единицу мощности электровоза однофазно-постоянного тока с моторгенератором.

Однако, как уже указывалось выше, по производительности электровозы обоих типов несущественно отличаются друг от друга.

Следует отметить, что веса электровозов с машинными преобразователями в расчёте на единицу мощности могли бы быть ещё снижены. Например, моторгенераторный электровоз с асинхронным двигателем и трансформатором с воздушным охлаждением фирмы Шнейдер—Вестингауз для опытного участка Экс-ле-Бан имеет мощность 2 550 *квт* при весе 114 *т*, причём при исполнении для питания только переменным током 50 *гц* (без переключения на постоянный ток) его вес может быть уменьшен до 108 *т*, что составляет около 42,5 *кг/квт*\*\*.

\* RGCF. 1955, № 7, июль, стр. 638.

\*\* Electricité. 1953, июнь, № 195-бис, специальное приложение, стр. 641.

Вышеизложенное показывает, что по тяговым свойствам, энергетическим показателям и стоимости электровозы с машинными преобразователями могут оказаться довольно близкими друг к другу.

Таблица 4

**Сравнительные данные стоимости электровозов линии  
Валенсьенн—Тионвиль<sup>1</sup>**

Тип электровоза	Общая стоимость в %	Стоимость на 1 квт в %
С мотор-генератором . . . . .	126	138
С преобразователем однофазно-трёх- фазного тока . . . . .	142	107,5
С коллекторными двигателями . . . .	100	100
С выпрямителем . . . . .	102	77

<sup>1</sup> Elektrische Bahnen. 1954, № 11, ноябрь, стр. 281.

Сравнительные эксплуатационные показатели электровозов обоих типов ещё не опубликованы, повидимому, ввиду малого пробега электровозов однофазно-трёхфазного тока и недостаточной их изученности.

Отсутствуют также сведения, подтверждающие, что выполненные образцы однофазно-трёхфазных электровозов соответствуют расчётным данным, которые были использованы для сравнительной их оценки.

Следует отметить, что несмотря на достигнутые успехи в деле уменьшения веса электрических машин область рационального применения электровозов с машинными преобразователями (при давлении на ось 20—21 т) ограничена тяжёлыми грузовыми поездами при относительно низкой скорости движения и, как следствие, относительно малой мощности на единицу веса электровоза.

## 2. Электровозы $V_0$ - $V_0$ с однофазными коллекторными двигателями и с игнитронными выпрямителями

В отличие от электровозов  $C_0$ - $C_0$  электровозы  $V_0$ - $V_0$  рассчитаны на максимальную скорость 120 км/час и имеют соответственно большую мощность в расчёте на ось.

В связи с непригодностью для электровозов  $V_0$ - $V_0$  преобразователей машинного типа и недостаточной изученностью вопроса о воздействии выпрямительных электровозов на линии связи в период проектирования большие усилия были направлены на создание электровозов с коллекторными двигателями переменного тока 50 гц, обеспечивающими удовлетворительную коммутацию при трогании с места, замедленном пуске и низкой скорости движения.

Фирмой Жемон был построен коллекторный двигатель, характеризующийся применением сопротивлений в проводниках ротора, шунтированием поля дополнительных полюсов и включением на низкой скорости конденсаторного контура. Этот двигатель по ком-

мутационным показателям превосходит известные двигатели переменного тока  $16\frac{2}{3}$  гц, допуская минимальное ускорение  $3 \text{ см/сек}^2$ . Двигатель может находиться в неподвижном состоянии в течение 30 сек. при токе часового режима <sup>1</sup>.

Несмотря на достигнутый прогресс в деле усовершенствования конструкции коллекторного двигателя переменного тока 50 гц электровоз с коллекторными двигателями значительно уступает электровозу с выпрямителями по всем основным показателям. Сравнение обоих типов электровозов показывает следующее.

**Тяговые двигатели.** Коллекторные двигатели переменного тока, выполненные фирмой Жемон для электровозов В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub>, имеют 18 полюсов и соответственно сложный щёточный аппарат, длительный ток 3 000 а и вес 4,35 т, в то время как двигатели постоянного тока электровоза с игнитронами имеют шесть полюсов, длительный ток 1 000 а и вес 3,03 т при увеличении вращающего момента на единицу веса в 1,5 раза.

Эксплуатационные расходы по коллекторным двигателям составляют 12,9%, а по двигателям постоянного тока 4,2% от соответствующих общих расходов по электровозу. В то же время расходы, связанные с содержанием выпрямительной установки, вместе с системой охлаждения составляют всего около 2%.

В табл. 5 приведены соотношения эксплуатационных расходов по элементам оборудования электровозов обоих типов <sup>2</sup>.

Таблица 5

Характеристика эксплуатационных расходов

Наименование оборудования	Эксплуатационные расходы в % к общим расходам	
	электровоз с игни- тронами	электровоз с коллек- торными двигателями
Трансформатор и выпрямитель . .	3,1	1,0
Тяговые двигатели . . . . .	4,2	12,9
Вспомогательное оборудование . .	3,9	4,5
Аппаратура и пантографы . . . .	33,2	44,4
Механическая часть . . . . .	55,6	50,2
Всего . . . . .	100	100

Общие эксплуатационные расходы по электровозу с игнитронами составляют 11,13, а по электровозу с коллекторными двигателями 12,8 франка на электровозокилометр.

**Использование сцепного веса.** При одинаковом сцепном весе электровоз с игнитронами имеет эксплуатационную весовую норму поезда 1 600 т, а электровоз с коллекторными двигателями — 1 050 т.

<sup>1</sup> RGCF. 1955, июль, № 7, стр. 625.

<sup>2</sup> RGCF. 1955, июль, № 7, стр. 602.

Ограничение веса поезда до 1 050 *t* для электровоза с коллекторными двигателями на участке Валенсьенн—Тионвилль, вызванное коммутационными условиями, с одной стороны, и крутопадающими характеристиками, с другой,—практически затрудняет использование электровозов этого типа для грузовых поездов, в то время как норма 1 600 *t*, установленная для игнитронных электровозов, по мнению французских специалистов, не является предельной и, по видимому, может быть ещё повышена.

Согласно опубликованным данным максимальное тяговое усилие на ободах колёс, практически достигнутое при опытных поездках, составило около 41 *t*, что при электровозе весом 84 *t* соответствует исключительно высокому коэффициенту сцепления, около 0,5 \*

Следует отметить, что высокое использование сцепного веса электровоза  $B_0$ — $B_0$  объясняется не только его благоприятными тяговыми характеристиками, но и новой конструкцией механической части, рассчитанной на устранение разгрузки осей.

К. п. д., расход энергии и коэффициент мощности. К. п. д. электровоза с выпрямителями получается более высоким, чем электровоза с коллекторными двигателями. Расход энергии, даже при одинаковых весах поездов, получается выше, чем для электровоза с коллекторными двигателями.

Коэффициенты мощности электровозов обоих типов при номинальном режиме близки друг к другу. Однако коэффициент мощности выпрямительного электровоза мало изменяется при перегрузках и в области малых скоростей, в то время как коэффициент мощности электровоза с коллекторными двигателями резко падает при указанных условиях<sup>1</sup>.

Стоимость и весовые показатели. Стоимость и вес электровоза с игнитронами близки к стоимости и весу электровоза с коллекторными двигателями, как это показывают табл. 3 и 4, а стоимость и вес на единицу мощности (и длительного усилия тяги) во втором случае на 26% больше.

Однако, как указывалось выше, оценивать электровозы правильнее не по мощности на тонну веса, а по производительности, которая при игнитронных электровозах в 1,5—1,6 раза выше, чем при электровозах с коллекторными двигателями.

Действительно, для ведения поездов весом до 1 600—1 700 *t* (которые может вести электровоз с игнитронами) потребовался бы электровоз с коллекторными двигателями с осевой формулой  $C_0$ — $C_0$  при стоимости, на 24% превышающей стоимость электровозов  $B_0$ — $B_0$ .

Влияние высших гармоник тока и напряжения на линии связи и система охлаждения

\* RGSF. 1955, октябрь, № 9, стр. 800.

<sup>1</sup> В различных опубликованных материалах цифры к. п. д., так же как и коэффициента мощности по электровозам обоих типов, довольно существенно различаются, в связи с чем они здесь не приводятся.



выпрямительного электровоза. К числу недостатков выпрямительного электровоза по сравнению с электровозом, оборудованным коллекторными двигателями, принято было относить вредное влияние высших гармоник тока и напряжения на линии связи и первичную энергосистему, а также недостаточную надёжность системы охлаждения игнитронов.

Влияние электровоза с игнитронами на линии связи до последнего времени не было достаточно изучено; на опытных электровозах и моторном вагоне фирмы Вестингауз (США) применялись специальные фильтры для подавления высших гармоник. Дальнейшее изучение этого вопроса показало, однако, что опасение значительных влияний игнитронных выпрямителей на линии связи и первичную сеть оказалось сильно преувеличенным.

В ходе испытания выпрямительных электровозов фирмой Вестингауз на Пеннсильванской железной дороге первоначально установленная ёмкость фильтров была значительно уменьшена. Исследования, произведённые фирмой Дженерал-Электрик, в связи с поставкой 20 игнитронных электровозов для линии Нью-Йорк—Нью-Хавен показали, что помехи могут быть значительно уменьшены установкой относительно малого фильтра, состоящего из омического сопротивления и ёмкости.

Эксплуатация 100 моторных вагонов с игнитронами на линии Нью-Йорк—Нью-Хавен показала, что помехи от этих вагонов не выше, чем от моторных вагонов с коллекторными двигателями 25 гц. Есть основание предполагать, что при работе нескольких электровозов или моторных вагонов в сети уменьшается вредное действие высших гармоник на линии связи. Об этом свидетельствуют материалы дискуссии, помещённой в данном сборнике.

Опыты на линии Валенсьенн—Тионвилль показали, что даже в случае концентрации выпрямительных электровозов на одном участке помехи на каблированные линии телефонной связи остаются в допустимых границах. Влияние высших гармоник тока на первичную сеть, как показали проведённые во Франции исследования, почти такое же, как и от выпрямительных подстанций с шестифазными выпрямителями.

Согласно этим исследованиям, даже если весь парк электровозов будет оборудован выпрямителями, нет опасений, что распространение гармоник в первичную сеть и искажения напряжения могут достигнуть мешающих значений.

Что касается системы охлаждения, то на всех построенных заграничных электровозах с игнитронами, а также на моторных вагонах водяное охлаждение работало совершенно надёжно. Об этом, в частности, свидетельствуют низкие эксплуатационные расходы по игнитронной установке, которые на французских электровозах  $B_0-B_0$  составляют около 2% от общих расходов по электровозу.

На опытном электровозе фирмы Альстом участка Экс-ле-Бан применяется воздушное охлаждение выпрямителя.

### 3. Сравнительные показатели электровозов с выпрямителями и с машинными преобразователями

Затруднительность такого сравнения связана с тем, что рассматриваемые системы французских электровозов выполнены применительно к различным механическим частям. По весу тяговых двигателей в расчёте на единицу мощности и вращающего момента и по использованию сцепного веса электровоз с выпрямителем близок к электровозу с мотор-генератором. Удельный расход энергии моторгенераторного электровоза оказался близким к расходу энергии выпрямительного электровоза благодаря применению рекуперативного торможения и работе в режиме постоянной мощности при наивысшем значении  $k$ . п. д.

Преимуществом моторгенераторного электровоза является высокий  $\cos \varphi$ , что, как уже указывалось, позволяет увеличить расстояние между подстанциями и устранить нагрузку первичной энергосистемы реактивной энергией<sup>1</sup>. Другим преимуществом моторгенераторного электровоза является простая возможность осуществления рекуперативного торможения.

Следует отметить, впрочем, что хотя осуществление рекуперативного торможения на выпрямительных электровозах связано с техническими трудностями, есть основания считать, что они могут быть в ближайшем времени разрешены, о чём свидетельствует создание 120-*m* выпрямительно-инверторного электровоза фирмой Броун-Бовери<sup>2</sup>.

Указанным преимуществам электровозов однофазно-постоянного тока с мотор-генераторами (по сравнению с выпрямителями) противостоят основные их недостатки — значительно больший вес и стоимость электровоза на единицу мощности.

Действительно, как показывают табл. 3 и 4, вес моторгенераторного электровоза на единицу мощности более чем в два раза, а стоимость в 1,8 раза больше, чем вес и стоимость игнитронного электровоза. Это соотношение может уменьшиться при применении, например, электровоза, выполненного по типу фирмы Шнейдер—Вестингауз, но и в последнем случае вес преобразовательного агрегата составляет 18 *m*, в то время как вес выпрямителя с оборудованием для охлаждения и сглаживающим реактором электровоза с ртутным выпрямителем такой же мощности составляет 4 *m*. Иными словами, при одной и той же осевой формуле и сцепном весе игнитронный электровоз может иметь значительно большую мощность и среднюю скорость движения, чем электровоз с мотор-генераторами.

Следовательно, в то время как область рационального использования электровоза с коллекторными двигателями переменного тока ограничена в лучшем случае движением с пассажирскими и лёг-

<sup>1</sup> При работе выпрямительных электровозов  $\cos \varphi$  в первичной сети может быть исправлен установкой статических конденсаторов на подстанциях.

<sup>2</sup> Brown-Boveri Mitteilungen. 1955, № 4/5, стр. 170.

кими грузовыми поездами, а электровозов с машинными преобразователями — движением с грузовыми поездами при относительно низкой скорости, электровозы с выпрямителями могут развить наибольшую производительность по сравнению с другими типами как для грузового, так и для пассажирского движения.

### III. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОВОЗОСТРОЕНИЯ В США

Электрификация железных дорог в США развивалась иными путями и в иных условиях, чем в Европе.

В США получила распространение как система постоянного тока на напряжения от 650 до 3 000 в, так и система переменного тока 25 *гц* на напряжение 11 кВ, применение которой в первый период электрификации облегчалось наличием промышленных электростанций, работающих на этой частоте.

После 1931 г. электрификация на постоянном токе новых линий была практически прекращена. Для электрификации крупнейшей по грузо- и пассажиропотокам Пеннсильванской железной дороги протяжённостью путей 1 100 км при 3 400 км в однопутном исчислении, произведённой в 1931—1938 гг., была выбрана система переменного тока 25 *гц*, несмотря на то, что для питания значительной части путей пришлось построить преобразовательные подстанции на 60/25 *гц*. На этой дороге, характеризующейся лёгким профилем, в эксплуатации находится свыше 240 электровозов с однофазными коллекторными двигателями.

На ряде электрифицированных дорог с тяжёлым профилем в США получили распространение преобразовательные электровозы однофазно-трёхфазного и однофазно-постоянного тока с мотор-генераторами; в настоящее время строятся электровозы только последнего типа.

Выбор моторгенераторных электровозов однофазно-постоянного тока для дорог с тяжёлым профилем не случаен.

На Вирджинской железной дороге на участке с руководящим подъёмом 20,7%, эксплуатируются поезда весом 6 000 *т* при относительно низкой скорости движения. Необходимость реализации высоких тяговых усилий в области пониженных скоростей на больших подъёмах затрудняет применение коллекторных однофазных двигателей пониженной частоты. С другой стороны, большие сосредоточенные мощности электровозов затрудняют также применение системы постоянного тока вследствие низкого напряжения сети; даже принятое на Вирджинской дороге напряжение переменного тока 11 кВ признаётся недостаточным, и в дальнейшем предусмотрен переход на напряжение сети 22 кВ.

Моторгенераторные электровозы дают возможность совместить преимущество питания переменным током с применением тяговых двигателей постоянного тока и, кроме того, характеризуются другими преимуществами, о которых уже говорилось выше.

Применение рекуперативного торможения на моторгенераторных электровозах позволяет возвращать в сеть на Вирджинской дороге около 25% потребляемой при тяге энергии.

Для правильной оценки современных тенденций электровозостроения в США необходимо учесть, что в течение последних 10—15 лет в США широко развернулось тепловозостроение при весьма низком объёме электрификации железных дорог и электровозостроения.

Например, в марте 1955 г. работа различных типов локомотивов на железных дорогах США характеризовалась следующими цифрами<sup>1</sup>:

Род движения	Перевезено в <i>ткм</i> в % к общему объёму перевозок		
	паровозами	тепловозами	электровозами
Грузовое . . . . .	11,0	87,0	2,0
Пассажирское . . . . .	5,0	88,0	7,0
Маневровое . . . . .	7,6	92,6	0,8

Выпуск электровозов ограничивался за последние годы пополнением парка электровозов действующих электрифицированных железных дорог и созданием некоторых новых образцов.

Для Пеннсильванской железной дороги, где эксплуатируются в основном электровозы 2-С<sub>0</sub>+С<sub>0</sub>-2 мощностью 3 400 *квт* и 2-С<sub>0</sub>-2 мощностью 2 900 *квт*, фирма Джeneral-Электрик разработала и построила в 1951 г. новый электровоз с коллекторными двигателями в четырёхосном исполнении типа В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub>, рассчитанный на соединение двух, трёх и четырёх единиц, что позволяет получать практически любую мощность и сцепной вес, требуемые условиями эксплуатации.

Технические данные этого электровоза в вдвоенном исполнении приведены в табл. 6.

Секционное исполнение создаёт весьма большую гибкость в эксплуатации и позволяет уменьшить затраты на подвижной состав благодаря лучшему его использованию.

В 1947 и 1948 гг. фирмой Джeneral-Электрик были построены новые моторгенераторные электровозы однофазно-постоянного тока для Большой Северной и Вирджинской железных дорог (см. табл. 6).

Вес на единицу мощности американских электровозов превышает соответствующие показатели моторгенераторных электровозов французских железных дорог, что объясняется применением пониженной частоты 25 *гц* и тихоходных первичных двигателей.

Электровоз Вирджинской железной дороги имеет сцепной вес 459 *т* и является самым тяжёлым в мире.

Следует, однако, отметить, что высокий сцепной вес американ-

<sup>1</sup> Сборник «Тепловозостроение за рубежом», вып. 1, стр. 3, Министерства транспортного машиностроения. 1955.

Таблица 6

Технические данные некоторых новых типов электровозов переменного тока 25 гц, 11 кв, выпущенных в 1948—1953 гг. в США

Наименование данных	Тип электровоза			
	Однофазного тока с коллекторными двигателями	Однофазно-постоянного тока с инги-тронами	Однофазно-постоянного тока с мотор-генераторами	Однофазно-постоянного тока с инги-тронами
Железная дорога . . . . .	Пеннсилванская			
Фирма . . . . .	Дженерал-Электрик	Вестингауз	Вирджинская	Нью-Йорк—Нью-Хавен
Год постройки . . . . .	1951	1952	1948	1953
Род службы . . . . .	Грузо-пассажирский			
Осевая формула . . . . .	2(0-2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -0)	2(0-2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -0)	2(0-2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -0)	0-3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub> -0
Вес общий (спешной) в т . . . . .	218	340	459	157
Число ведущих осей . . . . .	8	12	16	6
Давление на ось в т . . . . .	27,2	27,2	28	26,2
Электрическое торможение . . . . .	Реостатное			
Мощность длительного режима в кет	4 500	3 680	5 000	2 950
Усилие длительного режима тяги в кг	32,1	59,8	73	15,4
Скорость длительного режима в км/час . . . . .	43,0	27,4	26,7	70,0
Максимальная скорость в км/час . . . . .	104,5	100	85	144

ских моторгенераторных электровозов необходим для вождения поездов большого веса, принятых в США.

Последние достижения в области выпрямительного строения создали базу для строительства электровозов и моторных вагонов однофазно-постоянного тока с выпрямителями, с применением унифицированных с другими видами электроподвижного состава элементов оборудования, что позволило значительно снизить стоимость электроподвижного состава.

Фирма Вестингауз изготовила в 1949 г. опытный моторный вагон и в 1952 г. два опытных электровоза с игнитронами: один с осевой формулой  $2(0-2_0-2_0-2_0-0)$  и второй —  $2(0-3_0-3_0-0)$ . Опытная эксплуатация этих электровозов дала весьма благоприятные результаты: 12-осный электровоз с игнитронами сцепным весом 340 *t* может вести на участке с руководящим подъёмом 3‰ поезд весом до 12 000 *t* при средней скорости 48 км/час\*.

Фирмой Дженерал-Электрик поставлены 10 пассажирских электровозов с игнитронами и фирмой Вестингауз 100 моторных вагонов с игнитронами для железных дорог Нью-Йорк—Нью-Хавен, рассчитанных на двойное питание: от переменного тока при напряжении 11 кВ с частотой 25 гц и от постоянного тока при напряжении 600 в.

Описания электровозов и моторных вагонов США с игнитронами приведены в данном сборнике.

Для повышения конкурентоспособности электрической тяги с тепловозной при разработке новых типов электровозов в США принимаются меры к возможному уменьшению их стоимости, а также к унификации элементов электрооборудования.

На всех моторгенераторных и выпрямительных электровозах, выпущенных в США за последние годы, применяются тепловозные тяговые двигатели. Двигатели моторных вагонов железной дороги Нью-Йорк — Нью-Хавен унифицированы с двигателями вагонов Нью-Йоркского метрополитена. Игнитроны, устанавливаемые на выпрямительных электровозах и моторных вагонах,—общепромышленного применения. Аппаратура выпрямительных электровозов унифицирована с аппаратурой электровозов переменного тока. Механическая часть четырёхосных электровозов переменного тока с коллекторными двигателями выполнена по аналогии с тепловозным подвижным составом, что также преследует цель уменьшения первоначальной стоимости.

Значительным шагом на пути к удешевлению электровозов как в США, так и в Европе является полный отказ от применения бегунковых осей, с которыми сейчас не строится ни один электровоз современного типа.

В последние годы в США наблюдается тенденция к пересмотру установившихся в некоторых кругах взглядов о преимуществах тепловозной тяги перед электрической.

---

\* Transaction AIEE, т. 73, 1954, ч. II, стр. 130.



В статье «Переоценка экономики электрификации железных дорог: как, где и когда может она конкурировать с тепловозной тягой?» Броун и Кимбалл (H. F. Brown, R. L. Kimball)<sup>1</sup>, основываясь на анализе опыта эксплуатации тепловозной тяги, указывают, что срок службы электровозов примерно в два раза превышает срок службы тепловозов. Стоимость ремонта тепловозов через 5—10 лет эксплуатации повышается почти в три раза, в то время как подобное повышение расходов по ремонту электровозов наступает только после 20—30 лет эксплуатации.

Авторы указанной статьи считают, что если принять во внимание более быструю амортизацию тепловозов, чем электровозов, то электрификация может оказаться экономически выгоднее тепловозной тяги как по капитальным затратам, так и по эксплуатационным расходам.

Одним из серьёзных препятствий на пути дальнейшего развития электрификации в США, наряду с высокой начальной стоимостью, являлась также трудность выполнения коллекторных двигателей переменного тока с частотой 60 *гц*, которая сейчас является в США стандартной.

Очевидно, что это препятствие устраняется при применении новых типов электровозов однофазно-постоянного тока с выпрямителями, которые при частоте 60 *гц* имели бы ещё лучшие показатели, чем при частоте 25 *гц*, благодаря облегчению трансформатора и сглаживающего реактора.

#### IV. МОТОРНЫЕ ВАГОНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Большая часть пригородных дорог во всём мире электрифицирована по системе постоянного тока на напряжение от 600 до 3 000 *в*; даже в Германии и США, где для электрификации магистральных дорог широко применяется переменный ток пониженной частоты, значительная часть пригородных участков электрифицирована на постоянном токе.

Проведённые в последние годы работы по внедрению системы переменного тока 50 *гц* вызвали стремление распространить её применение также на моторные вагоны, с тем чтобы избавиться от неудобств, связанных с наличием двух различных систем тяги — одной для магистрального и другой для пригородного движения, а также уменьшить затраты на устройства энергоснабжения моторвагонной тяги.

Унификация систем тяги для электровозов и моторных вагонов делает также возможным использование последних для междугородного сообщения, что часто практикуется в западноевропейских странах.

Существует два практически приемлемых исполнения моторных

---

<sup>1</sup> Transaction AIEE. 1954, март, стр. 35.

вагонов переменного тока 50 гц: по системе однофазно-постоянного тока с выпрямителями и по системе с коллекторными двигателями переменного тока 50 гц.

Возможность создания моторных вагонов однофазно-постоянного тока с приемлемыми весовыми и эксплуатационными показателями подтверждается опытом изготовления и работы 100 моторных вагонов с игнитронами для железной дороги Нью-Йорк—Нью-Хавен, рассчитанных на двойное питание: от переменного тока 25 гц при напряжении 11 кв и от постоянного тока на напряжение 650 в, описанных в данном сборнике. Эти моторные вагоны работают по системе многих единиц. Водяное охлаждение игнитронов, которое вызывало большие опасения, работает совершенно надёжно. Влияние на линии связи получилось меньшим, чем у вагонов с коллекторными двигателями. Как уже указывалось, при создании этих вагонов были широко использованы освоенные, серийно выпускаемые виды электрооборудования. Все вагоны выполнены моторными с двигателями относительно малой мощности. Кроме унификации двигателей с двигателями вагонов метрополитена, при этом получаются также следующие преимущества:

- а) облегчение конструкции независимой подвески двигателей;
- б) унификация ходовой части всех вагонов;
- в) более свободное размещение электрооборудования под вагоном и лучший доступ к нему;
- г) улучшение динамических показателей вагона — повышение ускорения и скорости сообщения.

Электрооборудование моторных вагонов с игнитронами может быть значительно упрощено и облегчено по сравнению с электрооборудованием моторных вагонов Нью-Йорк—Нью-Хавен при питании только от переменного тока 50 гц.

Отдельные опытные моторные вагоны однофазного тока 50 гц с выпрямителями были изготовлены также в Европе. На линии Эксле-Бан (в Савойе), в частности, находится в эксплуатации опытный моторный вагон Z9055 с выпрямителями.

Ряд зарубежных фирм выпустил за последние годы опытные вагоны с коллекторными двигателями переменного тока 50 гц. Впервые осуществляется электрификация пригородного участка на однофазном токе 50 гц в Стамбуле (Турция) с применением однофазных коллекторных двигателей.

Основные технические данные некоторых современных моторных вагонов с коллекторными двигателями приведены в табл. 7.

Следует отметить, что преимущества применения ионных выпрямителей на моторных вагонах по сравнению с коллекторными двигателями нормальной частоты не столь очевидны, как на магистральных электровозах. Коллекторные двигатели на моторных вагонах работают при значительно более благоприятных режимах, чем на электровозах.

Действительно, применение относительно высокого ускорения сокращает время пускового режима, езда на низкой скорости

Таблица 7

**Технические данные современных заграничных моторвагонных секций  
с коллекторными двигателями 50 гц**

Наименование данных	Железная дорога			
	Хелленталь (Германия)	Экс-ле-Бан (Франция)	Стамбул (Турция)	
Осевая формула . . . . .	$B_0-2+2-B_0$	$B_0-B_0$	$B_0-B_0$	$B_0-2$
Состав секции . . . . .	$M+M$	$M+П$	$M+П$	$M+П+M$
Вес тары в <i>т</i> . . . . .	110	106	—	120
В том числе электрооборудования в <i>т</i> . . . . .	36	20,2	—	—
Вес с нагрузкой в <i>т</i> . . . . .	130	118	126	157,5
Максимальная скорость в <i>км/час</i> . . . . .	90	80	80	90
Количество тяговых двигателей на секцию . . . . .	4	4	4	4
Мощность двигателя часовая в <i>квт</i> . . . . .	385	327	310	269
Длительная . . . . .	335	313	284	239
Напряжение на коллекторе (максимальное) в <i>в</i> . . . . .	243	265	230	240
Меры для улучшения коммутации (специальные) . . . . .	—	Шунтирование дополнительных полюсов	Уменьшение силы тяги при скорости до 6 км/час	—
Система вентиляции двигателя . . . . .	Независимая			Самовентиляция
Подвеска двигателя . . . . .	Опорно-рамная			Опорно-осевая
Вес двигателя . . . . .	2,55	1,6	—	2,65
Мощность трансформатора в <i>квв</i> . . . . .	$2 \times 700$	1 035	—	500
Система охлаждения трансформатора . . . . .	Естественная масляная	Принудительная масляная	—	Естественная масляная
Электрическое торможение . . . . .	Реостатное на уклонах	—	—	—
Система управления . . . . .	Групповая		—	Групповая полуавтоматическая
Число ступеней . . . . .	11	13	14	22
Система вспомогательных машин . . . . .	Конденсаторные двигатели		—	Конденсаторные двигатели
Фирма . . . . .	Сименс	Эрликон	Броун-Бовери	Альстом; Жемон; де-Дитрих; Шнейдер—Вестингауз

требуется практически редко. Автоматическое регулирование ускорения в начале пуска может значительно ограничить момент двигателей в области низких скоростей, что облегчает конструкцию и позволяет их выполнить без сопротивлений в проводниках.

При коллекторных двигателях получаются более простые силовая схема и схема управления и по сравнению с игнитронным вариантом отсутствует необходимость в поддержании непрерывного температурного контроля за работой выпрямителей и подогрева вентилей.

Серьёзными недостатками моторных вагонов с коллекторными двигателями, тем не менее, являются: тяжёлый и сложный щёточный аппарат двигателей, вызывающий повышенные расходы на содержание, повышенный расход энергии вследствие более низкого к. п. д. тяговых двигателей и чрезмерно крутые (мягкие) характеристики, ухудшающие условия сцепления и, следовательно, снижающие возможное пусковое ускорение.

В связи с разработкой в последние годы образцов германиевых и кремниевых выпрямителей, отличающихся весьма малым весом и объёмом на единицу мощности, значительный интерес представляет их использование на электровозах и моторных вагонах однофазно-постоянного тока. Благодаря возможности допустить температуру до 100°C для германия и до 300°C для кремния воздушное охлаждение выпрямителей получается весьма эффективным и надёжным средством отвода тепла при любых окружающих температурах. В Англии построены первые в мире моторные вагоны с германиевыми выпрямителями мощностью 750 *квт* для экспериментальной линии переменного тока 50 *гц* Ланкастер—Морекэмп—Хейшем<sup>1</sup>.

Применение твёрдых выпрямителей представляет особые преимущества для моторных вагонов, устраняя основные недостатки варианта с игнитронами: трудность размещения оборудования под вагоном и сложность системы воздушного охлаждения вследствие относительно малого диапазона температур, в пределах которого может быть обеспечена надёжная работа игнитронов.

---

<sup>1</sup> The Engineer. т. 201. 1956, 13. 1, № 5216, стр. 53.

ГАРРО (M. Garreau), главный инженер  
Французского Национального Общества  
железных дорог, Начальник отдела  
исследований электрической тяги

## ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРОВОЗЫ ЛИНИИ ВАЛЕНСЬЕНН— ТИОНВИЛЛЬ

*Revue Generale des Chemins de Fer. 1955, № 1, январь*

В настоящей статье дается описание четырёх типов электровозов, построенных для первой очереди электрификации железных дорог северо-восточного района Франции:

1)  $C_0-C_0$  с преобразовательным агрегатом однофазно-постоянного тока, состоящим из синхронного двигателя и генераторов постоянного тока, фирмы Альстом;

2)  $C_0-C_0$  с преобразовательным агрегатом однофазно-трёхфазного тока фирмы Эрликон;

3)  $B_0-B_0$  с игнитронными выпрямителями фирмы МТЕ—Шнейдер-Вестингауз;

4)  $B_0-B_0$  с однофазными коллекторными двигателями фирмы МТЕ—Жемон.

В статье изложены обоснования выбора четырёх типов электровозов и результаты работ, проведённых с целью получения максимальной унификации оборудования этих совершенно различных по принципу работы машин.

Четыре типа электровозов, выбранные для эксплуатации на линии Валенсьенн — Тионвилль, по своей конструкции отражают различные технические решения проблемы электрификации на однофазном токе 50 гц: применение коллекторных двигателей на 50 гц; преобразование однофазного тока в постоянный при помощи преобразовательного агрегата или выпрямителей; преобразование однофазного тока в трёхфазный.

Как специалисты, так и не специалисты знают теперь их особенности, причём не специалисты объясняют причины выбора четырёх типов электровозов в несколько упрощённой форме, а именно — намерением испытать все конструкции перед тем, как окончательно остановиться на какой-либо из них.

Однако в действительности выбор четырёх типов электровозов определяется другими причинами, которые могут быть установлены на основании рассмотрения их конструкции.

## Электровозы с преобразованием тока

Общепризнано, что электровозы однофазного тока 50 *гц* позволяют использовать все возможности электротехники. Однако эта мысль иногда искажается до неузнаваемости.

Так, например, некоторые считали, что «преобразование тока является крайним средством, к которому при других системах тока никогда не следует прибегать. Прогресс электротехники сделал возможным применение преобразователей в период, когда начали интересоваться переменным током 50 *гц*. Если даже когда-нибудь будет доказана эффективность преобразовательных электровозов, то другие системы могли бы, в свою очередь, достигнуть таких же результатов».

Тем не менее для распространённых специальных систем тока, таких, например, как переменный ток  $16^{2/3}$  *гц* и постоянный ток в контактной сети, с самого начала был избран только один путь— применение двигателей непосредственного питания, без преобразователей.

Очевидно, что и сейчас никто бы не стал строить преобразовательные электровозы для каких-либо других систем тока, кроме системы с промышленной частотой 50 *гц*, если не считать исключительных случаев (например маневрового электровоза железной дороги Париж—Орлеан)<sup>1</sup>.

Создание преобразовательных электровозов не следует объяснять простым совпадением прогресса электротехники с появлением системы тока 50 *гц*; новые конструкции электровозов, появившиеся в связи с разработкой системы тока 50 *гц*, не являются также вынужденным решением. В действительности система переменного тока промышленной частоты позволила создать электровозы такого типа, которые раньше не существовали.

Другие критики в ряде статей указывали, что электровоз с преобразованием энергии представляет собой простую передвижную подстанцию. Придя к такому выводу, оппонент обычно не может устоять перед чисто ораторским приёмом, восклицая: «Вы упраздняете 30 преобразовательных подстанций, расположенных вдоль линии, и устанавливаете 200 таких же подстанций на электровозах. А это гораздо труднее, чем построить подстанции на земле, где имеется достаточно места для их размещения. Будем же разумны: не будем вновь изобретать электровозы постоянного тока, к которым прицепляется индивидуальная подстанция, как тендер к паровозу. Если нужно строить электровозы постоянного тока, то их не следует маскировать под электровозы однофазного тока».

Такие выступления, конечно, оказывают сильное влияние на аудиторию.

Кто-нибудь из слушателей может заметить, что докладчик не говорил об электровозах однофазно-трёхфазного тока, а касался

---

<sup>1</sup> *Прим. редактора.* Автор здесь имеет в виду маневровые электровозы с преобразователями постоянного тока типа Метадин.

только электровозов однофазно-постоянного тока. Дело в том, что указанный аргумент сохраняет свою кажущуюся убедительность только для электровозов с преобразовательным агрегатом однофазного тока в постоянный или электровозов с выпрямителями. Указанная критика основана на большой ошибке, которая заключается в предположении, что электровоз с двигателями постоянного тока, которые питаются от преобразователя, установленного на электровозе, отождествляется с электровозом постоянного тока, получающим питание от контактной сети.

В действительности эти два типа электровозов совершенно различны.

Второй из них мы знаем и высоко ценим за замечательные качества его двигателей. Но что касается остальных его элементов, то наша положительная оценка является результатом долгой привычки. Мы всегда считали естественным всё то, что настоящий электрик (электрик, а не электровозник) мог считать неестественным, а именно: необходимость соединять двигатели последовательно, а затем параллельно; наличие джоулевых потерь в реостатах и необходимость прибегать к большой шунтировке поля для расширения диапазона скоростей. Всё это вызывается принятым способом питания двигателей непосредственно от контактной сети при постоянном напряжении.

Устройства постоянного тока уже исчезли из промышленных установок. Это не значит, что двигатель постоянного тока «попал в немилость». Наоборот, к его применению снова возвращаются, но его питают от меняющегося напряжения при помощи агрегатов Вард-Леонарда, тиратронов, игнитронов и других выпрямителей. Устраняется питание от постоянного напряжения, но сохраняются двигатели постоянного тока, которые ценятся за их высокие качества: гибкость и надёжность в работе.

Электровозы с преобразовательными агрегатами или выпрямителями представляют наилучший способ использования тяговых двигателей постоянного тока. Впрочем, это относится и к электровозу однофазно-трёхфазного тока; действительно, нет ничего общего между индукционным двигателем, питаемым током постоянной частоты (надёжным, но не поддающимся гибкому регулированию), и таким же двигателем, питаемым током переменной частоты.

Но есть ещё более веские доводы. Электровозы строятся не только для того, чтобы нравиться электрикам, но также и для того, чтобы удовлетворять требованиям работников эксплуатации (даже не электриков). Последние считают, что преобразование тока на самом электровозе имеет важные преимущества.

Одним из основных преимуществ этих электровозов, о которых уже писали ранее<sup>1</sup>, является способность к троганию с места и вожждению тяжёлых поездов.

---

<sup>1</sup> L'électrification des Chemins de Fer (приложение к журналу *Electricité*. 1953, № 195-бис, специальное приложение).

Максимальная сила тяги, которая может быть реализована без опасности боксования какой-либо одной оси, тем больше, чем более резко проявляется тенденция к уменьшению силы тяги соответствующего двигателя при начинающемся боксовании, что соответствует быстрому восстановлению сцепления. На этот процесс оказывает влияние крутизна характеристики  $F = f(v)$ , которая зависит от конструкции двигателя и от способа его питания. С этой точки зрения характеристики индукционных трёхфазных двигателей являются наилучшими. На втором месте находятся характеристики двигателей постоянного тока, которые в свою очередь лучше, чем характеристики однофазных коллекторных двигателей. Характеристики двигателя постоянного тока при этом не изменяются ни под действием пускового реостата, который увеличивает их крутизну, ни последовательным соединением, вызывающим повышение напряжения на зажимах двигателя, связанного с боксующей осью. Электровозы с преобразователями однофазно-постоянного тока и с выпрямителями позволяют использовать двигатели постоянного тока в идеальных условиях прогрессивно нарастающего повышения напряжения при постоянном параллельном соединении двигателей. Дополнительные устройства способствуют улучшению их работы.

Другим важным фактором, определяющим тяговое усилие при трогании с места, является величина ускорения. Чем ниже ускорение, тем больше может быть реализуемое усилие тяги. Так, например, уменьшение величины ускорения с 5 до 4  $см/сек^2$  позволяет увеличить усилие тяги почти на 1 кг в расчёте на тонну веса поезда. Наоборот, при реализации максимальной силы тяги, допускаемой сцепным весом, указанное уменьшение величины ускорения означает увеличение допустимой нагрузки при трогании с места в 1,07 раза на подъёме 10% и в 1,19 раза — на площадке. Если уменьшить ускорение с 5 до 2  $см/сек^2$ , то увеличение допустимой нагрузки составит соответственно 1,23 и 1,90. Для увеличения веса поезда стремятся к использованию двигателей, которые могли бы выдержать без ущерба исключительно малые ускорения (порядка 1  $см/сек^2$ ); этим требованиям удовлетворяют двигатели постоянного тока или индукционные, в то время как однофазные двигатели с частотой  $16\frac{2}{3}$  гц фактически не допускают ускорения менее 5  $см/сек^2$ .

По этим причинам для ведения поездов весом 1 800 т на 10%-ном подъёме был выбран электровоз  $C_0-C_0$  с преобразовательным агрегатом при сцепном весе 120 т, в то время как электровоз постоянного тока такого же веса может тронуть с места на подъёме 10% только поезд весом 1 200 т.

Указанными свойствами обладают также электровозы с выпрямителями, что блестяще подтвердилось опытом работы первых электровозов с игнитронными выпрямителями, которые при четырёх неспаренных осях трогали с места на подъёмах линии Валенсьенн—



Тионвилль поезда весом 1 350 т\*, в то время как паровозы, водившие раньше эти поезда (без трогания с места на подъёме), имели 5 спаренных осей.

Электровазы постоянного тока с такими нагрузками боксовали бы, а электровазы с однофазными коллекторными двигателями вышли бы из строя.

Коэффициент мощности на преобразовательных электровазах может быть оптимальным и регулируемым, если в качестве преобразователя применяется синхронный двигатель.

Мы считали, что уменьшение падения напряжения в контактной сети и расхода реактивной энергии оправдывает усложнения, связанные с применением синхронного двигателя (устройства возбуждения, синхронизация при пуске, защита и возвращение в синхронизм в случае отрыва пантографа от контактного провода).

На электровазах с выпрямителями не может быть получен коэффициент мощности, равный единице, как на электровазах с вращающимся преобразователем, поскольку выпрямитель (даже без сеточного регулирования) потребляет реактивную энергию. Он может даже расходовать несколько больше реактивной энергии, чем некоторые однофазные двигатели при номинальном режиме. Но расход реактивной энергии и коэффициент мощности электровазов с ртутными выпрямителями остаются на достаточно высоком уровне при различных скоростях движения, в то время как коэффициент мощности однофазных двигателей резко снижается при низких скоростях. Постоянство коэффициента мощности при разных скоростях особенно важно для электровазов, предназначенных для смешанной службы, т. е. для вождения как пассажирских, так и грузовых поездов.

**Рекуперация. Удельный расход энергии.** Электровазы с машинным преобразовательным агрегатом позволяют осуществлять рекуперативное торможение при весьма простых устройствах, с несложным управлением, что очень важно на такой линии с большим числом уклонов, как Валенсьенн—Тионвилль. Нагрузка электроваза в эксплуатации близка к номинальной мощности, соответствующей зоне максимального к. п. д. Благодаря тому что электроваз работает в зоне максимального к. п. д. и применению рекуперативного торможения удельный расход энергии на пантографе электроваза весьма мал несмотря на потери, связанные с преобразованием энергии.

Электровазы с выпрямителями плохо приспособлены к рекуперативному торможению, но сравнительные испытания их с электровазами постоянного тока показали, что потери в выпрямителях с избытком компенсируются отсутствием пускового сопротивления на электровазе и значительным уменьшением потерь в контактной сети и на подстанциях.

---

\* *Прим. редактора.* По последним данным, эти электровазы могут вести поезда весом до 1 600 — 1 700 т.

Общий к. п. д. системы с электровозами однофазно-постоянного тока, оборудованными выпрямителями, с учётом всех факторов получается бóльшим, чем системы постоянного тока при равных значениях веса поезда в расчёте на тонну веса электровоза. Если учесть увеличение веса поезда, допускаемое для электровоза с выпрямителем, то его преимущество в отношении удельного расхода энергии станет ещё бóльшим.

Вышеизложенное показывает, что электровозы с преобразователями однофазно-постоянного тока неправильно рассматривать как заменители, поскольку они превосходят электровозы постоянного тока по своим показателям.

Однофазно-трёхфазные электровозы, которые сейчас вступают в эксплуатацию, также будут иметь значительно более высокие показатели, чем электровозы постоянного тока.

Таким образом, выбор указанных трёх типов электровозов объясняется присущими им свойствами. Предпочтение, отданное на линии Валенсьенн—Тионвилль электровозам типа  $C_0-C_0$  с преобразовательными агрегатами, объясняется тем, что на этой линии большей частью обращаются тяжёлые поезда (на других линиях положение несколько иное, и там все электровозы типа  $B_0-B_0$ ). Заказ небольшого количества электровозов с выпрямителями (мы считаем, что этот тип имеет большое будущее) объясняется желанием провести предварительно в ограниченном масштабе исследования в области воздействий высших гармоник тока <sup>1</sup>.

### Электровозы с коллекторными двигателями 50 гц

Прежде всего следует ответить на вопрос: оправдан ли выбор этого типа электровоза?

Этот выбор основан отчасти на традиции, связанной с применением однофазных коллекторных двигателей при частоте  $16\frac{2}{3}$  гц, а отчасти с тем техническим прогрессом, который достигнут на электровозах  $16\frac{2}{3}$  гц в направлении облегчения веса двигателей, что дало возможность построить двигатели на 50 гц с хорошими показателями, о чём свидетельствуют электровозы, выполненные для Аннеси <sup>2</sup>.

Вначале казалось, что двигатель с частотой 50 гц может быть получен путём простой экстраполяции конструкции двигателя на  $16\frac{2}{3}$  гц. Однако мы не хотели отступать от тех требований, которыми руководствовались при создании других типов тяговых двигателей в отношении их пусковых свойств, и поставили задачу выполнить электровоз с коллекторными двигателями, не уступающий электровозу постоянного тока.

<sup>1</sup> Прим. редактора. В настоящее время эти опасения в значительной мере устранены, в связи с чем намечается заказ большого количества электровозов этого типа.

<sup>2</sup> Прим. редактора. Аннеси находится на железнодорожном участке Экс-ле-Бан.

По предложению одного из заводов была принята конструкция тягового двигателя, который обладает совершенно необычными для однофазного коллекторного двигателя свойствами: надёжностью работы при трогании с места и большим пусковым моментом при низких скоростях движения.

Его оригинальными особенностями являются в основном применение сопротивлений в проводниках и шунтирование дополнительных полюсов с двумя ступенями регулирования, на одной из которых (при очень низких скоростях) параллельно к сопротивлениям подключены конденсаторы.

Вышеизложенное даёт возможность лучше понять сущность поставленных задач. Проблема заключается не в создании новых типов электровозов, а также не в опытах, целью которых является выяснение того, какой вариант должен быть принят в конечном итоге, а в стремлении использовать новые решения. Общеизвестно, что архитектор при постройке здания имеет возможность применить каменную кладку, металлический каркас или железобетон и при этом не возникает вопроса, какой из этих трёх методов строительства ограничит применение других. Мы привыкли к тому, что пользуются одновременно всеми этими типами и на каждом из них архитектор может базировать свой проект.

Подобно этому имеются различные возможности для постройки электровозов однофазного тока 50 гц нескольких типов, обладающих каждый присущим ему преимуществом, хотя в применяющихся сейчас специальных системах тока обычно используются электровозы одного и того же типа.

Французское Национальное Общество Железных Дорог заказало для линии Валенсьенн—Тионвилль электровозы всех четырёх типов. При их проектировании использованы общие принципы и проведена всемерная унификация узлов и деталей, за исключением тех особых элементов конструкции, которые присущи каждому определённого типа электровоза.

### Ход исследований

Французское Национальное Общество Железных Дорог объявило два конкурса: один на проект электровозов  $C_0$ - $C_0$ , предназначенных специально для вождения тяжёлых грузовых поездов, и второй — на электровозы  $B_0$ - $B_0$  для смешанной службы. В результате этих двух конкурсов были созданы четыре указанных выше типа машин.

Проекты конструкторских бюро заводов не имели между собой ничего общего. Они были различными и в принципе конструкции и во всех деталях: каждый завод предложил свою механическую часть, свои контакторы, отключатели, реверсоры, реле. Единственное, что у них было общее — это пантографы.

Поскольку было признано необходимым строить все четыре типа электровозов, мы стремились к всемерной унификации (тем более, что это были не прототипы, а первые номера серий электровозов).

В некоторых случаях была возможность использовать опыт, накопленный в области конструкции аппаратов и схем, уже применённых для других систем тяги или испробованных на прототипах электровозов однофазного тока 50 гц в Аннеси. В этих случаях была возможность выбирать и давать надлежащие указания. В других случаях, когда не было достаточного опыта, приходилось выделять одну ответственную организацию (один из четырёх заводов-изготовителей или наше бюро исследований), поручая ей разработку общих решений для всех четырёх типов электровозов.

Такая работа выполнялась впервые; она была трудоёмкой и упорной.

В этой работе было два этапа: первый этап — основная унификация, которая должна была быть выполнена до размещения заказов, так чтобы при заключении договора на поставку все основные характеристики каждого электровоза были в достаточной мере определены, и второй этап—унификация отдельных частей, вопрос о которых мог быть решён в течение нескольких месяцев после размещения заказов.

Первый этап унификации был выполнен за 6 месяцев до размещения заказов. Основные черты первого этапа таковы.

**Механическая часть.** Один из заводов предложил в качестве варианта электровоз с кабиной машиниста, расположенной посередине. Это давало большую экономию материалов, а также преимущества технического характера с точки зрения повышения надёжности эксплуатации. Конструкция с одной кабиной машиниста в центре была принята для всех четырёх типов электровозов, что позволило также упростить схемы, увеличить число аппаратов, непосредственно управляемых машинистом ручным способом, и разместить возле него всю аппаратуру управления, а также те приборы, которые подвергаются чаще всего опасности выхода из строя в пути.

Для выбора наиболее удобной внешней формы электровоза как с точки зрения создания условий для хорошей видимости, так и для удобного размещения оборудования, в первую очередь большого габарита (трансформаторов, преобразователей и т. п.), были произведены опыты с макетами натуральной величины.

Полученная в результате этого внешняя форма электровозов резко отличалась от первоначальных проектов. Вначале пришлось столкнуться с очень серьёзными затруднениями, но, несмотря на это, всё же удалось установить одинаковую форму для двух типов электровозов  $C_0$ - $C_0$  с преобразовательными агрегатами и другую форму для двух типов электровозов  $B_0$ - $B_0$ .

Для электровозов  $C_0$ - $C_0$  с преобразовательным агрегатом однофазно-постоянного тока фирмы Альстом и однофазно-трёхфазного тока фирмы Эрликон были приняты почти совершенно одинаковые механические части, причём унификация коснулась тележек (за исключением осей и кожухов приводов), каркаса рамы кузова, капотов, кузова кабины машиниста, пневматических аппаратов и т. д.

При конструировании электровозов  $B_0-B_0$  с коллекторными двигателями фирмы МТЕ—Жемон и электровозов с игнитронными выпрямителями фирмы МТЕ — Шнейдер-Вестингауз также стремились к получению одинаковых механических частей (упрощённый тип тележек 9003 и кузов с кабиной машиниста в центре), за исключением небольшого числа деталей. Многие части этих электровозов в то же время совершенно аналогичны механическим частям электровозов  $C_0-C_0$ .

**Электрическая часть.** Перед размещением заказов была проведена следующая унификация электрических частей для четырёх типов электровозов.

**Первый этап унификации.** а) Общая унификация всех четырёх типов электровозов:

1) одинаковая конструкция крышевого оборудования (включая пантограф);

2) одинаковый тип высоковольтного пневматического главного выключателя фирмы СЕМ, являющегося усовершенствованной конструкцией типового выключателя фирмы Броун-Бовери для системы тяги с частотой  $16^{2/3}$  гц;

3) одинаковые вспомогательные устройства на всех электровозах, приводимые в действие от асинхронных короткозамкнутых двигателей, питаемых трёхфазным током от преобразовательного агрегата Арно. Эта система вспомогательных машин завода Эрликон вполне себя оправдала, что было доказано в Аннеси.

б) Унификация двух типов электровозов  $C_0-C_0$ .

С целью унификации вспомогательного оборудования конструкторы заводов Альстом и Эрликон приняли решение применить одинаковый принцип пуска преобразовательного агрегата на постоянном токе при помощи генератора, приводимого в действие преобразователем Арно. Связанные с этой унификацией трудности вполне понятны, если учесть основные различия между преобразовательным агрегатом фирмы Альстом, представляющим одну машину со скоростью вращения 1 500 об/мин, и преобразовательным агрегатом фирмы Эрликон, состоящим из двух отдельных машин, из которых одна имеет скорость вращения 1 000 об/мин, а другая вращается с изменяющейся скоростью.

в) Унификация двух типов электровозов  $B_0-B_0$ .

Самым важным мероприятием было принятие одной и той же системы регулирования напряжения трансформатора переключателем ступеней высокого напряжения фирмы Броун-Бовери, который хорошо зарекомендовал себя при работе на однофазном токе  $16^{2/3}$  гц и представляет надёжную конструкцию, практически не нуждающуюся в уходе.

Применение этой системы на электровозах с однофазными двигателями фирмы МТЕ — Жемон устраняло необходимость регулирования напряжения на вторичной обмотке трансформатора при токах весьма большой величины (12 000 а — при установившемся режиме и 18 000 а — при трогании с места), необходимых для работы четы-

рёх параллельно включённых однофазных двигателей. Применение указанной системы регулирования не представило затруднений вследствие установки на электровозах  $B_0-B_0$  трансформаторов, построенных фирмой СЕМ, которая изготавливает также регуляторы высокого напряжения.

Для электровозов  $B_0-B_0$  с игнитронными выпрямителями было признано целесообразным заказать изготовление трансформатора тому же заводу, который строил выпрямители. Конструкцию этого трансформатора нужно было приспособить к установке переключателя ступеней фирмы Броун-Бовери, заключив всё в один блок. С другой стороны, нужно было удвоить число ходовых ступеней вследствие пологой формы тяговых характеристик двигателей, работающих при пульсирующем токе. Это могло быть выполнено при помощи специального устройства, без изменения конструкции самого переключателя, которая совершенно аналогична конструкции переключателя электровозов  $B_0-B_0$  с однофазными коллекторными двигателями.

Заказы на эти электровозы с уточнёнными данными были размещены в июле и августе 1952 г., что не задержало работ по унификации.

Второй этап унификации и продолжался ещё в течение нескольких месяцев после размещения заказов и относился к ряду деталей, перечисление которых заняло бы слишком много места; мы отметим только некоторые из них для того, чтобы дать представление о смысле и значении этой работы.

1. Оборудование кабин машиниста и помещений, непосредственно к ним примыкающих. Несмотря на существенные различия в принципе конструкции четырёх типов машин, на электровозах типов  $C_0-C_0$  и  $B_0-B_0$  выполнены одинаковые пульты управления и принят одинаковый способ управления. Все аппараты управления и защиты, так же как и все аппараты, за работой которых машинист должен наблюдать (контакты, плавкие предохранители и т. п.), сгруппированы возле кабины машиниста и расположены по возможности одинаково.

2. Одинаковая конструкция крышевого оборудования (пантограф, заземлитель, главный выключатель) и взаимозаменяемые прожекторы.

3. Одинаковая конструкция кузовов, устройств запираания, открывания и обеспечения безопасности.

4. Защитные реле фирмы Шнейдер-Вестингауз одинакового типа (за небольшим исключением). Унификация позволила сократить число видов реле до шести при выполнении ими 30 различных функций на четырёх типах электровозов. Эти реле различных типов собраны из совершенно однотипных основных элементов.

5. Реверсоры фирмы Жемон одинаковой конструкции, несмотря на различные условия их применения на электровозах различных типов.

6. Одинаковые вентиляторы тяговых двигателей для обоих типов электровозов В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub>, несмотря на то, что расход и давление воздуха, требуемые двигателями, совершенно различны и что вентиляторы должны выполнять различные вспомогательные функции охлаждения.

Можно привести много примеров унификации, которая распространяется на узлы схем и на конструктивные детали оборудования: щёткодержатели, коробки соединения проводов, смотровые люки двигателей, роликовые подшипники, вспомогательные контакторы, трубопроводы, дверцы, электроклапаны, изоляция проводов, типы кабельных наконечников и т. п.

В процессе унификации все части и детали электровозов подвергались изучению, но тем не менее нельзя считать, что было сделано в этом направлении всё возможное. Работа такого масштаба, в особенности для совершенно новых типов электровозов, была, естественно, ограничена временем исследований и изготовления, которое велось очень быстрыми темпами.

По истечении 6 месяцев с момента размещения заказов заводы и Французское Национальное Общество Железных Дорог вынуждены были приостановить работы по унификации, так как они задержали бы выпуск первых электровозов. Следует указать, что к этому времени поставленные цели в области унификации были почти осуществлены.

Эти результаты были достигнуты главным образом благодаря взаимному пониманию, проявленному конструкторами при длительных технических обсуждениях, во время которых они вынуждены были жертвовать своими привычками или своим самолюбием. Предварительное согласование ряда технических вопросов задержало начало выпуска. Тем не менее первые машины были готовы к назначенному сроку. Этот успех французской промышленности заслуживает того, чтобы быть отмеченным.

В последней главе этой статьи я остановился на работе, выполненной в области унификации, которая велась по инициативе Французского Национального Общества Железных Дорог. Сейчас, когда эта работа выполнена, оказалось, что унифицированные части электровозов составили небольшую долю тех элементов оборудования, которые не могли быть унифицированы и остались различными: тяговые двигатели, выпрямители и их вспомогательные устройства, преобразовательные агрегаты и их системы регулирования. В отношении унификации остальных элементов оборудования имеются пока только общие директивы Французского Национального Общества Железных Дорог.

Технические характеристики и конструктивное выполнение электровозов будут описаны конструкторами заводов-изготовителей в отдельных статьях.

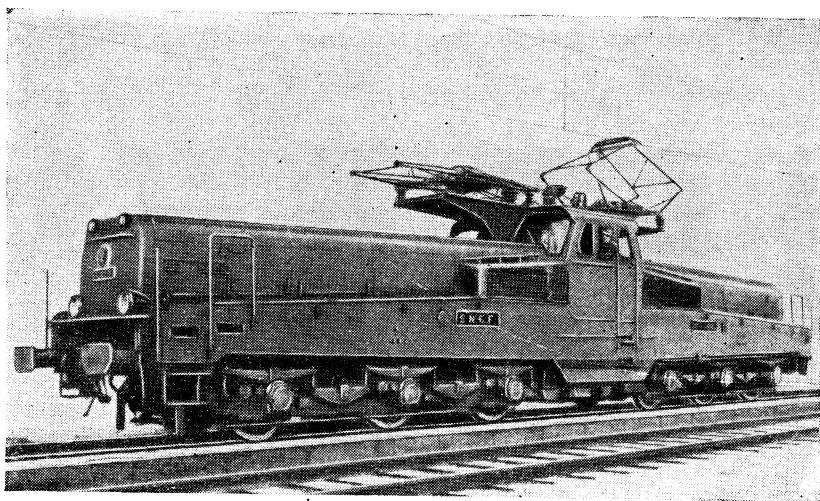
---

ДАНЕЙ (М. ДАНЕУ),  
инженер фирмы Альстом

**ЭЛЕКТРОВОЗЫ  $C_0-C_0$  14100, ОБОРУДОВАННЫЕ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ АГРЕГАТАМИ, СОСТОЯЩИМИ  
ИЗ СИНХРОННОГО ОДНОФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ  
И ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Revue Generale des Chemins de Fer. 1955, № 1, январь*

Наиболее целесообразным способом перевозок угля и руды на линии Валенсьенн—Тионвилль, обеспечивающим максимальную провозную способность при наименьших расходах, является исполь-



Фиг. 1. Общий вид электровоза  $C_0-C_0$  14101 с преобразовательным агрегатом, состоящим из синхронного двигателя и двух генераторов постоянного тока

зование тяжёлых поездов при пониженной скорости движения. Первоначальный план предусматривал поезда весом 1 800 т с максимальной скоростью 60 км/час.

Расчёты, проведённые с учётом профиля линии (крутые, но короткие подъёмы 10‰), показали, что электровозы (фиг. 1) мощностью 2 500 л. с., отнесённой к ободам колёс, вполне удовлетворяют требуе-



мым условиям эксплуатации. В связи с тем, что участки с крутыми подъёмами коротки, даже значительное увеличение мощности локомотива не могло бы привести к заметному увеличению пропускной способности линии.

Максимальная крутизна уклона оказывает относительно малое влияние на номинальную мощность локомотива, но имеет большое значение при пуске тяжёлых поездов и определяет в этом случае величину максимальной силы тяги. Для пуска и ускорения поезда весом 1 800 *t* на подъёме 11,5‰ необходима сила тяги на ободе колеса электровоза 35 *t*. Учитывая слабую тенденцию колёс электровоза с преобразовательным агрегатом к боксованию при указанной силе тяги, оказалось возможным принять сцепной вес около 120 *t*. При мощности 2 500 л. с. и весе 120 *t* удельная мощность электровоза  $C_0-C_0$  весьма невелика — всего 20 л. с. на одну тонну веса. Эта мощность характеризует предпочтительную область использования электровоза с преобразовательным агрегатом.

Существовали опасения, что каскадная трансформация энергии, характерная для электровоза этого типа, плохо отразится на его к. п. д. Действительно, при номинальном режиме его к. п. д. на несколько процентов ниже, чем к. п. д. электровозов, оборудованных коллекторными двигателями однофазного тока 50 *гц* или выпрямителями. Но высокий к. п. д., имеющий большое значение для скорых пассажирских электровозов, не так важен для грузовых электровозов линии Валенсьенн—Тионвилль, которые работают при самых разнообразных соотношениях между скоростью и силой тяги. Поэтому для специфических условий работы на этой линии было отдано предпочтение электровозу с характеристиками постоянной мощности, которые легко осуществляются при электрической трансмиссии постоянного тока, при которой электровоз работает в течение длительного периода времени с полным использованием установленной мощности, при режиме оптимального к. п. д. Электрическое рекуперативное торможение значительно улучшает средний к. п. д. электровоза (не считая гибкости в работе, безопасности и экономичности, которые даёт такой вид торможения).

В действительности при определении стоимости передачи энергии от сети к моторным осям следует учитывать не только к. п. д. преобразуемой на электровозе энергии, но и к. п. д. стационарных устройств и средний коэффициент мощности, так как реактивный ток стоит так же дорого, как и активный. Поэтому на первичной стороне трансформаторных подстанций устанавливаются счётчики активной и реактивной электроэнергии.

Потери энергии в постоянных устройствах зависят от количества передаваемой энергии и минимальны при  $\cos \varphi = 1$ . Этим объясняется интерес к синхронному двигателю, единственному, который может удовлетворять поставленным требованиям и обеспечивать оптимальный к. п. д. стационарных устройств. Кроме того, такой двигатель позволяет регулировать по желанию (по величине и по направлению) циркуляцию реактивной энергии в тяговой сети.

Таким образом, падение напряжения между подстанцией и электровозом может быть фактически устранено при помощи регулирования возбуждения синхронного двигателя.

Путём передачи в сеть дополнительной реактивной энергии можно также компенсировать падения напряжения, вызванные соседними электровозами с худшим коэффициентом мощности.

Опыт эксплуатации иностранных электрифицированных железных дорог с различными электровозами, оборудованными преобразователями с синхронными двигателями, показал значение работы двигателя в качестве компенсатора, предназначенного для уменьшения размеров стационарных устройств энергоснабжения и для поддержания надлежащего напряжения в линии.

Автоматическое регулирование напряжения имеет особенно большое значение в условиях эксплуатации на линии Валенсьенн—Тионвилль, где не составляет исключения движение с низкими скоростями, сопровождающееся для всех других типов электровозов пониженным значением коэффициента мощности.

Электровоз  $C_0-C_0$  14100 с генераторами постоянного тока обладает хорошей тяговой характеристикой постоянной мощности, которая оказывает благоприятное влияние на общий к. п. д. системы передачи и вызывает значительное упрощение работы машиниста благодаря устранению необходимости переключения ступеней скорости.

Такая система преобразования энергии позволяет установить двигатель последовательного возбуждения постоянного тока, являющийся идеальным тяговым двигателем благодаря свойствам его характеристик, гибкости и способности к перегрузкам. Двигатель имеет дополнительную обмотку независимого возбуждения, что улучшает условия восстановления сцепления в случае боксования. При весьма небольшом скольжении колёс по рельсам двигатель, связанный с осью, которая боксует, автоматически и немедленно разгружается; это препятствует разносному боксованию и стабилизирует движение на уровне скорости, близкой к скорости осей, которые не боксуют. Единственная возможность разносного боксования состоит в одновременном ускорении всех шести осей.

Таким образом осуществляется электрическое спаривание двигателей, аналогичное механическому спариванию осей паровоза.

Совместно с отделом исследований электрической тяги Французского Национального Общества Железных Дорог были предприняты исследования с целью:

- а) максимального упрощения электрических и пневматических схем для уменьшения числа аппаратов, облегчения ухода и управления ими;
- б) облегчения доступа к отдельным элементам оборудования и быстрой их замены путём группировки в стандартные, легко демонтируемые блоки;
- в) унификация аппаратуры монтажа механической части и схем.

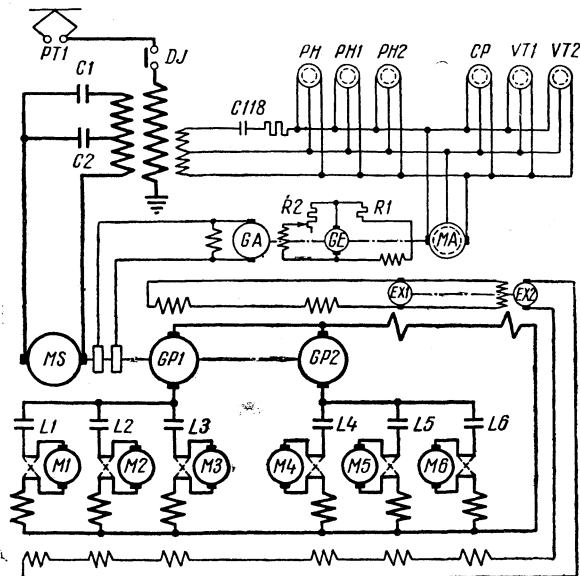
## Электрическая часть

**Общая часть.** На силовой схеме (фиг. 2) показаны основные элементы электрической части:

а) главный трансформатор, питаемый однофазным током от сети напряжением 25 000 в через пантограф и воздушный выключатель.

Передача электроэнергии происходит:

1) через вторичную обмотку трансформатора от напряжения 3 000 в на статор синхронного двигателя;



Фиг. 2. Силовая схема электровоза

2) через вспомогательную обмотку трансформатора от напряжения 420 в на преобразователь фаз Арно;

3) через обмотку отопления с двумя отводами (1 000 и 1 500 в) в цепь отопления поезда;

б) главный преобразовательный агрегат со скоростью вращения 1 500 об/мин, состоящий из трёх машин, установленных на одном валу: синхронного двигателя MS; двух генераторов GP1 и GP2 с независимым возбуждением, каждый из которых питает, независимо от другого, три параллельно включённых тяговых двигателя;

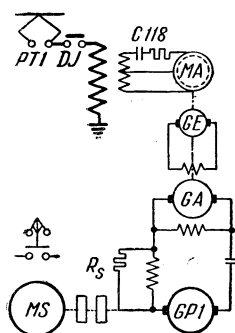
в) шесть тяговых двигателей с двумя обмотками возбуждения;

г) возбудительный агрегат, состоящий из двух машин ExGP (Ex1) и ExMT (Ex2), приводимый в действие (через ремённый привод) от двигателя преобразовательного агрегата со скоростью вращения 2 200 об/мин. Один из возбудителей питает последовательно вклю-

чёрные обмотки независимого возбуждения главных генераторов, другой — тяговых двигателей;

д) преобразователь Арно, который питает трёхфазным током все двигатели вспомогательных цепей.

**Действие схемы.** Пуск главного преобразовательного агрегата (фиг. 3). Демпферы, уложенные в полюсах ротора для устранения действия обратного поля на обмотку возбуждения синхронного двигателя, возникающего вследствие питания обмотки статора однофазным током, представляют собой обычную «беличью клетку» асинхронного двигателя.



Фиг. 3. Схема пуска главного преобразовательного агрегата:

$R_S$  — шунтирующее сопротивление главного генератора  $GP1$

Взаимодействие двух вращающихся полей статора с токами, которые они индуктируют в стержнях демпферной обмотки, даёт два асинхронных момента: один прямой, вызванный взаимодействием прямого вращающегося поля с индуктированными токами частотой  $g\omega$  ( $g$  — скольжение двигателя), и другой — обратный, вызванный взаимодействием обратного вращающегося поля с индуктированными токами частотой  $(2 - g)\omega$ .

Результирующий асинхронный момент, который может быть использован при вращении, при неподвижном двигателе равен нулю, так как действующие при этом два момента от прямого и обратного вращающихся полей равны по величине и противоположны по знаку. Поэтому пуск преобразовательного агрегата должен осуществляться от внешнего источника питания.

Один из главных генераторов, питаемый возбудителем  $GA$ , сидящим на валу преобразователя Арно, используется в качестве двигателя последовательного возбуждения для пуска преобразовательного агрегата; его обмотка независимого возбуждения, включённая последовательно, должна быть сильно шунтирована, чтобы обеспечить скорость вращения 1 500 об/мин.

При пуске преобразовательного агрегата генератор  $GP1$  должен развивать большой момент, часть которого затрачивается на трение вала о вкладыши подшипников, причём этот момент особенно велик, если между поверхностями вала и подшипников нет хорошей смазки.

Скорость вращения преобразовательного агрегата приблизительно в течение 1 мин. 40 сек. достигает 1 500 об/мин с весьма незначительным ускорением в конце разгона. При достижении 1 500 об/мин реле с центробежным регулятором прерывает пусковые цепи постоянного тока и даёт импульс тока для включения невозбуждённого двигателя на пониженное напряжение (1 500 в). Скорость преобразовательного агрегата при этом фактически несколько отличается от синхронной вследствие допуска, принятого для регу-

лирования реле, и из-за колебаний мгновенных значений частоты сети.

В этот период действуют два момента:

а) результирующий асинхронный момент, о котором говорилось выше и который, если бы он был единственным, стабилизировал бы скорость вращения преобразовательного агрегата при скольжении примерно 1,5 %;

б) синхронизирующий момент, вызванный изменяющимся магнитным сопротивлением междужелезного пространства и достаточный, чтобы привести преобразовательный агрегат при холостом ходе к синхронной скорости.

В этот момент статор может быть отключён от сети, а затем снова включён при полном напряжении, без возбуждения, с точным синхронизмом, но с пониженным намагничивающим током. Эта последняя фаза пуска регулируется хронометрическим реле и наступает через 4 сек. после включения двигателя на половинное напряжение. После окончания второй фазы включается ток в обмотку возбуждения синхронного двигателя.

Практически для пуска преобразовательного агрегата машинисту достаточно повернуть рычаг «пуска синхронного двигателя», после чего автоматически осуществляются все вышеописанные операции, которые продолжаются до потухания лампочки, сигнализирующей момент окончания включения. После этого машинист может привести электровоз в движение.

Пуск регулируется двумя реле: реле с центробежным регулятором и хронометрическим. Схема построена так, что даже в случае нарушения функций одного из реле включение производится без всякой опасности для работы оборудования.

Таким образом, даже при скорости вращения 1 250 об/мин асинхронный момент включения на половинное напряжение 1 500 в достаточен для ускорения вращения преобразовательного агрегата.

Характеристики пускового режима таковы:

а) при пуске ток, потребляемый генератором  $GP1$ , равен 1 200 а при напряжении 30 в;

б) при скорости вращения 1 500 об/мин ток равен 640 а при напряжении 265 в;

в) степень ослабления поля обмотки возбуждения  $GP$  95 %;

г) среднее время пуска 1 мин. 40 сек.;

д) среднее ускорение при скорости вращения около 1 500 об/мин 20 об/сек<sup>2</sup>.

В о з б у ж д е н и е с и н х р о н н о г о д в и г а т е л я. Одной из главных задач исследования являлось установление простого закона изменения тока возбуждения синхронного двигателя. Если бы ток регулировался в зависимости от потребляемой мощности и от напряжения в сети, то нужны были бы вспомогательные аппараты для того, чтобы достигнуть в конечном счёте какой-нибудь экономии при регулировании напряжения. Но синхронный двигатель с по-

стоянным возбуждением является сам по себе авторегулятором напряжения, как это видно из нижеследующей табл. 1, показывающей значения  $\cos \varphi$  для двух напряжений питания синхронного двигателя при постоянном напряжении и номинальной мощности.

Таблица 1

Значения $\cos \varphi$		
Напряжение сети в кв	Направление реактивной энергии	$\cos \varphi$
22	Подаётся в питающую сеть	0,960
27	То же	0,995

Поэтому величина тока возбуждения была поставлена в зависимость от активной передаваемой мощности, но так как последняя зависит от ступени ходовой скорости, то необходимое регулирование оказалось возможным осуществить включением в цепь независимого возбуждения возбудителя *GA* реостата, управляемого контроллером машиниста.

Изучение процесса регулирования показало, что достаточно принять три ступени регулирования:

от ступени 0 до ступени 6 возбуждение 290 *a*; от 7 до 10—320 *a* и на ступенях 11 и 12 — 350 *a*.

Для обеспечения механической прочности обмотка возбуждения синхронного двигателя выполняется из плоского медного провода, неравномерного по толщине, намотанного на ребро, с малым сопротивлением; она питается от низкого напряжения 39в постоянного тока.

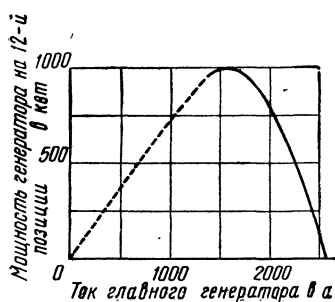
Для уменьшения влияния остаточного магнетизма генератора на величину тока возбуждения предусмотрена противопараллельная обмотка, стабилизирующая величину напряжения. Такой способ возбуждения, кроме того, повышает устойчивость работы двигателя.

Во время резких колебаний напряжения в сети, которые могут вывести из синхронизма синхронный двигатель, э. д. с., индуцируемая в обмотке ротора, вызывает в ней ток переходного режима, который способствует сохранению прежней величины магнитного потока и позволяет избежать выпадения из синхронизма; цепь тока замыкается через возбудитель. Преимущество противопараллельной обмотки возбуждения заключается в том, что она ограничивает колебания тока и тем самым улучшает динамическую устойчивость синхронного двигателя.

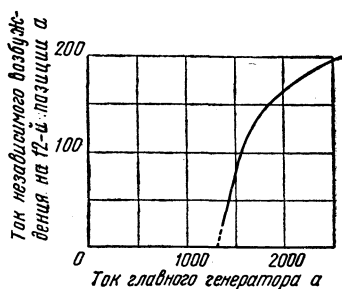
Питание тяговых двигателей. Каждый главный генератор *GP* питает три параллельно включённых двигателя, установленных на одной тележке. Обмотки возбуждения главных генераторов, включённые последовательно в цепь возбудителя, обеспечивают одинаковое напряжение обоих генераторов.

Возбудитель  $ExGP$  имеет две обмотки возбуждения: через одну обмотку, которая создаёт отрицательную н. с., проходит весь ток питания шести двигателей; другая обмотка питается от генератора  $GE$  постоянного напряжения, причём ток в ней изменяется на каждой ходовой ступени электровоза при помощи реостата цепи возбуждения и создаёт положительную н. с.

Таким образом, возбудители  $GP$  имеют встречно-смешанную характеристику, причём на каждой ступени хода напряжение зависит только от общего тока, питающего шесть двигателей. Поэтому схема эквивалентна питанию шести параллельно включённых двигателей. Кривая зависимости мощности от тока для каждого возбудителя  $GP$  имеет форму, близкую к параболе, как это показано на фиг. 4.



Фиг. 4. Кривая ограничения мощности главных генераторов



Фиг. 5. Кривая тока возбуждения противоположного возбудителя

Такая схема позволяет ограничить потребляемую мощность, не перегружая синхронный двигатель, что устраняет опасность выпадения его из синхронизма.

Тяговые двигатели имеют последовательные и независимые обмотки возбуждения. Независимые обмотки возбуждения шести двигателей питаются последовательно от возбудителя  $ExMT$ , имеющего две обмотки возбуждения.

Первая обмотка питается от возбудителя  $ExGP$ , сделана из провода малого сечения и даёт намагничивающую н. с. Вторая обмотка включена в силовую цепь, сделана из провода большого сечения и даёт размагничивающую н. с.

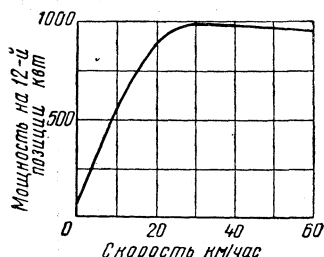
Благодаря такому способу регулирования возбуждение тяговых двигателей тем меньше, чем меньше ток в якоре. Таким образом, получается автоматическое ослабление поля двигателей.

Характеристика возбудителя  $ExMT$  изображена на фиг. 5 в виде кривой зависимости тока обмоток независимого возбуждения двигателей от общего тока тяговых двигателей; эта кривая имеет сильно падающий характер в зоне, где возбудитель не насыщен. В этой зоне осуществляется очень быстрое уменьшение величины тока не-

зависимого возбуждения двигателей при небольшом уменьшении величины тока главного генератора.

Это позволяет осуществлять регулирование скорости тяговых двигателей в широких пределах при небольшом изменении тока, т. е. практически при постоянной мощности, как это показано на кривой фиг. 6.

Главное преимущество схемы с возбудителем, имеющим встречно-смешанное возбуждение, состоит в удобстве управления электровозом. Простым поворотом маховика, без каких-либо других устройств, машинист регулирует скорость движения поезда вплоть до максимальной скорости электровоза без опасения перегрузки синхронного двигателя.



Фиг. 6. Кривая мощности, отдаваемой главным генератором, в зависимости от скорости электровоза (мощность практически одинакова для большого диапазона скоростей)

Выбор параллельного соединения тяговых двигателей был вызван стремлением получить тяговые характеристики с малой тенденцией к боксованию (что важно для электровоза с большой силой тяги), при которых боксующий двигатель имеет малое ускорение вращения, что позволяет быстро восстановить сцепление оси, с ним связанной.

Другое преимущество смешанного возбуждения тяговых двигателей состоит в том, что оно ограничивает скорость боксующей оси. Действительно, возбуждение тягового двигателя, зависящее от общего тока, весьма мало изменяется при боксовании одной из осей, вследствие

чего скорость боксующей оси достигает меньшего значения, чем при отдельном возбуждении.

Расчёт показал, что ось, которая начинает боксовать при скорости 10 км/час на последней ходовой ступени достигает максимальной скорости 12 км/час (при коэффициенте сцепления 4% между рельсом и скользящим колесом).

Таким образом, выбранная схема позволяет реализовать электрическое спаривание осей.

**Р е к у п е р а ц и я.** Линия Валенсьенн—Тионвилль характеризуется многочисленными короткими 10‰-ными уклонами и только на участке пути Одан-ле-Роман—Флоранж уклон 10‰ тянется на протяжении 10 км.

В этих условиях электрическое рекуперативное торможение целесообразно только при систематическом его использовании на всех уклонах, даже на самых коротких, и при всех замедлениях хода поезда.

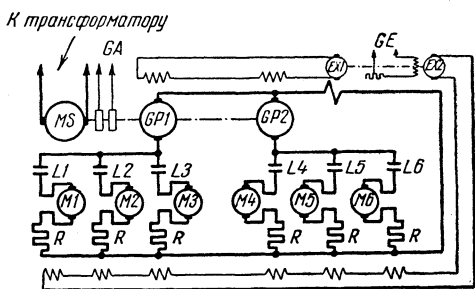
Для этого требуется быстрый и лёгкий переход с тягового режима на рекуперативный без затруднений для машиниста и без сложных переключений.



Схема рекуперации, показанная на фиг. 7, очень проста и включает только имеющиеся на электровозе машины. Шесть тяговых двигателей остаются параллельно включёнными и рекуперируют энергию как генераторы с независимым возбуждением. Эта энергия через стабилизирующие сопротивления  $R$  передаётся главным генераторам, которые работают в качестве двигателей последовательного возбуждения и приводят в действие синхронный двигатель, обращённый в синхронный генератор, отдающий энергию обратно в сеть через трансформатор.

Главные генераторы имеют косвенное последовательное возбуждение, осуществляемое ненасыщенным возбудителем  $ExGP$ , и вращаются с постоянной скоростью, поскольку они соединены с синхронной машиной. Таким образом, они электрически эквивалентны омическим сопротивлениям, которые питаются от двигателей, обращённых в генераторы с независимым возбуждением.

Схема идеально устойчива, так как рекуперированный ток увеличивается при увеличении тока независимого возбуждения двигателей.



Фиг. 7. Схема рекуперативного торможения

На 0-й ступени токи и напряжения двигателей и главных генераторов равны нулю, что позволяет выполнить переход с тягового режима на рекуперацию без особых предосторожностей. Единственное изменение в силовой схеме заключается в замене последовательной обмотки возбуждения двигателей стабилизирующими сопротивлениями, ограничивающими токи, циркулирующие между параллельно включёнными двигателями. Они включаются электропневматическим переключателем, который срабатывает на 1-й ступени рекуперативного режима. Тяговые характеристики приведены на фиг. 8.

Характеристики, представляющие зависимость общего тормозного усилия от скорости поезда на различных ступенях рекуперативного торможения (фиг. 9), имеют вид прямых и показывают, что величина рекуперированной мощности равна мощности тягового режима; это позволяет вести поезд весом 1 860 т со скоростью 60 км/час на уклоне 11‰.

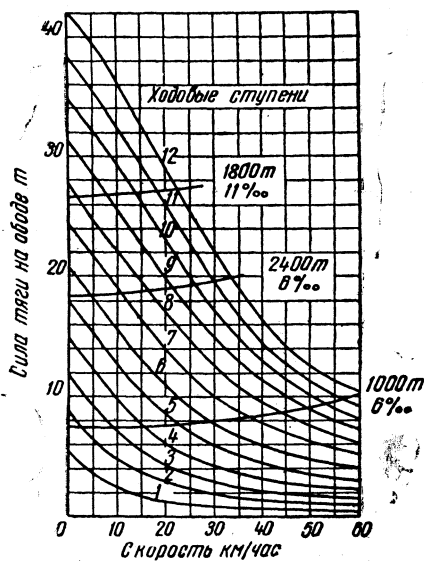
Отдаваемая мощность двигателей не регулируется автоматически, как при тяговом режиме, и машинист должен следить, чтобы ток, потребляемый генератором  $GP$ , не превышал 1 500 а. В табл. 2 показано назначение обмоток различных вращающихся машин при тяговом и рекуперативном режимах.

Таблица 2  
Назначение обмоток различных электрических машин (см. фиг. 2)

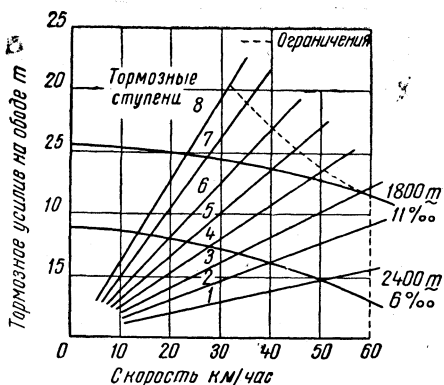
Наименование электрических машин	Сечение проводов обмотки	Тяговый режим		Рекуперативный режим	
		Источник питания обмотки	Знак н. с. обмотки	Источник питания обмотки	Знак н. с. обмотки
Тяговый двигатель	Малое	<i>ExMT</i>	+	<i>ExMT</i>	+
	Большое	Ток тягового двигателя	+	—	0
Возбудитель главного генератора <i>ExGP</i>	Малое	Общий ток тяговых двигателей	—	Общий ток рекуперации	+
	Большое	Генератор управления <i>GE</i>	+	—	0
Возбудитель тягового двигателя <i>ExMT</i>	Малое	Общий ток тяговых двигателей	+	—	0
	Большое	<i>ExGP</i>	—	—	+
Главный генератор	Малое	<i>ExGP</i>	+	—	+

Вспомогательное оборудование. Преобразователь фаз Арно, питаемый однофазным током от третьей обмотки трансформатора при номинальном напряжении 420 в, даёт трёхфазное напряжение, к которому присоединяются асинхронные двигатели группы вспомогательных машин, включая:

1. Двигатель, приводящий в действие центробежный насос, обеспечивающий циркуляцию масла для охлаждения трансформатора: мощность двигателя 3,8 л. с.; скорость вращения 2 860 об/мин; производительность насоса 600 л/мин при давлении 10 гпз. Двигатель погружён в масло и установлен на подшипниках, смазанных маслом трансформатора.



Фиг. 8. Тяговые характеристики (кривые силы тяги при различных нагрузках на уклонах)



Фиг. 9. Характеристики рекуперативного торможения

2. Двигатель, приводящий в действие осевой вентилятор для охлаждения трансформатора: мощность 4 л. с.; скорость вращения 1 410 об/мин; производительность вентилятора 4,3 м³/сек при противодавлении 42 мм вод. ст.

3. Два двигателя с вертикальными валами, которые приводят через зубчатую передачу масляные насосы для смазки подшипников главного моторгенераторного агрегата: мощность 0,75 л. с.; скорость вращения 1 400 об/мин.

Насосы имеют сальники, установленные на игольчатых подшипниках с упорными шариковыми подшипниками; производительность насоса 30 л/мин при давлении 0,5 гпз.

4. Двигатель с вертикальным валом, приводящий в действие осевой вентилятор для охлаждения стабилизирующих сопротивлений: мощность 7 л. с.; скорость вращения 2 900 об/мин; производительность 4,2 м³/сек при противодавлении 80 мм вод. ст.

5. Двигатель мощностью 26,5 л. с. со скоростью вращения 2860 об/мин, приводящий в действие главный компрессор со скоростью вращения 1000 об/мин, и производительностью 2500 л/мин при давлении 8 атм.

Преобразователь Арно пускается в ход как асинхронный однофазный двигатель, третья фаза которого питается через омическое сопротивление при напряжении 600 в от дополнительного вывода третьей обмотки трансформатора. При приближении к нормальной скорости преобразователь отключается от напряжения 600 в и на его зажимах возникает переменное напряжение, индуктированное вращающимся полем ротора, равное  $\frac{360 \text{ в}}{\sqrt{3}}$  и образующее вместе с напряжением других фаз систему симметричного трёхфазного напряжения.

З а щ и т а. Первичная цепь трансформатора защищена реле перегрузки, установленным на вводах трансформатора и включённым в начале цепи, непосредственно после выключателя. Цепь отопления также защищена при помощи реле перегрузки.

Все другие цепи заземлены через кузов электровоза для того, чтобы можно было фиксировать их потенциал. Эти цепи соединяются с кузовом при помощи реле заземления, последовательно включённого через аккумуляторную батарею, что даёт разность потенциалов постоянного тока не менее 60 в между каждой цепью и землёй. Таким образом, случайное возникновение дуги между какой-нибудь точкой цепи и землёй автоматически влечёт за собой включение напряжения батареи на зажимы реле, которое срабатывает и посылает импульс для размыкания выключателя.

Для сведения к минимуму последствий образования дуги реле заземления предусмотрено с индуктивным сопротивлением, ограничивающим ток заземления.

Имеются два реле заземления: одно, защищающее цепь статора синхронного двигателя и второе, защищающее все цепи постоянного тока и трёхфазную вспомогательную цепь.

Защита асинхронных вспомогательных двигателей производится при помощи следующих реле:

1) реле регулирования циркуляции масла для масляных насосов трансформаторов;

2) воздушного реле для вентиляторов;

3) центробежного реле двигателя компрессора. Выключатель замыкается, если через 6 сек. после пускового импульса вспомогательной группы соответствующее реле не сработает (не замкнётся).

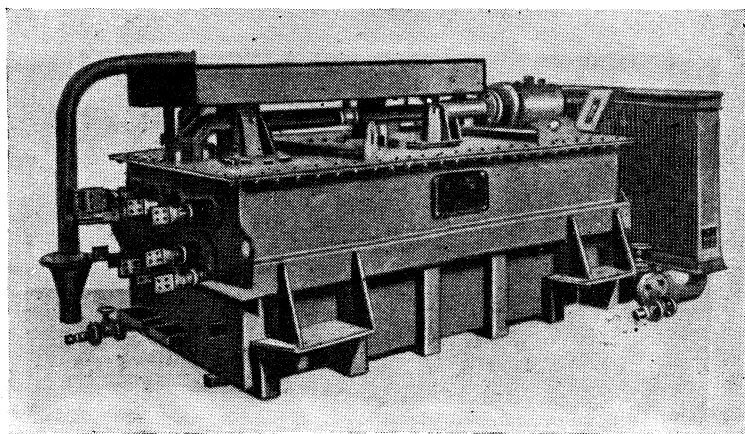
Подобная защита, управляющая вращением двигателя и действующая на выключатель через реле с выдержкой времени, была осуществлена в 1951 г. на электровозе В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> 10001 на напряжение 25 кв с многоанодными выпрямителями на линии в Савойе и дала хорошие результаты.

**Трансформатор.** Обтекаемая форма кузова электровоза обусловила применение горизонтального расположения сердечника транс-

форматора; это расположение, хотя и представляет некоторые затруднения для хорошего охлаждения, имеет, однако, большое преимущество, заключающееся в низком расположении центра тяжести и, как следствие, в хорошем механическом сопротивлении ускоряющим усилиям и продольным ударам.

С другой стороны, ограниченность места установки привела к выбору трансформатора броневых типа с концентрическими обмотками и принудительной циркуляцией масла (фиг. 10).

Магнитная цепь с соединениями листов встык имеет центральный сердечник ступенчатого сечения с шестью ступенями и два съёмных ярма. Сердечник выполнен из обычных листов весом по 1,1 кг,



Фиг. 10. Трансформатор-охладитель

отожжённых и покрытых эмалью после резки и штамповки и собранных при помощи изолированных болтов нормальным способом.

Обмотки намотаны на изолированные цилиндры. Аксиальные прокладки сделаны из пропитанного дерева и расположены таким образом, что между отдельными обмотками остаётся достаточно места для прохождения охлаждающего масла. Между цилиндрами впрессованы продольные клинья, обеспечивающие жёсткость обмотки. После покрытия лаком обмотки представляют монолитное тело, которое напрессовывается под давлением на центральный сердечник и зажимается между плоскостями ярма.

Относительное расположение обмоток главного трансформатора было запроектировано так, чтобы обеспечить:

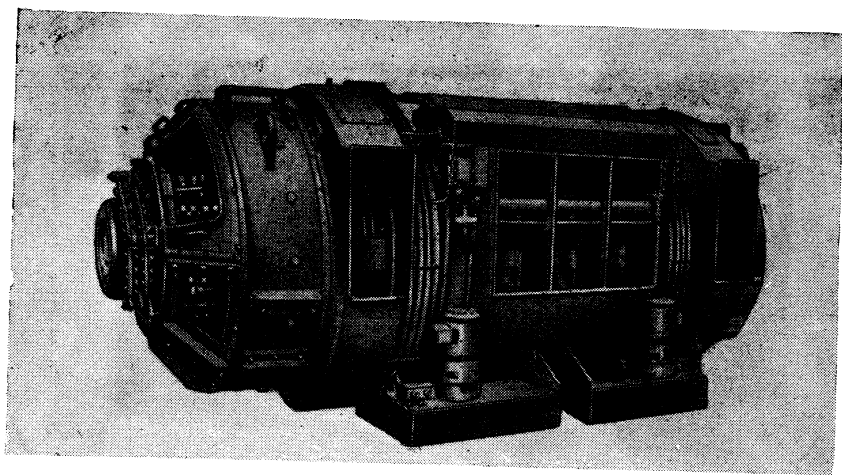
- 1) большое падение напряжения (высокий реактанс) между первичной и вторичной обмотками для ограничения тока намагничивания при пуске преобразовательного агрегата;

- 2) очень малое падение напряжения (малый реактанс) между вторичной и третьей обмотками независимо от нагрузки вторичной

обмотки, чтобы ограничить колебания напряжения трёхфазной цепи и не преувеличивать размеров вспомогательных асинхронных двигателей.

Фарфоровые изоляторы вводов укреплены на промежуточной панели, приболченной к баку, что облегчает доступ сверху к внутренним соединениям и даёт возможность лёгкой замены ввода после снятия панели. Последняя сделана из алюминия, чтобы устранить местные нагревы бака.

Соединение вводов с обмотками высокого напряжения производится внутри кожуха, заполненного маслом, отделённого от бака. Оттуда выходят два ввода с проходными изоляторами: один ввод



Фиг. 11. Главный преобразовательный агрегат; вид со стороны масляных насосов

обычного типа соединяется с обмоткой высокого напряжения трансформатора, другой — специальный, проходит через стенку кожуха высокого напряжения и соединяется с кабелем на 25 кВ; изоляция между высоким напряжением и корпусом осуществляется благодаря тому, что отрезок провода проходит в воздушной среде.

**Главный преобразовательный агрегат.** Синхронный двигатель и соединённые с ним два генератора (фиг. 11) имеют отдельные остовы, связанные болтами и установленные на общих опорах, образующих перегородки между всеми тремя машинами, что позволяет применять отдельную вентиляцию каждой машины в зависимости от конкретных условий её работы.

Эти опоры служат одновременно корпусами для подшипников, расположенных между ротором синхронного двигателя и якорями генераторов, установленных консольно. Смазка в подшипники поступает под действием силы тяжести из резервуара, находящегося в передней части остова синхронного двигателя и заполняемого

двумя постоянно работающими насосами; масло стекает в баки и собирается в меньший резервуар, так же как и излишек масла, вытекающего из переполненного трубопровода.

Ёмкость верхнего резервуара определяется количеством масла, необходимого для смазки моторгенераторной установки в период замедления и последующей остановки смазочных насосов.

Реле циркуляции масла предотвращает пуск главной группы, если опорные подшипники не имеют смазки.

**Синхронный двигатель.** Магнитная цепь состоит из сегментов листовой стали, покрытых эмалью, уложенных в виде обычных пакетов, снабжённых отверстиями для вентиляции и зажатых между двумя круглыми фланцами.

Монтаж сделан на направляющих клиньях, имеющих форму ласточкина хвоста и приваренных к нажимным кольцам.

Магнитопровод насажен в горячем состоянии на ярмо, выполненное из сварных ребристых элементов, служащих одновременно каналами для выхода вентилирующего воздуха.

Каждый из четырёх полюсов ротора укреплен на утолщённой части вала, имеющего форму барабана, при помощи трёх квадратных шпонок; для прочного закрепления полюсов в корпусе ротора забиваются клинья, которые затем привариваются. Катушки возбуждения из плоской меди укрепляются на полюсах при помощи клиньев.

Стержни демпферов, которые играют роль «беличьей клетки» при работе в качестве асинхронного двигателя и компенсируют составляющую обратного вращающегося поля статора, расположены в отверстиях полюсных наконечников.

Подшипники состоят из двух частей, соединённых болтами со шпильками; они залиты антифрикционным металлом и имеют внутри рёбра, которые удерживают масло.

Масляный кожух, установленный на опоре, покрывает полностью подшипники и имеет перегородку с антифрикционной прокладкой, задерживающей масло.

**Главные генераторы.** Станины главных генераторов выполняются из сварной конструкции и центрируются на подшипниковых щитах.

Благодаря применению компенсационной обмотки, состоящей из стержней, спаянных между собой после сборки и находящихся в полузакрытых прямоугольных пазах полюсов, обеспечивается хорошая коммутация при всех режимах.

Якорная втулка, которая поддерживает с одной стороны втулку коллектора, а с другой стороны сердечник якоря, имеет форму патрона для того, чтобы можно было поместить масляный кожух подшипника. Он укреплен болтами (или штифтами) на окраине прилива вала машинной группы.

**Тяговые двигатели.** Стремление ограничить габариты двигателей привело к выбору двойного редуктора и скоростных лёгких двигателей небольших размеров, способных развивать высокий момент вращения при трогании с места.

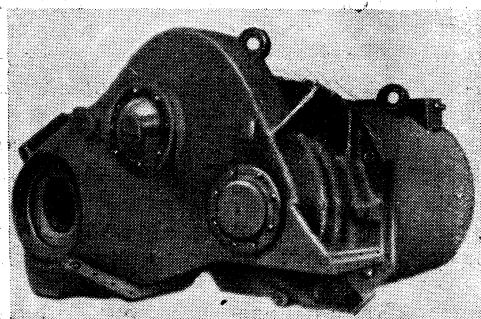
Целесообразность общих принципов конструкции этих двигателей, аналогичных тем, которые используются на двигателях электровозов различных участков французских железных дорог, была подтверждена опытной эксплуатацией.

Технические данные двигателей следующие:

Максимальная скорость вращения . . . . .	2 230 об/мин
Число главных и дополнительных полюсов . . . . .	6
Длительный режим электрической передачи при напряжении . . . . .	590—550 в
Изоляция . . . . .	Класса В
Диаметр новых и наполовину изношенных бандажей колёс . . . . .	1 100—1 060 мм
Подвешивание . . . . .	Опорно-осевого типа, передача жёсткая односторонняя

Передаточное число:

первая ступень — от двигателя к промежуточному валу . . . . .	2,75
вторая ступень — от промежуточного вала на ось . . . . .	2,83
Вес двигателя без передачи . . . . .	1 650 кг



Фиг. 12. Тяговый двигатель с двойным редуктором

Отметим несколько особенностей характеристики двигателя, заслуживающих внимания:

а) двигатель не имеет компенсационной обмотки, так как требуемое ослабление поля при максимальной скорости вращения невелико;

б) автоматически изменяющееся ослабление поля, описанное выше, позволяет упростить управление и уменьшить число аппаратов;

в) дополнительные потери коммутации уменьшены благодаря применению обмотки с транспозицией.

На фиг. 12, изображающей двигатель с приводом, видна станина, которая поддерживает первый блок шестерён и осевые подшипники; к станине приболчен осто́в двигателя.

Фиксирующий прилив, отлитый вместе со станиной, подвешен к поперечной балке тележки посредством стержня с резиновой прокладкой для обеспечения бокового перемещения двигателя с приводом

Зубчатые передачи выполнены из специальной стали высокой прочности с прямым зубом.



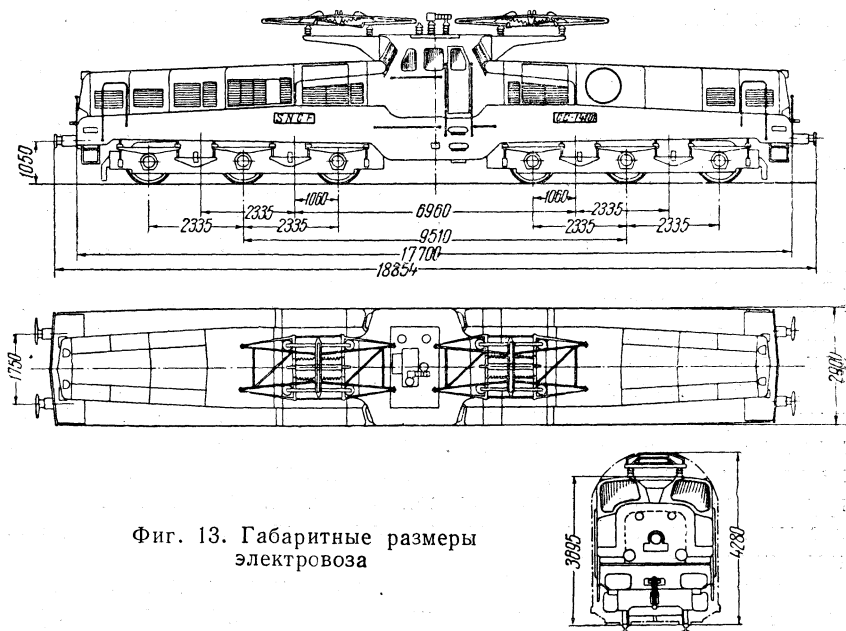
Насос с приводом, установленный на оси, осуществляет смазку подшипников и первого блока шестерни. Смазка второй шестерни осуществляется непосредственным обрызгиванием зубчатого колеса, установленного на оси.

Щёткодержатели установлены на подвижной траверсе и закрепляются чекой в рабочем положении после проверки коммутации (так же, как и у главных генераторов). Траверса легко поворачивается для осмотра и замены щёток.

### Механическая часть

Отличительные особенности описываемого электровоза состоят в следующем:

1) по наружному виду — в несколько необычном виде кузова с расположенной в центре застеклённой кабиной машиниста и выступающими капотами;



Фиг. 13. Габаритные размеры электровоза

2) по внутреннему расположению оборудования в кабинах машиниста, предусматривающему максимальное облегчение управления поездом и наблюдения за действием аппаратов;

3) по механической части — прочностью и простотой рамы кузова и тележки.

На фиг. 13 приведены основные размеры электровоза, механическая часть которого состоит из рамы кузова с установленными на ней центральной кабиной машиниста и двумя капотами по концам.

Рама опирается на две поворотные трёхосные тележки со всеми моторными осями при помощи четырёх опор с резиновыми прокладками.

Капоты, кабина машиниста и рамы — монолитной конструкции из листовой фальцованной или штампованной стали, соединённой электрической точечной или дуговой сваркой.

Многие части, как-то: передние и шкворневые балки, рёбра жёсткости, стойки кабины, выполнены из профилей коробчатого сечения. Такая конструкция обеспечивает весьма высокую жёсткость при минимальном весе.

Рама тележки состоит в основном из двух продольных брусьев, выполненных из толстой листовой стали, и четырёх шкворневых балок, две из которых поддерживают шкворни. Рама опирается на осевые буксы при помощи листовых рессор, соединённых между собой продольными балансирами, выравнивающими нагрузки на оси.

Соединение осевых букс с рамой тележки осуществляется при помощи тяг, подвешенных шарнирно на сайлентблоках. Они удерживают буксу посредством двух ушков, расположенных по хорде, и допуская вертикальное смещение оси, фиксируют её в одной и той же вертикальной плоскости. Это устройство применяется на скоростных электровозах  $C_0-C_0$  французских железных дорог.

Рама кузова состоит из двух продольных балок из толстой листовой стали большого размера, связанных, в основном, двумя головными и двумя шкворневыми поперечными балками. Рама опирается на каждую тележку при помощи двух упругих шкворней, из которых один может смещаться в горизонтальном направлении для вписывания в кривые, а второй допускает лишь вращение тележки вокруг оси шкворня.

Такое устройство обеспечивает параллельное положение рамы кузова и рамы тележки и устраняет галопирование тележки (колебания в вертикальной плоскости). Опыты по исследованию боксования на первом электровозе данной серии показали, что фактически разгрузки осей не было и коэффициент сцепления в эксплуатации был весьма высоким. Устойчивость кузова обеспечивают 4 поперечных пружинных амортизатора.

Кабина машиниста приварена к раме кузова и поддерживает два основания пантографа. Два широких передних оконных проёма застеклены небьющимся слоистым стеклом, а боковые проёмы — небьющимся литым стеклом, задвигающимся в горизонтальном направлении.

Все элементы обшивки кузова съёмные. Боковые части некоторых из них могут подниматься, что облегчает осмотр всех элементов, расположенных внутри капотов.

**Пневматическое торможение.** Для торможения предусмотрено по два тормозных цилиндра на каждой тележке; на каждое колесо действует одна тормозная колодка.

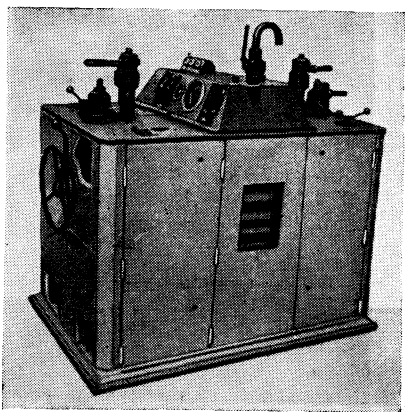
Рычажная передача допускает эффективное торможение при тормозном коэффициенте 40 %.

Применено пневматическое реле, осуществляющее связь между главными резервуарами и тормозными цилиндрами при помощи тройного клапана. Этот способ торможения уже применяется на многих электровозах и имеет большие преимущества по сравнению с более распространённым способом питания тормозных цилиндров из резервуаров небольшой ёмкости при помощи тройных клапанов, так как обеспечивает неограниченный запас сжатого воздуха и позволяет осуществлять длительное, вполне безопасное торможение.

**Кабина машиниста.** Широкие застеклённые проёмы впереди и с боков кабины машиниста, расположенной в центре электровоза, создают прекрасную видимость с обоих постов управления. Этому способствует выбранная на основе тщательного изучения форма капотов.

Каждый пульт управления (фиг. 14) имеет:

- 1) маховичок с горизонтальной осью, непосредственно связанный с контроллером машиниста. Поворотом маховичка вправо переключают ходовые ступени скоростей, общее количество которых равно 12. Влево расположены 8 ступеней рекуперативного торможения. В нулевом положении, разделяющем обе зоны, контроллер запирается переключающей рукояткой «тяга-рекуперация»;
- 2) рукоятку с двумя позициями «тяга-рекуперация», которую нужно предварительно повернуть в желаемое положение для того, чтобы можно было передвигать маховичок контроллера;
- 3) рукоятку для механического управления реверсором, поворачивать который можно только тогда, когда контроллер стоит в нулевом положении;
- 4) две кнопки для включения и выключения главного выключателя;
- 5) тормозные рукоятки;
- 6) 4 измерительных прибора: два манометра, показывающих давление в главной тормозной магистрали, главном резервуаре и тормозных цилиндрах; амперметр, показывающий силу постоянного тока одного двигателя, и вольтметр, показывающий напряжение в контактной сети;
- 7) клапаны для песочниц и продувки, приводимые в действие педалями.



Фиг. 14. Пульт управления

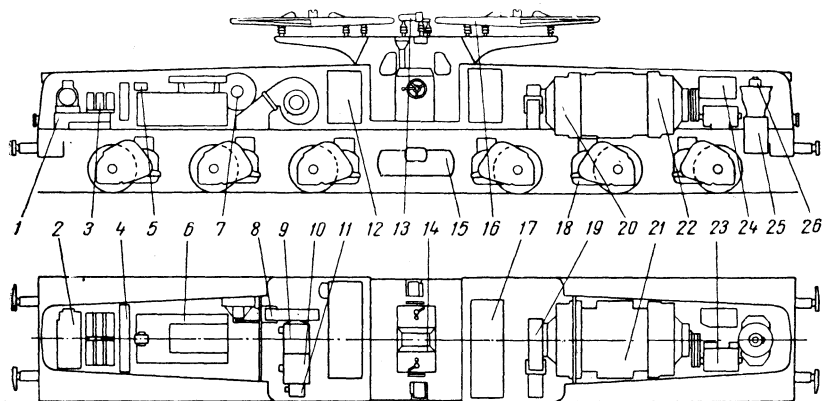
Неоновая лампа зажигается, если при поднятом пантографе контактная сеть находится под напряжением.

### Расположение оборудования

В основу расположения оборудования (фиг. 15) положены следующие принципы:

а) группировка аппаратов в независимые блоки (термические, пневматические, электрические), однородные и взаимозаменяемые; это способствует максимальному уменьшению соединений, проводов и рукавов и позволяет производить замену стандартных блоков во время капитального ремонта;

б) применение резиновых прокладок во всех ответственных узлах для предохранения от ударов и вибрации. Эластичность каучука облегчает монтаж и даёт возможность принимать большие допуски в производстве.



Фиг. 15. Расположение основного оборудования электровоза:

1—балласт; 2—компрессор; 3—аккумуляторная батарея; 4—маслоохладитель (радиаторы); 5—двигатель масляного насоса; 6—трансформатор; 7—мотор-вентилятор для охлаждения радиаторов; 8 и 19—вентиляторы тяговых двигателей; 9—преобразователь фаз; 10—возбудитель синхронного двигателя; 11—генератор управления; 12, 17 и 24—блоки аппаратуры; 13—выключатель; 14—пульт управления; 15—главные резервуары; 16—пантограф; 18—тяговый двигатель; 20 и 22—главные генераторы; 21—синхронный двигатель; 23—сдвоенный возбудительный агрегат; 25—стабилизирующие сопротивления; 26—двигатель вентилятора сопротивлений

На фиг. 16 показан монтаж различных элементов оборудования. Укажем наиболее характерные особенности отдельных блоков:

1) блок трансформатора включает цепь охлаждения (оборудование воздушного охлаждения, масляный насос, реле циркуляции) и консерватор. Таким образом устраняется всякое относительное смещение между элементами, собранными посредством очень коротких, гибких рукавов, поддающихся деформации, что способствует непроницаемости соединений;

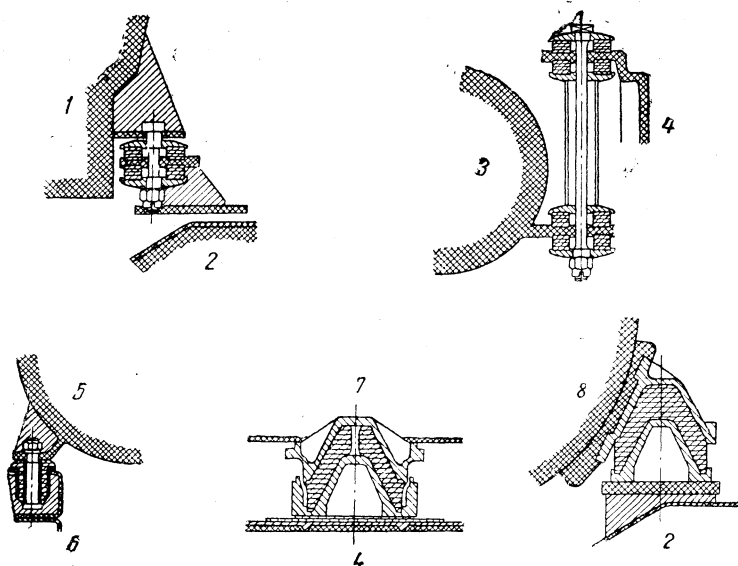
2) главный преобразовательный агрегат, представляющий самостоятельную группу машин, жёстко фиксирован на общем каркасе

вместе с оборудованием для смазки подшипников, резервуарами, группами центробежных насосов и воздушных охладителей;

3) три блока аппаратов, каждый из которых состоит из рамы профилированной стали, на которой установлена вся аппаратура (контакты, реле, сопротивления, реверсоры, плавкие предохранители и т. п.);

4) пневматический блок, укрепленный под кабиной машиниста, состоящий из главных резервуаров, тройных клапанов, пневматических реле и т. п.;

5) другие блоки: стабилизирующих сопротивлений для рекуперации; пульты управления, главного выключателя и т. д.



Фиг. 16. Эскизы некоторых монтажных узлов с резиновыми прокладками: 1—масляный бак трансформатора; 2 и 7—поперечные балки кузова; 3—кожух редуктора; 4—рама тележки; 5—корпус преобразователя Арно; 6—рама кузова; 8—корпус главного преобразователя

В кабельную проводку внесено очень существенное упрощение применением проводов с пластической изоляцией высокого механического сопротивления. Для проводов большого сечения применена резиновая изоляция с оболочкой из неопрена (синтетический хлоропеновый каучук), а для проводов сечением от 3 до 10 мм<sup>2</sup>—изоляция из покрытого лаком холста с оболочкой из хлорполивинила.

Гибкий кабель между выключателем и трансформатором на напряжение 25 000 в, изоляция которого представляет собой оболочку из каучука-бутаила, выполнен французской фирмой Томсон-Густон.

При приёмочных испытаниях этот кабель выдержал ударное напряжение 130 000 в и испытание диэлектрической прочности при напряжении 70 000 в в течение 1 мин.

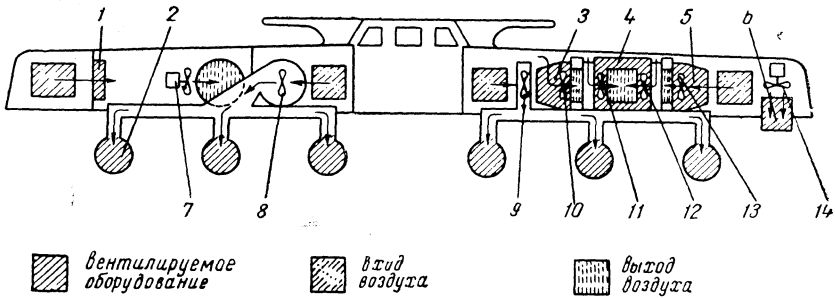
## Вентиляция

Воздух, необходимый для вентиляции оборудования, всасывается непосредственно в кузов через большие отверстия, расположенные вдоль боковых поверхностей.

На схеме (фиг. 17) показаны основные цепи вентиляции:

а) цепь вентиляции трансформатора, которая получается разделением капота на две части воздухо-непроницаемой перегородкой; воздух, всасываемый через радиатор, обтекает кожух и крышку трансформатора и выталкивается наружу осевым вентилятором через поперечные жалюзи тамбура;

б) две цепи вентиляции тяговых двигателей, каждая из которых имеет форкамеру для распределения вентилирующего воздуха трёх двигателей, установленных на одной тележке; воздух в камеру по-



Фиг. 17. Схема вентиляции

Вентилируемое оборудование	Вентиляторы			Привод вентилятора от
	Обозначение вентилятора	Скорость вращения в об/мин	Производительность в м³/сек	
Радиатор трансформатора (1) . . . . .	7	1 410	4,2	вспомогательного двигателя преобразователя
Тяговые двигатели (2)	8	1 500	3	
Главные генераторы (3 и 5)	9	1 500	3	Арно главного преобразователя
	10	1 500	3	
Синхронный двигатель (4)	13	1 500	5	главного преобразователя
	11	1 500	5	
Стабилизирующее сопротивление (6) . . .	12	1 500	5	вспомогательного двигателя
	14	2 900	4,2	

даётся от центробежного вентилятора; форма камер разработана с расчётом обеспечения абсолютной идентичности распределения воздуха между тремя двигателями;

в) цепи вентиляции трёх машин главной группы с самовентиляцией. Выходные отверстия для воздуха составляют часть кожуха агрегата и воздух выталкивается наружу через поперечные жалюзи капотов.

Следует отметить, что всасывание воздуха синхронным двигателем производится через охладитель смазочного масла подшипников.

**Обеспечение возможности движения при выходе из строя какого-либо элемента оборудования.**

В связи с уменьшением числа защитных реле предусмотрена возможность ручного управления на случай отказа в работе отдельных элементов оборудования:

- 1) включение синхронной группы преобразователей в случае неправильной работы аппаратуры с помощью «Кнопки возврата»;
- 2) возможность движения при случайном заземлении одной из цепей, если изолировано соответствующее реле заземления;
- 3) возможность замены генератора управления в случае аварии батареи при эксплуатации с пониженными показателями;
- 4) возможность движения с двумя или тремя отключёнными двигателями;
- 5) возможность отключения одной из двух групп масляных насосов на время смазки подшипников этой группы;
- 6) возможность работы при пониженных характеристиках, если мотор-вентилятор радиатора или двигатель масляного насоса трансформатора отключён;
- 7) остановка группы преобразователя с помощью кнопки, нажатие которой вызывает быстрое замедление его вращения (путём переключения одного из генераторов на сопротивление).

Внутренняя планировка центральной кабины машиниста позволяет управлять всеми этими устройствами аварийного режима непосредственно из кабины машиниста без предварительных переключений.

### **Результаты эксплуатации**

В эксплуатации находятся два электровоза:  $C_0-C_0$  14101 и  $C_0-C_0$  14102, первый с 22 июля, второй — с 10 октября 1954 г. К 31 декабря 1954 г. первый электровоз прошёл всего 87 144 км за 92 дня, а второй — 49 132 км за 83 дня, т. е. в среднем 534 и 494 км в сутки при среднем весе поезда 1 350 т. Электровоз 14101 трогался с места и водил на подъёме 10<sup>0</sup>/<sub>00</sub> поезда весом 2 050 т.

Первые эксплуатационные результаты полностью подтвердили теоретические расчёты. Электровозы характеризуются лёгкостью управления; их устойчивость в отношении боксования и электрическое спаривание осей были проверены во время трогания с места и работы с поездами нормального веса, достигающего до 2 050 т. Регулирование напряжения в контактной сети превосходно, а фактический расход энергии невелик (зарегистрирован расход 11,5 и 12 вт-ч на 1 ткм брутто прицепленного поезда весом 1 850 т).

БОДМЕР, ЛЕЙВРАЦ, АНДЕРЕГ  
(M. C. BODMER, M. P. LEYVRAZ,  
M. E. ANDEREGG)

## ЭЛЕКТРОВОЗЫ C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub> 14000 С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ОДНОФАЗНО-ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

*Revue Generale des Chemins de Fer. 1955, № 4*

### Общие соображения

Перевозка тяжеловесных составов с рудой и углём на линии Валенсьенн—Тионвилль вызывает особые требования к электровозам. Служба эксплуатации Французского Национального Общества Железных Дорог придавала прежде всего большое значение высокому использованию сцепного веса. Это условие может быть обеспечено плавным изменением силы тяги и применением тяговых двигателей с параллельной характеристикой, без пусковых сопротивлений.

Электровоз должен, кроме того, допускать движение на уклонах с весьма незначительной скоростью в течение длительного времени. Наконец, во всей зоне ходовых скоростей коэффициент мощности должен быть возможно более высоким.

На основе указанных требований, а также проведённого глубокого изучения этого вопроса было установлено, что электровоз с преобразовательным агрегатом может наилучшим образом удовлетворить существующим тяжёлым условиям эксплуатации. Среди различных типов агрегатов, которые могут рассматриваться, применение однофазно-трёхфазных агрегатов, питающих асинхронные тяговые короткозамкнутые двигатели трёхфазного тока при переменной частоте, представляет одно из самых интересных решений; при этом непрерывное изменение частоты позволяет наилучшим образом использовать силу сцепления.

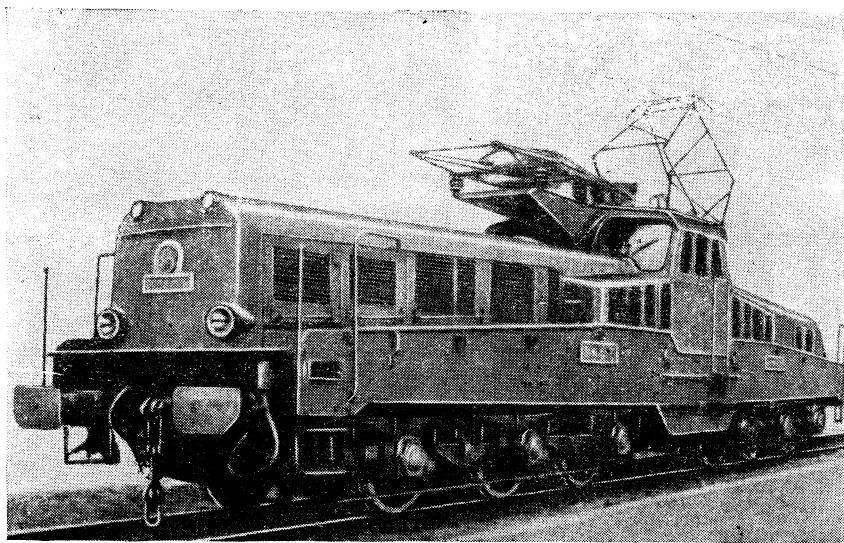
Использование бесколлекторных трёхфазных тяговых двигателей требует применения специальных приспособлений, позволяющих регулировать скорость в широких пределах; для этой цели можно предусмотреть изменение числа полюсов, передаточного числа зубчатой передачи или даже установить гидравлическую муфту.

Однако наилучшим средством регулирования является коллектор, который на описываемом электровозе перенесён с тягового двигателя на преобразователь. Благодаря коллектору хорошо осуще-



ствляется непрерывное регулирование частоты, а следовательно, и скорости движения при тяговом режиме и рекуперации. Это свойство необходимо для электровоза с максимальным использованием силы сцепления. Несомненные преимущества электровоза такого типа в значительной степени компенсируют затруднения, которые вызывает некоторая сложность преобразовательных агрегатов.

По техническим условиям Французских Национальных Железных Дорог электровоз однофазно-трёхфазного тока должен удовлетворять следующим требованиям:



Фиг. 1. Общий вид электровоза  $C_0-C_0$  14001

а) возить специальные грузовые поезда весом  $1\,800\,t$  на участке Валенсьенн—Тионвилль в обоих направлениях со средней скоростью  $38\,km/h$  на уклонах  $10\text{‰}$ , с кривыми радиусом  $500\,m$ ;

б) трогать с места поезда весом  $1\,800\,t$  на уклонах  $10\text{‰}$ ;

в) возить специальные грузовые поезда весом  $2\,400\,t$  на перегоне Могон—Лонгюион—Конфлан со средней скоростью  $42\,km/h$  на уклонах  $6\text{‰}$  при радиусе кривой  $600\,m$ ;

г) трогать с места поезда весом  $2\,400\,t$  на уклоне  $6\text{‰}$ ;

д) обеспечивать максимальную скорость  $60\,km/h$ .

Указанные условия эксплуатации требуют применения электровоза с шестью осями при нагрузке  $20\,t$  на каждую ось. Технические условия предусматривают электровоз с центральной кабиной, причём трансформатор подвешивается под кабиной, а в каждой части электровоза устанавливается один преобразовательный агрегат. Общее расположение оборудования приведено на фиг. 1 и 2.



Электровоз имеет следующие технические данные.

Р е ж и м	Мощность на валу дви- гателя в <i>квт</i>	Скорость в <i>км/час</i>	Усилие на обороте в <i>кг</i>
Длительный . . . . .	2 600 3 100	40 40	23 200 29 500
Часовой . . . . .	3 030 3 500	40 40	27 000 33 000
Максимальный . . . . .	—	60 60	45 000 4 000

П р и м е ч а н и е. Числитель — при тяге, знаменатель — при рекуперации.

Механическая часть однофазно-трёхфазных электровозов почти аналогична механической части электровозов  $C_0-C_0$  с преобразовательным агрегатом однофазно-постоянного тока, она проектировалась и изготовлялась фирмой Батиньоль—Шатильон на заводах в Нанте. Наши данные относятся исключительно к электрической части электровозов.

Основная идея однофазно-трёхфазного электровоза заключается в сочетании питания от контактной сети однофазного тока высокого напряжения промышленной частоты 50 *гц*, обладающего известными преимуществами с короткозамкнутыми двигателями трёхфазного тока, которые являются самыми простыми и надёжными тяговыми двигателями. Преобразование числа фаз и частоты осуществляется таким способом, при котором трёхфазный двигатель получает гибкость характеристик подобно двигателю с последовательным возбуждением.

Управление машиной осуществляется весьма легко и допускает рекуперативное торможение до полной остановки.

Условия сцепления отличные<sup>1</sup>. Преобразование частоты осуществляется путём изменения скорости вращения преобразователя.

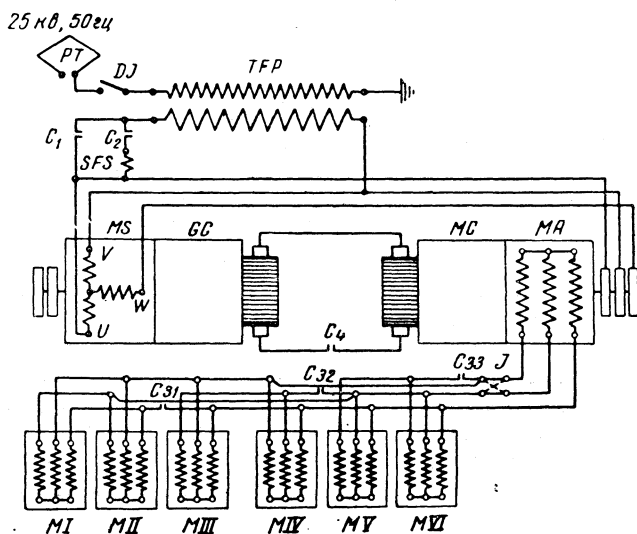
**Принципиальная схема.** Преобразование тока осуществляется преобразователями числа фаз и частоты. Основные элементы этого преобразования показаны на фиг. 3.

Главный трансформатор *TFP* понижает высокое напряжение до величины, требуемой преобразователями. Синхронный двигатель *MS* включается на две фазы *U* и *V* и дополняет однофазную систему третьей фазой *W*, образуя таким образом трёхфазную систему. Трёхфазным током питается ротор асинхронной машины *MA*, приводимый во вращение от двигателя постоянного тока *MC*. Этот двигатель питается от генератора постоянного тока *GC*, который в свою очередь присоединён к синхронному двигателю *MS*. Обмотка

<sup>1</sup> *Прим. редактора.* Эксплуатационные данные, подтверждающие отличные условия сцепления, отсутствуют.

статора асинхронной машины *МА* даёт трёхфазный ток с переменной частотой от 0 до 135 гц для питания шести тяговых короткозамкнутых двигателей *МI—МVI*.

Машины сгруппированы в два агрегата. Синхронный двигатель *MS* и генератор постоянного тока *GC* соединены между собой и образуют агрегат синхронного преобразователя фаз, вращающийся с постоянной скоростью. Асинхронная машина *МА* и двигатель постоянного тока *МС* образуют агрегат асинхронного преобразователя частоты, характерными особенностями которого являются переменная скорость и направление вращения.



Фиг. 3. Принципиальная схема силовой цепи:

*C<sub>1</sub>* — главный контактор в цепи 50 гц; *C<sub>2</sub>* — контактор синхронизации; *C<sub>31</sub>—C<sub>33</sub>* — главный контактор в цепи 0—135 гц; *C<sub>4</sub>* — главный контактор в цепи постоянного тока; *DJ* — главный выключатель; *GC* — генератор постоянного тока; *J* — реверсор; *МА* — асинхронная машина; *МС* — двигатель постоянного тока; *MS* — синхронный двигатель; *МI—МVI* — тяговый двигатель; *PT* — пантограф; *SFS* — реактивное сопротивление для синхронизации; *TFP* — главный трансформатор

На принципиальной электрической схеме, кроме того, показаны пантограф *PT*, выключатель *DJ* и пусковые контакторы *C<sub>1</sub>* и *C<sub>2</sub>*, а также реактор для синхронизации *SFS*. Во вторичной цепи преобразователя находится реверсор *J*, служащий для изменения направления движения электровоза, и три контактора *C<sub>31</sub>—C<sub>33</sub>* — для размыкания одной из фаз каждого тягового двигателя. Контактор *C<sub>4</sub>* выключает цепь машин постоянного тока.

**Регулирование скорости и характеристики.** Характеристика усилия тяги и скорости (фиг. 4) показывает тяговые и тормозные усилия в зависимости от скорости для различных позиций контроллера машиниста. Усилие тяги имеет почти постоянное значение до скорости 40 км/час и постепенно уменьшается при по-

вышении скорости от 40 до 60 км/час. Так как тяговые двигатели не отключаются и, следовательно, трёхфазная цепь никогда не бывает разомкнута, нулевая позиция контроллера соответствует рабочей характеристике, тяговое усилие которой по величине весьма мало. Во избежание несвоевременного пуска в ход электроваза под действием остаточного тягового усилия на нулевой позиции контроллера контакторы  $C_{31}—C_{33}$  размыкают одну из фаз цепи каждого двигателя, в результате чего при остановке тяговое усилие становится равным нулю в нулевом положении контроллера машиниста.

Максимальное тяговое усилие, которое может поддерживаться от момента трогания до скорости 35 км/час, составляет 45 т. Свыше этой скорости тяговое усилие уменьшается и достигает значения 23 т при максимальной скорости 60 км/час.

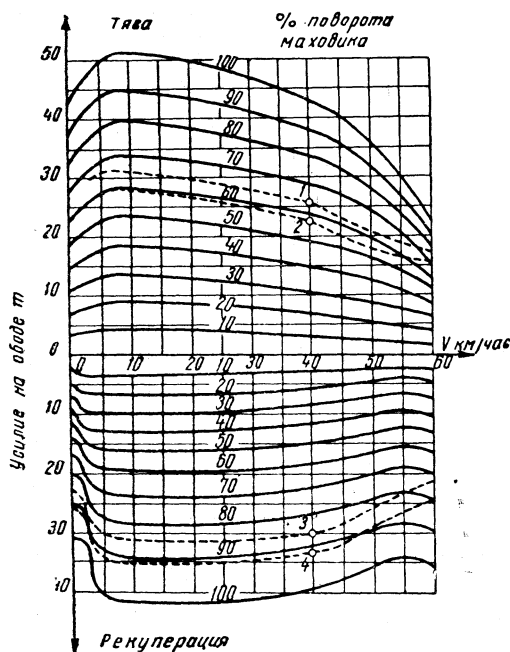
Характеристики рекуперативного торможения представляют кривые почти постоянного тормозного усилия, которое поддерживается до максимальной скорости. Максимальное тормозное усилие составляет 40 т.

Эти характеристики сообщают электровозу большую гибкость и позволяют использовать любую величину усилия тяги или тормозного усилия при любой скорости рекуперативного торможения. В частности, трогание с места при постоянном усилии тяги облегчает управление и позволяет хорошо использовать силу сцепления.

Регулирование достигается только воздействием на возбудители двух машин постоянного тока  $ГС$  и  $МС$ .

На фиг. 5 показано значение к. п. д. и коэффициента мощности электровоза в зависимости от скорости.

Несмотря на двойное преобразование энергии, к. п. д. получается достаточно высоким и сравнимым, например, с к. п. д. электровоза с преобразователем однофазно-постоянного тока. Это объясняется



Фиг. 4. Кривые силы тяги и скорости:

1 — часовой режим 26 т при 40 км/час; 2 — длительный режим 23 т при 40 км/час; 3 — часовой режим 33 т при 40 км/час; 4 — длительный режим 29,5 т при 40 км/час

тем, что типовая мощность машин преобразовательного агрегата равна половине мощности электровоза.

Коэффициент мощности равен единице в диапазоне скорости от 0 до 40 км/час; он слегка уменьшается, примерно до 0,95, при максимальной скорости 60 км/час.

## Электрическое оборудование

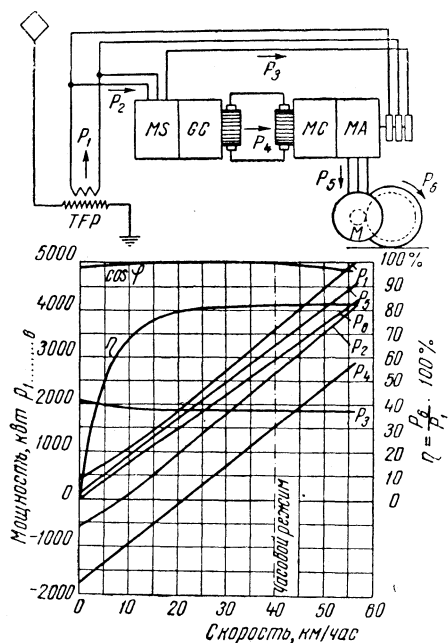
**Расположение оборудования** (см. фиг. 2). Оборудование, установленное на крыше (пантографы, разъединители, пневматические выключатели), такое же, как на других электровозах однофазного тока Северо-Восточной магистрали<sup>1</sup>.

Два преобразовательных агрегата расположены с каждой стороны кабины на высоте, обеспечивающей хорошую видимость. Цепь высокого напряжения проходит через кабину и пульт управления к трансформатору, подвешенному под полом.

Благодаря принятому вентиляционному устройству для охлаждения агрегатов и тя-

говых двигателей удалось целесообразно использовать ограниченное место, предусмотренное для размещения оборудования. В каждой половине кузова установлены два вентилятора, работающих от одного двигателя и всасывающих воздух через жалюзи, устроенные в нескольких местах, и радиаторы для охлаждения трансформаторного масла. Большая часть всасываемого воздуха проходит через преобразователь. Остальная часть отводится в канал, соединяющийся с тяговыми двигателями. Прежде чем пройти через вентиляторы, струя охлаждающего воздуха охлаждает закрытую часть кузова около кабины, обеспечивая тем самым интенсивную вентиляцию аппаратуры.

Конструкция кабины, большая часть оборудования которой унифицирована с оборудованием кабин электровозов других типов Северо-Восточной магистрали, разрабатывалась в тесном сотруд-



Фиг. 5. Мощность и к. п. д. при тяговом усилии 27 т:

GC — генератор постоянного тока; М — тяговый двигатель; TFP — главный трансформатор; МА — асинхронная машина; МС — двигатель постоянного тока; MS — синхронный двигатель

<sup>1</sup> Revue Generale des Chemins, de Fer. 1955, № 1, январь, стр. 121.

ничестве с Французским Национальным Обществом Железных Дорог. Пульт управления помещён посередине; управление электровозом осуществляется с двух постов. Рядом с постом машиниста находится маховичок для управления контроллером тяги и торможения, реверсором и другие механизмы управления. Главные механизмы дублированы так, чтобы ими легко можно было управлять с каждого поста.

С целью всемерного уменьшения количества аппаратов управления во всех возможных случаях было предусмотрено механическое управление, которое принято для управления реверсором и для коллекторного регулирования сопротивления возбуждения; соответствующая аппаратура установлена непосредственно вблизи кабины, причём устройство механического управления не представило никаких затруднений.

Весовые данные отдельных элементов оборудования и всего электровоза полностью соответствуют заданным весам. Механическая часть весит 70 *t*, а электрическая — 54 *t*.

Эти веса распределяются следующим образом (в *t*):

#### Механическая часть

Тележки с зубчатой передачей без двигателя . . .	33,5
Рама и тормозное оборудование . . . . .	36,5
<hr/>	
Всего . . .	70

#### Электрическая часть

Трансформатор . . . . .	5,9
Синхронный агрегат . . . . .	14,4
Асинхронный агрегат . . . . .	12,2
Шесть тяговых двигателей . . . . .	10,3
Всё остальное оборудование . . . . .	11,2
<hr/>	
Всего . . .	54
Общий вес . . .	124

**Трансформатор** (фиг. 6). В однофазно-трёхфазном электровозе линейное напряжение 25 *кв* преобразовывается в низкое напряжение 1 100 *в*. Имеются три вывода для вспомогательных нужд и два вывода на напряжения 1 500 и 1 000 *в* для отопления, причём последние являются единственными выводами первичной обмотки. Мощность при длительном режиме составляет 2 230 *кв*, а полный вес — 5 900 *кг*.

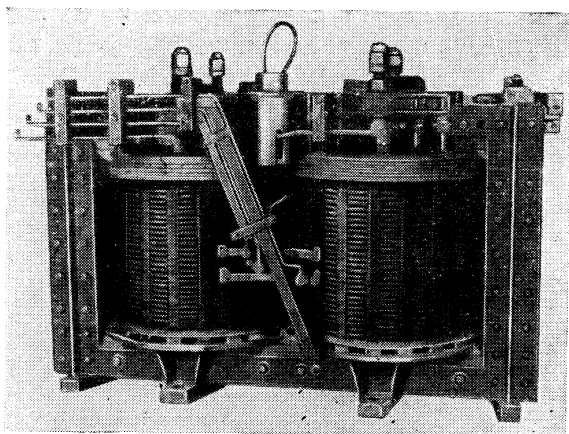
**Однофазно-трёхфазный преобразователь.** Преобразователь состоит из синхронного преобразователя фаз и асинхронного преобразователя частоты, каждый из которых связан с машиной постоянного тока.

**Синхронный агрегат преобразователя фаз** (фиг. 7) состоит из синхронного двигателя и связанной с ним машины постоянного тока *ГС*.

Синхронный двигатель имеет следующие данные при 1 000 об/мин:

Наименование данных	Характеристика статора для фаз			Ротор
	$U$	$V$	$W$	
Напряжение часового режима в $\text{в}$ . . . . .	593	572	1 010	30 $\text{в}$
Ток часового режима в $\text{а}$ . . . . .	3 000	1 860	1 160	380 $\text{а}$
Ток максимальный в $\text{а}$ . . . . .	4 200	2 700	1 800	—

Синхронный двигатель выполняется шестиполюсным с явно выраженными полюсами. Ротор состоит из массивного тела, выполненного из стальной отливки, которая одновременно является втулкой.



Фиг. 6. Общий вид трансформатора

Генератор постоянного тока  $GC$  при нормальном режиме и 1 000 об/мин имеет следующие данные:

Наименование данных	Режим		
	длительный	часовой	максимальный
Напряжение в $\text{в}$ . . . . .	800	803	1 250
Ток в $\text{а}$ . . . . .	1 700	1 920	3 000
Мощность на клеммах в $\text{квт}$ . . . . .	1 360	1 540	—

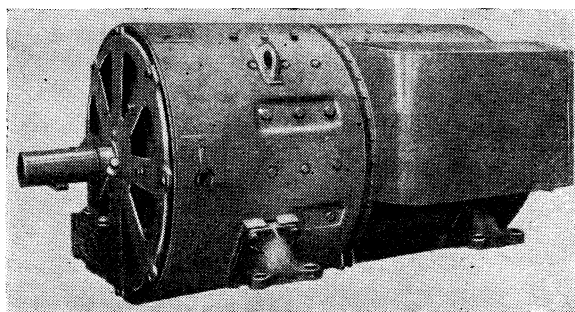
Генератор постоянного тока является восьмиполюсной машиной.



Статор имеет пять обмоток: компенсационную, вспомогательных люсов, встречного возбуждения силовым током, параллельного и независимого возбуждения.

Остовы обеих машин синхронного агрегата образуют цилиндрический агрегат, опирающийся на 4 резиновых конуса. По двум каналам охлаждающий воздух поступает в середину агрегата, откуда он распределяется в разные стороны, проходит через машины и удаляется через два фланца. Расход воздуха на каждый агрегат составляет  $330 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Агрегаты вращаются на двух подшипниках скольжения.

Асинхронный агрегат преобразователя частоты состоит из асинхронной машины *МА* и двигателя постоянного тока *МС*.



Фиг. 7. Общий вид синхронного агрегата

Асинхронная восьмиполюсная машина *МА* частотой 50 *гц* имеет следующие нормальные режимы, отнесённые к ротору:

Наименование данных	Режим		
	длительный	часовой	максимальный
Напряжение ротора в <i>в</i> . . . . .	1 165	1 165	1 220
Ток ротора в <i>а</i> . . . . .	1 200	1 350	2 100
Скорость вращения в об/мин . . .	585	600	1 275
Напряжение статора в <i>в</i> . . . . .	980	990	1 350
Ток статора в <i>а</i> . . . . .	1 950	2 250	3 500
Частота тока статора в <i>гц</i> . . . . .	89	90	135

Двигатель постоянного тока МС имеет следующие нормальные режимы:

Наименование данных	Режим		
	длительный	часовой	максимальный
Напряжение в <i>в</i> . . . . .	800	803	1 250
Ток в <i>а</i> . . . . .	1 700	1 920	3 000
Мощность на валу в <i>квт</i> . . . . .	1 300	1 470	—
Скорость вращения в об/мин . . . . .	620	600	1 275

Двигатель МС подобен генератору ГС, за исключением обмоток возбуждения. Двигатель имеет две обмотки возбуждения: противоположную и обмотку независимого возбуждения.

Преобразователь частоты монтируется совершенно так же, как и преобразователь фаз; подшипники, подвеска и способ вентиляции одинаковые.

Тяговый двигатель имеет следующие режимы работы:

Наименование данных	Режим		
	длительный	часовой	максимальный
Напряжение в <i>в</i> . . . . .	980	990	1 350
Сила тока в <i>а</i> . . . . .	340	375	585
Частота в <i>гц</i> . . . . .	89,5	90	135
Мощность на валу в <i>квт</i> . . . . .	433	505	—
Скорость в <i>км/час</i> . . . . .	40	40	60
Усилие на ободе колеса в <i>кг</i> . . . . .	3 860	4 500	6 700

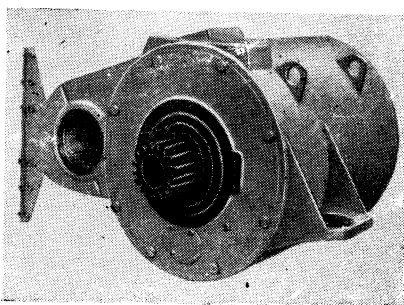
Тяговый двигатель (фиг. 8) с опорно-осевой конструкцией является десятиполюсным короткозамкнутым двигателем трёхфазного тока. Его ротор вращается на двух роликовых подшипниках и приводит в движение большое зубчатое колесо при помощи шестерни, соединённой со втулкой ротора.

Статор двигателя снабжён трёхфазной обмоткой, соединённой звездой подобно обмотке асинхронной машины МА. Воздух, нагнетаемый вентилятором, входит со стороны передачи, проходит через двигатель в направлении его оси и выходит через фланец.

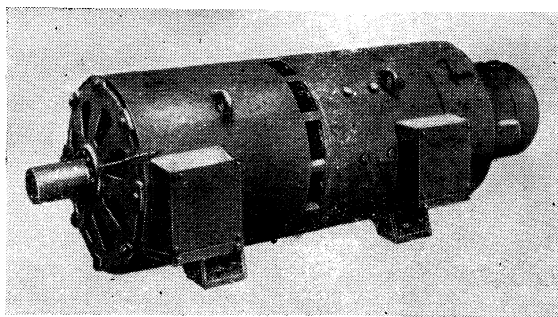
**Вспомогательный преобразовательный агрегат Арно.** Вспомогательный преобразователь (фиг. 9) состоит из короткозамкнутого двигателя CVAR однофазного тока, который одновременно служит в качестве преобразователя Арно для питания вспомогательных двигателей. Он приводит в движение возбудитель GA (обеспечивающий возбуждение синхронного двигателя и двигателя МС и служащий, кроме того, для пуска синхронного агрегата) и генератор заряда батареи GE.

Агрегат сконструирован так же, как и основные агрегаты, и имеет два подшипника. Якоря преобразователя Арно и возбuditеля *GA* соединяются вместе общей втулкой ротора. Их станины также соединены между собой и опираются на 4 опоры с амортизаторами. Вспомогательный генератор *GE* установлен консольно в конце возбuditеля *GA*.

Преобразователь Арно является трёхфазным двигателем, обмотка статора которого уложена в полузакрытые пазы и полностью изолирована изоляцией класса *B*. Пуск преобразователя Арно производится включением сопротивления *R118* (фиг. 10) в фазу *W*, питаемую от специального вывода *W<sub>1</sub>* главного трансформатора. После пуска сопротивление отключается посредством контактора, *C118* и двигатель работает как однофазный. Третья фаза *W* дополняет однофазное питание, образуя трёхфазную систему для питания вспомогательных устройств. Для этой цели холостое напряжение искусственной фазы *W* выбирается несколько большим для компенсации падения напряжения при нагрузке и уменьшения асимметрии напряжения вспомогательных двигателей.



Фиг. 8. Тяговый двигатель (вид со стороны привода)

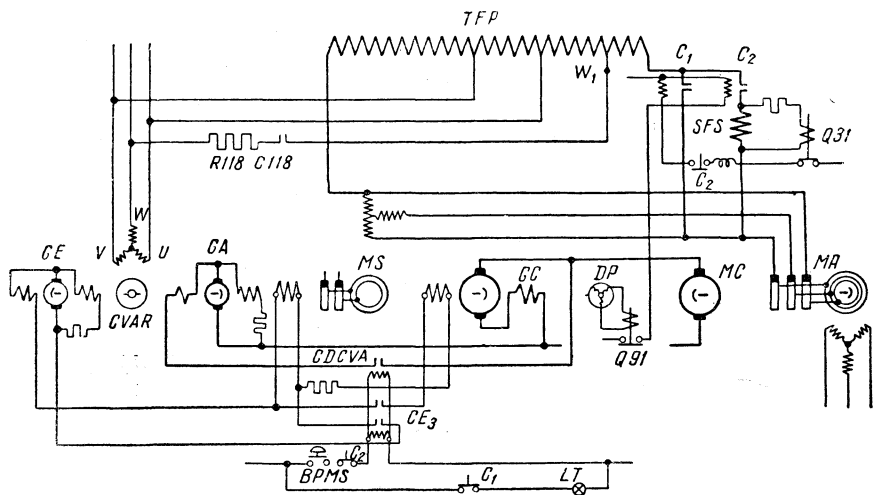


Фиг. 9. Агрегат вспомогательного преобразователя

Преобразователь Арно может обеспечить при длительном режиме мощность на валу 100 *квт* или трёхфазную электрическую мощность 120 *квa* для вспомогательных двигателей, или сумму механической и электрической мощности, равную 100 *квт*. Он может также развить в течение 2 мин. мощность 220 *квт*, необходимую для пуска главного преобразователя.

Вспомогательный генератор *GA* представляет машину постоянного тока со следующими данными:

Наименование данных	Режим		
	длительный	часовой	максимальный
Напряжение в <i>в</i> . . . . .	200	167	275
Сила тока в <i>а</i> . . . . .	500	600	1 300
Мощность на клеммах в <i>квт</i> . . . .	100	100	200



Фиг. 10. Схема пусковых цепей:

*BPMS* — пусковой выключатель; *CDCVA* — контактор для пуска агрегатов; *CE<sub>3</sub>* — контактор цепи возбуждения; *CVAR* — преобразователь Арно; *C<sub>1</sub>* — контактор силовой цепи 50 *гц*; *C<sub>2</sub>* — контактор синхронизации; *C118* — пусковой контактор преобразователя Арно; *DP* — тахогенератор; *GA* — вспомогательный генератор; *GC* — генератор постоянного тока; *GE* — возбудитель; *LT* — индикаторная лампа; *MA* — асинхронная машина; *MC* — двигатель постоянного тока; *MS* — синхронный двигатель; *Q31* — реле минимального напряжения; *Q91* — реле синхронизации; *R118* — пусковое сопротивление преобразователя Арно; *SFS* — реактивное сопротивление в цепи синхронизации; *TFP* — главный трансформатор

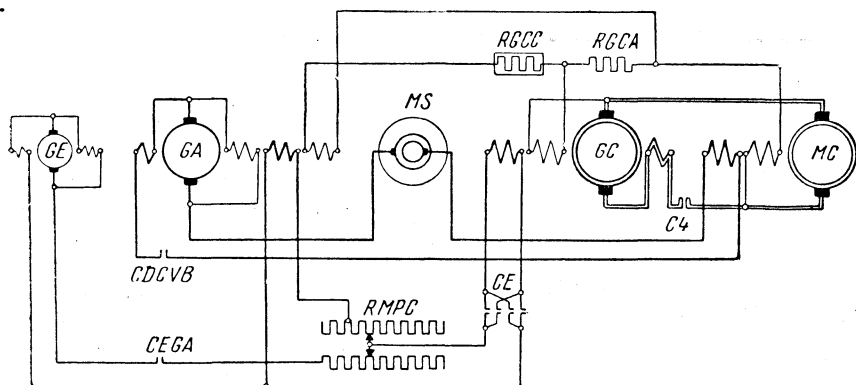
Возбудитель *GE* имеет мощность 5 *квт* при напряжении 85 *в*. Две обмотки параллельного и смешанного возбуждения способствуют получению характеристики постоянного напряжения, не зависящего от нагрузки. Главные полюсы имеют магнитную характеристику с весьма резко выраженным коленом, что позволяет обеспечить стабильное напряжение без автоматического регулирования. Омическое падение напряжения компенсируется действием обмотки смешанного возбуждения.

**Цепи возбуждения и регулирование.** На фиг. 11 показана схема цепей возбуждения постоянного тока. Цепь параллельного возбуждения генератора *GC*, представленная в виде тонкой черты, состоит из следующих обмоток и сопротивлений:

- 1) обмотка параллельного возбуждения генератора *GC*;

- 2) противоположная обмотка двигателя  $MC$ ;
- 3) противоположная обмотка возбудителя  $GA$ , сопротивление  $RGCA$  и карборундовое сопротивление  $RGCC$ .

Карборундовое сопротивление состоит из нескольких дисков карборунда, зажатых между медными пластинами, образующими охлаждающие ребра. Диски подвергаются специальной химической и электрической обработке, сообщая им специфические электрические свойства. Проходящий через них ток возрастает пропорционально третьей степени напряжения, в результате чего получаются криволинейные электрические характеристики. Их температурный коэффициент отрицателен, как и для большей части керамических изделий.



Фиг. 11. Принципиальная схема цепей возбуждения:

$CDCVB$  — пусковой контактор преобразовательного агрегата;  $CE$  — контактор возбуждения;  $CEGA$  — контактор главного возбуждения;  $C4$  — главный контактор цепи постоянного тока;  $GA$  — вспомогательный генератор;  $GC$  — генератор постоянного тока;  $GE$  — возбудитель;  $MC$  — двигатель постоянного тока;  $MS$  — синхронный двигатель;  $RGCA$  — добавочное сопротивление в цепи возбуждения;  $RGCC$  — карборундовое сопротивление;  $RMPG$  — регулируемое сопротивление в цепи возбуждения

а) Вспомогательный генератор  $GA$  имеет: обмотку параллельного возбуждения; обмотку встречного возбуждения; обмотку независимого возбуждения; обмотку противоположного возбуждения.

Параллельная обмотка возбуждения обеспечивает полную н. с. машины в ненасыщенной части. Обмотки независимого и встречного возбуждения создают н. с., которые взаимно компенсируются.

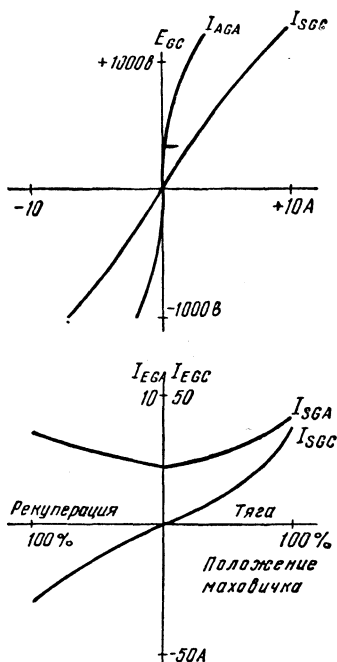
Независимое возбуждение дополняется противоположным возбуждением (ток которого представлен линией  $I_{SGC}$  на фиг. 12). Последнее усиливает возбуждение при отрицательных напряжениях машины  $MC$  и ослабляет его, когда это напряжение становится положительным.

б) Двигатель постоянного тока  $MC$  имеет: обмотку независимого возбуждения и обмотку противоположного возбуждения.

Цепь независимого возбуждения включается последовательно с цепью возбуждения синхронного двигателя.

в) Двигатель *ГС* с тремя обмотками возбуждения:

- 1) обмотка параллельного возбуждения;
- 2) обмотка независимого возбуждения;
- 3) обмотка встречного возбуждения.



Фиг. 12. Характеристики параллельного возбуждения:

$I_{AGA}$  — ток противоположного возбуждения от возбудителя *GA*;  
 $I_{SGC}$ ,  $I_{SGA}$  — токи параллельного возбуждения генераторов *ГС* и *GA*;  
 $E_{GC}$  — напряжение на клеммах генератора *ГС*

Машина *ГС* компенсированная и её характеристики при нагрузке совпадают с характеристиками холостого хода.

**Пуск в ход и синхронизация преобразователя.** После включения главного выключателя машинист пускает в ход преобразователь посредством замыкания пускового выключателя *BPMS* (см. фиг. 10). Пуск в ход и синхронизация полностью автоматизированы. После синхронизации, о чём подаётся сигнал погасанием лампы *LT*, машинист может осуществлять пуск электроваза и все связанные с ним операции.

В случае нарушения функций одного из органов синхронизации машинист может использовать дополнительную синхронизацию при помощи нажимной кнопки; синхронизация в этом случае сигнализируется также лампой.

**Пуск в ход.** От вспомогательного генератора *GA* подводится постоянный ток к двигателю *ГС* синхронного агрегата, причём контактор *CDCVA* замкнут. Машина *ГС* работает в качестве двигателя смешанного возбуждения и служит для привода во вращение синхронного двигателя, пока он не достигнет синхронной

скорости. В этот момент синхронный двигатель начинает получать питание от главного трансформатора и даёт трёхфазную энергию, необходимую для пуска в ход асинхронной машины, включённой в качестве электрического дифференциала между синхронным и тяговыми двигателями.

Цепь преобразователя Арно сохраняет нормальное включение во время пуска. Вспомогательные цепи при этом выключаются, чтобы сохранить мощность агрегата, необходимую для пуска в ход.

Вспомогательный генератор *GA* имеет независимое и максимальное параллельное возбуждение.

Цепь машин постоянного тока (см. фиг. 11) прервана контактором *С4*. Независимое возбуждение двигателя *МС* прервано при пуске в ход контактором *СDCVB*. Следовательно, двигатель *МС* не имеет ни тока возбуждения, ни тока нагрузки. Он вращается вхолостую без момента нагрузки, что облегчает синхронизацию асинхронной машины с синхронным двигателем *МС*, с одной стороны, и с тяговыми двигателями — с другой.

Генератор *ГС* возбуждается посредством своей последовательной обмотки и, кроме того, посредством слабого независимого возбуждения. Он пускается в ход, как двигатель смешанного возбуждения, причём его максимальная скорость близка к скорости разноса. Контакт *СЕ<sub>3</sub>* (см. фиг. 10) замыкает одновременно две отдельные цепи возбуждения вспомогательного генератора *ГА* и генератора *ГС*.

**С и н х р о н и з а ц и я.** Как только достигается синхронная скорость, тахогенератор *ДР*, приводимый синхронным двигателем, возбуждает реле синхронизации *Q91*. Тахогенератор является простым трёхфазным короткозамкнутым двигателем и не имеет изнашивающихся деталей. Он автоматически возбуждается при помощи трёх конденсаторов и напряжение его включается при скорости, несколько превышающей скорость синхронизации, независимо от значения частоты сети. Включение обеспечивается слабым возбуждением трёхфазного тока. Реле синхронизации *Q91*, возбуждаясь, включает контактор *С2*, который в свою очередь выключает пусковой контактор *СDCVA*.

Цепь однофазного тока запирается при этом синхронизирующим реактором *SFS*; затем синхронная машина возбуждается замыканием контактора *СDCVB*. Реактор ограничивает ток включения в случае противоположности фаз. Синхронный двигатель включается в сеть в течение нескольких секунд.

Напряжение, возникающее на клеммах синхронного двигателя, подаётся на асинхронную машину *МА*, которая начинает вращаться; вторичная цепь *МА* (статор) замкнута на тяговые двигатели. Машина *МА* играет роль электрического дифференциала, включаемого между синхронным и тяговыми двигателями. По мере повышения скорости вращения асинхронной машины напряжение на клеммах синхронного двигателя начинает возрастать и достигает полного значения. Когда напряжение двигателя приближается к напряжению сети, напряжение на клеммах реактора синхронизации *SFS* становится достаточно низким и реле *Q91* замыкает контактор *С1*, в результате чего заканчивается процесс синхронизации. Его длительность до момента полной синхронизации составляет примерно 80 сек.

Последовательное возбуждение двигателя *МС* прерывается в момент размыкания контактора *СDCVB* и параллельное возбуждение остаётся единственным возбуждением двигателя *МС* асинхронного агрегата. Благодаря применению параллельного возбуждения напряжение на клеммах генератора *ГС* становится равным напряжению, питающему обмотку параллельного возбуждения, так

что напряжение на клеммах контактора *C4* становится практически равным нулю.

В момент перехода с нулевой позиции к пусковой или тормозной контактор *C4* замкнут и остаётся замкнутым до следующего выключения преобразователя или главного выключателя.

В момент трогания тяговые двигатели питаются только от двух фаз во избежание самопроизвольного пуска в ход при включении асинхронного агрегата. В каждой группе из двух двигателей прерывается одна фаза контакторами *C31*, *C32* и *C33*, так что вторичная цепь асинхронного двигателя остаётся симметричной. Эти контакторы затем включаются одновременно с контактором *C4* и остаются включёнными до тех пор, пока электровоз движется и рукоятка управления не будет возвращена в нулевое положение.

**Прохождение нейтральных вставок и синхронизация во время движения.** Перед проходом нейтральной вставки машинист должен перевести рукоятку управления в нулевое положение и выключить главный выключатель. Все контакторы при этом выключаются и агрегаты работают вхолостую, причём скорость вращения их снижается. После прохода нейтральной вставки машинист снова включает главный выключатель, и когда погаснет лампа, сигнализирующая синхронизацию, может действовать рукояткой управления. Порядок операций такой же, как и на электровозе с коллекторными двигателями.

### Принцип действия электровоза

**Работа электровоза однофазно-трёхфазного тока при нормальном режиме тяги.** Номинальный часовой режим характеризуется тяговым усилием 27 *t* на ободе колёс при скорости 40 км/час. Частота тока во вторичной обмотке преобразователя составляет при этом 90 гц, причём тяговые двигатели вращаются со скоростью 1 040 об/мин и частота скольжения составляет 3,3 гц. Асинхронная восьмиполюсная машина вращается со скоростью 600 об/мин в направлении вращающегося поля. Последнее вращается со скоростью 750 об/мин по отношению к первичному ротору, что соответствует первичной частоте 50 гц. Таким образом, по отношению к статору поле вращается со скоростью  $750 + 600 = 1\,350$  об/мин, что создаёт частоту 90 гц во вторичной обмотке. Энергия, поглощаемая асинхронной машиной *МА*, состоит из механической мощности, которая подаётся двигателем постоянного тока *МС*, и из трёхфазной электрической мощности, получаемой с колец синхронного двигателя и от трансформатора. Эти мощности относятся как скорости механического вращения и вращающегося поля, т. е. для часового режима как 600 к 750 об/мин. Иначе говоря, для этого режима механическая мощность составляет 44%, а поглощаемая электрическая энергия — 56% от полной мощности.

Двигатель *МС* даёт механическую энергию, необходимую для пуска преобразователя частоты, и получает электрическую энергию



от генератора *ГС*. Его независимое возбуждение обеспечивается возбудителем *ГА*, питающим одновременно возбуждение синхронного двигателя.

Генератор *ГС* вращается с постоянной скоростью синхронным двигателем. Его обмотка параллельного возбуждения питается от якоря и обеспечивает н. с., необходимую для возбуждения машины.

Размагничивающая н. с. встречного возбуждения уравнивается н. с. обмотки независимого возбуждения. Ток генератора *ГС*, таким образом, зависит только от независимого возбуждения, регулируемого машинистом при помощи рукоятки управления. Мощность, проходящая через *ГС* и *МС*, составляет 1470 квт. Генератор *ГС* потребляет механическую энергию 1605 квт, подводимую синхронным двигателем.

Синхронный двигатель работает, с одной стороны, двигателем и, с другой стороны, фазопреобразователем. Ток и напряжение в трёх фазах приведены в таблице, помещённой в разделе о синхронном двигателе.

Электрическая мощность 1 360 ква, которая подводится третьей фазой, подвергается преобразованию только в статоре синхронного двигателя, в то время как механическая мощность, равная 1 540 квт, подводится ротором. Таким образом, синхронный двигатель рассчитан на мощность 2 900 ква. Асимметричная обмотка синхронного двигателя частично компенсирует индуктивное падение напряжения в обмотках статора таким образом, что асимметрия токов номинального режима оказывается слабее, чем для симметричной обмотки.

Тяговые двигатели, питаемые током 90 гц, имеют синхронную скорость 1 080 об/мин. Их частота скольжения составляет при этом 3,3 гц, что соответствует скорости вращения 1 040 об/мин и частоте 87 гц. Потери на скольжение в роторе составляют  $3,3 : 90 = 3,7\%$  часовой мощности, или 19 квт на каждый двигатель.

**Работа электрического оборудования в процессе пуска в ход.** При неподвижном электровозе частота тока, питающего тяговые двигатели, равна нулю. При этом асинхронный агрегат вращается со скоростью 750 об/мин в направлении, обратном вращению магнитного вращающегося поля. Таким образом, последнее остаётся неподвижным в пространстве и электродвижущая сила, наводимая в статоре асинхронной машины, равна нулю.

Для пуска в ход электровоза возбудители регулируются так, что двигатель *МС* постоянного тока тормозит асинхронную машину *МА*. Магнитное поле последней начинает вращаться и наводит э. д. с. во вторичной обмотке асинхронной машины. При неподвижном электровозе частота вторичного напряжения поддерживается около 8 гц; при этом получается усилие 40 т на ободе колёс.

Когда электровоз движется со скоростью около 10 км/час, вторичная частота увеличивается до 30 гц при тяговом усилии 40 т на ободе колёс. При этом режиме асинхронная машина *МА* работает как асинхронный двигатель, вращающийся с половинной скоростью, с той лишь разницей, что в этом случае вторичная энергия не пре-

образуется в тепло в сопротивлениях, а служит для питания тяговых двигателей. Асинхронная машина приводит в действие машину *МС*, работающую генератором и питающую машину *ГС*, работающую в качестве двигателя. Синхронная машина получает механическую энергию и питает третью фазу *W*.

По мере увеличения скорости электровоза скорость вращения асинхронной машины уменьшается и, в конце концов, последняя останавливается.

Магнитное поле машины в статоре и роторе вращается с одинаковой скоростью и вторичная частота становится равной вторичной частоте сети, т. е. 50 *гц*. При этом асинхронный двигатель действует как трёхфазный статический трансформатор.

Тяговые двигатели при этом питаются током частотой 50 *гц*, обеспечивая скорость движения 20 *км/час* при тяговом усилии 40 *т*.

Асинхронная машина *МА* продолжает создавать момент вращения, который должен поддерживаться неподвижным двигателем *МС*. Энергия, необходимая для поддержания момента вращения этой машины, обеспечивается генератором *ГС*, режим которого перед этим изменился на генераторный. Напряжение цепи постоянного тока весьма невелико и достаточно для покрытия омических потерь в двигателе *МС*. Мощность порядка 80 *квт* обеспечивается механически синхронной машиной *MS*, которая переходит на двигательный режим.

Если скорость продолжает повышаться, то направление вращения преобразователя частоты *МА-МС* меняется и ротор асинхронной машины начинает вращаться в направлении вращающегося поля, в результате чего получается режим, аналогичный описанному в предыдущем параграфе. Все машины теперь изменяют свой режим работы по сравнению с тем, какой они имели при частоте ниже 50 *гц*. Асинхронная машина *МА* становится генератором, машина *МС* работает в качестве двигателя, машина *ГС* становится генератором, а синхронная машина *MS* работает в качестве двигателя.

**Мощность в процессе пуска в ход.** Диаграмма, приведённая на фиг. 5, показывает зависимость мощности от скорости в процессе пуска в ход при постоянном усилии тяги 27 *т*.

Мощность  $P_6$ , развиваемая тяговыми двигателями, пропорциональна скорости (постоянное тяговое усилие).

Поглощаемая энергия  $P_5$  несколько больше этой мощности и включает потери в двигателях и зубчатых передачах. Мощность  $P_1$ , отдаваемая трансформатором, складывается из мощности  $P_2$  синхронной машины и мощности  $P_3$ , равной 1 280 *квт* и практически постоянной, которая поступает в первичную цепь преобразователя частоты.

От третьей фазы *W* синхронной машины получается также практически постоянная мощность 640 *квт*.

Первичная обмотка преобразователя частоты получает таким образом общую мощность 1 920 *квт*. Мощность  $P_4$ , передаваемая

цепью постоянного тока  $GC/MC$ , существенно изменяется с изменением скорости. При остановке энергия переходит от асинхронной машины  $MA$  через  $MC/GC$  к  $MS$  при передаваемой мощности, равной  $1800 \text{ кВт}$ ; иными словами, почти вся совокупная мощность, подводимая к преобразователю частоты, возвращается обратно, проходя через цепь постоянного тока. Как показывает диаграмма, эта последняя мощность уменьшается с повышением скорости и достигает нуля при скорости  $20 \text{ км/час}$ , что примерно соответствует тому моменту, когда преобразователь частоты изменяет своё направление вращения. Затем мощность  $P_4$  увеличивается в обратном направлении до значения  $2350 \text{ кВт}$  при  $50 \text{ км/час}$ . Мощность, создаваемая синхронной машиной, равна  $P_4 + P_5$ . Она несколько ниже (учитывая потери синхронной машины) мощности  $P_2$ , подводимой от трансформатора. При часовом режиме и скорости  $40 \text{ км/час}$  мощности различных машин таковы:

#### Синхронная машина:

Электрическая мощность . . . . .	640 кВт
Механическая       » . . . . .	1 610 »
<hr/>	
Итого . . . . .	2 250 кВт

#### Асинхронная машина:

Механическая мощность ротора . . . . .	1 470 кВт
Электрическая мощность <sup>1</sup> » . . . . .	1 890 »
Общая мощность ротора . . . . .	3 360 »
Мощность статора . . . . .	3 250 »

#### Машины постоянного тока:

Мощность каждой машины . . . . .	1 540 кВт
----------------------------------	-----------

Обе машины постоянного тока должны, однако, быть рассчитаны на мощность  $1800 \text{ кВт}$ , что соответствует нагрузке, которую они имеют в начале трогания электровоза.

Таким образом, номинальная мощность всех машин составляет от  $1800$  до  $2550 \text{ кВт}$  при мощности преобразователя  $3250 \text{ кВт}$ . Это обстоятельство объясняет, почему несмотря на двойное преобразование к. п. д. получается такой же к. п. д., как и при преобразовании однофазного тока в постоянный.

**Рекуперация.** Однофазно-трёхфазная система позволяет осуществлять рекуперативное торможение простой переменной направления независимого возбуждения генератора  $GC$ . При рекуперации режим всех машин изменяется по отношению к режиму тяги.

Машины преобразовательных агрегатов в режиме тяги и рекуперации для частоты ниже и выше  $50 \text{ гц}$  имеют следующий характер работы:

<sup>1</sup> Типовая мощность.

Тяга	Рекуперация
Частота от 0 до 50 <i>гц</i> :	Скорость от 0 до 23 <i>км/час</i> :
<i>MS</i> — генератор	<i>MS</i> — двигатель
<i>GC</i> — двигатель	<i>GC</i> — генератор
<i>MC</i> — генератор	<i>MC</i> — двигатель
<i>MA</i> — двигатель	<i>MA</i> — генератор
Частота от 50 до 135 <i>гц</i> :	Скорость от 23 до 60 <i>км/час</i> :
<i>MC</i> — двигатель	<i>MS</i> — генератор
<i>GC</i> — генератор	<i>GC</i> — двигатель
<i>MC</i> — двигатель	<i>MC</i> — генератор
<i>MA</i> — генератор	<i>MA</i> — двигатель

### Вспомогательные цепи

**Цепь отопления.** Эта цепь получает питание от части обмотки высокого напряжения на стороне заземления главного трансформатора. Переключатель позволяет переключать цепь отопления с 1 000 на 1 500 *в* при частоте 50 *гц*. Максимальное реле, включённое на трансформатор тока, обеспечивает в случае перегрузки выключение главного выключателя. Выключение цепи отопления производится при помощи электропневматического контактора отопления. В случае неисправности междувagonных соединений отопления последние могут быть изолированы посредством разъединителя. Блокировка соединения отопления системы Французского Национального Общества Железных Дорог, соединения цепей отопления разъединяются ключом, который может быть вынут только при разомкнутом контакторе отопления. Разъединитель отопления включён в систему запирания междувagonного соединения и может приводиться в действие только после отпирания ящика блокирующим ключом.

Обмотка главного трансформатора, от которой питается отопление, рассчитана на длительный режим при нагрузке 400 *а* и напряжениях 1 000 или 1 500 *в* и, следовательно, при мощности от 400 до 600 *квт*. В случае если наружная температура ниже 10°C, обмотка отопления может обеспечить ток 550 *а* в течение часа.

**Вспомогательные машины.** Вспомогательные машины питаются трёхфазным током 380 *в*, 50 *гц* от преобразователя Арно, как и на всех других электровозах однофазного тока 50 *гц*. Оба агрегата мотор-вентилятора, а также мотор-компрессора включаются в цепь при помощи трёхполюсных контакторов. Масляный насос подключён непосредственно к сети трёхфазного тока и пускается в ход вместе с преобразователем Арно. Все вспомогательные двигатели короткозамкнутые с непосредственным пуском в ход.

Данные вспомогательных машин таковы:

два мотор-вентилятора, каждый из которых служит для вентиляции одного преобразовательного агрегата и трёх тяговых двигателей. Двигатель мощностью 26 *л. с.*, работающий при скорости вращения 2 860 об/мин, имеет два выведенных конца вала, на каждом из которых смонтирован центробежный вентилятор производительностью 225 *м³/мин* при давлении 170 *мм вод. ст.* Воздушные

каналы распределяют весь расход воздуха ( $450 \text{ м}^3/\text{мин}$ ) каждого агрегата на два потока:  $330 \text{ м}^3/\text{мин}$  для преобразователей и  $120 \text{ м}^3/\text{мин}$  для тяговых двигателей.

Агрегат масляного насоса для принудительной циркуляции масла в трансформаторе обычного типа, применяемого фирмой Эрликон на всех системах масляного охлаждения машин и трансформаторов. Агрегат имеет специальную совершенно закрытую конструкцию с ротором двигателя, вращающимся в том же масле, в котором вращается колесо насоса. Насос обеспечивает при скорости  $2\,860 \text{ об/мин}$  подачу  $600 \text{ л}$  масла в минуту под давлением  $12 \text{ м вод. ст.}$ , для чего необходим двигатель мощностью  $3 \text{ кВт}$ .

Мотор-компрессор питает воздушную сеть электровоза и поезда. Это обычный компрессор типа AD3000 производительностью  $2\,500 \text{ л/мин}$  при давлении  $8 \text{ кг/см}^2$ . Мощность двигателя составляет  $26,5 \text{ л. с.}$  Контактёр компрессора может быть включён либо непосредственно либо посредством регулятора давления, работающего в пределах от  $6$  до  $8 \text{ кг/см}^2$ .

К трёхфазной системе, кроме того, подключены:

а) трёхфазная цепь начального возбуждения тахогенератора;  
б) однофазная цепь печей кабины машиниста, состоящая из двух нагревательных батарей мощностью  $2\,500 \text{ Вт}$  и двух обогревателей для ног по  $150 \text{ Вт}$ , расположенных с каждой стороны пульта управления. У каждого поста машиниста установлены выключатели отопления;

в) однофазная цепь для питания двух вольтметров, служащих для измерения напряжения контактной сети, со шкалой от  $0$  до  $35 \text{ кВт}$ .

В случае аварии вспомогательных агрегатов вентиляторы могут выключаться отдельно; то же относится и к масляному насосу, двигатель которого может быть отсоединён при помощи предохранителей в трёх фазах сети. Электровоз имеет, очевидно, в этом случае ограниченную мощность.

Вспомогательные машины имеют пусковую защиту. В случае если пуск протекает ненормально, выключается главный выключатель. Эта защита распространяется, кроме агрегатов мотор-вентиляторов, мотор-компрессоров и масляного насоса, также на пуск самого агрегата Арно.

Указанная защита унифицирована для всех однофазных электровозов участка Валенсьени—Тионвилль.

Защита действует следующим образом. Реле времени питается от нормально замкнутой цепи. Если пуск в ход какого-либо двигателя продолжается более  $5 \text{ сек.}$ , выключается главный выключатель. Контактёр двигателя выключает цепь реле времени при помощи блокировочного контакта, и механизм реле времени начинает действовать. В процессе пуска двигателя вспомогательный контакт, установленный параллельно вышеуказанному контакту, замыкает цепь и предотвращает выключение главного выключателя под дей-

ствием реле времени. Эти вспомогательные контакты предназначаются для следующих операций:

а) для пуска в ход агрегата Арно при выключении пускового контактора в конце пуска, а также при включении контактора задвижки и контактора циркуляции масла при одновременном пуске масляного насоса;

б) для пуска в ход агрегата вентиляторов при помощи аппаратов для регулирования циркуляции воздуха в воздухопроводах;

в) для пуска в ход агрегата компрессора через реле, включаемое при помощи центробежного контакта компрессора.

### **Испытание на стенде**

Кроме обычных исследовательских и контрольных испытаний, полный комплект машин был испытан на испытательном стенде. Испытуемое оборудование состояло из двух агрегатов — синхронного и асинхронного с соответствующими моторвентиляторами, вспомогательного агрегата с машиной Арно и шестью тяговыми двигателями, из которых один соединён с машиной постоянного тока. Составленная таким образом схема позволила осуществить пуск в ход преобразователя и пуск в ход и регулирование скорости электровоза в рабочих условиях.

Эти испытания позволили проверить первоначальную схему, сделать несколько упрощений и регулировок и подтвердили расчётные характеристики машин. Коммутация на коллекторах агрегатов оказалась прекрасной и нагрев оставался в допустимых пределах.

---

РОССИНЬОЛЬ И МАШЕФЕР-ТАССЕН  
(M. ROSSIGNOL ET M. MACHEFERT-TASSIN)

## ЭЛЕКТРОВОЗЫ $B_0$ - $B_0$ С ИГНИТРОННЫМИ ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ

*Revue Generale des Chemins de Fer. 1955 г., № 3, март*

При выборе типа электрического оборудования электровозов предназначенных для линии Валенсьенн—Тионвилль, Французское Общество Национальных Железных Дорог изучило, с одной стороны, замечательные результаты опытной эксплуатации одного моторного вагона и двух сдвоенных электровозов с одноанодными игнитронными выпрямителями, достигнутые на Пеннсильванской железной дороге в США и, с другой стороны, опыт Франции, где в Савоие эксплуатируется моторный вагон Z9055, оборудованный по такой же системе.

На основании этого изучения были заказаны 5 электровозов (фиг. 1) с одноанодными игнитронными выпрямителями из числа 20 электровозов, требуемых для смешанной работы на первом этапе электрификации северо-восточных дорог Франции, с целью подтверждения результатов предшествующих испытаний и использования преимуществ электровозов этого типа при дальнейшей электрификации железных дорог.

Для второго этапа электрификации было заказано 9 таких же электровозов из числа 18 электровозов смешанной работы<sup>1</sup>.

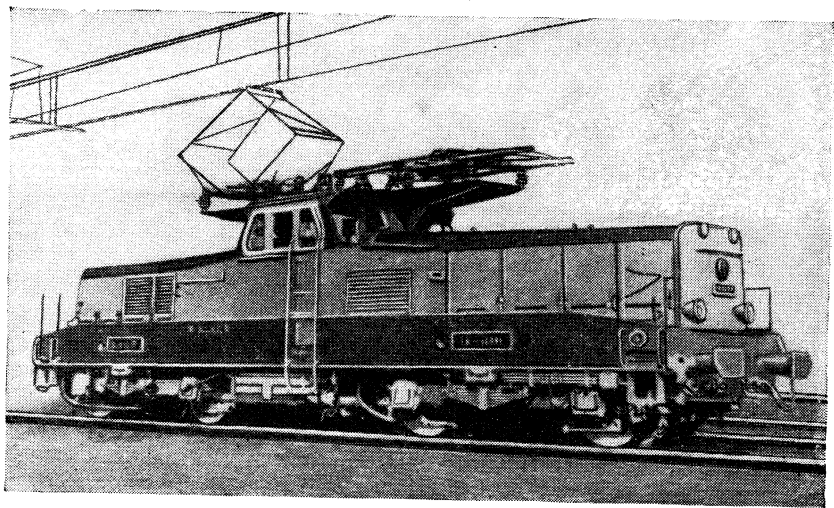
Ниже приводится характеристика этих электровозов и даётся описание их основных элементов.

Электрооборудование было целиком изготовлено во Франции на заводах электротехнического оборудования Шнейдер-Вестингауз; только такие элементы электрооборудования, как пантографы, главный выключатель, переключатель ступеней трансформатора и некоторые вспомогательные устройства, выполнены другими фирмами в связи с унификацией этих аппаратов для всех четырёх типов электровозов  $B_0$ - $B_0$  и  $C_0$ - $C_0$ .

В электровозах с игнитронными выпрямителями используется хорошо известный принцип статического преобразования переменного тока 50 гц, получаемого от контактного провода, в пульсирую-

<sup>1</sup> Прим. редактора. Количество заказанных электровозов с выпрямителями в настоящее время значительно увеличено.

щий постоянный ток, используемый тяговыми двигателями. Таким образом, на электровозах одновременно используются преимущества системы питания переменным током и тяговых двигателей постоянного тока. На первый взгляд электровоз с выпрямителем кажется несколько смелым решением ввиду применения электронной аппаратуры на подвижном составе, если принять во внимание теоретическую простоту электровоза с однофазными коллекторными двигателями переменного тока 50 гц.



Фиг. 1. Общий вид электровоза В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> 12001

Описание электрического оборудования первых электровозов с игнитронными выпрямителями северо-восточных дорог Франции показывает, однако, что эта система не является простой комбинацией подвижной подстанции и электровоза постоянного тока, но представляет новое техническое решение, при котором игнитрон следует рассматривать не как самостоятельный элемент, а в тесной связи со всем остальным оборудованием.

Следует отметить хорошую приспособляемость оборудования с одноанодным игнитронным выпрямителем к условиям эксплуатации. Например, несмотря на различие в регулирующем оборудовании и различное исполнение, тяговые свойства электровозов с игнитронами французских железных дорог аналогичны тяговым свойствам электровозов железных дорог Пеннсилванской и Нью-Йорк—Нью-Хавен в США; на стороне электровозов французских железных дорог, по нашему мнению, преимущество большей простоты по сравнению с американскими.



## Электрическое оборудование

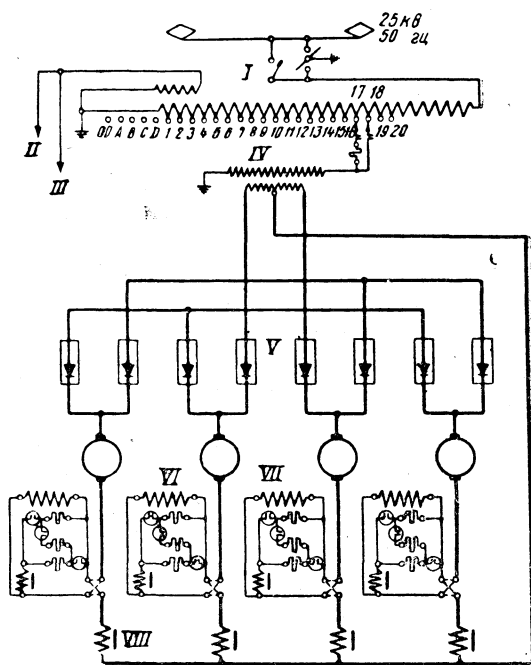
**Схема.** Основное оборудование электрической части состоит из трансформатора, четырёх групп выпрямителей и четырёх тяговых двигателей (фиг. 2). Для наилучшего использования оборудования при наименьшем весе электрической части (который первоначально был принят 40 *t*, но впоследствии уменьшен до 37,5 *t*) мощности различных элементов

оборудования были тщательно согласованы между собой. Использование электропоездов намечалось в исключительно тяжёлых условиях, которые сильно отличаются от обычных принятых за границы условий эксплуатации при однофазном токе 16<sup>2/3</sup> *гц*, поэтому проектирование велось в расчёте на чрезвычайно напряжённый цикл работы с учётом возможности значительных тепловых перегрузок трансформатора и тяговых двигателей, но без риска превышения допустимых величин температуры и при сохранении ограниченных размеров оборудования.

Схема обеспечивает простое и непосредственное электрическое соединение между трансформатором, игнитронами и тяговыми двигателями, удовлетворяющее следующим требованиям:

- 1) регулирование скорости вращения двигателей посредством изменения напряжения и шунтирования обмоток возбуждения;
- 2) независимое включение каждой группы выпрямитель — двигатель, начиная от трансформатора;
- 3) общая защита силовых цепей при помощи главного выключателя на напряжение 25 *кв*.

Регулирование изменением напряжения ступеней трансформатора обеспечивает рациональное использование тяговых двигателей постоянного тока; регулирование напряжения мощных электропоездов, двигатели которых потребляют ток около 4000 *а* при напряжении 700 *в* (длительный режим), может быть осуществлено при по-



Фиг. 2. Схема силовой цепи: I — главный выключатель; II — отопление; III — вспомогательные цепи; IV — главный трансформатор; V — игнитроны; VI — обмотки возбуждения и шунты; VII — двигатели постоянного тока; VIII — сглаживающие реакторы.

мощи автотрансформатора высокого напряжения; при этом получается ток не свыше 200 а при напряжении 14 000 в. Шунтирование возбуждения тяговых двигателей позволяет ограничить размеры главного трансформатора, поскольку повышение скорости может быть достигнуто в этом случае при сохранении нормального напряжения и нормальной силы тока.

Независимое включение каждой группы выпрямитель—двигатель позволяет осуществлять параллельное соединение тяговых двигателей, при котором сохраняется постоянное напряжение на щётках двигателей в случае боксования, что весьма благоприятно с точки зрения реализации максимальной силы сцепления. С другой стороны, такая схема облегчает изоляцию дефектной группы и даёт возможность устранить линейный контактор из цепи двигателя, так как его роль выполняют игнитроны.

Игнитроны служат также выключателями обратного тока, устраняя возможность самовозбуждения двигателей, когда электровоз передвигается в недействующем состоянии. Наконец, такая схема позволяет избежать установки анодных реакторов, необходимых для выравнивания нагрузок при общем катоде выпрямителя.

Таким образом достигается чрезвычайно простая силовая схема, сходная со схемой электровозов с однофазными коллекторными двигателями.

Единственным выключающим аппаратом силовой цепи на напряжение 25 кв является воздушный выключатель, на который воздействуют защитные реле.

**Расположение оборудования.** Для выбора наилучшего расположения оборудования был выполнен макет в натуральную величину применительно к конструкции механической части электровоза, с центральной кабиной и с установленными на главной раме капотами по концам, что обеспечивает наилучшую видимость.

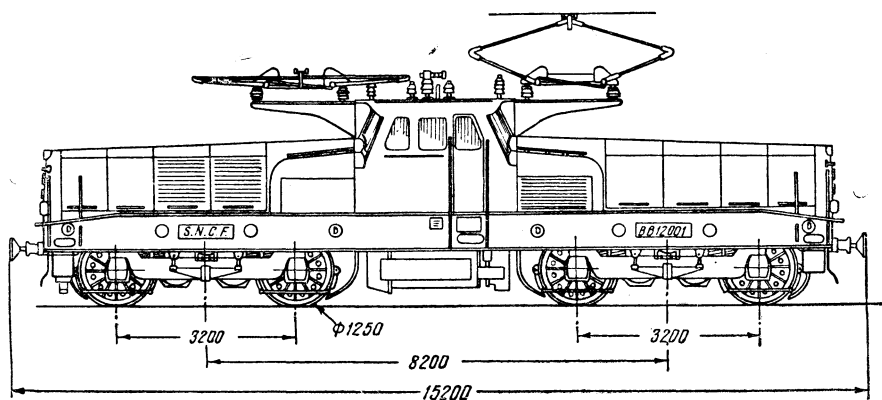
Полезный объём, который может быть использован для установки оборудования на электровозе с двумя кабинами и с рамным кузовом, составляет 49 м<sup>3</sup>, а на электровозе с одной кабиной (фиг. 3) такой же длины этот объём составляет всего 32 м<sup>3</sup>, в том числе 23 м<sup>3</sup> приходится на объём капотов.

В основу расположения оборудования, представленного на фиг. 3а положены следующие принципы:

а) сосредоточение вблизи или внутри центральной кабины основных аппаратов, допускающих непосредственное управление из кабины: главным выключателем, переключателем ступеней трансформатора, шунтировкой поля тяговых двигателей, группой кулачковых контакторов вспомогательных цепей, выключателем цепей отопления поезда.

Что касается других элементов, как-то: игнитронов и их вспомогательной аппаратуры, реакторов и сопротивлений, то они размещены поблизости от кабины управления из соображений большей доступности и для упрощения соединений и монтажа электрических цепей;

б) по возможности ограниченное число вспомогательных агрегатов вентиляции: два моторвентиляторных агрегата выполняют 10 различных функций вентиляции, причём малое число вспомогательных вентиляторов не потребовало разветвлённой сети каналов. Тщательное исследование вентиляционных цепей показало, что охлаждение возможно производить последовательными ступенями с постепенным повышением температуры при переходе от одного звена к другому; например, последовательная цепь: игнитроны-трансформаторы или игнитроны-сглаживающие реакторы — переходные сопротивления переключателя ступеней трансформатора.

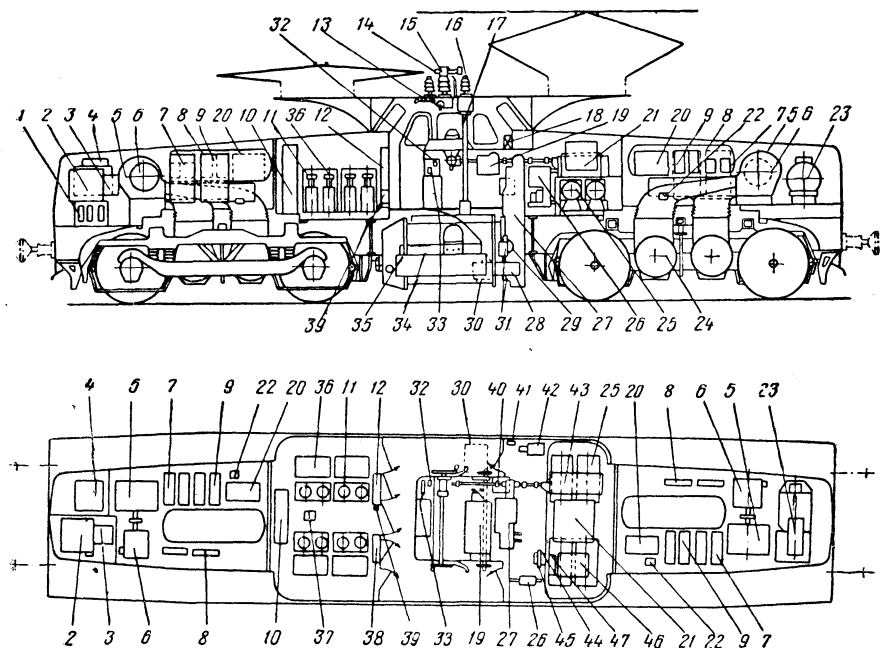


Фиг. 3. Электровоз  $B_0-B_0$

Единственным недостатком такой схемы является необходимость значительного добавочного повышения мощности, расходуемой на вентиляцию, примерно до 100 л. с. Необходимость иметь, с одной стороны, наименьшее количество вентиляционных агрегатов и, с другой стороны, желание унифицировать их с вентиляторами электровоза с коллекторными двигателями привела к выбору вентиляторов с наибольшим расходом воздуха при максимальной мощности. Хотя при этом несколько снижается средний к. п. д. электровоза ввиду дополнительного расхода энергии на вспомогательное оборудование, но всё же решающее значение имеет преимущество, которое даёт унификация агрегатов для обоих типов электровозов  $B_0-B_0$ . Следует также отметить, что расположение диффузоров вентиляторов по концам капотов даёт возможность выполнить относительно простые и прямые вентиляционные каналы с ответвлениями только для подачи воздуха к соответствующим элементам оборудования;

в) установка трансформатора в центре симметрии электровоза, между хребтовыми балками, под средней кабиной. Такое расположение трансформатора было обусловлено, с одной стороны, электрической схемой принятым способом непосредственного ручного управле-

ния переключателем ступеней и расположением проводов высокого напряжения и, с другой, — наилучшими условиями развески, связанными с установкой трансформатора большого веса в форме параллелепипеда;



Фиг. 3а

Расположение оборудования в кузове электровоза: 1—аккумуляторная батарея; 2—агрегат Арно; 3—генератор; 4—вспомогательный трансформатор; 5—вентиляторы тяговых двигателей; 6—двигатели вентиляторов; 7—индуктивные шунты; 8—охлаждающие радиаторы игнитронов; 9—сопротивления шунтировки; 10—блок водяного охлаждения игнитронов; 11—агрегат игнитронов (выпрямителей); 12—распределительный щит батареи и сборных шин; 13—переключатель заземления; 14—главный выключатель; 15—разъединитель пантографов; 16—ввод через крышу; 17—трансформатор тока для общего реле перегрузки; 18—блок с реле на пульте управления; 19—переключатель шунтировки; 20—реверсор; 21—сопротивления переключателя ступеней; 22—реле вентиляций; 23—группа мотор-компрессора; 24—тяговый двигатель; 25—сглаживающий реактор; 26—контактор для включения поездного отопления; 27—переключатель ступеней; 28—масляный насос; 29—трансформатор тока к счётчику электроэнергии; 30—расширитель главного трансформатора; 31—трансформатор напряжения к счётчику электроэнергии; 32—контактор подогрева воды; 33—контактор компрессора; 34—главный трансформатор; 35—охладитель главного трансформатора; 36—панель с аппаратурой возбуждения игнитронов; 37—трансформатор для тепловой защиты (игнитронов); 38—блок реле игнитронов; 39—шина и сопротивление цепи заземления; 40—щит разъединителя поездного отопления; 41—регулятор давления компрессора; 42—вспомогательный компрессор; 43—групповые кулачковые контакторы вспомогательных машин; 44—трансформатор тока для контроля цепей отопления; 45—разъединитель поездного отопления; 46—пусковое сопротивление агрегата Арно; 47—вспомогательные сопротивления

г) размещение трансформатора в пространстве между тележками вызвало необходимость поместить главные воздушные резервуары под капотами, над люками для осмотра выводных концов и коллек-

торов двигателей на достаточном расстоянии, чтобы не мешать доступу к ним.

Другие вспомогательные устройства: преобразовательный агрегат трёхфазного тока для вспомогательных цепей, агрегат мотор-компрессора, вспомогательный трансформатор и батареи, размещены в концевых частях капотов, так что доступ к ним и их монтаж чрезвычайно облегчены. Наконец, над боковыми вентиляционными каналами находятся статические аппараты, а именно: реверсоры с электропневматическим управлением, индуктивные шунты и сопротивления ослабления поля. Расположение этих аппаратов вблизи двигателей упрощает монтаж электрических цепей.

Всё оборудование электровоза установлено непосредственно на раме кузова, без каких-либо промежуточных металлических или деревянных частей. Оборудование предварительно монтируется (включая монтаж электрических цепей) в отдельные агрегаты, например: агрегат игнитронов со своим вспомогательным оборудованием, агрегат трансформатора с оборудованием охлаждения, агрегат насоса с его оборудованием.

Ограниченное число агрегатов значительного габарита позволило выполнить такое их размещение, при котором облегчается текущий ремонт и демонтаж большей части элементов.

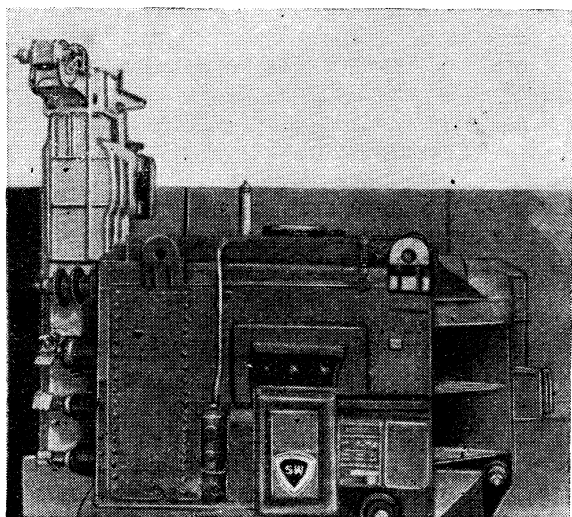
**Оборудование, расположенное на крыше, на напряжение 25 кВ.** Крышное оборудование, включающее два стандартных пантографа типа Февелэ с расстоянием между осями 4 800 мм, является общим для четырёх типов электровозов; его установка была тщательно продумана с точки зрения обеспечения необходимого расстояния по изоляции. Кроме пантографов, на крыше, над съёмным люком размером 5 м<sup>2</sup>, установлены разъединители пантографов, заземлители и главный воздушный выключатель разрывной мощностью 200 мва, воздухопроводы, конденсаторный ввод трансформатора с разрядниками, антенна—индикатор напряжения в линии, пневматический сигнал; кроме этого, для текущего осмотра предусмотрены проходы. Доступ к главному выключателю возможен непосредственно из кабины машиниста, что чрезвычайно облегчает осмотр выключателя и управление. Соединение с трансформатором, расположенным под кабиной, осуществляется посредством кабеля напряжением 25 кВ, служащего конденсаторным вводом, бронированным до вводов высокого напряжения трансформатора.

**Главный выключатель.** В качестве главного выключателя применяется стандартный пневматический выключатель конструкции Броун-Бовери. Выключатель быстродействующий с разрывной мощностью до 200 мва при напряжении 25 кВ и рабочем давлении 7 кг/см<sup>2</sup>. Он имеет пневматическую камеру отключения, параллельно включённые сопротивления, ограничивающие перенапряжения, возникающие при срабатывании выключателя, и разъединитель наружного типа, механически соединённый с отключающими клапанами сжатого воздуха. Продолжительность горения дуги при отключении всегда меньше полупериода; общая продолжительность

отключения также мала, благодаря чему обеспечивается надёжная защита электрооборудования.

**Трансформатор и переключатель ступеней.** Главный трансформатор — броневой с баком и съёмным кожухом колоколообразного типа «Формфит» фирмы Вестингауз (фиг. 4) имеет номинальную мощность на первичной стороне 4 590 *кв*а и длительную мощность при тяговом режиме 3 840 *кв*а при напряжении сети 22,5 *кв*.

Этот тип трансформатора имеет катушки с обмоткой небольших радиальных размеров и с большой поверхностью, надетые на магнитопровод из листов шихтованной стали, обладающей малыми поте-



Фиг. 4. Агрегат трансформатора с переключателем ступеней

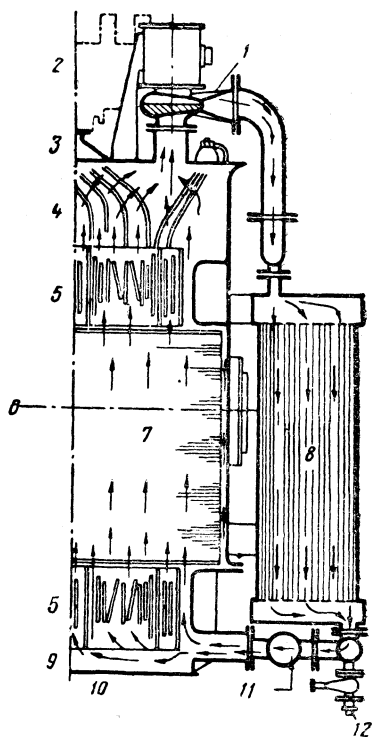
рями. Магнитопровод сжат между баком и кожухом трансформатора, сваренными между собой. Таким образом получается герметически закрытый агрегат, доступ к соединениям которого обеспечивается посредством смотровых люков. Эта конструкция отличается следующими преимуществами:

1) высокая сопротивляемость ударным перенапряжениям благодаря линейному распространению напряжения вдоль витков и изолирующим экранам, установленным на катушках и обеспечивающим получение эквипотенциальных поверхностей, устраняющих опасность пробоя. Все слои изоляции работают в направлении толщины, т. е. при определённых неизменных коэффициентах запаса. Применяемая специальная изоляция благодаря высокой поглощающей способности масла обладает диэлектрической постоянной, почти равной диэлектрической постоянной самого масла;

2) благоприятное распределение внутренней температуры в железе трансформатора вследствие прямоугольного его сечения и небольшой ширины, что обеспечивает отвод тепла преимущественно вдоль плоскости пакетов железа, а не в перпендикулярном к ним направлении; вследствие благоприятного расположения катушек обмотки трансформатора большая поверхность их обтекается потоком масла, проникающим к катушкам через небольшие зазоры между кожухом и магнитной цепью. Принудительная циркуляция масла осуществляется посредством насоса производительностью 600 л/мин; охлаждающий поток масла распределяется равномерно благодаря соответствующей конструкции трансформатора, вследствие чего исключается опасность перегрева обмоток в отдельных точках. На фиг. 5 представлена схема охлаждения трансформатора;

3) уменьшение усилий от тока короткого замыкания приблизительно до 0,1 по сравнению с трансформаторами обычных конструкций, так как опорные поверхности катушек очень велики и катушки плотно заклинены во всех направлениях, причём роль сжимающей плоскости выполняет кожух;

4) высокое сопротивление бака механическим деформациям допускает горизонтальное размещение трансформатора под рамой электровоза при подвеске в трёх точках, из которых две подвески шарнирные с резиновыми амортизаторами (сайлентблоками), в то время как третьей точкой служат два рычага, имеющие зазор в сочленении также с сайлентблоками; следует отметить при этом, что общий вес трансформатора со всей укрепленной на нём аппаратурой составляет 12,3 т. Демонтаж трансформатора производится чрезвычайно просто — путём удаления клиньев, соединённых с подвесными шарнирами; вместе с трансформатором демонтируются находящиеся с ним в одном блоке переключатель ступеней, насос, маслоохладитель, воздухоосушитель, ограничитель напряжения на вторичных



Фиг. 5. Схематический разрез бронированного трансформатора электровоза и схема охлаждения:

1 — масляный насос уплотненного типа; 2 — переключатель ступеней; 3 — кожух; 4 — нагретое масло; 5 — разрез через нижнюю часть направляющих пластин; 6 — ось подвешивания; 7 — магнитопровод; 8 — маслоохладитель; 9 — охлажденное масло; 10 — бак; 11 — реле циркуляции масла; 12 — спускной клапан

зажимах и трансформаторы для счётчиков расхода тяговой электроэнергии.

Переключатель ступеней, соединённый с трансформатором стандартного типа Броун-Бовери, погружён в масло и имеет наружные выводы. Он имеет 24 позиции, в том числе 20 ходовых и 4 подготовительные ступени.

Схема трансформатора и переключателя ступеней включает (см. фиг. 2):

а) автотрансформатор, питаемый от сети при напряжении 19—27,4 *кв* с 20 регулируемыми ступенями в пределах напряжений от 0,81 до 16,7 *кв* при холостом ходе и 25 *кв* в сети. Третья обмотка трансформатора питает цепь отопления поезда общей мощностью 600 *квт* при напряжении 1 500 *в* и вспомогательный трансформатор мощностью 150 *ква*;

б) трансформатор, питаемый напряжением от 0,81 до 16,7 *кв* на выходе автотрансформатора посредством переключателя ступеней высокого напряжения. Обмотка трансформатора выполнена с нулём в средней точке, к которой подключается реле заземления.

Оба трансформатора помещаются в одном баке с общим раздвоенным магнитопроводом, имеющим 4 окна для получения возможно меньших боковых вырезов в железе, с использованием части обратных потоков при сохранении броневой конструкции сердечника.

Следует отметить некоторые особенности электрических характеристик трансформатора.

Применение стали с малыми потерями (0,93 *вт/кг*) даёт возможность при номинальной мощности достигать коэффициента мощности свыше 0,99, причём соответствующие реактивные потери составляют около 500 *ква*, а потери в железе всего 8,4 *квт* при общей мощности трансформатора 4 590 *ква*. Ток холостого хода согласно 50 снятым осциллограммам весьма невелик: 1,6 *а* при установившемся намагничивающем токе и около 20 *а* при включении.

Напряжение тока короткого замыкания, имеющее большое значение для трансформатора с выпрямителем, относительно высоко несмотря на отсутствие делительных реакторов: 15% на наиболее высокой ступени регулирования и 30% на первых ступенях трансформатора. Благодаря этому обеспечивается хорошая защита от внутренних токов короткого замыкания, а также от внешних дефектов, причём это не отражается на коэффициенте мощности.

Наконец, испытания импульсным напряжением при постепенно возрастающем уровне напряжения до 130 *кв* при полной положительной волне формы 1,2/70 показали, что обеспечивается гарантия от перенапряжений в сети. Эти испытания (фиг. 6) позволяют обнаружить и локализовать малейшие признаки ионизации и увеличить, тем самым, срок службы трансформатора.

Тяговые характеристики электровоза весьма жёсткие, особенно на первых позициях, с одной стороны, вследствие естественной формы



характеристик двигателя постоянного тока и, с другой, относительно слабого падения напряжения в цепи.

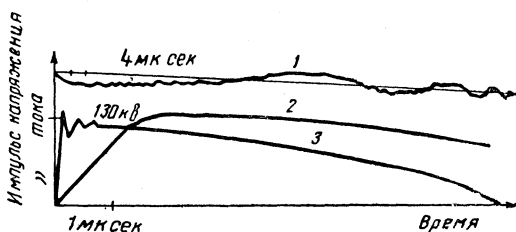
Для того чтобы обеспечить достаточно плавное изменение тягового усилия, особенно необходимое при замедленных пусках, без увеличения числа выводов трансформатора, в цепи переключателя ступеней предусмотрены переходные сопротивления, включаемые между каждыми двумя соседними выводами трансформатора.

Склонность к боксованию, определяемая значением  $\frac{dv}{dF}$ , значительно уменьшается благодаря использованию переходного сопротивления в цепи контактов переключателя ступеней на первых промежуточных ступенях. Лёгкое переходное сопротивление с изоляцией на 15 кВ вентилируется; оно соединяется электрически с переключателем ступеней трансформатора посредством гибких соединительных кабелей.

**Игнитронные выпрямители.** Игнитронные выпрямители (фиг. 7) описываются лишь в части их действия на электроваз; более подробные сведения об их конструкции даны в статье Коссена (M. Ch. Caussin), упоминаемой в прилагаемой библиографии.

Остановимся кратко на эволюции ртутных выпрямителей, на основе которой были созданы игнитроны запаянного типа. Прогресс выпрямительного строения характеризуется тремя основными факторами: разделением обычных многоанодных корпусов на одноанодные, которые в настоящее время часто называют экситронами; разработкой конструкции запаянного выпрямителя без вакуумного насоса, в результате чего вентиль превращается в большую вакуумную трубку и, наконец, заменой постоянно горящей дуги прерывистой дугой, поддерживаемой посредством электрода (называемого игнайтором), наполовину погружённого в ртуть. Как известно, игнайтор является полупроводником, обладающим нелинейным сопротивлением (см. работы Слепяна и Лудвига, фирма Вестингауз); его применение позволяет исключить один из основных источников ионизации экситронов, состоящий в сохранении дуги возбуждения в момент, когда основная дуга гаснет в процессе коммутации тока с одного анода на другой; благодаря устранению этой опасности состояние между анодом и катодом может быть сведено к минимуму.

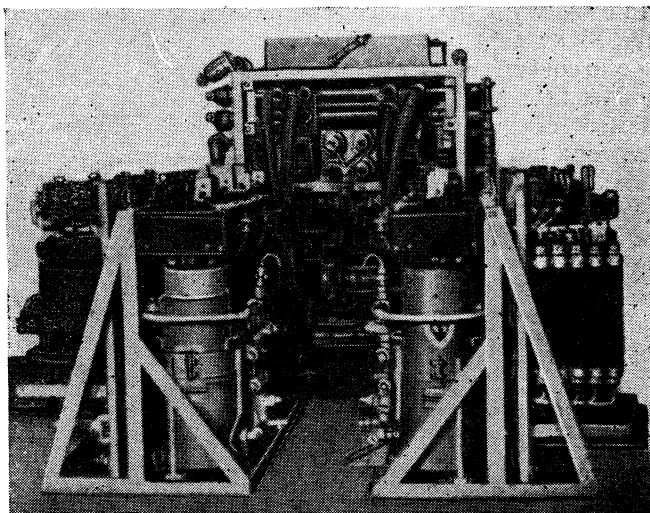
В результате комбинаций трёх вышеуказанных конструктивных принципов был получен лёгкий одноанодный выпрямитель небольшого габарита, названный игнитроном. Для электровозных игни-



Фиг. 6. Осциллограмма испытания трансформатора импульсным напряжением:

1 и 2 — опытные кривые; 3 — проверочная кривая

тронов запаянного типа было принято водяное охлаждение вместо воздушного вследствие его большей эффективности. Водяное охлаждение исключает возможность появления перегретых точек и обеспечивает хороший отвод тепла при перегрузках, позволяет значительно уменьшить размеры выпрямителей при равной мощности, а также поддерживать небольшое и почти постоянное давление ртутных паров, что создаёт надёжный внутренний режим вентилей при резких перегрузках. Игнитронные выпрямители закрытого типа SET изготовлены во Франции фирмой Шнейдер-Вестингауз. Эти вентили имеют диаметр 20 см (8") аналогично вентилям фирмы Вес-



Фиг. 7. Общий вид агрегата выпрямителя с 4 группами игнитронов и блоком жидкостного охлаждения

тингауз такого же размера, с которыми они взаимозаменяемы; вес каждой трубки составляет всего 36 кг, что позволяет перемещать вентиль вручную. Весь комплект, включая 4 блока выпрямителей с двумя вентилями в каждом, со всем вспомогательным оборудованием для возбуждения и охлаждения, агрегатом водяного охлаждения, радиаторами и соединительными трубами между всеми элементами, весит менее 1 800 кг, что составляет всего 4,8% от веса электрического оборудования электровоза. Следовательно, неправильно говорить, что на электровозе с выпрямителями устанавливается трёхкратная мощность; в расчёте на 1 *квт* комплекта оборудования игнитронного выпрямителя приходится в 7 раз меньший вес, чем на 1 *квт* установленной мощности наиболее лёгких тяговых двигателей (5 кг на 1 *квт* или 3,6 кг на 1 л. с.).

Игнитроны весьма свободно размещаются на электровозе; общий объём игнитронного выпрямителя составляет всего  $3 \text{ м}^3$ \* при общем объёме, обычно предоставляемом для аппаратуры электровоза с рамным кузовом такой же длины, —  $49 \text{ м}^3$ . В плане игнитронные площадь менее  $3 \text{ м}^2$ , следовательно, общая высота агрегата игнитронного выпрямителя около  $1 \text{ м}$ .

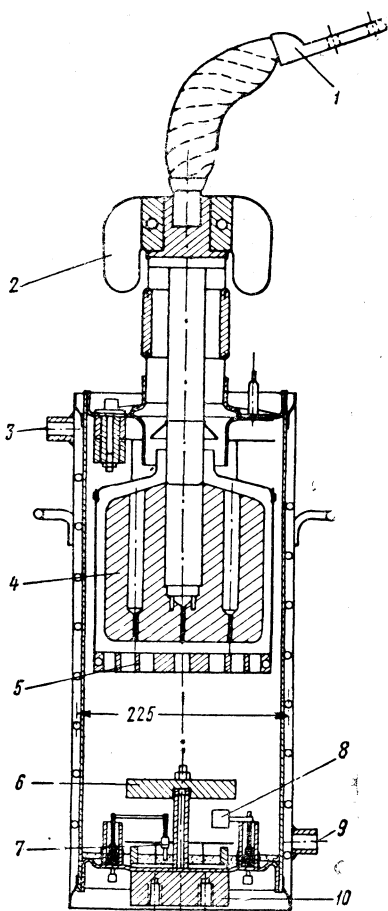
Разрез игнитрона показан на фиг. 8.

**Возбуждение игнитронов.** Для возбуждения игнитронов применяется достаточно простая статическая аппаратура.

Эмиссия катода, обусловленная действием электрода зажигания и возникающей при этом дугой, закорачивающей часть игнйтатора в момент зажигания, требует коротких импульсов, от 10 до 100 мксек, с точной фазой зажигания и с пиком тока около  $30 \text{ а}$  при малом среднем расходе энергии. Для получения необходимых импульсов в цепь тока включён конденсатор для накопления энергии, передаваемой игнйтатору по цепи, которая выполняет функцию контактора, для подвода тока в нужный момент, и функцию выпрямителя для предупреждения появления обратного напряжения на электроде зажигания. Функция контактора обеспечивается насыщенным дросселем с сердечником из гайперсила, имеющим кривую намагничивания с резко выраженным коленом, точка перегиба которой может регулироваться по фазе при помощи другого небольшого регулируемого дросселя, управляемого поляризованной обмоткой постоянного тока, питающейся от цепи управления напряжением  $72 \text{ в}$ .

Конденсатор разряжается в тот момент, когда его напряжение становится равным напряжению, вызывающему насыщение дросселя;

\* Сюда так же, как и в предыдущих сравнениях, включается оборудование системы охлаждения.



Фиг. 8. Разрез игнитрона SW типа ET:

1—анодный ввод; 2—охлаждающие рёбра анода; 3—выход воды; 4—анод; 5—сетка; 6—экран; 7—игнйтёр; 8—вспомогательный анод; 9—вход воды; 10—катодный ввод

для лучшего использования переменного тока питания разряды конденсатора при каждом полупериоде используются последовательно для двух игнитронных вентилях, аноды которых имеют противоположные фазы; правильная полярность разрядов, посылаемых в цепь каждого игнйтора, обеспечивается при помощи сухих селеновых выпрямителей.

Следовательно, в цепях возбуждения имеются лишь чисто статические элементы, притом стандартного исполнения: трансформаторы, сопротивления, конденсаторы и сухие выпрямители.

**Характеристики нагрузки игнитронов.** Размеры игнитронного вентиля зависят от многих факторов. Одни из них чисто физические, другие не имеют математических обоснований, вследствие чего получение необходимых характеристик определяется в большей степени систематическими испытаниями, чем расчётами.

Игнитроны типа SET для электровозов, характеристики которых отработаны всесторонними испытаниями, подверглись разнообразным исследованиям с точки зрения возможности их установки на подвижном составе.

Конструкция их вполне отвечает предъявляемым к ним специфическим требованиям, связанным с указанной областью применения:

а) катоды с лёгкими экранами для ограничения смещения ртути при колебаниях подвижного состава;

б) деионизирующая сетка с большими отверстиями, не играющая роли управляющей или запирающей, но ускоряющая улавливание ионов и позволяющая сблизить анод с катодом, т. е. повысить эффективность работы вентиля, не снижая в то же время его к. п. д.;

в) вспомогательный анод с сеткой, способствующий возникновению дуги в начале периода токопрохождения при небольшом напряжении или малой нагрузке, например, во время движения электроваза резервом. Эти два элемента простой конструкции питаются переменным током в фазе с главным анодом и, следовательно, без дополнительного усложнения схемы.

Проектные данные мощности двух игнитронных вентилях SET, соединённых с одним тяговым двигателем в режиме двухполупериодного выпрямления при угле регулирования, равном  $0^\circ$ , таковы:

Длительный режим 640 *квт.*

Часовой режим 702 *квт.*

Минутная перегрузка 876 *квт.*

Приёмные испытания дали следующие результаты:

Длительный режим 640 *квт.*

Часовой режим 775 *квт.*

10-минутный режим 775 *квт.*

Минутная перегрузка 1 000 *квт.*

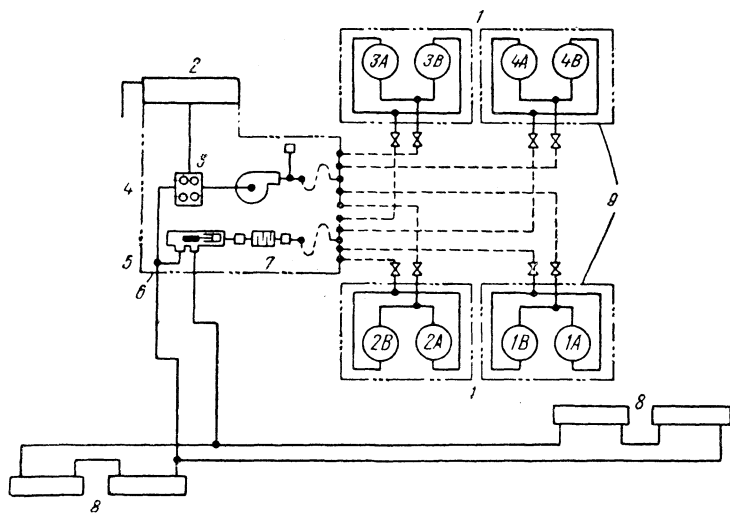
Мощность вентилях в режиме перегрузки превосходит обычную перегрузочную мощность тяговых двигателей; вследствие этого между нормальным режимом работы и случайными перегрузками сохраняется достаточный резерв, наличие которого подтверждается достигаемыми нагрузками.

Эти характеристики в сочетании с характеристиками тяговых двигателей, о которых будет сказано ниже, позволили установить весьма простые правила управления поездом:

1) при длительном режиме должен поддерживаться ток в пределах от 950 до 1 000 *a* независимо от ходовой ступени, причём необходимое напряжение ступени регулируется при помощи реле;

2) в момент трогания поезда с места допускается ток до 1 500 *a*, который затем поддерживается равным 1 300 *a* в течение 1 мин.

Эти режимы обеспечивают достаточный запас для пуска любого тяжёлого поезда на подъёме; такой пуск является для описывае-



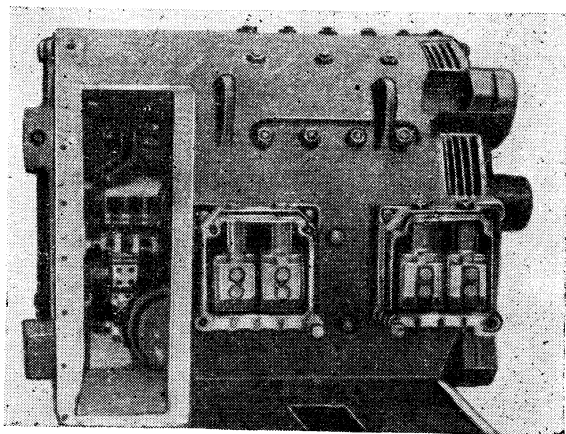
Фиг. 9. Схема охлаждения выпрямителей:

1 — игнитроны; 2 — расширитель; 3 — насос; 4 — подогреватель; 5 — термостатический вентиль; 6 — блок водяного охлаждения; 7 — фильтр; 8 — охладители; 9 — блок игнитронов

мых электровозов не рекордом, а повседневной работой, выполняемой в любое время.

**Система охлаждения игнитронов.** Как уже указывалось выше, игнитроны охлаждаются водой, протекающей через радиаторы, обдуваемые потоком воздуха, который затем поступает для охлаждения тяговых двигателей. При этом получается теплообменник с большой поверхностью охлаждения и с высоким к. п. д., в котором циркулирует регулируемый поток охлаждающей жидкости, состоящей из воды и этилгликоля с высокой теплопроводностью, подобно применяемой в автотоматриках или тепловозах. Термические свойства воды и её способность движения по трубам небольшого диаметра позволили свести к минимуму объём и вес охлаждающей аппаратуры выпрямителей. Регулирование температуры игнитронных вентилей с точностью до нескольких градусов осуществляется по схеме, представленной на фиг. 9, в которую включается простой обходной термостатический прямодействующий клапан.

При принятой схеме легко поддерживается температура стенок вентиля  $45^{\circ}$ , т. е. достаточно низкая и без горячих или холодных точек, благодаря чему сводится к минимуму число обратных зажигания и разрывов дуги, обычно вызываемых резкими колебаниями температуры или слишком высокой рабочей температурой выпрямителя. Размещение радиатора в струе засасываемого воздуха позволяет без устройства дополнительных вентиляторов легко отводить тепло  $80 \text{ кат}$  потерь при  $45^{\circ}\text{C}$  и при расходе охлаждающего воздуха  $16 \text{ м}^3/\text{сек}$ , который лишь незначительно нагревается. Небольшой насос фирмы Шнейдер-Вестингауз типа NB530 из нержавеющей стали, присоединённый к трёхфазному двигателю мощностью



Фиг. 10. Вид сверху на двигатель SW435

1,5 л. с., служит для принудительной циркуляции 150 л воды в минуту при давлении, равном 10 м вод. ст. Небольшой двигатель постоянного тока мощностью 0,5 л. с. при напряжении 72 в, питаемый током цепи управления от батареи электровоза, приводит в действие двигатель насоса с половинной скоростью вращения во время продолжительных остановок или в случае выхода из строя двигателя трёхфазного тока, к которому насос нормально присоединён.

Агрегат, состоящий из оборудования системы охлаждения, тепловых реле, четырёх нагревателей, применяемых при пуске из холодного состояния и 3-ходового регулирующего вентиля, составляет отдельный блок водяного охлаждения. К нему также относятся, помимо радиаторов, все вентили и изолирующие трубы, соединяющие систему водяного охлаждения с выпрямительным агрегатом; монтаж агрегата допускает лёгкую смену гидравлических устройств (см. фиг. 7). Поток охлаждающей жидкости игнитронов имеет небольшой объём, около 100 л, для всего электровоза; водяное охлаждение не вызывает обычных неудобств, связанных с многочис-

ленными вспомогательными устройствами, занимающими много места и требующими значительных расходов по уходу. На современных электровозах тепловое регулирование выполняется по обычной простой системе, применяемой для дизельных двигателей тепловозов и автомотрис. Поток химически нейтральной воды, циркулирующей в цепях, не содержащих железа, с невысокой температурой в условиях нормального ухода не вызывает опасений в отношении коррозии, засорения и испарения.

**Тяговые двигатели.** 4 тяговых двигателя постоянного тока имеют обычную конструкцию и работают при пульсирующем токе. Они присоединяются с одной стороны параллельно к выпрямителям и с другой — к средней точке вторичной обмотки трансформатора через 4 сглаживающих реактора.

Двигатели имеют опорно-рамную конструкцию, 6 полюсов, последовательное возбуждение и полностью подпрессорены; двигатели не имеют компенсационной обмотки и рассчитаны на нормальное напряжение 675—750 в.

Параллельное соединение приводит к удобному соотношению между током и напряжением, например 800 в и 800 а, что соответствует идеальному двигателю с эквивалентным сопротивлением 1 ом. Однако слишком высокое напряжение нежелательно, так как оно затруднило бы использование максимальной степени ослабления поля, до 55% при пульсирующем токе, без применения компенсационных обмоток. При нормальном режиме электровоза выбран ток 950 — 1 000 а, при котором хорошо согласуются нагрузки игнитронов и тяговых двигателей.

При создании нового двигателя конструкторы не были связаны специальными требованиями, предъявляемыми, например, к однофазным коллекторным двигателям или к двигателям постоянного тока, рассчитанным на питание от напряжения сети.

Учитывая эти обстоятельства, а также необходимость получения мощного и лёгкого двигателя, способного выдержать высокие тепловые нагрузки, соответствующие диапазону возможных перегрузок игнитронов, было решено применить кремний-органическую изоляцию класса F, более теплостойкую, чем изоляция класса B<sub>2</sub>.

Испытания, проведённые при пульсирующем токе с двигателями SW435 согласно правилам CEI, дали весьма благоприятные результаты, которые превзошли ожидания.

Мощность на валу при длительном режиме 675 в и пульсирующем токе при изоляции класса F	840 л. с.
То же при часовом режиме 675 в и пульсирующем токе при изоляции класса F . . . . .	900 л. с.
Ток при длительном режиме . . . . .	1 000 а
Момент на валу при напряжении 675 в . . . . .	690 кгм
То же при напряжении 750 в . . . . .	720 »
Скорость вращения при 100 % поля, 1 000 а, 675 в . . . . .	870 об/мин
То же при 45% ослаблении поля, 1 000 а, 675 в	1 320 »
Максимальная скорость вращения . . . . .	2 740 »

Характеристики силы тяги в функции скорости двигателей представлены на фиг. 11. Применение двигателей с кремний-органической изоляцией даёт по сравнению с обычными двигателями повышение мощности на 10% при длительном режиме и на 15% при часовом. С другой стороны, соотношение между скоростью при максимально ослабленном и полном поле составляет 1,52. Максимальная скорость составляет 120 км/час для 14 электровозов и 140 км/час для 5 первых электровозов ( $B_0$ - $B_0$  от № 12001 до № 12005) с другим передаточным числом.

Электровозы имеют следующую характеристику:

Серия . . . . .	12 001— 12 005	12 006— 12 014
Передаточное число . . . . .	3,84	4,29
Мощность при длительном режиме при 675 в постоянного тока в л. с. . . . .	3 360	3 360
Сила тяги на обode колёс при длительном режиме в т . . . . .	17	19
Скорость при длительном режиме в км/час . . . . .	53	47
Мощность при часовом режиме в л. с. . . . .	3 600	3 600
Сила тяги на обode колёс при часовом режиме в т . . . . .	18,7	20,8
Скорость при часовом режиме в км/час . . . . .	51	46
Нормальная сила тяги на обode колёс при пуске в т . . . . .	24	27
Максимальная сила тяги на обode колёс при пуске в т . . . . .	27,5	30,5
Максимальная скорость в км/час . . . . .	140	120
Максимальная мощность в течение 1 мин. в л. с. . . . .	4 400	4 400

На фиг. 12 показаны кривые силы тяги в функции скорости при полуизношенных бандажах диаметром 1 215 мм для электровозов первой серии, а на фиг. 13 — для электровозов второй серии.

**Конструкция двигателей.** Двигатели SW435 по механической части и способу подвески аналогичны двигателям SW4326, установленным на пассажирском электровозе постоянного тока серии  $B_0$ - $B_0$  9004, тележки которого подобны тележкам описываемого электровоза.

Электрическая часть двигателей SW435 отчасти подобна шести-полусным двигателям фирмы Вестингауз, широко применяемым на тепловозах с электрической передачей.

Двигатель SW435 в рабочем состоянии весит 3 030 кг, что при длительном режиме и напряжении 675 в пульсирующего тока составляет 3,6 кг/л. с.

Удельный вес тяговых двигателей, в расчёте на единицу мощности, если мощность отнести к одинаковой скорости вращения 1 000 об/мин, характеризуется следующими данными:



Тип электровоза	Год изготовления	Удельный вес на единицу мощности в кг/л. с.
$B_0-B_0$ 1 — 80 Париж — Орлеан . .	1925	7,5
2-D-2 5104 — 5120 . . . . .	1936	5,7
$B_0-B_0$ 9004 . . . . .	1952	4,1
$B_0-B_0$ 12001 северо-восточной магистральной . . . . .	1954	3,6

Двигатель имеет следующие конструктивные особенности. При цилиндрическом остова из стального литья с наружным диаметром 980 мм габарит двигателя используется максимально, но в то же время без чрезмерных насыщений благодаря шестиполусному исполнению, которое уменьшает поток на полюс.

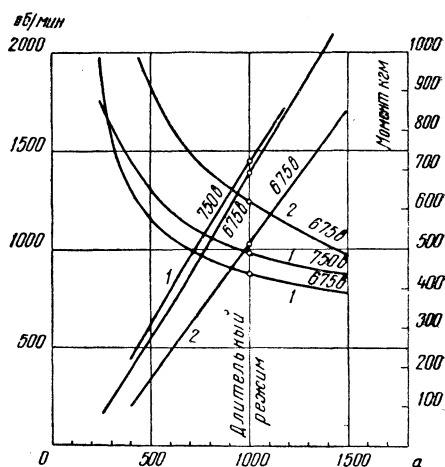
Остов укреплен с одной стороны на картере передачи, а с другой — на продольной балке тележки при помощи регулировочных прокладок, что создает жесткую связь между двигателем и тележкой.

Полюс — обычного типа с катушками из ленточной меди с кремний-органической изоляцией. Катушки, присоединенные к потенциалу, близкому к потенциалу земли, не имеют внешней изоляции в средней части и изолированы только в части крайних витков по распространенному методу SW (фирмы Шнейдер-Вестингауз), при котором достигается хорошее охлаждение обмоточной меди.

Якорь (фиг. 14) имеет общепринятые в конструкциях SW ступенчатые пазы, обеспечивающие наилучшее магнитное использование стали якоря. Секции якоря состоят из медных полос одинакового сечения, расположенных плоско или на ребро в зависимости от места их расположения в пазу, без какого-либо дополнительного усложнения их конструкции.

Преимуществом этой новой конструкции является применение меди одинакового сечения, благодаря чему устраняются затруднения при пайке соединений меди различного сечения со стороны, обратной коллектору, тогда как обычная развальцовка со стороны коллектора обеспечивает легкость укладки проводов в шлицы. Изоляция — кремний-органическая.

Применен коллектор совершенно нового типа, выполненный по образцу фирмы Вестингауз, хорошо испытанный в длительной

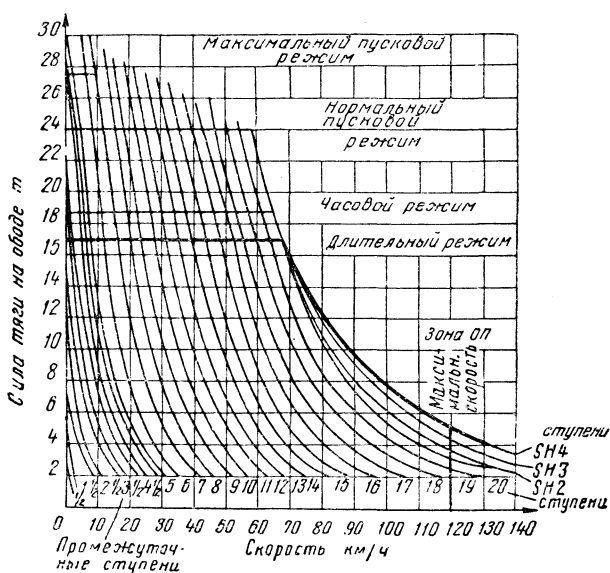


Фиг. 11. Характеристики силы тяги, тока и скорости двигателей SW435:

1 — полного поля; 2 — при ослаблении поля на 50%

эксплуатации. Коллекторные пластины закреплены упруго в виде арки при помощи пружинных колец почти треугольного сечения; упругое кольцо сообщает предварительное натяжение нажимным конусам, образуя упор с равномерным постоянным нажатием вдоль оси. Такая конструкция позволяет безопасно увеличивать окружную скорость коллектора, который может упруго деформироваться при высокой скорости, возвращаясь в своё первоначальное положение без остаточной деформации.

Испытания на старение позволяют проверять эти качества двигателя в процессе производства. Следует отметить, что ввиду воз-



Фиг. 12. Тяговые характеристики электровозов  $B_0-B_0$  12001—12005

можности высокого перегрева коллектора охлаждение двигателя производится со стороны коллектора.

Такая конструкция, благоприятная для охлаждения и поддержания в чистоте коллектора, возможна благодаря малому числу щёток (18 шт.) и, следовательно, незначительному количеству подлежащей удалению угольной пыли.

С другой стороны, относительно интенсивная вентиляция при расходе воздуха  $2 \text{ м}^3/\text{сек}$  и давлении вод. ст. 120 мм с прямым направлением аэродинамического потока хорошо удаляет уголь и пыль без опасности их накопления как на конусе коллектора, так и на противоположной стороне якоря.

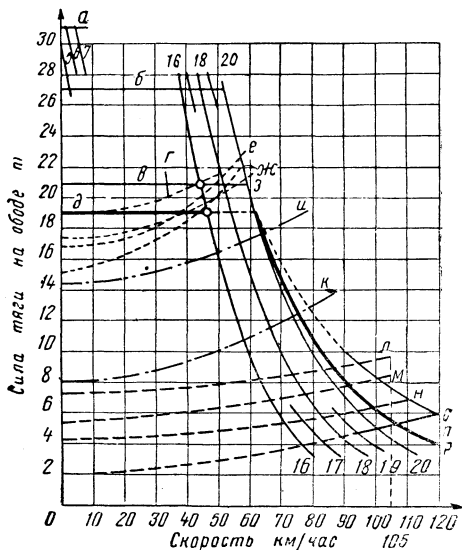
Щёткодержатели имеют спиральные пружины, поддерживающие постоянное давление щёток. Траверса со щёткодержателями может поворачиваться при помощи шестерни, что облегчает осмотр щёток;

наличие бокового люка позволяет производить обточку коллекторов без снятия двигателя. Двигатели имеют роликовые подшипники. Малая шестерня устанавливается без шпонок и демонтируется масляным гидравлическим прессом (система SKF).

**Сглаживающие реакторы.** Электровоз имеет 4 воздушных сглаживающих реактора с открытой магнитной цепью. В каждую цепь двигателя включается по одному реактору. Известно, что характеристика требуемого индуктивного сопротивления при заданном коэффициенте пульсации имеет вид гиперболы.

Фиг. 13. Тяговые характеристики электровозов В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> 12006 и 12014 с различными поездами на подъемах 5 и 10‰:

*а* — максимальный пусковой режим; *б* — нормальный пусковой режим; *в* — часовой режим; *г* — длительный режим; *з* — специальные грузовые поезда весом 1 600 т на 10‰-ном подъеме; *е* — обычные грузовые поезда весом 2 400 т на подъеме 5‰; *ж* — специальные грузовые поезда весом 2 400 т на подъеме 5‰; *з* — обычные грузовые поезда весом 1 400 т на подъеме 10‰; *и* — почтовые поезда весом 1 200 т на подъеме 10‰; *к* — почтовые поезда весом 1 200 т на подъеме 5‰; *л* — пассажирские поезда 600 т на подъеме 10‰; *м* — пассажирские поезда весом 800 т на подъеме 5‰; *н* — пассажирские поезда 600 т на подъеме 5‰; *о* — пассажирские поезда 1 000 т; *п* — ослабление поля на 20-й позиции; *р* — ослабление поля на 18-й позиции



Характеристика практически получаемого индуктивного сопротивления приближается к одной ветви кривой Гаусса.

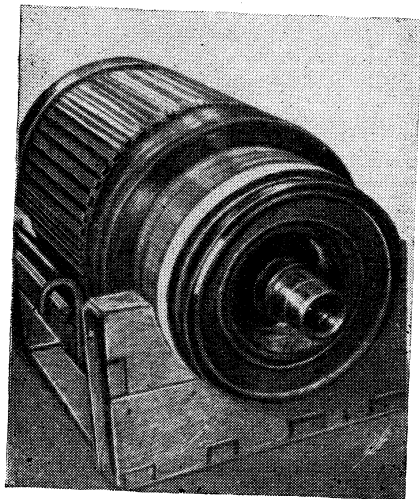
Невозможно, однако, подобрать такую величину индуктивности, которая хорошо отвечала бы всем режимам нагрузки.

Предварительные исследования позволили найти компромисс между избытком индукции при режиме слабых токов и избытком пульсации при сильных токах. При заданной пульсации тока общая индуктивность силовой цепи со вторичной стороны трансформатора может распределяться различным образом в зависимости от соотношения между индуктивностью реактора и двигателя. Для определения рационального соотношения между величинами их индуктивности требуются специальный расчёт и исследования. Если пульсации выпрямленного тока не вызывают значительного нагрева остова (как в случае рассматриваемого двигателя), то желательно, чтобы двигатель был аналогичен двигателю постоянного тока с полным использованием активных материалов; при этом часть индуктивности можно перенести на сглаживающий реактор. Это улучшает

условия коммутации двигателя, в то время как величина пульсации, являющейся функцией общей последовательно включённой индуктивности, не изменяется.

Практически реакторы выполнены с двойной обмоткой на прямом общем сердечнике с использованием взаимной индукции обеих обмоток. Зазор между обмотками используется для принудительного охлаждения с расходом воздуха  $1 \text{ м}^3/\text{сек}$  на реактор.

Монтаж реакторов на электровозе обеспечивает снижение до минимума индуктивного влияния на стенки кожуха несмотря на возвращение потока через воздух. С этой целью применено расположение четырёх реакторов с двойным возвращением потока, с очень большим между-железным пространством, что уменьшает индуктивность отдельной катушки реактора. Хотя индуктивность одного реактора при пульсации 30% и длительном режиме равна  $3,2 \text{ мгн}$ , вес реактора составляет всего 500 кг.



Фиг. 14. Якорь двигателя SW435

**Реверсоры.** Реверсоры, расположенные под капотами рядом с двигателями, присоединены к двигателям, подобно обмоткам возбуждения со стороны земли и, следовательно, имеют низкий потенциал. Переключатели — нового кулачкового типа с двумя позициями и электро-

пневматическим управлением. Переключения осуществляются путём поворота подвижного контакта и автоматической блокировки при помощи блокировочных контакторов.

**Переключатели ослабления поля.** Регулирование поля возбуждения осуществляется четырьмя ступенями шунтирования обмоток главных полюсов двигателей (до 24; 36; 48 и 55%) при помощи трёх кулачковых контакторов в цепи каждого двигателя, действующих на цепи, состоящие из индуктивных шунтов и сопротивлений небольших размеров.

Для переключателя используются обычные контакторы типа JH; при пяти позициях кулачкового вала и небольшом моменте оказалось возможным осуществить ручное управление переключателем с приводом от конца вала. Переключатель ослабления поля помещается на пульте управления на уровне, хорошо доступном для ручного управления. При указанной компоновке контакторов всё оборудование для ослабления поля обмоток возбуждения, включая реакторы и сопротивления, весит всего 900 кг на электровоз.

**Контроллеры и ручное управление.** Расположение большей части аппаратуры вблизи центра симметрии электровоза, а следовательно, и вблизи пульта управления в соответствии с принятой последовательностью управления позволило применить ручное управление и в максимальной степени упростить схему. Для двух типов электровоза В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> фирмы МТЕ: с коллекторными двигателями и с игнитронными выпрямителями, было разработано и выполнено ручное управление одинакового типа. В одном агрегате небольшого веса (130 кг) сгруппированы органы управления и блокировки переключателя ступеней, кулачковые контакторы вспомогательных устройств и реверсоров. Этот весьма компактный агрегат имеет по концам маховики управления со съёмной рукояткой, реверсивную рукоятку позади маховика и педаль управления со съёмным упором. Механизм управления связан с переключателем ступеней. На концах его, под соответствующим маховиком, помещаются замки, позволяющие запира́ть реверсоры в среднем положении, что даёт возможность выключать цепи двигателей на электровозе с коллекторными двигателями, двигающемся в недействующем состоянии, на электровозах, с игнитронами силовая цепь прерывается игнитронами.

Управление переключателем ступеней и контакторами вспомогательных цепей производится от маховика управления при помощи трёх конических шестерён. Соединение между различными аппаратами, начиная от агрегата управления, производится посредством подвижной карданной передачи, приспособляющейся к различным возможным перемещениям, в частности к перемещению верхней части переключателя ступеней, вызываемой упругой подвеской трансформатора. Первые подготовительные ступени (один поворот маховика соответствует одной ступени) позволяют осуществить последовательное включение вспомогательных цепей электровоза. При повороте из нейтральной позиции 00 на позицию А замыкается выключатель; на позиции В включается трёхфазный преобразователь для питания вспомогательных машин и двигателей насосов; на позиции С включается цепь компрессора и на 0 включаются вентиляторы и цепи возбуждения.

Управление этими операциями производится механическим приводом, связанным с кулачковым контроллером, в который входит 6 кулачковых контакторов типа JH для вспомогательных цепей и 10 кулачковых контакторов SW для цепей управления. На указанных четырёх позициях переключатель ступеней работает вхолостую, переключая ступени, не соединённые с трансформатором.

При дальнейшем перемещении рукоятки с позиции 0 на 1-ю и далее до 20-й ступени переключаются рабочие ступени в то время, как кулачковые контакторы вспомогательных цепей остаются в неизменном положении. На электровозе с игнитронами по указанным выше причинам допускается задержка в среднем положении между любыми из 20 соседних ступеней, на половине полного поворота маховика после фиксированной позиции при временном включении

сопротивлений. Фиксация крайних позиций 00 и 20 обеспечивается при помощи кулачковых упоров, которые перемещаются под действием кулачковых шайб, приводимых передачей, подобно зубчатой. При обратном ходе на ступени 0 включается пружинящий упор, препятствующий выключению вспомогательных цепей. Для возвращения на ступень 00, т. е. для полной остановки электровоза, этот упор должен быть освобождён при помощи педали.

Рукоятки реверсоров, полный ход которых соответствует полуобороту вала, связаны с механическими блокировками, препятствующими реверсированию в ходовых положениях главного вала; с другой стороны, защёлка препятствует повороту маховика, если реверсивная рукоятка не переведена в рабочее положение.

Как указывалось выше, управление переключателем ослабления поля осуществляется двумя маховиками, находящимися по обеим сторонам щита управления. Один из маховиков обеспечивает прямое, а второй обратное переключение аппарата. Переключение каждой из четырёх ступеней ослабления поля осуществляется при полном повороте маховика аналогично управлению переключателем ступеней. Переключатель ослабления поля не блокируется механически с переключателем ступеней. Позиции главного переключателя и переключателя ослабления поля отмечаются на индикаторе, имеющем вид барабана с окнами и с двусторонними показаниями любой позиции рукоятки контроллера (фиг. 15).

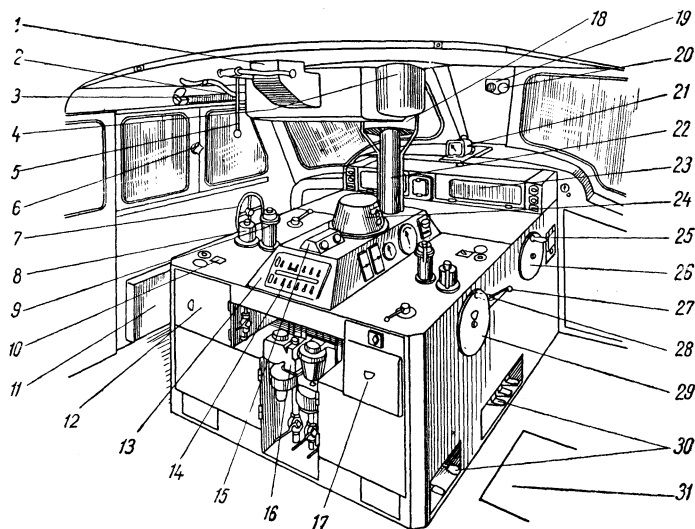
**Вспомогательные цепи.** Помимо кулачковых контакторов, имеется один индивидуальный электропневматический контактор поездного отопления. Его электрический вентиль, так же как и вентили привода реверсора — нового, унифицированного типа, с катушкой, полностью изолированной устойчивой пластмассой «аралдит». Остальные контакторы вспомогательных машин — кулачковые или с электромагнитным управлением стандартного типа.

Все вспомогательные машины электровоза питаются от агрегата, который состоит из: понижающего трансформатора, подключённого к выводу отопления главного трансформатора на напряжение 1 500 в, и преобразователя Арно конструкции фирмы Эрликон на 150 ква, представляющего четырёхполюсный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором и статором с трёхфазной обмоткой на напряжение холостого хода 420 в.

Вспомогательный трансформатор играет роль своего рода амортизатора между главным трансформатором и вспомогательными машинами; общий вес трансформаторов при таком исполнении получается меньшим, чем при размещении вспомогательного трансформатора в корпусе главного, которое не дало бы никаких преимуществ.

Сравнительные исследования показали, что применение вспомогательных машин трёхфазного тока, несмотря на установку специального преобразователя, даёт экономию веса и габаритных размеров пяти вспомогательных двигателей при уменьшении их числа. Вентиляторы, компрессор, масляные и водяные насосы приводятся

в действие трёхфазными двигателями обычного промышленного типа с короткозамкнутым ротором, работающим под напряжением 380 в. Как уже указывалось, вентиляция электровозов была тщательно продумана (фиг. 16). На электровозе имеется лишь две группы мотор-вентиляторов; охлаждение масла трансформатора, воды для охлаждения игнитронов, сглаживающих реакторов и различных сопротивлений обеспечивается теми же вентиляторами, которые применяются и для охлаждения тяговых двигателей; вентиляционные агрегаты аналогичны на обоих типах электровозов



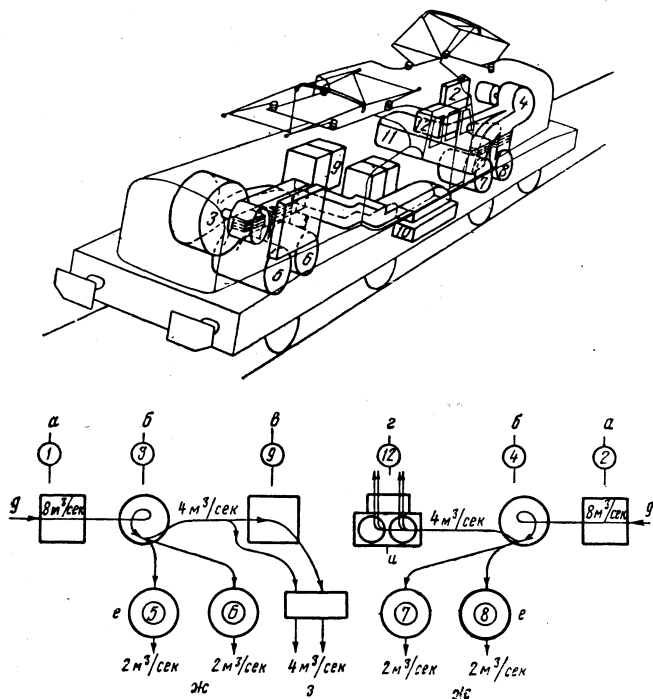
Фиг. 15. Общий вид кабины управления:

1 — разъединитель заземления; 2 — указатель положения главного выключателя; 3 — сигнальный факел; 4 — главный выключатель с резервуаром сжатого воздуха; 5 — рычаг звукового сигнала; 6 — выдвижное окно; 7 — маховик ручного тормоза; 8 — кран автоматического тормоза; 9 — кран прямодействующего тормоза; 10 — кнопка непосредственного отключения главного выключателя; 11 — обогреватель кабины; 12 — вспомогательные контакты; 13 — корпус щита управления; 14 — пульт с выключателями; 15 — сигнальные лампы; 16 — агрегат воздушного тормоза; 17 — подогрев пищи; 18 — трансформатор тока на 25 кв; 19 — сигнальный гудок (сирена); 20 — сигнальный звонок; 21 — скоростемер; 22 — конденсаторный вывод 25 кв; 23 — отверстие для доступа к реле; 24 — указатель положений переключателей ступеней и шунтировки; 25 — выключатель вспомогательного реверсоров; 26 — маховик переключателя шунтировки; 27 — рычаг управления ступеней; 28 — съемная рукоятка маховика; 29 — маховик главного переключателя ступеней; 30 — педали песочницы, блокировка устройства против скольжения колес и отпуска тормозов; 31 — грелка для ног

$V_0-V_0$ . Каждый диффузор вентилятора для удаления пыли снабжён центробежной системой большой мощности, испытанной фирмой Вестингауз на Пеннильванской ж. д. Это устройство установлено также на электровозах других типов. Пуск агрегата Арно производится путём сдвига фаз, подключением сопротивления к выводу 600 в трансформатора вспомогательных нужд.

Контроль за работой вспомогательных машин производится периодической их проверкой, а не только путём контроля за током.

Через несколько секунд после пуска проверяются: расход воздуха вентиляторами, расход воды или масла в насосах, скорость вращения компрессора или агрегата Арно. Схемы вспомогательных цепей весьма просты, а специфические особенности схемы, связанные с установкой выпрямителей, ограничиваются только четырьмя одинаковыми цепями возбуждения игнитронов и цепью регулирования теплового режима работы игнитронов.



Фиг. 16. Общий вид установки и схема вентиляции:

а — охлаждение игнитронов; б — мотор-вентилятор; в — игнитроны; г — сопротивление переключателя ступеней; д — вход воздуха; е — тяговые двигатели; жс — выход воздуха; з — охлаждение трансформатора; и — сглаживающие реакторы;

**Управление и защита.** Цепи управления питаются постоянным током 72 в от буферной батареи, заряжаемой небольшим генератором, приводимым во вращение от группы преобразователя Арно. Схемы цепей управления, разработанные совместно научно-исследовательскими организациями и службой эксплуатации французских железных дорог, весьма просты, так как большая часть операций управления осуществляется механически, причём аппараты обоих типов электровозов В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> и С<sub>0</sub>-С<sub>0</sub> имеют большое количество унифицированных элементов. Все цепи управления (за исключением обычных цепей освещения), спроектированные для частного случая электровозов с игнитронами, разделяются на



три группы, состоящие из различных элементов при минимальном числе плавких предохранителей:

1) цепь защиты, действующей на главный выключатель 25 кВ, в которую входят контакты нормальных реле перегрузки прямого действия, а также защита вспомогательных машин с выдержкой времени;

2) сигнализация работы выключателя, а также главного разъединителя высоковольтной цепи, зависящая непосредственно от длительности нагрузки и косвенно от температуры выпрямителя;

3) цепь заряда батареи и её вспомогательного оборудования.

Все применяемые реле (фиг. 17) — нового, унифицированного типа, специально приспособленные для электровозов 50 гц с игнитронами. Эти реле, размещённые в кожухах из плексигласа, не имеют осей, а имеют лишь гибкие пластины для подвижных частей; все они имеют одинаковые магнитные цепи и отличаются друг от друга типом катушек и установкой блокировочных устройств в зависимости от того, в какую цепь они включены.

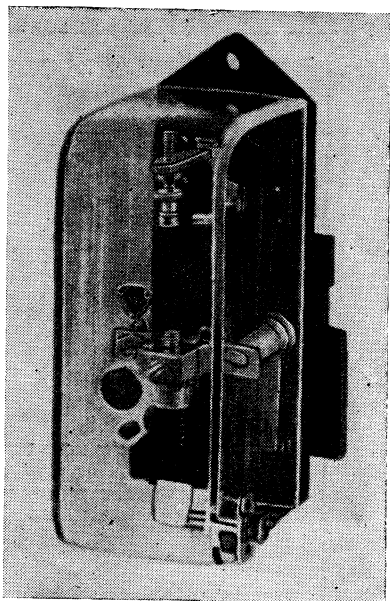
Для защиты от перегрузки каждой группы силовой цепи, состоящей из игнитронов и двигателей, применяются реле без катушек, смонтированные непосредственно на шинах, через которые проходит силовой ток.

Общая защита от заземления, осуществляемая одним из этих реле на напряжение 72 в, получающим питание в случае нарушений в силовых цепях или в цепях вспомогательных машин, устроена так, что электровоз может двигаться в случае одного заземления.

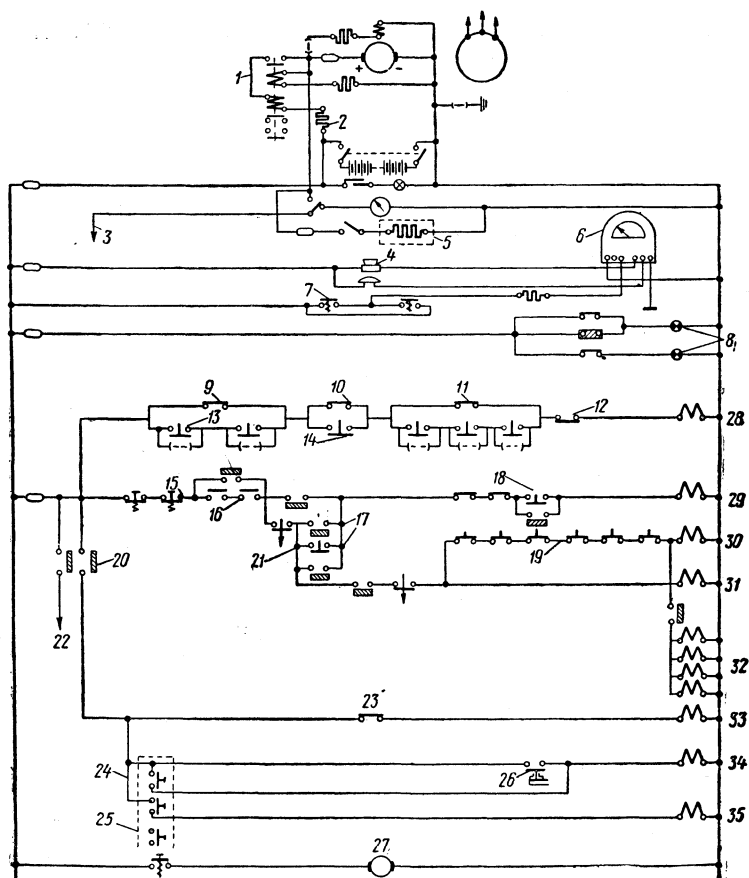
Все реле непосредственного действия и промежуточные смонтированы на щите управления; они хорошо видны и вполне доступны для осмотра. Прочие элементы цепей управления и некоторые вспомогательные устройства также сгруппированы на щитах и доступ к ним производится непосредственно из кабины управления.

Блокировки безопасности для защиты персонала имеются лишь на щитах, закрывающих доступ к аппаратам, находящимся под высоким напряжением; аппараты на напряжение 380 и 220 в защищены только сеткой или перегородками из плексигласа.

Схема управления электровоза  $B_0-B_0$  с игнитронами и схема щита возбуждения показаны на фиг. 18 и 19.



Фиг. 17. Модель стандартного реле SW



Фиг. 18. Схема управления электровоза В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> с игнитронным выпрямителем:

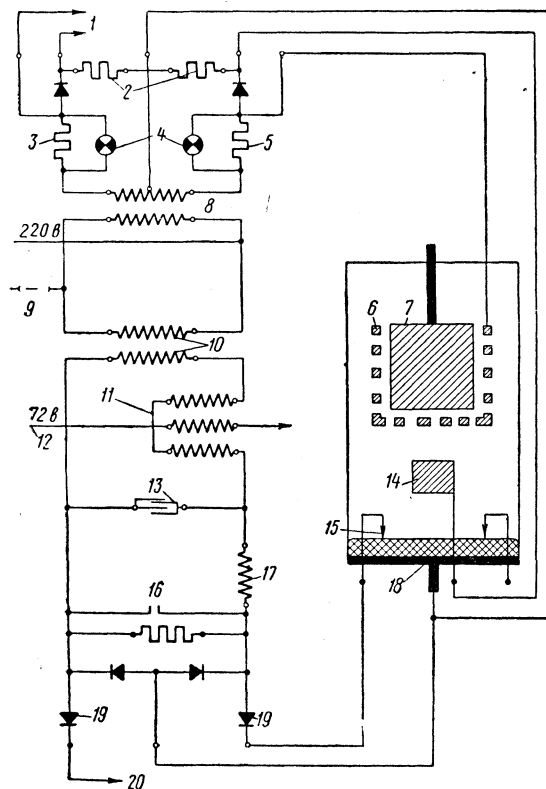
1 — переключатель батарей; 2 — нагрузочное сопротивление; 3 — к цепи освещения; 4 — сигнал; 5 — отопление; 6 — speedометр; 7 — кнопка наблюдения; 8 — сигнальные лампы; 9 — блокировка кулачкового вала; 10 — блокировка контактора мотор-компрессора; 11 — блокировка реле напряжения; 12 — блокировка переключателя ступеней; 13 — вентиляционные реле; 14 — реле вспомогательных цепей; 15 — кнопка главного выключателя; 16 — блокировка пантографа; 17 — блокировка кулачкового вала; 18 и 19 — реле защиты; 20 — блокировка кулачкового вала; 21 — блокировка реле напряжения; 22 — к цепи зажигания игнитронов; 23 — термостат водоподогревателя; 24 — кнопка прямого включения мотор-компрессора; 25 — кнопка отопления поезда; 26 — регулятор давления; 27 — вспомогательный компрессор; 28 — реле времени для защиты вспомогательного оборудования; 29 — вспомогательное реле времени; 30 — удерживающая катушка главного выключателя; 31 — включающая катушка главного выключателя; 32 — катушки контакторов в цепи короткого замыкания игнитронов; 33 — катушка контактора водоподогревателя; 34 — катушка контактора мотор-компрессора; 35 — катушка контактора отопления

### Первые результаты эксплуатации. Монтаж и пуск в эксплуатацию

Во время монтажа электровоза все элементы оборудования электрической части были взвешены. Основная аппаратура, относи-

тельно веса которой публиковались различные цифры, имеет следующие значения:

Трансформатор комплектно с переключателем напряжения, насосом, охладителем и соединениями	12,3 т
Игнитронный выпрямитель с системой охлаждения	1,8 »
Тяговые двигатели . . . . .	12,1 »
Сглаживающие реакторы . . . . .	2,0 »
Вспомогательное оборудование, аппаратура, соединительная проводка и детали монтажа . . . . .	9,3 »
Всё электрическое оборудование (в рабочем состоянии) . . . . .	37,5 »



Фиг. 19. Схема щита возбуждения и соединений с трубкой игнитрона:

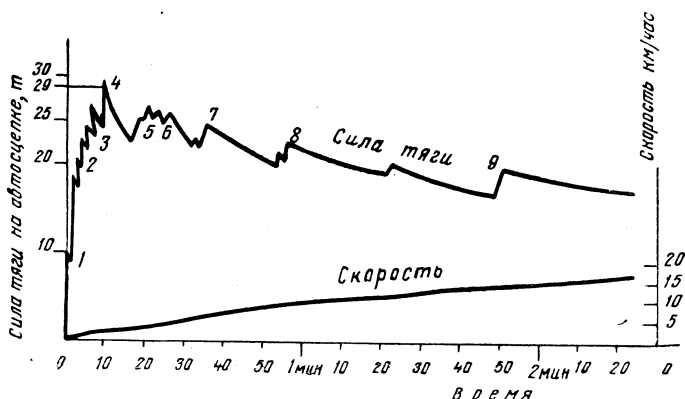
1—к сетке и вспомогательному аноду трубки А; 2—сухие выпрямители; 3—сопротивление вспомогательного анода; 4—сигнальные лампы; 5—сопротивление вспомогательного анода; 6—сетка; 7—главный анод; 8—трансформатор сеток; 9—рубильник для отключения игнитронов; 10—трансформатор игнайтеров (поджигателей); 11—реактивное сопротивление (реактанс) смещения фаз; 12—постоянный ток 72 в; 13—конденсаторы; 14—вспомогательный анод; 15—игнайтер; 16—контактор короткого замыкания поджигателей; 17—насыщенное реактивное сопротивление; 18—катод; 19—сухие выпрямители, 20—к поджигателю трубки А

Следует отметить, что вес агрегата выпрямителей включает вес всего дополнительного оборудования, необходимого для их работы.

Результаты эксплуатации двух игнитронных электровозов первой серии следующие.

Электровоз В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> 12001, переданный в эксплуатацию 17 июля 1954 г., совершил к 17 декабря 1954 г., т. е. через 5 месяцев эксплуатации пробег более 100 000 км, а через 7 месяцев пробег его достиг 150 000 км. За этот период среднесуточный пробег составлял 670 км. Работа в ткм брутто превысила 65 млн. ткм за 134 дня, включая время периодических осмотров, что составляет в среднем 485 000 ткм брутто в сутки. Ежемесячные пробеги достигли 24500 км, а вес перевезённых грузов 20 млн. ткм брутто.

Следует отметить, что электровозы В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> 12000 специально запроектированы для смешанной службы, начиная от обычных гру-



Фиг. 20. Диаграмма пуска грузового поезда весом 1 400 т на подъёме 9‰ с кривыми

зовых поездов весом 1 400 т и кончая скорыми пассажирскими поездами весом 600 т; средний вес поездов составил около 750 т за первые 5 месяцев эксплуатации.

Электровоз В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> 12002, пущенный в эксплуатацию 23 октября 1954 г., работает в одном графике с первым электровозом. Эти электровозы водят поезда по нормальному графику с самого начала их эксплуатации и, за исключением первых дней наладки и проверки первого электровоза, они практически не имели простоев, если не считать нормального периодического осмотра, во время которого производилась очистка электрической аппаратуры и деталей.

Эти цифры приобретают ещё большее значение, если учесть относительно малую длину участка, на котором работали электровозы, — 133 км от Валенсьенна до Могона и тяжёлый профиль линии с подъёмами 10 и 11,5‰ и с кривыми, совпадающими с подъёмами. С другой стороны, многие пробеги совершались при весьма различных условиях: в связи с проверкой работы электровозов, инструктированием персонала, при опытных поездках и при поездках с представителями. Предусмотренные техническими условиями режимы ра-

боты обоих электровозов типа В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> характеризовались следующими данными:

а) ведение обычного грузового поезда весом 750 *т* со скоростью 53 *км/час* на подъёмах 10%<sub>0</sub> при кривых радиусом 500 *м*;

б) ведение с той же скоростью поездов весом 900 и 1 800 *т* на подъёмах в 8 и 5%<sub>0</sub> при кривых радиусом 800 *м*;

в) ведение со скоростью 105 *км/час* пассажирского поезда весом 900 *т* на площадке с кривыми радиусом 1 000 *м*.

Проведённые исследования показали, что при небольшом изменении характеристик можно вдвое повысить производительность игнитронных электровозов, с одной стороны, путём увеличения скорости до 120 *км/час* вместо 105 *км/час* и доведения её до максимального значения 140 *км/час* и, с другой стороны, путём увеличения силы тяги при пуске и ведении тяжёлых грузовых поездов.

Характеристики, полученные при испытаниях, подтвердили теоретические расчёты. В частности, намеченный вес поездов был значительно превышен. Так, электровозы серии 12000 вводят по нормальному графику грузовые поезда весом 1 400 *т*, а средний вес поездов при смешанной работе за последние месяцы колебался между 800 и 900 *т* и достигал даже 1 420 *т*<sup>1</sup>.

Для проверки способности электровоза к реализации максимального сцепления, а также определения перегрузок при пуске, на которые можно рассчитывать при параллельном соединении двигателей постоянного тока, питающихся от игнитронного выпрямителя, были проведены опыты с троганием грузовых поездов при возрастающих весах. Во время этих пусков, динамометрическая запись которых представлена на фиг. 20, часто удавалось зарегистрировать нормальное тяговое усилие на крюке, равное 25—27 *т*, которое при установившемся режиме достигало 29 *т*, в то время как сила тяги на ободе колеса достигала 30 *т*. Помимо этого исключительного коэффициента сцепления, равного 35,7%, часто наблюдались коэффициенты сцепления 33 и 35%. Эти цифры особенно показательны, поскольку электровозы имеют максимальную скорость 140 *км/час* и не рассчитаны специально для вождения тяжёлых грузовых поездов на подъёме<sup>2</sup>.

С другой стороны, следует указать, что электровоз 12001 может также трогать на подъёме 10%<sub>00</sub> пассажирский поезд весом 800 *т* и достигать скорости 95 *км/час* на вершине подъёма Пуарье (длина подъёма 7 *км*), развивая на ободе колёс мощность 4 500 л. с. Во время специальных испытаний скорость электровоза была доведена до 145 *км/час*.

При определении расхода энергии для движения с грузовыми поездами, составленными из вагонов различных типов, получены следующие результаты:

---

Прим. редактора:

<sup>1</sup> Дальнейший опыт эксплуатации показал возможность повышения весовой нормы до 1 600—1 700 *т*.

<sup>2</sup> Позднее было достигнуто тяговое усилие, равное 41 *т*.

Вес поездов в <i>т</i>	Подвижной состав	Расход энергии в <i>вт-ч/ткм</i> брутто
1 400	Обычный	13,6
«	Специальный	12,0
1 000	Обычный	14,7
«	Специальный	13,0

Следует отметить, что эти цифры были получены при испытаниях, проведённых на участке существующей линии в условиях, неблагоприятных для электровозов без рекуперативного торможения при движении тяжёлых поездов с небольшой скоростью, при передаточном числе электровозов, не рассчитанном на такие веса поездов.

В заключение можно отметить, что оба игнитронных электровоза Северо-Восточного района Франции после нескольких месяцев эксплуатации вполне оправдали возлагавшиеся на них надежды. Их способность водить тяжёлые поезда при больших пробегах вполне доказана. Они могут обслуживать любой вид перевозок без особой специализации даже на линиях с тяжёлым профилем. Эти электровозы доказали свою эффективность в широкой области работы: их сила тяги значительно больше предполагаемой для электровозов однофазного тока 50 *гц* и других систем электрической тяги.

1. *Revue Generale des Chemins de Fer.* 1951, XI, с. 657. Н. F. Brown. Развитие игнитронов в США.

2. *Génie Civil*, 1951, 15/X.

3. *Ingenieurs et Techniciens*, № 39, 1951, XII С. h. Caussin. Игнитроны. Выполнение и эксплуатация.

4. *Electricité* (приложение № 195-бис). 1953, стр. 85, 104—114.

5. *Bul. Scientifique de l'AIM*, № 11, 1953, XI, стр. 823. Ch. Caussin. Игнитроны и их применение.

7. *Génie Civil*, № 9, 1954, 1/V.

6. *Bul. Assn. Int. Congres des Chemins de Fer.* 1954 г. № 4, июль. Электрическая тяга на железных дорогах. Ch. Caussin. Игнитроны в электрической тяге.

8. *Revue Generale des Chemins de Fer.* 1954, X, с. 528.

ГЕЙДМАН (M. HEIDMANN)  
Технический директор электротехнических  
заводов фирмы Жемон

## ЭЛЕКТРОВОЗЫ $B_0$ - $B_0$ С ОДНОФАЗНЫМИ КОЛЛЕКТОРНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

*Revue Generale des Chemins de Fer. 1955, № 3, март*

Проблема тяги на однофазном токе промышленной частоты сводится в основном к вопросу о типе тягового двигателя.

Общеизвестные трудности, связанные с применением коллекторных двигателей, возрастают по мере увеличения частоты питающего тока, что является одной из их характерных особенностей.

Этот вопрос подробно рассмотрен в обстоятельных докладах Гарро и Нувиона.

Указанные трудности возрастают с повышением мощности и с расширением диапазона регулирования скорости. Они вызваны главным образом условиями работы щёток при трогании с места и при малых скоростях движения, относительно большим током и большим числом полюсов, которое приводит к уменьшению расстояний между осями щёткодержателей. Напряжение двигателя ограничивается условиями работы при больших скоростях.

От удачного решения указанных вопросов зависят показатели электровоза, оборудованного коллекторными двигателями.

Первая часть настоящей статьи посвящена двигателям, построенным для 24 электровозов  $B_0$ - $B_0$ , заказанных Французским Национальным Обществом Железных Дорог для двух первых очередей электрификации северо-восточных линий (фиг. 1).

Во второй части описано электрическое оборудование, которое было специально спроектировано для условий работы при промышленной частоте и в то же время увязано с оборудованием электровозов других типов с целью унификации.

Требования, предъявленные французскими железными дорогами, заключались в следующем.

При напряжении в сети от 22 500 до 27 500 в электровозы должны выполнять следующую работу:

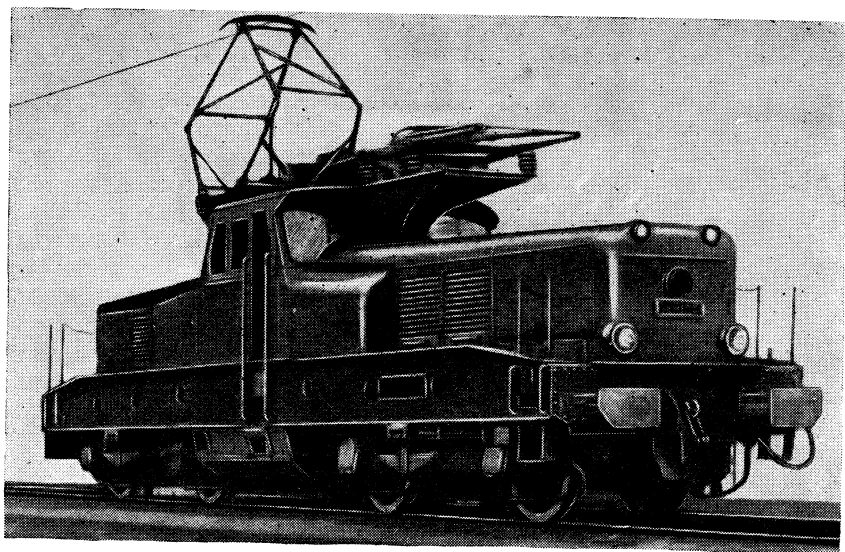
а) трогание и длительное движение со скоростью 53 км/час обыкновенных грузовых поездов весом 750 т на подъёмах 10‰ с кривыми радиусом 500 м;

б) трогание и длительное движение со скоростью 53 км/час обыкновенных грузовых поездов весом 900 т на подъёмах 8‰ с кривыми радиусом 800 м;

в) трогание и длительное движение со скоростью 53 км/час обыкновенных грузовых поездов весом 1 300 т на подъёмах 5‰ с кривыми радиусом 700 м;

г) длительное движение со скоростью 105 км/час обыкновенных пассажирских поездов весом 900 т на площадке с кривыми радиусом 1 000 м.

Для выполнения этих требований двигатели и устройство для шунтирования обмоток вспомогательных полюсов должны обеспечивать возможность трогания поезда при силе тяги 24,5 т с ускорением 3 см/сек<sup>2</sup> без риска повреждения коллекторов и щёток.



Фиг. 1. Общий вид электровоза В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> 13000

Кроме того, двигатель должен выдерживать в заторможенном состоянии без повреждения коллектора и щёток номинальный ток в течение 30 сек. и в течение 10 сек. ток в 1,5 раза больше номинального.

С другой стороны, электровоз должен длительно работать с пониженной скоростью 10, 20 и 30 км/час.

Четыре двигателя должны быть соединены постоянно параллельно для уменьшения возможности боксования и обеспечивать расположение гибкой подвески в расчёте на установку в раме тележки, приспособленной к новой передаче системы Жакмена.

Эти тяжёлые условия, предъявленные к первым серийным электровозам промышленной частоты, построенным для французских железных дорог, значительно превосходили обычные требования, предъявляемые к двигателям пониженной частоты — 16<sup>2</sup>/3 гц и 25 гц. При этом следует отметить, что мощность двигателя близка



к максимальной мощности лучших двигателей переменного тока  $16^{2/3}$  *гц*. Эти требования вызвали необходимость применения специальных устройств, отразившихся на конструкции двигателей.

Двигатель, предназначенный для электровоза В<sub>0</sub>-В<sub>0</sub> смешанной службы, должен обеспечивать при трогании с места реализацию усилия 24,5 *т* при скорости хода до 53 *км/час* — 13,5 *т* и при скорости до 105 *км/час* — 5,75 *т*. Для этого при 50% максимальной скорости требовалась мощность на валу 680 *л. с.*, что при скорости, равной 70% от максимальной (для которой обычно нормируется мощность однофазного двигателя), соответствует мощности 950 *л. с.*

Полученные результаты были достигнуты различными путями; решающее значение имеют повышение удельной мощности и снижение тока, улучшающие все характеристики двигателя.

### Описание двигателей

В описании двигателей указаны различные конструктивные особенности, из которых некоторые свойственны современным двигателям, а другие оригинальные особенности вызваны чрезвычайно тяжёлыми условиями работы двигателей.

**Статор.** Корпус статора выполнен из стальных листов, сваренных электродуговой сваркой.

**Магнитная цепь.** Магнитная цепь состоит из цельных листов, имеющих небольшие потери и высокую магнитную проницаемость. Эти листы, изолированные бакелитовым лаком, штампуются на прессе, в результате чего получают главные и вспомогательные полюсы, пазы, необходимые для размещения обмоток, и вентиляционные каналы. Они в корпусе закреплены при помощи стального клина. Две плиты соответствующей формы сжимают их в аксиальном направлении.

**Обмотка.** Число параллельных цепей обмотки статора равно числу полюсов.

Катушки обмотки возбуждения, проводники которой имеют стеклянную изоляцию, выполнены так, что широкая их часть может быть без труда введена в пазы. После этого при помощи особого устройства концы обмотки затягиваются и витки прижимаются к поверхности полюсов.

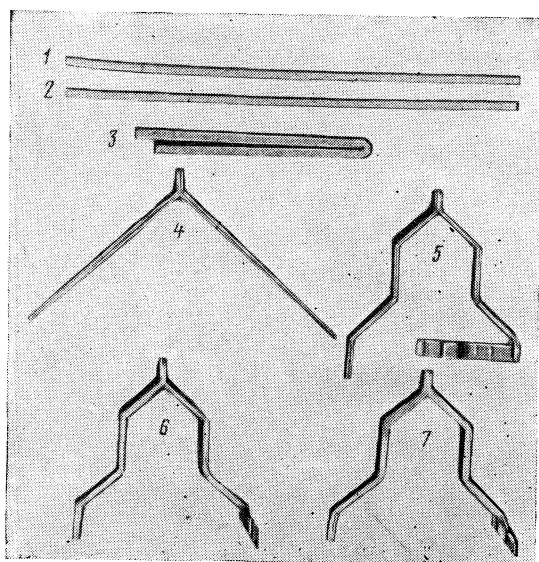
Катушки обмоток добавочных полюсов подвергаются особой пропитке, обеспечивающей их однородность и жёсткость. Между катушками возбуждения и катушками дополнительных полюсов предусмотрен вентиляционный канал.

Катушки укрепляются при помощи U-образных клиньев, покрытых проклеенной стеклянной сеткой.

**Ротор.** **Магнитная цепь.** Магнитная цепь состоит из колец изолированной листовой стали, отштампованных аналогично кольцам статора. Под пазами находится ряд круглых каналов для циркуляции охлаждающего воздуха. Листы собраны на втулке, специально запроектированной в соответствии с принятой конструкцией.

**Обмотка.** Обмотка рассчитана таким образом, чтобы в процессе коммутации коэффициенты самоиндукции различных секций были по возможности равны друг другу. Эти коэффициенты изменяются в зависимости от числа и расположения проводников различных секций в пазах.

**Соединительные сопротивления.** Секции якорной обмотки связаны коллекторными пластинами при помощи соединений из металла высокого сопротивления, смонтированных совершенно новым способом (фиг. 2). Они уменьшают токи короткого



Фиг. 2. Изготовление соединительного сопротивления:

1 — нарезка и рихтовка медной полосы; 2 — насечка зарубок на полосе; 3 — загиб полосы; 4 — придание V-образной формы; 5 — придание окончательной формы; 6 — припайка соединений; 7 — изоляция и бандажировка

замыкания, вызванные статическим напряжением, и позволяют повысить напряжение двигателя. Эти соединительные сопротивления, практически потерявшие смысл в современных двигателях пониженной частоты, вновь приобретают своё значение в двигателях 50 гц. Действительно, в этом случае максимальные напряжения между коллекторными пластинами при их применении могут быть увеличены более чем на 50% без какого-либо риска появления кругового огня, так как при прочих равных условиях поток на полюс получается значительно меньшим.

Их применение даёт различные преимущества:

а) уменьшение токов короткого замыкания значительно снижает

нагрев щёток при неподвижных двигателях и улучшает их работу во время разгона поезда;

б) температурный коэффициент щёток, который является отрицательным, отчасти компенсируется, и влияние токов, вызванных трансформаторной э. д. с., на главный поток значительно уменьшается, благодаря чему момент при остановке не понижается;

в) повышение статического напряжения между коллекторными пластинами позволяет увеличить магнитный поток, напряжение двигателя и его мощность.

Увеличение потерь, вызываемое прохождением нормального тока через эти соединения, отчасти компенсируется уменьшением потерь в контакте и на трение щёток о коллектор, так как трущаяся поверхность щёток уменьшается пропорционально номинальной силе тока.

Размещение указанных соединений выполнено с учётом следующих основных условий:

а) стремления удалить их от всех магнитных цепей с целью сведения к минимуму самоиндукции и обеспечения правильного распределения реактивных напряжений различных витков обмотки якоря. Благодаря этому достигается правильная коммутация на всех пластинах;

б) обеспечения непосредственного контакта их с охлаждающим воздухом, чтобы не допускать излишней тепловой перегрузки якоря;

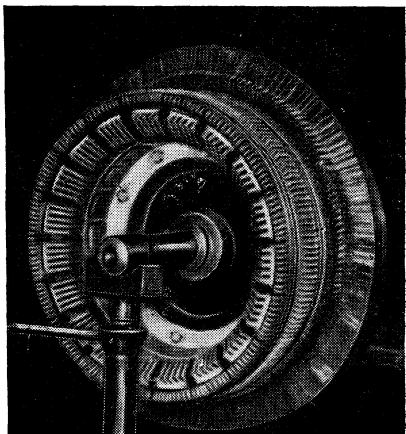
в) объединения их в общий блок с коллектором, который должен монтироваться нормальным способом (фиг. 3).

Эти результаты были достигнуты расположением сопротивлений внутри втулки якоря, форма которой была приспособлена для этой цели.

Блок коллектора с соединениями монтируется на валу и запрессовывается обычным образом; затем медные выводы припаиваются к концам секций обмотки якоря.

Все эти операции производятся совершенно так же, как и при монтаже обычного коллектора. Бандажирование головок катушек обмоток ротора при помощи немагнитной проволоки предупреждает возможность деформации обмотки.

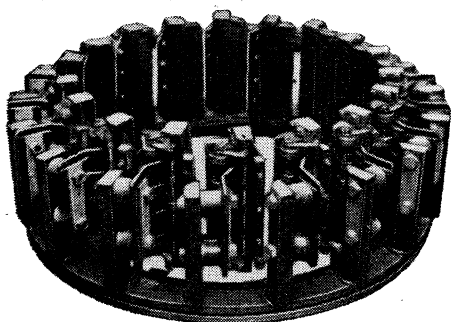
**Щёткодержатели и щётки.** Токи короткого замыкания. Токи короткого замыкания под щётками тем меньше, чем больше сопротивление коммутационной секции. Это сопротивление повышается не только за счёт применения медно-никелевых сопро-



Фиг. 3. Соединительные сопротивления, смонтированные на втулке

тивлений, но и благодаря применению расслоённых щёток и щёткодержателей с изолированными поверхностями.

**Распределение давления.** Щёткодержатели оборудованы устройствами, обеспечивающими выравнивание усилий, действующих на отдельные щётки одного ряда (фиг. 4). Каждое из этих устройств состоит из круглого металлического стержня, соединяющего между собой спиральные пружины щёткодержателей. В результате применения этих устройств достигается равномерный износ щёток, что значительно облегчает текущий ремонт.



Фиг. 4. Устройство для распределения давления на щётки

**Регулирование коммутации.** Для получения соответствующей фазы тока  $I_p$ , протекающего по обмотке вспомогательного полюса, обычно применяется шунтирование обмотки добавочных полюсов посредством омического сопротивления. Этот ток может быть разделён на две части: одна часть  $I_{p1}$  в фазе с током, протекающим через якорь, и другая часть —  $I_{p2}$ , перпендикулярная к нему (фиг. 5).

Ток  $I_{p1}$  создаёт в междужелезном пространстве вспомогательного полюса поле, уравнивающее при любых режимах н. с. реакции якоря и обеспечивающее надлежащее протекание процесса коммутации тока.

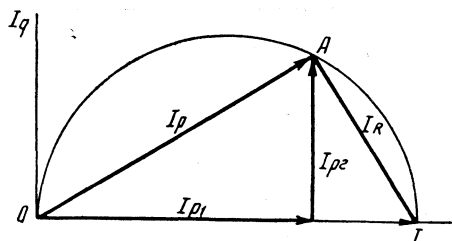
Ток  $I_{p2}$  создаёт поле возбуждения, которое компенсирует трансформаторную э. д. с. при определённой скорости вращения. Для обеспечения этой компенсации при различных скоростях, и в особенности при очень малых, применено комбинированное шунтирование: сопротивление и ёмкость при малых скоростях, сопротивление и индуктивность при больших скоростях.

Ёмкостная шунтировка приобретает особенно большое значение вследствие применения частоты 50 *гц*.

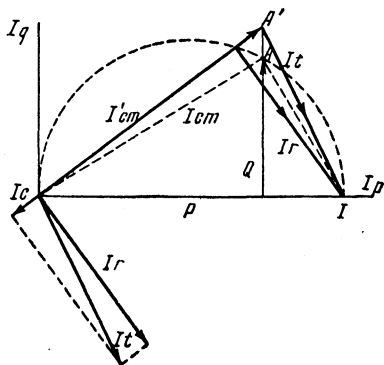
Через ёмкость проходит ток  $I_c$ , который складывается с током  $I_i$ , проходящим через сопротивление, и даёт результирующий ток  $I_t$  (фиг. 6). Точка *A* смещается в точку *A'*, которой можно сообщить любое требуемое положение, чтобы составляющая тока создавала поле, необходимое для компенсации трансформаторной э. д. с. при заданной скорости. После решения этого вопроса подгоняется профиль вспомогательного полюса.

С целью уменьшения габарита и веса конденсаторов между катушкой полюса и батареей конденсаторов включён повышающий трансформатор.

Таким образом, имеется три вида регулирования в зависимости от скорости движения:



Фиг. 5. Диаграмма токов в обмотке дополнительных полюсов и шунтирующем её сопротивлении



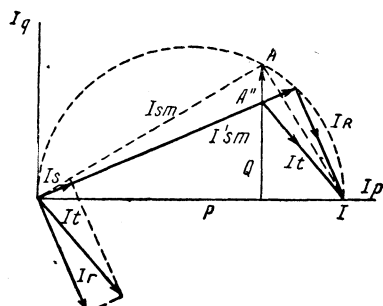
Фиг. 6. Диаграмма при параллельно подклю́ченной ёмкости

Скорость движения в км/час	От 0 до 30	От 30 до 64	От 64 до 105
Способ шунтировки дополнительных полюсов	Сопротивление $R$ и ёмкость $C$	Сопротивление $R'$	Сопротивление $R'$ и индуктивность $S$

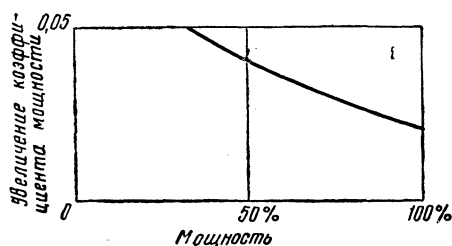
**Улучшение коэффициента мощности.** Улучшение коэффициента мощности достигается путём постоянного использования конденсаторов, нормально включённых в начале пуска. При скоростях выше 30 км/час конденсаторы отключаются от шунтирующих трансформаторов и присоединяются непосредственно к специальному выводу главного трансформатора. Таким образом, они постоянно потребляют реактивную мощность 150 квар, что приводит к улучшению среднего коэффициента мощности электровоза и уменьшает падение напряжения в сети (фиг. 8).

Такое использование конденсаторов позволяет удовлетворить одновременно как требованиям улучшения коммутации, так и повышению коэффициента мощности.

Применению конденсаторов благоприятствует повышенная частота; тем самым компенсируются недостатки, присущие двигателю, работающему при промышленной частоте.



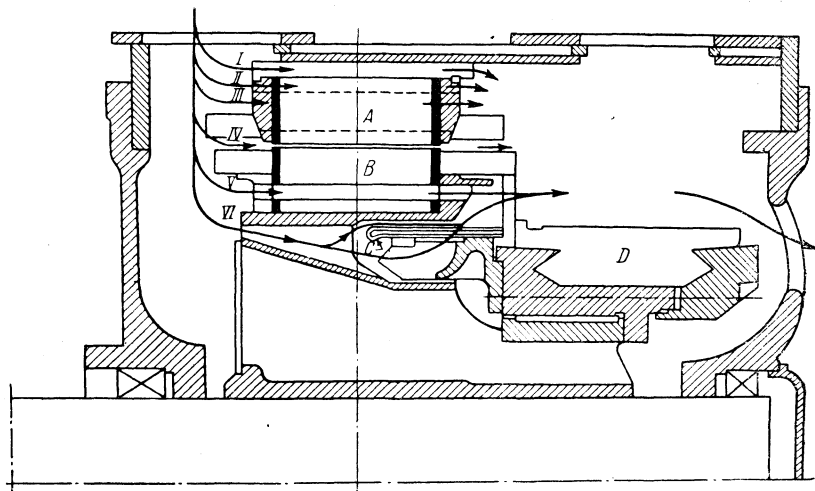
Фиг. 7. Диаграмма при параллельно-подключённой индуктивности



Фиг. 8. Улучшение коэффициента мощности при помощи конденсаторов

### Вентиляция двигателя

Воздух поступает в двигатель по шести отдельным направлениям (фиг. 9):



Фиг. 9. Распределение потоков воздуха в двигателе:

A — статор; B — ротор; C — соединительные сопротивления; D — коллектор; I, II, III, IV, V, VI — вентиляционные потоки

к статору:

- а) по внешней окружности сердечника, активная поверхность которого увеличена при помощи соответствующих рёбер;
- б) по каналам между катушками возбуждения и катушками

дополнительных полюсов. Воздух, проходящий по этим каналам, непосредственно обдувает провода обмоток;

к р о т о р у:

в) по каналам магнитопровода;

г) через втулку якоря, где он подразделяется на два потока: один поток проходит между соединительными сопротивлениями и втулкой якоря;

второй поток проходит сквозь соединительные сопротивления.

Воздух проникает в ротор, проходит сквозь катушки и обтекает поверхность коллектора. Петушки коллектора имеют специальную форму с целью получения общего сечения, достаточного для пропуска нужного количества воздуха, с одной стороны, и с целью удовлетворительного отвода части тепла, выделяемого в обмотке якоря, с другой;

д) через междужелезное пространство и каналы, имеющиеся под клиньями в пазах статора.

### Испытания двигателя

**Момент.** Характеристики силы тяги — скорость. На стенде момент двигателя измеряется при помощи торсиометра, что позволяет делать быстрые отсчёты при любых скоростях.

Момент, развиваемый на валу при неподвижном двигателе (вернее, значение этого момента, полученное в результате экстраполяции замеров, произведённых при очень малой скорости), не должен быть меньше 90% от момента, развиваемого при том же токе в зоне скоростей, превышающих 40% максимальной скорости.

При испытаниях (фиг. 10) величина момента при трогании с полной остановки оказалась выше заданной.

Эти результаты недавно были подтверждены испытаниями при трогании и вождении тяжёлых поездов на наиболее крутых подъёмах линии Валенсьенн — Тионвилль. Электровоз мог брать с места и водить грузовые поезда весом 1 200 *t* вместо предусмотренных 750 *t* при силе тяги на крюке, приближающейся к пределу, при котором начинается боксование.

При пусках ток на двигатель достигал около 5 500 *a*, т. е. в 1,85 раза больше тока при длительном режиме, что свидетельствует о способности этих двигателей выдерживать чрезвычайно тяжёлые условия пуска.

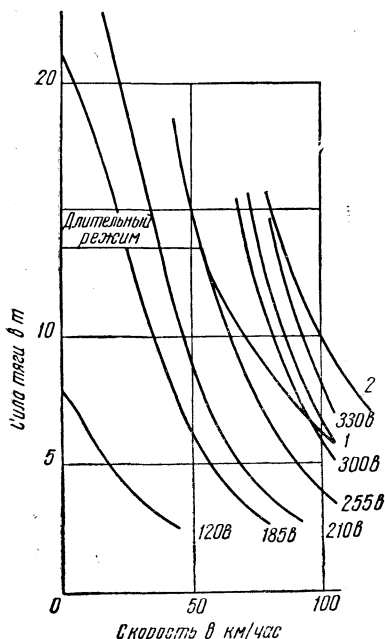
**К о м м у т а ц и я.** Двигатель в заторможенном состоянии выдерживает без всяких нарушений ток в 1,5 раза больше номинального в течение 10 сек. и может длительно работать при очень малых скоростях вращения, порядка 50 — 100 об/мин, что соответствует 4 — 8 км/час.

При больших скоростях ток и сила тяги могут быть существенно увеличены сверх гарантированных значений, и фактически величина их ограничивается лишь максимальным напряжением на вторичной обмотке трансформатора (фиг. 11).

Двигатель не чувствителен к резким колебаниям напряжения, вплоть до полного исчезновения напряжения даже при режиме максимальной скорости и максимальном токе.

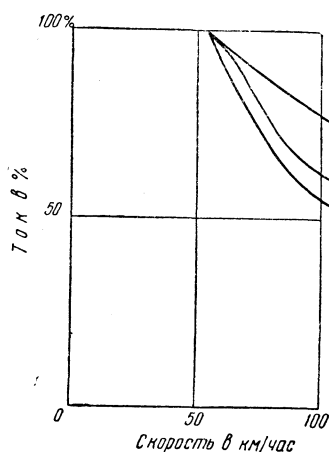
Износ щёток, который систематически измерялся на двух первых электровагонах, составляет около 0,2 мм на 1 000 км пробега (несмотря на неоднократно повторяемые перегрузки), что служит наилучшим доказательством хорошей коммутации двигателей.

Нагрев. Нагрев различных элементов изменяется в зависимости от скорости двигателя. В то время как потери в железе ротора и потери вследствие трения щёток о коллектор возрастают пропор-



Фиг. 10. Характеристики зависимости силы тяги от скорости:

1 — характеристика для первой очереди электрификации; 2 — характеристика для второй очереди электрификации



Фиг. 11. Предельные значения тока в зависимости от скорости:

1 — заданный предел; 2 — эксплуатационный предел; 3 — предел по коммутации при испытаниях на стенде

ционально скорости, тепловые потери, пропорциональные квадрату тока, значительно уменьшаются за пределами зоны пускового усилия тяги.

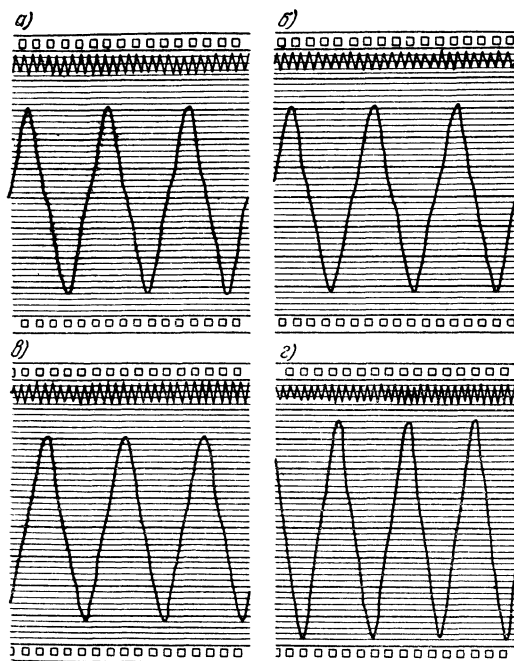
При режиме, соответствующем границе этой зоны, нагрев наиболее нагруженных элементов не достигает, однако, предельных значений.

Характеристика потребляемого тока. Были сняты осциллограммы тока, потребляемого двигателем при различных нагрузках и различных скоростях. Эти осциллограммы имеют чрезвычайно благоприятный вид.

Две первые осциллограммы (фиг. 12) изображают ток при 30 и 680 об/мин (680 об/мин соответствуют номинальному режиму),



а две следующие осциллограммы записаны при 900 и 1 350 об/мин, т. е. при скоростях вращения, значительно превышающих номинальную.



Фиг. 12. Осциллограммы тока, потребляемого двигателем при трёх различных режимах:

а — 30 об/мин, 3 000 а; б — 680 об/мин, 3 000 а; в — 900 об/мин, 3 000 а;  
г — 1 350 об/мин, 2 000 а

### Электрическая часть

В электрическую часть электровозов входят следующие основные элементы:

- а) трансформатор с переключателем ступеней;
- б) тяговые двигатели;
- в) реверсоры;
- г) устройство для регулирования коммутации тяговых двигателей;
- д) вспомогательные машины и аппараты;
- е) аппаратура управления, защиты и обслуживания.

Доступ к этим устройствам достигается посредством ряда откидных крышек и откидных или съёмных кожухов<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Здесь были использованы те же принципы, как и при оборудовании электровозов с игнитронами (сосредоточение элементов оборудования, ручное управление, централизованная вентиляция и т. п.), с отклонениями, связанными с особенностями каждого типа электровозов. Эти принципы были изложены в статье об игнитронных электровозах.

На фиг. 13 представлено общее расположение электрооборудования электровоза.

Вес оборудования электрической части:

Главный трансформатор, наполненный маслом . . .	10,765 т
Охладители, наполненные маслом . . . . .	0,235 »
Двигатели без передачи . . . . .	17,400 »
Вспомогательные устройства коммутации . . . . .	2,360 »
Вспомогательные машины . . . . .	2,720 »
Аппаратура . . . . .	2,800 »
Проводка с принадлежностями (трубы и пр.) . . .	1,720 »

Итого . . . . . 38,000 т

Это оборудование размещено следующим образом.

**Аппаратура высокого напряжения.** Сюда входят (фиг. 14):

а) два пантографа с непосредственным пневматическим управлением при помощи кранов, расположенных у двух постов управления в кабине машиниста.

Каждый пантограф может быть самостоятельно отключён и заземлён (выключателями *НРТ1* и *НРТ2*);

б) главный выключатель высокого напряжения пневматического типа (конструкция СЕМ);

в) двойной переключатель *НОМ*, блокированный рукояткой ящика с ключом, приведение в действие которого производит одновременное заземление крышевой аппаратуры и трансформатора.

Расположение аппаратов на крыше выполнено одинаковым для всех четырёх типов электровозов Валенсенн — Тионвилль. По возможности аппараты соединяются между собой непосредственно.

**Электрооборудование силовой цепи** (трансформатор, переключатель ступеней, реверсоры, тяговые двигатели).

Данные трансформатора, построенного фирмой СЕМ

Мощность . . . . .	3 150 кВа
Вес активной части . . . . .	7 000 кг
Вес масла . . . . .	1 750 »
Общий вес . . . . .	10 765 кг (со вспомогательным оборудованием)

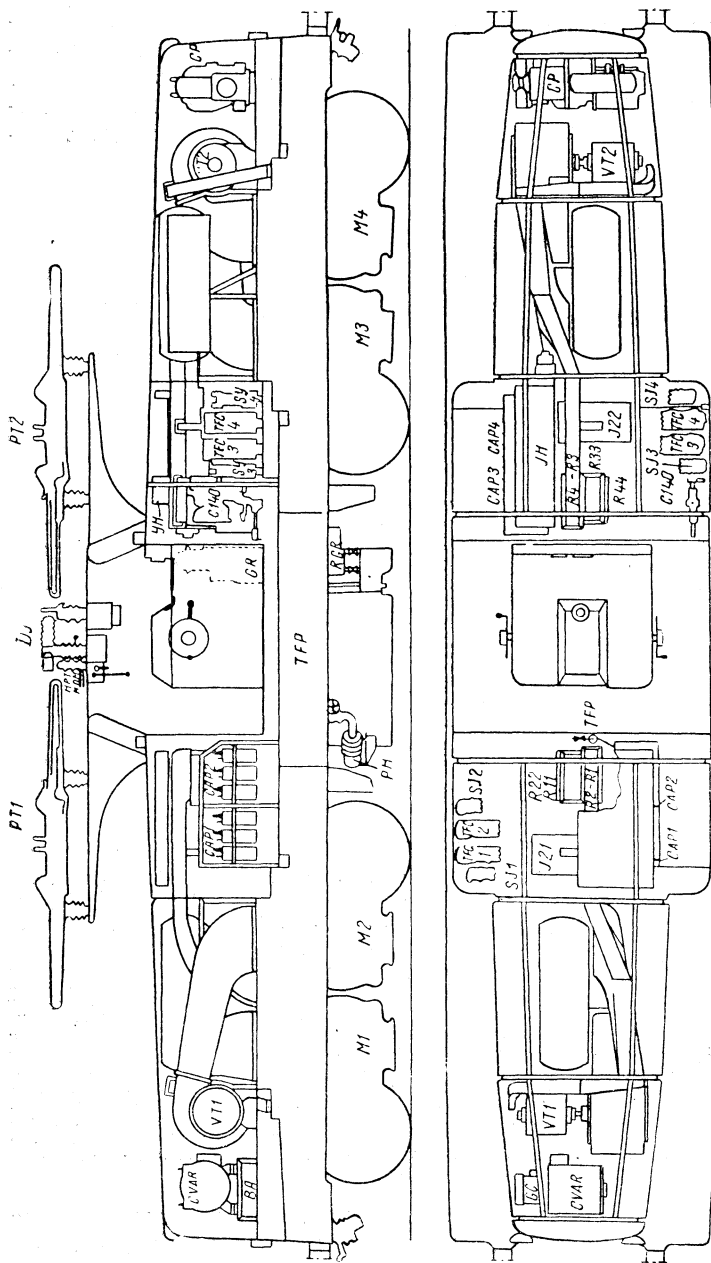
Трансформатор (фиг. 15) состоит из:

а) автотрансформатора, питаемого от напряжения 25 кВ и имеющего выводы для регулирования, а также обмотку для питания отопления и вспомогательных цепей;

б) тягового трансформатора, питаемого напряжением автотрансформатора от 0 до 15 кВ, регулируемым при помощи переключателя на 20 ступеней;

в) переключателя ступеней удлиненной формы, установленного вертикально на баке трансформатора.

Этот аппарат, который устанавливается также на игнитронных электровозах серии 12000, имеет роликовые контакты, упирающиеся в контактные пластины. Весь агрегат погружён в масло. Комплект



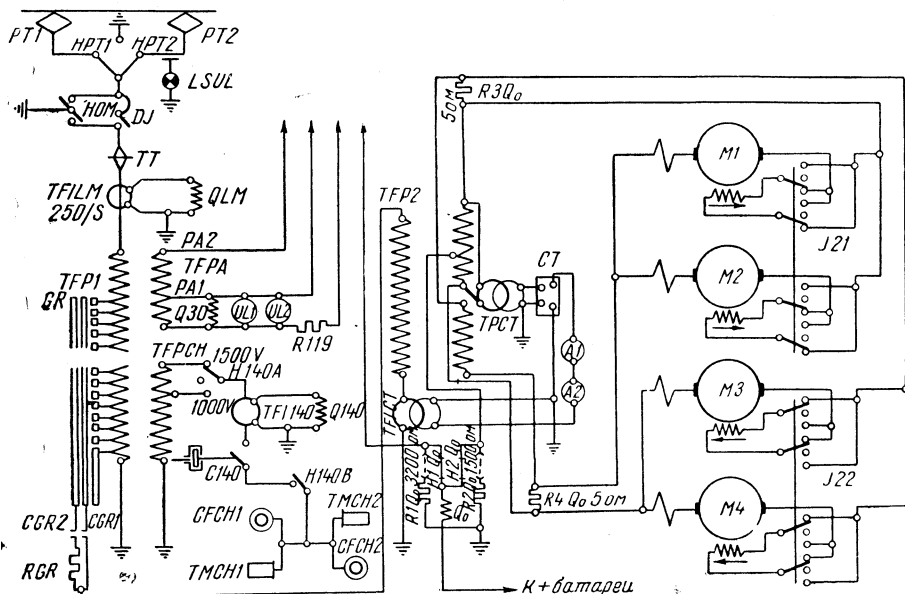
Фиг. 13. Размещение оборудования на электровозе:

PT1, PT2—пантографы; DJ — главный выключатель; HOM — переключатель заземления; TFP — агрегат трансформатора; GR — переключатель ступеней; RGR — переходное сопротивление переключателя; M1, M2, M3, M4 — тяговые двигатели; J11—J22 — реверсоры; R1, R2, R3, R4 — главные сопротивления; R11, R22, R33, R44 — вспомогательные сопротивления; SJ11, SJ12, SJ13, SJ14 — реакторы; TFC1, TFC2, TFC3, TFC4 — трансформаторы для питания конденсаторов; CAP1, CAP2, CAP3, CAP4 — конденсаторы; CVAR — агрегат преобразователя фаз Арно; GC — генератор для зарядки аккумуляторной батареи; BA — аккумуляторная батарея; VT1, VT2 — мотор-вентилляторы; CP — мотор-компрессор; C140 — контактор цепи отопления поезда

приводных цепей приводит в действие подвижное устройство. Два воздушных выключателя производят выключение тока;

г) на баке трансформатора установлены также переходное сопротивление, масляный насос и комплект клапанов, позволяющих производить очистку и сушку масла трансформатора на электровозе.

Соединение между выключателем и трансформатором осуществляется посредством провода, изолированного и защищённого трубчатым конденсатором.



Фиг. 14. Схема главных цепей:

*PT1, PT2*—пантографы; *HPT1, HPT2*—разъединители пантографов; *LSUL*—сигнальная лампа «Крышевая цепь под напряжением»; *DJ*—главный выключатель; *HOM*—переключатель заземления; *TT*—ввод через крышу; *TFILM 250/S, TFI140, TFCN*—трансформаторы тока; *QLM*—реле перегрузки главной цепи; *GR*—переключатель ступеней; *CGR1* и *CGR2*—выключатели переключателя ступеней; *RGR*—переходное сопротивление переключателя ступеней; *TFP1*—обмотка автотрансформатора на 25 кВ; *TFPA*—обмотка питания вспомогательного оборудования; *TFPCH*—обмотка питания цепей отопления; *TFP2*—первичная обмотка трансформатора напряжения; *Q30*—реле минимального напряжения; *UL1, UL2*—вольтметры для измерения напряжения в сети; *R119*—сопротивление обмотки питания вспомогательного оборудования; *Q140*—реле перегрузки цепи отопления; *C140*—контактор цепи отопления; *H140*—блокировка коробки ключей; *CFCN1, CFCN2*—неподвижные междувagonные соединения цепи отопления; *TPCT*—трансформатор напряжения; *CT*—счётчик в тяговой цепи; *A1, A2*—амперметры тяговых цепей; *Q0*—реле заземления; *H1, Q0, H2, Q0*—клеммы для шунтировки реле заземления; *R1, Q0, R2, Q0*—сопротивления, определяющие потенциалы, когда реле заземления выведено из действия; *M1, M2, M3, M4*—тяговые двигатели; *J21, J22*—реверсоры тяговых двигателей

Агрегат подвешен на трёх сайлентблоках. Ввиду большого тока тяговых двигателей (3 000 а при номинальном режиме и 4 500 а при пуске) было признано целесообразным выполнить силовую проводку медными шинами большого сечения.

Пачкообразная укладка шин, по которым проходит прямой и обратный ток, обеспечивает хорошее распределение тока и исключает нагрев соседних металлических масс под действием индукции.

Учитывая эластичную подвеску трансформатора, соединение между ним и шинами, смонтированными в кожухе, осуществлено при помощи гибких элементов из листовой меди.

Плетёные медные кабели, запрессованные в кабельные наконечники, обеспечивают гибкое соединение между шинами и тяговыми двигателями.

**Ручное управление.** Переключатель ступеней и реверсоры управляются механически.

На каждом из двух постов управления имеются маховик и реверсивная рукоятка.

Черта, нанесённая на барабане, расположенном в центре пульта и приводимом во вращение передачей к переключателю ступеней, указывает положение последнего.

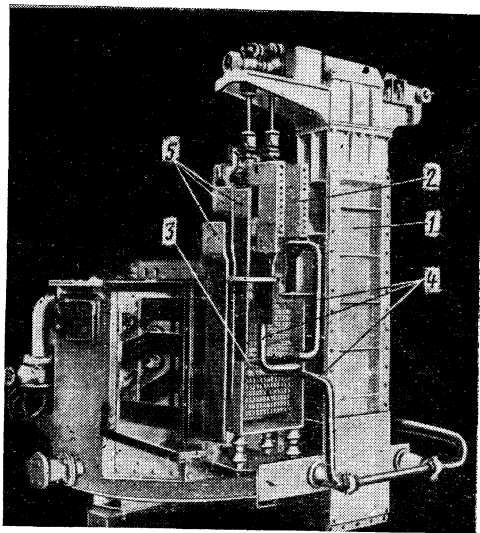
При первых оборотах маховик осуществляет включение главного выключателя, пуск преобразователя Арно, масляного насоса и моторвентиляторов агрегатов.

При дальнейшем вращении маховик, воздействуя на переключатель ступеней, осуществляет изменение напряжения на первичной обмотке главного трансформатора, производя переключение на одну ступень при каждом обороте маховика.

Реверсивные рукоятки приводят в действие реверсоры посредством гибкого привода марки FRB. Они механически блокируются приводом переключателя ступеней при установке последнего в ездовую позицию.

Ручные запоры блокируют реверсоры в положении «двигатель не работает», если электровоз движется в недействующем состоянии. В этом случае маховики управления переключателем ступеней блокируются в положении 00.

**Схема регулирования коммутации.** Схема регулирования коммутации, предложенная Жемон-Шарлеруа с целью лучшего

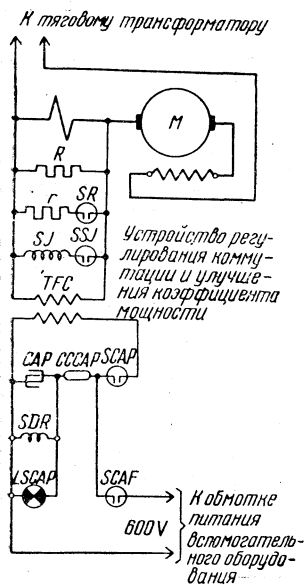


Фиг. 15. Агрегат трансформатора и переключателя ступеней:

1 — переключатель ступеней; 2 — дугогасительные камеры выключателей; 3 — переходное сопротивление переключателя ступеней; 4 и 5 — кабели высокого напряжения

использования однофазных коллекторных тяговых двигателей, позволяет использовать электровозы серии 13001—13024 для смешанной службы с пассажирскими, почтовыми и грузовыми поездами; она даёт возможность производить разгон с небольшими ускорениями и длительно работать при малых скоростях.

Добавочные полюса тяговых двигателей шунтируются в зависимости от скорости электровоза посредством цепи переменного сопротивления, включаемого в цепь каждого двигателя (фиг. 16) и состоящего из:



Фиг. 16. Схема регулирования коммутации:

$M$  — тяговый двигатель;  $R$  — главное сопротивление;  $r$  — вспомогательное сопротивление;  $SJ$  — реактор;  $TFC$  — повышающий трансформатор для питания конденсаторов;  $CAP$  — конденсаторы;  $GCCAP$  — плавкий предохранитель конденсаторов;  $SDR$  — реактор для разряда конденсаторов;  $LSCAP$  — сигнальные лампы конденсаторы отключены;  $SCAP$ ,  $SCAF$ ,  $SSF$ ,  $SR$  — контакторы с ключевым управлением, работающие в зависимости от скорости электровоза

а) главного омического сопротивления, включённого постоянно;

б) вспомогательного омического сопротивления, включаемого при малых скоростях (менее 30 км/час);

в) батареи конденсаторов, питаемой через повышающий трансформатор и подключаемой при малых скоростях (менее 30 км/час);

г) индуктивного сопротивления, подключаемого при больших скоростях (более 60 км/час).

При скоростях свыше 30 км/час конденсаторы питаются от вывода на напряжение 600 в обмотки трансформатора, предназначенной для питания вспомогательных машин, и обеспечивают реактивную мощность 150 квар, которая способствует улучшению среднего коэффициента мощности электровоза.

Необходимые переключения осуществляются посредством группы контактов  $JH$ , приводимых в действие кулачковым валом, управление которым производится в зависимости от показаний указателя скорости (фиг. 17).

Аппаратура для регулирования коммутации помещается в отделении, прилегающем к кабине, и расположена таким образом, чтобы был обеспечен доступ к частям, подлежащим осмотру (см. фиг. 13).

**Вспомогательные цепи.** Преобразователь фаз Арно (фиг. 18) приводит в действие генератор для заряда аккумуляторной батареи и питает:

а) двигатель масляного насоса трансформатора;

б) два мотор-вентилятора, служащих для охлаждения тяговых двигателей и трансформатора. Радиаторы трансформатора поме-

щены в месте забора воздуха вентиляторами. От каждого мотор-вентилятора часть воздуха ответвляется к сопротивлениям добавочных полюсов и к реверсорам;

- в) мотор-компрессор;
- г) контактор отопления поезда.

Масляный насос и мотор-компрессор унифицированного типа, общего для электровозов  $B_0-B_0$  и  $C_0-C_0$  линии Валенсьенн — Тионвилль.

Агрегаты преобразователя фаз Арно и мотор-вентиляторов одинаковы для электровозов  $B_0-B_0$  с коллекторными двигателями и с игнитронами.

Все вспомогательные машины изготовлены фирмой Эрликон.

В схеме вспомогательных машин не имеется ни плавких предохранителей, ни реле перегрузки; защита обеспечивается только рабочими реле (реле циркуляции воздуха или масла).

Демпферное сопротивление ограничивает ток в обмотке вспомогательных машин в случае короткого замыкания.

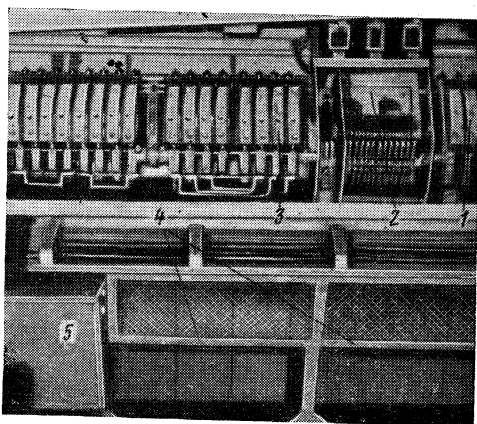
Применяются контакторы следующих типов:

- а) кулачкового типа для пуска группы преобразователя Арно и питания двигателей вентиляторов. Их вал управления приводится в движение механически на подготовительных ступенях;
- б) электромагнитного типа для питания двигателя компрессора;
- в) электропневматического типа в цепи отопления.

Клеммные рейки, установленные на щите, находящемся на перегородке кабины, позволяют в случае аварии отключить одну вентиляционную группу или двигатель масляного насоса путём шунтирования соответствующего реле.

За исключением масляного насоса, смонтированного на трансформаторе, и контактора отопления, находящегося в одном из отделений, смежных с кабиной, все вспомогательные машины размещаются в крайних отделениях.

Удаление пыли производится под действием центробежных сил самих вентиляторов.



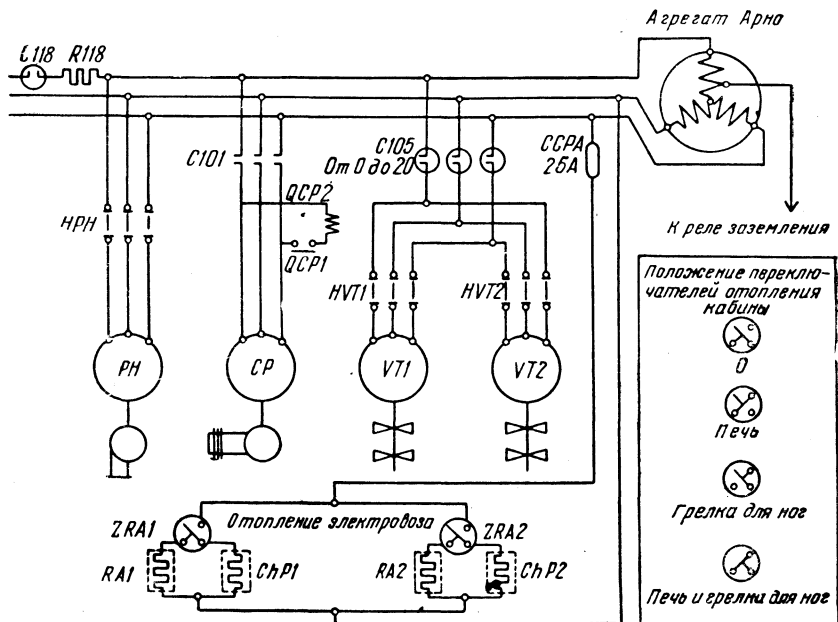
Фиг. 17. Агрегат для регулирования коммутации:

1 — контакторы управления вспомогательными устройствами, приводимые в действие ручным управлением; 2 — вспомогательные контакторы; 3 — контакторы для цепи регулирования коммутации; 4 — конденсаторы; 5 — ящик, содержащий разрядные реакторы, плавкие предохранители и сигнальные лампы конденсаторов

Цепи управления, защиты и сигнализации. Эти цепи питаются от аккумуляторной батареи.

Предусмотрены лишь совершенно необходимые защитные реле (см. фиг. 14):

- а) реле перегрузки цепи  $QLM$ , являющееся единственной защитой тяговых цепей от токов перегрузки;
- б) реле минимального напряжения  $Q30$ ;
- в) реле перегрузки цепей отопления  $Q140$ ;
- г) реле заземления  $QO$ , питаемое от батареи.



Фиг. 18. Схема вспомогательных цепей переменного тока:

$C118$  — пусковой контактор агрегата преобразователя фаз Арно;  $R118$  — пусковое сопротивление агрегата Арно;  $PH$  — двигатель масляного насоса;  $CP$  — двигатель компрессора;  $VT1$ ,  $VT2$  — двигатели вентиляторов;  $HPH$  — отключатели двигателя масляного насоса;  $C101$  — контактор компрессора;  $QCP1$  — центробежное реле для пуска мотор-компрессора;  $QCP2$  — промежуточное реле;  $C105$  — контакторы питания двигателей вентиляторов;  $HVT1$ ,  $HVT2$  — отключатели двигателей вентиляторов;  $CCPA$  — плавкий предохранитель цепей отопления кабины;  $RA1$ ,  $RA2$  — печи отопления кабины;  $ChP1$ ,  $ChP2$  — грелки для ног;  $ZRA1$ ,  $ZRA2$  — переключатели отопления

Клеммы  $H1QO$  и  $H2QO$  позволяют установить наличие заземления в тяговой цепи или в цепи вспомогательных машин;

д) реле времени, которое предупреждает отключение главного выключателя при несвоевременном срабатывании (например при вибрациях) какого-либо рабочего реле.

Контакт переключателя, включённый в цепь питания катушки реле, ограничивает время работы на переходном сопротивлении между двумя ступенями переключателя.



Применение ручного управления значительно упрощает схемы управления.

К мелкой, относительно чувствительной аппаратуре имеется непосредственный доступ из кабины. Она находится на пульте управления или внутри него (органы управления, сигнальные лампы, регулировочные сопротивления, ограничитель напряжения батареи), в ящике, где собраны реле, либо на щите батареи клеммных сборок — клеммовых рейках, расположенных на одной из перегородок кабины.

Дверца без запора позволяет в случае необходимости производить на линии осмотр блокировочных устройств ручного управления и реле управления оборудованием для регулирования коммутации.

### **Заключение**

Первые результаты эксплуатации превзошли все ожидания.

Опыт эксплуатации двигателей  $16\frac{2}{3}$  гц заставлял предполагать, что получение требуемой мощности при частоте 50 гц будет сопряжено с затруднениями.

Однако выполненные двигатели с частотой 50 гц не только выдерживают сравнение с лучшими двигателями пониженной частоты, но и имеют перед ними ряд преимуществ, вследствие надёжной работы при трогании с места, благоприятной характеристики вращающего момента, возможности разгона с малым ускорением и длительной работы при очень низких скоростях.

---

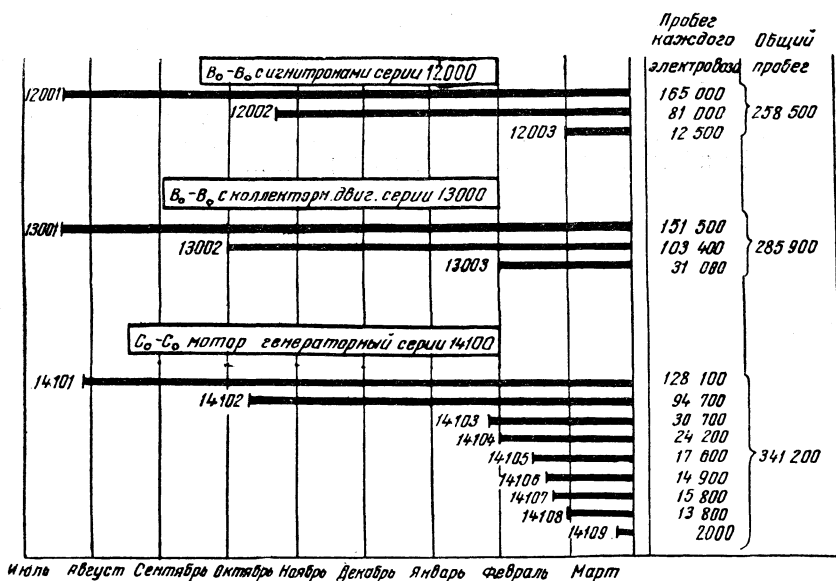
## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ОДНОФАЗНОГО ТОКА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ФРАНЦИИ

*Revue Generale des Chemins de Fer. 1955, апрель, стр. 210*

Работа электровозов на участке Валенсьенн—Шарлевилль позволяет оценить эксплуатационные показатели системы однофазного тока 50 гц.

### Пробеги и веса поездов

На фиг. 1 указаны электровозы, поставленные промышленностью до 31 марта 1955 г., и пробег каждого из них. После 9 месяцев



Фиг. 1. Пробег электровозов однофазного тока на 31 марта 1955 г.

эксплуатации пробег различных типов электровозов (за исключением электровозов однофазно-трёхфазного тока, постройка которых задержалась) составил:

По электровозу $B_0-B_0$ с игнитронами . . .	165 000 км
» » $B_0-B_0$ с коллекторными двигателями . . . . .	151 500 »
По электровозу $C_0-C_0$ однофазно-постоянного тока . . . . .	128 100 »

На фиг. 2 показан среднемесячный пробег в расчёте на один электровоз; пробеги электровозов достигли максимума в сентябре и октябре 1954 г., т. е. в те месяцы, когда первые электровозы начали работать самым интенсивным образом, чтобы дать возможность выявить характеристики данной серии. С поставкой следующих машин характер работы стабилизировался, а пробег установился на высоком уровне, учитывая малую протяжённость участка (135 км) и, в основном, грузовой характер перевозок.

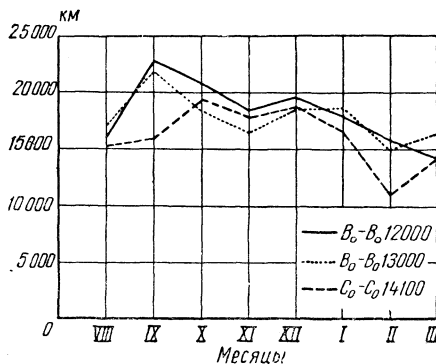
Регулярная работа электровозов обеспечила интенсивные перевозки, которые характеризуются графиком движения, помещённым в январском номере «Revue Generale des Chemins de Fer» за 1955 г. Основным видом поездов даже для электровозов  $B_0-B_0$  являются тяжеловесные поезда.

На фиг. 3 показан средний вес поезда для электровозов  $B_0-B_0$  отдельно для пассажирских и грузовых перевозок. Средний вес грузового поезда для электровозов  $B_0-B_0$  с однофазными коллекторными двигателями составил 800 — 900 т и для электровозов  $B_0-B_0$  с игнитронами — 1 100 т.

При оценке этих цифр следует помнить, что на линиях с подобным профилем максимальные веса поездов для электровозов  $B_0-B_0$  типа 8100 постоянного тока на напряжение 1 500 в составляют всего 750 т. На основании результатов испытаний на трогание состава с места, проведённых с первыми электровозами  $B_0-B_0$  типа 12000 и 13000, и результатов эксплуатации для этих электровозов были установлены следующие максимальные веса поездов, которые они могут брать с места и вести на наибольшем подъёме 11,5‰:

для электровозов $B_0-B_0$ с коллекторными двигателями . . . . .	1 050 т
для электровозов $B_0-B_0$ с игнитронами . . . . .	1 400 »

Таким образом, удалось устранить обвинение, касающееся электровозов с однофазными коллекторными двигателями в отношении трудностей коммутации при низких скоростях. Что же касается электровозов с игнитронами, то ожидаемые результаты не только подтвердились (см. опыты на участке Экс-ле-Бан—Ла Рош-сюр-Форон и Пеннсилванской ж. д.), но даже превзошли все ожидания, так как эти электровозы ежедневно водят значительно более



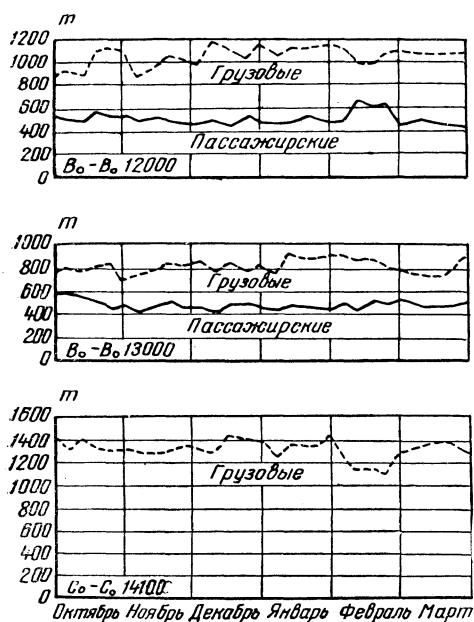
Фиг. 2. Среднемесячные пробеги электровозов

тяжёлые поезда, чем обычно принятые для подобных электровозов типа  $B_0-B_0$  и безотказно берут с места на наибольшем подъёме поезда весом 1 400 т\*.

Ниже приводится таблица, показывающая число поездов с весами от 1 200 до 1 400 т, которые водили первые электровозы  $B_0-B_0$  с игнитронами.

Этим подтверждается одно из самых крупных преимуществ электрической тяги на однофазном токе: возможность использования таких электровозов, которые при одинаковом сцепном весе могут вести гораздо более тяжёлые поезда, чем при других системах тяги.

Показатели электровозов  $B_0-B_0$  при пассажирской работе не хуже, чем при грузовой, хотя они не являются, в сущности, высокоскоростными электровозами. Они обеспечивают

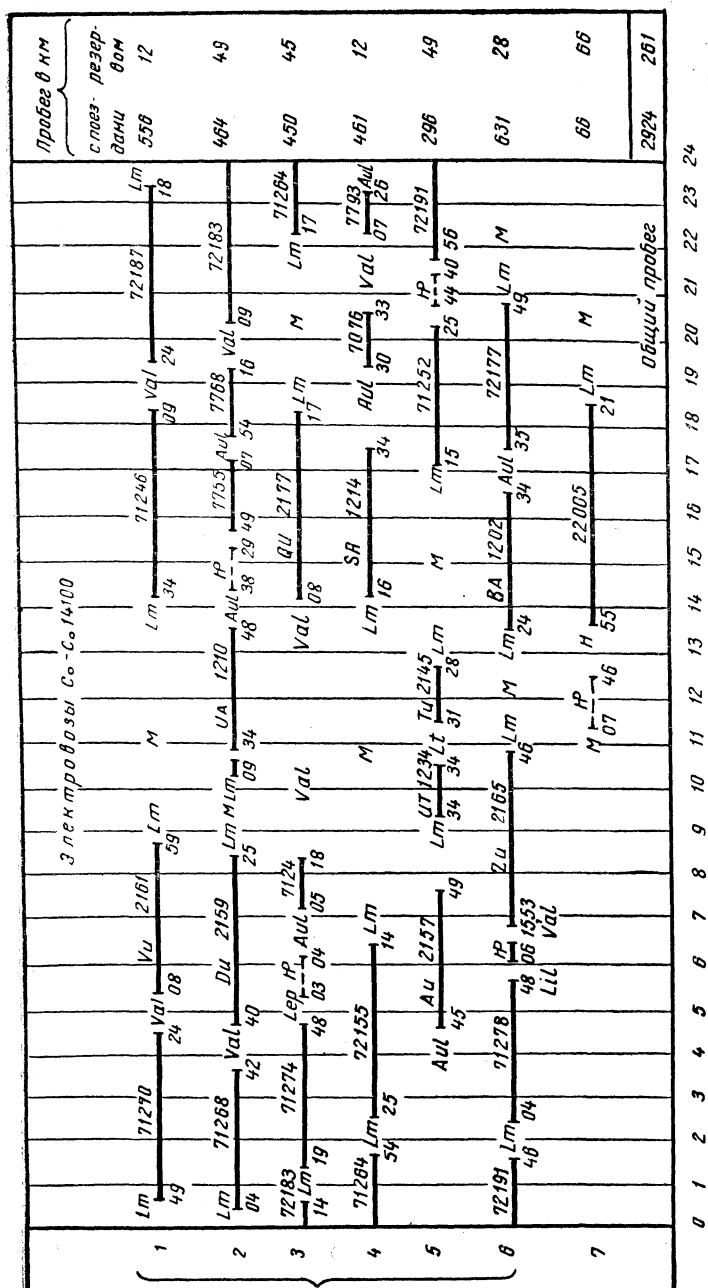


Фиг. 3. Среднемесячные веса поездов (без веса электровозов)

Месяцы	Номера электровозов		
	$B_0-B_0$ 12001	$B_0-B_0$ 12002	$B_0-B_0$ 12003
	Количество проведённых поездов		
Октябрь . . . . .	39	—	—
Ноябрь . . . . .	33	10	—
Декабрь . . . . .	41	24	—
Январь . . . . .	41	27	—
Февраль . . . . .	39	27	—
Март . . . . .	39	29	26

графики движения с высокими, скоростями. На участке Валенс-енн—Шарлевилль новые типы электровозов дают выигрыш  $\frac{1}{2}$  часа во времени хода, по сравнению с временем движения скорых поездов с паровозами. Поезд Кале-Баль проходит этот участок, включая время остановок, за 1 ч. 36 м., несмотря на то, что ограничение скорости в зависимости от участков составляет 100—110 км/час.

\* Прим. редактора. Сейчас норма поездов для электровозов повышена до 1 600 т.



Фиг. 4. График движения электровозов  $C_0-C_0$  14100 на 1 марта 1955 г.

Электровозы  $C_0-C_0$ , специализируемые на вождении грузовых поездов (руда, уголь), могут брать с места и вести на наибольшем подъёме поезда весом 1 850 *т* (предел прочности сцепки), т. е. на 500 *т* больше веса поездов, какие водили паровозы, выделенные ранее для этой работы.

На фиг. 3 показаны средние веса ежемесячно перевозимого груза, которые изменяются в зависимости от объёма перевозок, но удерживаются на уровне 1 380 *т*.

Работа электровоза  $C_0-C_0$  была исключительно интенсивной, начиная с 1 марта, т. е. с момента вступления в действие нового графика движения поездов, показанного на фиг. 4. По новому графику в течение 7 суток при среднесуточном пробеге 455 *км* всего было пройдено 3 185 *км* с поездами весом по 1 850 *т*. Вначале этот график движения трудно было соблюдать из-за того, что для его осуществления имелось всего 8 электровозов серии  $C_0-C_0$ . Количество тяжёлых поездов было исключительно большим: в марте насчитывалось 186 поездов весом более 1 700 *т*.

### Эксплуатационные расходы на энергию и содержание

Проделанная работа достаточна для оценки первых результатов эксплуатации. Что касается расхода энергии, то опыты, проведённые с каждым типом электровоза, дали результаты, показанные на кривых фиг. 5, относящихся к грузовым поездам. В частности, можно проследить влияние веса поездов на расход энергии. С другой стороны, видно, насколько малым является удельный расход энергии для тяжёлых поездов со специализированным грузом при электровозах  $C_0-C_0$ , а также видна роль электрического торможения с применением рекуперации.

Общий расход энергии на вводе высокого напряжения подстанции получился 22 *вт-ч ткм* брутто, т. е. меньшим, чем это предполагалось по первоначальным расчётам.

Эксплуатационные расходы также весьма невелики, о чём свидетельствуют интенсивность перевозок и малое число не работающих электровозов из-за осмотров в депо и случайных ремонтов. Это подтверждается цифрами расходов по каждому электровозу в отдельности, которые, разумеется, ещё нельзя считать окончательными. Правильно оценить расходы на общие осмотры электровозов можно после значительных пробегов, порядка 400—500 тыс. *км*. С другой стороны, нужно изъять из этой отчётности расходы с момента ввода в эксплуатацию первых электровозов одной серии, относящиеся в большей степени к неизбежным мелким доделкам, чем к самому уходу за электровозами. Тем не менее из имеющихся бухгалтерских расчётов можно получить следующие интересные данные:

а) Электровозы  $B_0-B_0$ . Расходы по текущему и случайному ремонту колеблются между 10 и 12 франками на 1 *км\**, т. е.

\* Механография не даёт возможности выделить из этой общей цифры те статьи, которые относятся к стоимости рабочей силы и материалов.

находятся на одном уровне с расходами наиболее современных электровозов  $B_0-B_0$  постоянного тока 1500 в, для смешанного движения. Расходы на ремонт этих электровозов составляли в 1954 г. 10,9 франка на 1 км.

В частности, расходы на содержание выпрямительной системы электровоза  $B_0-B_0$  совершенно незначительны: по трансформатору, переключателю ступеней, блоку выпрямителей и системе охлаждения они составляют только 2—3% от всех расходов на содержание электровоза. Игнитроны работают замечательно, и не было никаких затруднений с водяной системой охлаждения во время больших холодов.

На двигатели электровозов с игнитронами тратится только 4% от общих расходов на содержание электровозов.

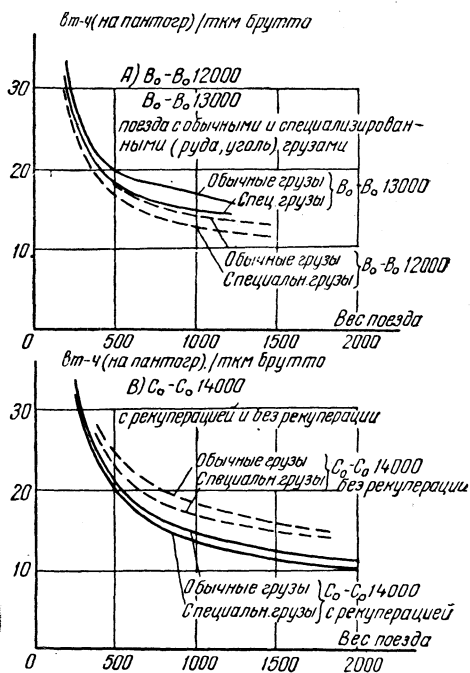
Коммутация двигателей очень хорошая, и, несмотря на большие веса поездов, износ щёток равен примерно 1,5 мм на пробег 10 000 км.

Однофазные двигатели электровозов  $B_0-B_{0i}$  13000—первые мощные двигатели на частоту 50 гц, выпущенные крупной серией, тоже работают очень хорошо. Вначале требовались некоторые доделки в коммутационных устройствах, а в настоящее время износ щёток ниже 3 мм на 10 000 км.

Коллектора находятся в хорошем состоянии, расходы на содержание двигателей составляют примерно 10% от общих расходов на содержание электровоза.

б) Электровозы  $C_0-C_0$ . Расходы на содержание этих электровозов труднее поддаются анализу, так как некоторые изменения в электрооборудовании и в механической части, которые начали производиться после нескольких месяцев эксплуатации, ещё не закончены, и они могут несколько исказить статистические данные.

Тем не менее расходы по текущему содержанию очень малы. Например, в январе 1955 г. расходы на содержание обоих локомотивов, находящихся в эксплуатации, составляли 11,1 франка на 1 км\*.



Фиг. 5. Удельный расход энергии электровозами различных типов

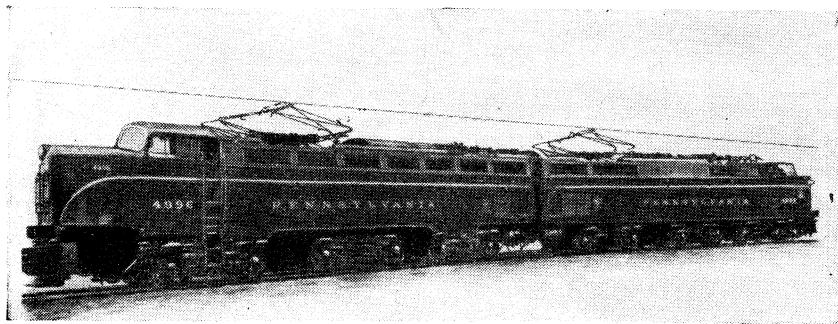
\* См. предыдущее примечание.

ХУАЙТТЕКЕР И ХУТЧИСОН  
C. C. WHITTAKER, W. M. HUTCHISON

## ЭЛЕКТРОВОЗЫ С ИГНИТРОННЫМИ ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ НА ПЕННСИЛЬВАНСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

*Electrical Engineering*, 1952, 71 № 5.

Значительным достижением в развитии железнодорожного транспорта является ввод в эксплуатацию на Пеннсильванской железной дороге двух грузовых электровозов мощностью 6 000 л. с., оборудованных игнитронными выпрямителями (фиг. 1).



Фиг. 1. Общий вид электровоза с игнитронными выпрямителями типа  $V_0$ - $V_0$ - $V_0$

Давно признано, что низковольтные двигатели постоянного тока последовательного возбуждения хорошо подходят для средств тяги и обладают по сравнению с тяговыми двигателями переменного тока такими преимуществами, как относительная простота конструкции и большой пусковой момент без излишних ограничений по коммутации или нагреву. С другой стороны, однофазная система переменного тока, принятая на Пеннсильванской железной дороге, обеспечивает экономию капитальных затрат и эксплуатационных расходов в системах передачи и распределения электроэнергии.

### Развитие электроподвижного состава с игнитронными выпрямителями

Применение ртутных выпрямителей для преобразования переменного тока в постоянный создаёт благоприятные возможности



вследствие сочетания преимуществ той и другой системы. Начиная с 1914 г., на железной дороге Нью-Хавен эксплуатировался опытный моторный вагон на напряжение 11 кВ при частоте 25 гц с выпрямителем. После пробега 35 000 км моторный вагон вышел из строя, так как выпрямители того времени не отвечали предъявляемым к ним требованиям. Выпрямители были многоанодные насосные, а при существовавших тогда ограниченных возможностях герметизации очень трудно было поддерживать необходимый вакуум. Поэтому часто имели место обратные зажигания дуги. В связи с началом первой мировой войны реализация этой идеи была временно отложена.

По окончании войны был разработан другой вариант — электровоз с мотор-генератором. На этом электровозе переменный ток высокого напряжения преобразовывался в постоянный ток низкого напряжения при помощи трансформатора переменного тока и генератора постоянного тока с синхронным двигателем. Было построено несколько таких электровозов, и они успешно водили тяжеловесные поезда при малых скоростях; однако эти электровозы были очень тяжелы и стоили дорого.

В 1942 г. в конструкцию игнитронных выпрямителей были внесены усовершенствования, которые способствовали широкому применению их во время второй мировой войны в цветной металлургии, при производстве алюминия и магния. Тогда снова возник вопрос о возможности применения выпрямителей на электровозах. В поисках наилучшего решения этой задачи были проведены всесторонние испытания — сначала в лабораториях, а затем на линии, на моторных вагонах, работающих по системе многих единиц. Достигнутые результаты описаны в статье L. J. Hibbard. C. C. Whittaker.

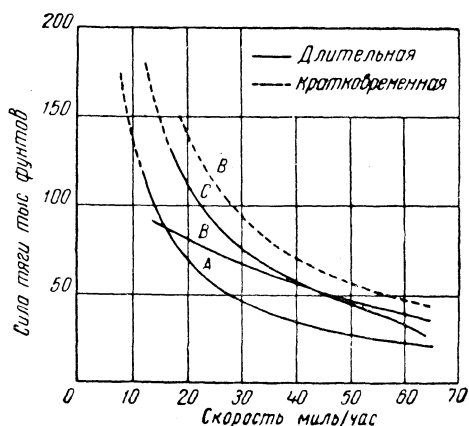
E. W. Anus «Применение электроподвижного состава с выпрямителями». Transaction AIEE. 1950. Т. 69. Стр. 439—42.

Испытания были настолько успешны, что весной 1950 г. дирекция Пеннсильванской железной дороги решила отказаться от своего заказа на два грузовых электровоза нового типа с электродвигателями переменного тока и построить электровозы, оборудованные игнитронными выпрямителями, которые отличаются рядом следующих существенных преимуществ:

- 1) возможность использования на линиях переменного тока высокого напряжения;
- 2) исключительно высокая гибкость управления, подобная обычным электровозам переменного тока, при широком диапазоне скоростей, реализуемых при длительной мощности;
- 3) применение двигателей постоянного тока, обеспечивающее реализацию длительного тягового усилия при различных скоростях;
- 4) применение серийной аппаратуры, которая изготавливается в больших количествах.

## Тяговые характеристики

На фиг. 2 изображены характеристики игнитронных электровозов, представляющие зависимость тягового усилия от скорости и для сравнения характеристики стандартного трёхсекционного тепловоза мощностью 4500 л. с., широко применяемого в настоящее время, а также двухсекционного электровоза мощностью 5625 л. с. переменного тока 25 гц. Все сравниваемые локомотивы 12-осные с тяговым двигателем на каждой оси. Электродвигатели на тепловозе такого же типа, как и на игнитронном электровозе. Двигатели переменного тока — новейшего типа. Механическая часть электровозов переменного тока такая же, как и игнитронного электровоза.



Фиг. 2. Характеристики работы локомотивов:

А — тепловоза; В — электровоза; С — электровоза с игнитронными выпрямителями

нению с локомотивами двух других типов преимущество в области больших скоростей, но в области малых скоростей явно уступает этим двум локомотивам. При малых скоростях игнитронный электровоз развивает тяговое усилие большее почти на 50%. Отмечается обычно также ещё одно преимущество электровоза переменного тока, заключающееся в том, что этот электровоз выдерживает кратковременную перегрузку, значения которой выходят далеко за пределы номинальной длительной нагрузки. Этому требованию мог бы удовлетворить также и электровоз с выпрямителем, но в дополнительной мощности этого электровоза нет никакой нужды, так как номинальная длительная нагрузка при малой скорости вполне отвечает указанным требованиям.

Тепловозы работают при постоянной отдаваемой мощности, которая ограничена мощностью дизеля.

Данные кривых тяговых усилий могут быть пересчитаны соответственно на веса поездов. В табл. 1 приведены для сравнения веса поездов, которые могут водить указанные локомотивы на

типовом участке пути. Скорость приведена для руководящих подъёмов.

Т а б л и ц а 1

**Номинальные веса поездов при 12-осных локомотивах на типичных руководящих подъёмах**

Тип локомотива	Вес поезда без локомотива в <i>т</i>	
	Скорость 64 км/час	Скорость 27 км/час
Электровоз с выпрямителем . . . . .	4 180	12 720
Электровоз с коллекторными двигателями переменного тока . . . . .	4 270	8 180
Тепловоз . . . . .	2 450	7 670

**Размеры и номинальные данные электровоза**

Один из двух выполненных электровозов имеет двухосные тележки, а другой — трёхосные. Это сделано для выяснения, какие тележки лучше подходят для данных условий эксплуатации. Основные параметры и размеры электровозов с колёсными формулами 2 ( $B_0-B_0-B_0$ ) и 2 ( $C_0-C_0$ ) приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

**Основные данные электровозов**

Показатели	Электровоз 2 ( $B_0-B_0-B_0$ )	Электровоз 2 ( $C_0-C_0$ )
Напряжение переменного тока в <i>кв</i> . . . . .	11	11
Число фаз . . . . .	1	1
Частота в <i>гц</i> . . . . .	25	25
Число ведущих осей . . . . .	12	12
Общий вес в <i>т</i> . . . . .	341	330
Сцепной вес в <i>т</i> . . . . .	341	330
Нагрузка на ведущую ось в <i>т</i> . . . . .	28,5	27,5
Тяговое усилие в <i>т</i> . . . . .	60	60
Скорость в <i>км/час</i> . . . . .	27,2	27,2
Коэффициент сцепления в % . . . . .	17,6	18,1
Начальное тяговое усилие в <i>т</i> при коэф- фициенте сцепления 25% . . . . .	85	82,8
Максимальная рабочая скорость в <i>км/час</i> . . . . .	100	100
Число тяговых двигателей . . . . .	12	12
Диаметр ведущих колёс в <i>мм</i> . . . . .	1 118	1 118
Передаточное число . . . . .	15:68	15:68
Воздушный тормоз . . . . .	Тип 8-EL с тормозным вентилем D-24	
Число компрессоров . . . . .	2	2
Производительность компрессора в <i>м³/час</i> . . . . .	740	740
Управление . . . . .	Электропневматическое с питанием от батареи	

## Продолжение

Показатели	Электровоз 2 (В <sub>0</sub> -В <sub>0</sub> -В <sub>0</sub> )	Электровоз 2 (С <sub>0</sub> -С <sub>0</sub> )
Общая длина по буферам в м . . . . .	37,2	37,2
Полная база в м . . . . .	31,3	31,3
Жёсткая база в м . . . . .	2,85	5
Ширина кузова в м . . . . .	3,86	3,86
Высота при опущенном пантографе в м . . . . .	4,5	4,5
Высота верхней точки кабины в м . . . . .	4,35	4,35
Ширина кабины в м . . . . .	2,94	2,94
Ширина колеи в мм . . . . .	1 435	1 435
Высота сцепки в мм . . . . .	864	864
Зазор над рельсом в мм . . . . .	133	133

На фиг. 3 представлено расположение основного оборудования электровоза. Выбор одного коридора вызван требованиями к размещению трансформатора, игнитронной камеры и переключателя ступеней трансформатора.

Игнитронный выпрямитель и связанная с ним аппаратура преобразуют энергию, получаемую из контактной сети переменного тока напряжением 11 кв при 25 гц, в энергию постоянного тока для питания тяговых двигателей обычного типа.

Игнитронный выпрямитель относится к числу ртутных выпрямителей с зажиганием, которое создаёт дугу при каждом положительном полупериоде и гасит её при каждом отрицательном полупериоде.

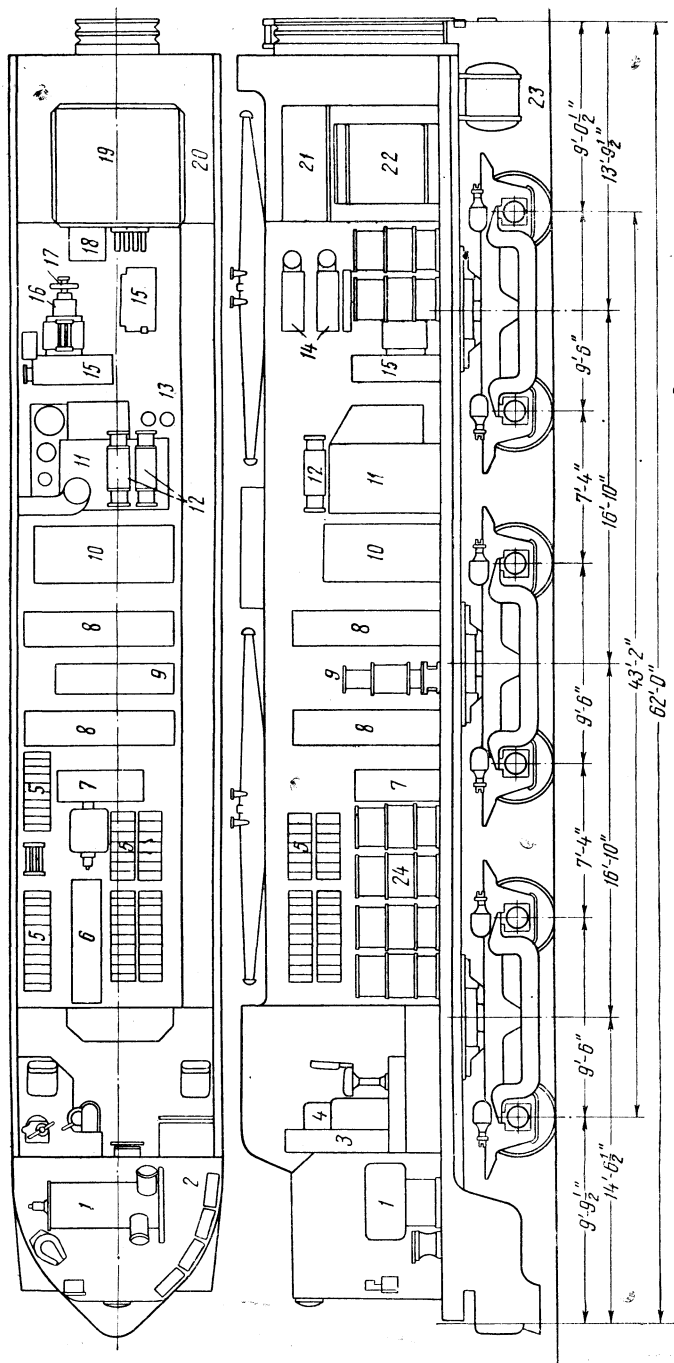
Трансформатор наполнен синтетическим негорючим, органическим изоляционным материалом ≈ инертином, который охлаждается при помощи воздушного радиатора. Конструкция трансформатора в основном такая же, как и у обычных электровозных трансформаторов, если не считать, что вторичная обмотка имеет вывод от средней точки и выводы для регулирования ступеней скорости и пуска по обе стороны от средней точки.

Так как при каждом полупериоде используется только половина вторичной обмотки, то общая длина вторичной обмотки примерно на 45% больше, чем в трансформаторе электровоза с однофазными двигателями последовательного возбуждения. Циркуляция инертина осуществляется при помощи насоса, встроенного в бак трансформатора. Первичная обмотка трансформатора рассчитана на 4 200 ква при напряжении 11 кв. Бак трансформатора сконструирован с таким расчётом, чтобы количество инертина было минимальным.

### Схема управления при тяговом режиме

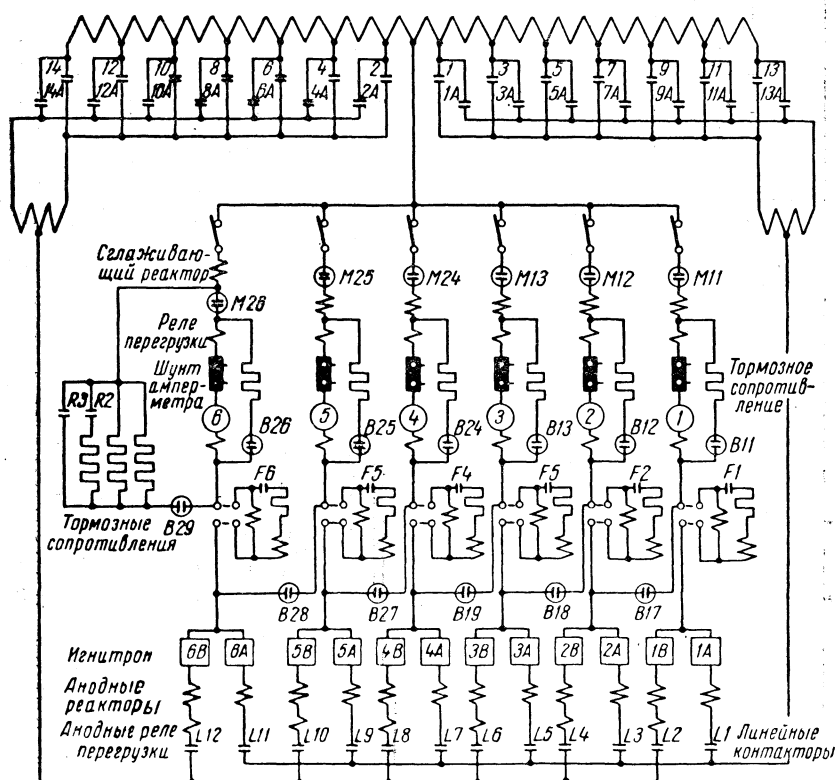
Силовая схема электровоза показана на фиг. 4, последовательность замыкания контакторов приведена в табл. 3.

Как видно из фиг. 4, вторичная обмотка трансформатора имеет средний вывод и ряд выводов для ступеней регулирования скорости,



Фиг. 3. Расположение оборудования на одной секции электровагона с игнитронными выпрямителями:

1—компрессор сжатого воздуха; 2—аккумуляторная батарея; 3—измерительные приборы; 4—контроллер машиниста; 5—фильтр-конденсатор; 6—фильтр постоянного тока; 7—мотор-вентилятор; 8—игнитронные камеры; 9—алюминиевые реакторы; 10—переключатель ступеней трансформатора; 11—трансформатор; 12—делительные катушки; 13—баллоны для  $\text{CO}_2$ ; 14—тормозной переключатель; 15—вентилятор трансформатора; 16—генератор управления; 17—насос; 18—расширительный бак; 19—вентилятор; 20—радиаторы для водяного охлаждения игнитронов; 21—тормозные сопровивления; 22—радиатор и вентилятор; 23—главный резервуар; 24—сглаживающий реактор



Фиг. 4. Силовая схема электровоза с игнитронными выпрямителями

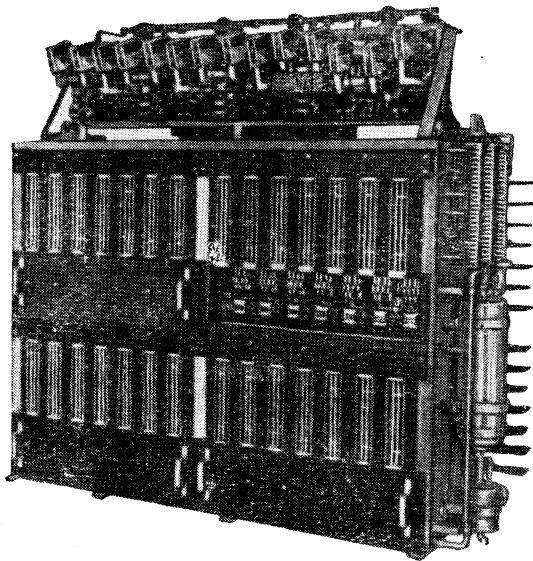
выключатель и реактор. Два таких вентиля обеспечивают питание одного тягового двигателя постоянным током по схеме двухполу- периодного выпрямителя. От каждого двигателя ток поступает в сглаживающий реактор постоянного тока (ограничивающий пульсацию тока примерно до 30 %), в контактор тормозного переключателя, отключатель двигателя и возвращается к средней точке вторичной обмотки трансформатора.

*Последовательность замыкания контакторов*

153

ния игнитронов. Запаздывание зажигания изменяется до  $30^\circ$  при моторном режиме и до  $50^\circ$  при тормозном.

На фиг. 5 представлен переключатель ступеней трансформатора. Камеры, в которых помещаются контакторы, совершенно закрыты



Фиг. 5. Переключатель ступеней трансформатора  
(вид спереди)

во время эксплуатации (за исключением отверстий для выхлопа дуги); дуга охлаждается потоком воздуха производительностью примерно  $5\,000\text{ м}^3/\text{час}$ . В верхней части камеры располагаются контакторы для вспомогательных двигателей и отопления.

### Тяговые двигатели

Тяговые двигатели типа 370-DZ с номинальной мощностью 500 л. с. имеют 6 главных и дополнительных полюсов. Обмотки якоря и возбуждения выполнены с кремний-органической изоляцией. Вал якоря опирается на роликовые подшипники; осевые подшипники скользящие. Двигатели этого типа применяются также на тепловозах фирмы Болдуин-Вестингауз и Ф. Морзе.

### Вспомогательная аппаратура и вентиляция

На каждом электровозе имеется три мотор-вентилятора. Мотор-вентилятор с индукционным двигателем мощностью 43 л. с. и скоростью вращения 1 450 об/мин обслуживает тяговые двигатели и одновременно подаёт воздух для обдувания оттаивателей.



На электровозах с двухосными тележками вентиляция осуществляется при помощи воздухопровода, расположенного в нижней части рамы, причём воздух подаётся к каждой тележке через центральный шкворень и люльку к каждому двигателю. На электровозах с трёхосными тележками всасух подаётся к каждому двигателю непосредственно при помощи специального ползуна, установленного в нижней части воздухопровода.

Мотор-вентилятор трансформатора питается от мотор-генератора. Двигатель этого агрегата мощностью 29 л. с. со скоростью вращения 1450 об/мин обслуживает также генератор цепей управления напряжением 45 в при токе 60 а и центробежный насос, который служит для принудительной циркуляции водяного охлаждения игнитронов. Этот же мотор-вентилятор охлаждает радиатор трансформатора, переключатель ступеней, сглаживающий реактор в цепи постоянного тока и реакторы в цепях двигателей.

Радиаторы системы охлаждения игнитронных вентилях вентиляруются мотор-вентилятором с индукционным двигателем мощностью 35 л. с. при 1450 об/мин.

### Игнитронные камеры

На каждом электровозе имеются две игнитронные камеры (фиг.6). Каждый игнитронный вентиль смонтирован на упругом основании и укрепляется примерно в центре тяжести основания. Основание прикреплено к изолированному болту, так что катоды остаются изолированными от земли. Вентили — стандартного типа, если не считать специального ртутного экрана. В левом верхнем углу камеры видна аппаратура трёх цепей зажигания, а вправо, рядом с ней, находится 6 автоматических выключателей анодных цепей. Каждый выключатель должен обеспечивать отключение обратного зажигания дуги игнитронного вентиля.

Наиболее частой неисправностью при стационарном применении игнитронных вентилях является обратное зажигание дуги. Оно имеет место в тот момент, когда на аноде образуется катодное пятно, в результате чего происходит короткое замыкание. В многофазной установке все прочие исправные фазы дают свою энергию в короткозамкнутую цепь, так что в результате получается ток до 50 000 а и более. Это вполне возможно также и при нагрузке постоянным током, когда энергия, накопившаяся в шунтовом поле, устремляется обратно в короткозамкнутую цепь.

Поскольку на железных дорогах используется однофазная система питания, явление мощного обратного зажигания дуги при наших многолетних лабораторных опытах и за два года работы экспериментальных моторных вагонов не наблюдалось. Когда случайно возникало обратное зажигание дуги, то оно сейчас же исчезало при переходе через ближайшее нулевое значение волны напряжения, причём в однофазной цепи уже не оказывалось другого напряжения для того, чтобы зажечь дугу независимо от действия системы зажигания.

При перегрузке срабатывает защитное реле, которое закорачивает цепь зажигания и разрывает цепь катушки вентиля анодного выключателя. Это приводит к разрыву тока перегрузки в игнитронном вентиле, поскольку этот разрыв происходит через полупериод, а выключатель анодной цепи выключается через полтора периода.



Фиг. 6. Общий вид игнитронной камеры

Поэтому после перегрузки выключатель срабатывает без появления дуги.

Для производства таких выключателей пользуются методом кокильного литья. В выключателях имеются катушки для дугогашения, которые особенно эффективно действуют при постоянном токе.

#### Схема управления при тормозном режиме

В тех случаях, когда применяется реостатное торможение, поле двигателей возбуждается при помощи двух игнитронных вентилях, обеспечивающих питание постоянным током обмоток возбуждения

всех последовательно включённых двигателей через ступенчатое сопротивление; затем ток возвращается через одну из катушек сглаживающего реактора постоянного тока обратно к среднему выводу вторичной обмотки трансформатора.

Тормозное сопротивление определённой величины включается в цепи якорей и обмоток дополнительных полюсов двигателей. При наличии двух выводов по обе стороны от средней точки вторичной обмотки трансформатора возможно получить 14 ступеней торможения путём изменения величины тормозного сопротивления и регулирования запаздывания фазы зажигания двух игнитронных вентилях.

Тормозное сопротивление служит для поглощения энергии, поступающей от якоря в процессе торможения. В каждой цепи тормозного сопротивления для защиты от перегрева установлено тепловое реле.

На фиг. 6 изображён групповой тормозной переключатель кулачкового типа.

Воздушный тормоз представляет сочетание тормоза типа 8-EL с тормозным вентилем DS-24. Компрессор типа 3-CD фирмы Вестингауз приводится во вращение индукционным двигателем. Пуск мотор-компрессора происходит без нагрузки, и он начинает действовать только по мере достижения определённой скорости. При 750 об/мин каждый компрессор подаёт 377 м³ воздуха в час.

### **Противопожарная защита двуокисью углерода**

Двуокись углерода применяется в качестве защиты от огня и хранится в четырёх бутылках, по 25 л каждая. Аппаратное помещение (А) на каждой секции электровоза защищено противопожарной перегородкой высотой 1,8 м, примыкающей непосредственно к коридору, с тем чтобы задерживать поток газа, который выделяется действующей аппаратурой. В наиболее важных пунктах установлены напорные сопла. Вентиляторы останавливаются под действием потока двуокиси углерода.

В процессе понижения скорости вращения вентилятора трансформатора реакторы, обдуваемые этим вентилятором, наполняются двуокисью углерода. Вентилятор тягового двигателя полностью отключается при разрядке СО<sub>2</sub>. Включение газозащиты можно осуществить с любой стороны электровоза как изнутри, так и снаружи, не поднимаясь при этом над уровнем пола или земли.

Кроме того, установлены ручные переносные огнетушители, наполненные двуокисью углерода.

### **Заключение**

Ко времени написания этой статьи один из электровозов уже прошёл заводские испытания, предшествующие приёмным испытаниям на железной дороге. Предварительные испытания показали,

что электровоз обладает широким диапазоном рабочих характеристик в области моторного и тормозного режимов.

Для дальнейшего улучшения показателей работы игнитронных электровозов и проведения исследовательской работы по определению действительной потребности в фильтрах переменного и постоянного тока было решено установить на этих электровозах фильтры максимальной величины, а затем, после испытания, излишнюю мощность фильтров снять. Для этого пришлось несколько стеснить расположение основной аппаратуры.

Испытания показали, что можно удалить совсем фильтр постоянного тока и почти половину фильтра переменного тока. Это позволит более удобно выполнить расположение аппаратуры и уменьшить вес примерно на 5 т за счёт удаления конденсаторов и реакторов.

Поскольку вышеописанные электровозы только вводятся в эксплуатацию, никаких выводов об их работе пока сделать нельзя<sup>1</sup>. Надо полагать, что через некоторый промежуток времени преимущества электровозов с игнитронными выпрямителями на линиях однофазного переменного тока проявятся во всей полноте.

Применение этих электровозов не ограничивается только частотой 25 гц; они одинаково успешно могут работать также и при частотах 50 или 60 гц.

Основным препятствием в деле развития электрификации железных дорог в США являются высокие капитальные затраты. Однако в связи с тем, что электровозы с игнитронными выпрямителями могут работать при промышленной частоте, а не только при частоте 25 гц (которая всецело определяется ограниченными возможностями конструкции двигателей переменного тока), появляется возможность снижения первоначальных затрат, связанных с электрификацией. Вместе с тем расширяются возможности электрификации таких железных дорог, для которых это было раньше экономически нецелесообразно<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> *Прим. редактора.* О результатах опытной эксплуатации электровозов с игнитронами см. Transaction A. I. E. E. т. 73, 1954, ч. II, стр. 139.

## ЭЛЕКТРОВОЗЫ С ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ ДЛЯ ЛИНИИ НЬЮ-ЙОРК—НЬЮ-ХАВЕН<sup>1</sup>

*Railway Locomotives and Cars. 1955 г., № 2, февраль*

В декабре 1954 г. началась поставка электровозов с выпрямителями для железной дороги Нью-Йорк—Нью-Хавен. Всего заказано 10 быстроходных пассажирских электровозов.

Будучи вполне сходными по своим эксплуатационным характеристикам с электровозами других типов, находящимися в эксплуатации в настоящее время, новые электровозы отличаются от них некоторыми особенностями как в электрической, так и в механической части. Эти особенности определяются необычными условиями работы Нью-Хавенских электровозов в черте города Нью-Йорка. Главная линия этой железной дороги от Нью-Хавен до станции Пеннсилвания в Нью-Йорке электрифицирована на однофазном токе напряжением 11 000 в при частоте 25 гц и имеет верхнюю подвеску контактного провода, участок же линии Вудлаун—Виадук, Парк Авеню—Большой центральный вокзал электрифицирован на постоянном токе 650 в с питанием от третьего рельса. Поэтому пассажирские электровозы должны быть приспособлены для питания как переменным, так и постоянным током. Кроме того, надо обеспечить бесперебойное действие отопления во всём поезде и питание вспомогательных цепей. Наконец, по условиям допустимой нагрузки на виадук нагрузка на ось не должна превышать 26,2 т.

Ещё недавно применение выпрямителей на железных дорогах ограничивалось главным образом подстанциями, на которых получается постоянный ток для питания электровозов и моторных вагонов. Впервые широкое применение выпрямителей, устанавливаемых на электровозах или вагонах в качестве преобразователя, началось в 1954 г., когда железная дорога Нью-Хавен получила 100 моторных вагонов, оборудованных фирмой Вестингауз-Электрик.

За последние годы в связи с широким распространением тепловозов тяговый двигатель постоянного тока подвергся значительному усовершенствованию. Преимущества, связанные с массовым произ-

<sup>1</sup> Выдержка из доклада, представленного Гоуэнс (F. D. Gowans) (Отдел локомотивного и вагонного оборудования Дженерал-Электрик К<sup>о</sup>) на общем собрании Американского института инженеров-электриков, состоявшемся в Нью-Йорке в период с 31 января по 4 февраля 1955 г.

водством, и опыт, полученный при эксплуатации многих тысяч двигателей, привели к существенному снижению стоимости производства этих двигателей и расходов на их содержание.

На выпрямительных электровозах, описанных в настоящей статье, также использован стандартный двигатель постоянного тока GE-752 фирмы Дженерал-Электрик.

### Общее описание электровоза

Сварной кузов с обтекаемыми концами изготовлен из стальных листов и строительных профилей. Боковины кузова сконструированы как несущие нагрузку фермы, которые поддерживают раму и оборудование. На каждом конце рамы имеются пост управления, сцепной прибор с резиновым буфером и жёсткая сцепка. Стандартные головные, сигнальные и номерные огни, принятые на Нью-Хавенской железной дороге, встроены в лобовые листы кузова.

Комбинированный топливный и водяной баки для поездного отопления подвешены под рамой кузова, между тележками.

На каждом конце крыши установлены пантографы переменного тока. Основания, на которых установлены пантографы, выполнены в виде люков, которые служат воздухопроводами для вентиляции оборудования. Воздух забирается из боковой части этих воздухопроводов на уровне крыши. На центральной части крыши — сплошной и цельной — установлены пусковые сопротивления и вентиляторы.

Для лучшей видимости, помимо лобовых окон, размещённых над скруглённым капотом, имеются боковые окна, расположенные на одном уровне с лобовыми.

Боковые двери по концам обеспечивают доступ в кабины управления. Выход на крышу осуществляется при помощи внутренней лестницы и отверстия в крыше.

Кузов опирается на две трёхосные тележки с люлечным подвешиванием. Все оси моторные. Для того чтобы обеспечить место для размещения двигателя, устанавливаемого на средней оси, подпятник расположен между первой и второй осями. Подрессоренные скользуны, расположенные на каждой стороне рамы тележки между второй и третьей осями, также воспринимают нагрузку и обеспечивают равномерное распределение давления на оси.

Внутренние балансиры, расположенные над буксовыми роликовыми подшипниками, поддерживают при помощи спиральных рессор отлитую из стали раму тележки. В свою очередь к раме на четырёх качающихся серьгах и эллиптических рессорах подвешены люлька и подпятник.

Основная тормозная передача рассчитана на коэффициент нажатия колодок 75%. Каждое колесо имеет отдельный тормозной цилиндр с автоматическим компенсатором зазоров, вызванных износом.

## Технические данные электровоза

Вес электровоза (полностью экипированный) . . . . .	157,4 т
Давление на ведущую ось . . . . .	26,23 т

### Размеры:

Ширина колеи . . . . .	1 435 мм
Длина между осями автосцепок . . . . .	20,726 м
Высота до крыши . . . . .	3,87 »
Высота при опущенном токоприёмнике постоянного тока . . . . .	4,496 »
То же переменного тока . . . . .	4,477 »
Ширина по листам обшивки . . . . .	3,026 »
Наибольшая ширина кузова . . . . .	3,191 »
Общая база электровоза . . . . .	16,002 »
Жёсткая база (база тележки) . . . . .	4,572 »
Расстояние между подпятниками . . . . .	13,411 »
Диаметр колеса . . . . .	1 016 мм
Высота до середины автосцепки . . . . .	864 »
Зазор между кожухом зубчатой передачи двигателя и рельсом . . . . .	114 »

### Снаряжение

Вода для отопления поезда . . . . .	6 800 л
Топливо для отопления поезда . . . . .	1 500 »
Песок . . . . .	0,6 м <sup>3</sup>

### Характеристики

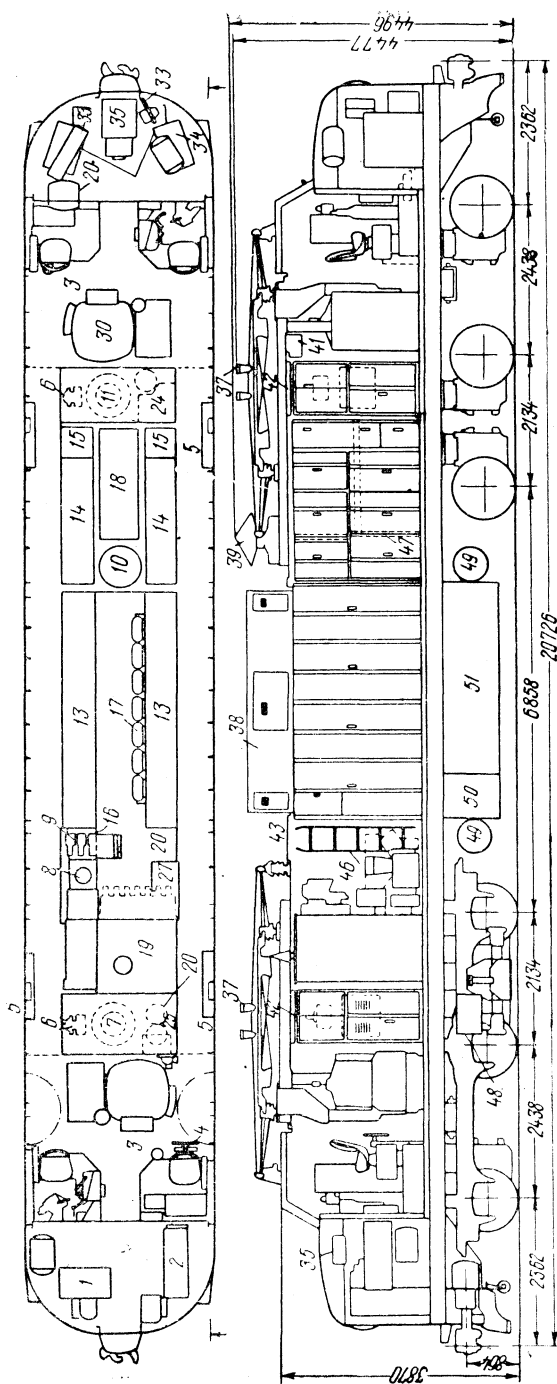
Усилие тяги при коэффициенте сцепления 0,25 . . . . .	39,4 т
Длительное усилие тяги . . . . .	15,4 »
Скорость при длительном режиме . . . . .	71 км/час
Длительная мощность . . . . .	4 000 л. с.
Максимальная скорость . . . . .	145 км/час
Паропроизводительность котла для отопления поезда . . . . .	225 кг/час

## Размещение аппаратов

Основные аппараты показаны на фиг. 1. Малогабаритное оборудование, батареи, оборудование для управления поездом и тормозное оборудование расположены в основном в концевых выступах кузова. Здесь они более доступны, и их легче связать с оборудованием поста машиниста.

Применён стандартный воздушный тормоз 24RL. Воздушный компрессор имеет производительность 5,65 м<sup>3</sup> в минуту. Два запасных резервуара общей ёмкостью 1,25 м<sup>3</sup> расположены под рамой кузова по обеим сторонам топливного и водяного баков.

Две кабины управления с выступающими площадками в местах нахождения машиниста и истопника расположены по концам помещения для главных аппаратов. Аппараты управления, тормозные клапаны и другое оборудование для надёжности и удобства собраны в блоки. В каждой кабине расположен парогенератор производительностью 1 130 кг пара в час. Оба парогенератора обслуживают поездное отопление и могут работать совместно или независимо друг от друга.



Фиг. 1. Расположение основных аппаратов в кузове электровоза:

1 — оборудование воздушного тормоза; 2 — аппараты управления поездом; 3 — дымовая труба; 4 — ручной тормоз; 5 — ящик для песка; 6 — реверсор; 7 — первый вентилятор тяговых двигателей; 8 — компрессор; 9 — контакторы постоянного тока; 10 — реактор для ограничения тока; 11 — второй вентилятор тяговых двигателей; 12 — помещение для аппаратов управления; 13 — выпрямители; 14 — вспомогательная аппаратура; 15 — автоматический выключатель постоянного тока; 16 — конденсаторы тока; 17 — оборудование для регулирования температуры; 18 — сопротивление вспомогательных цепей и фильтры; 19 — трансформатор; 20 — реактор; 21 — оборудование для регулирования температуры; 22 — трансформатор; 23 — контакторы на выводах трансформатора; 24 — парогенератор; 25 — парогенератор; 26 — парогенератор; 27 — парогенератор; 28 — парогенератор; 29 — парогенератор; 30 — парогенератор; 31 — парогенератор; 32 — парогенератор; 33 — парогенератор; 34 — парогенератор; 35 — парогенератор; 36 — парогенератор; 37 — парогенератор; 38 — парогенератор; 39 — парогенератор; 40 — парогенератор; 41 — парогенератор; 42 — парогенератор; 43 — парогенератор; 44 — парогенератор; 45 — парогенератор; 46 — парогенератор; 47 — парогенератор; 48 — парогенератор; 49 — парогенератор; 50 — парогенератор; 51 — парогенератор.



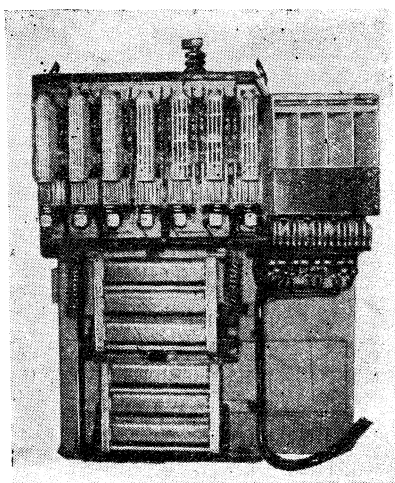
Перегородка с дверями по краям отделяет кабину управления от помещения главных аппаратов. Два вентилятора, установленных по концам аппаратного помещения, подают вентиляционный воздух для тяговых двигателей, трансформатора, выпрямителей и реакторов. Вентиляционный воздух также обдувает радиаторы для охлаждения выпрямителей. Воздух входит через воздухопроводы в крыше, проходит через радиаторы охлаждения выпрямителей и поступает в вентиляторы, которые направляют его в воздухопровод, расположенный на раме кузова. Отсюда он распределяется по аппаратам по потребности.

Главный трансформатор (фиг. 2) спроектирован в расчёте на использование для его установки всей высоты кузова. Высоковольтные выводы на крыше выступают сквозь крышки люков, и таким образом все цепи аппаратов на напряжение 11 000 в находятся в пределах крыши. Вторичные выводы и контакторы для их переключения смонтированы на одной из стенок бака. Трансформатор заполнен пираниолом, который при помощи мотор-насоса циркулирует через бак и обмотки трансформатора к охладителю, расположенному с правой стороны бака. Через охладитель продувается вентиляционный воздух, забираемый из воздухопровода на раме кузова.

Все аппараты управления постоянного тока вместе со вспомогательными контакторами и контакторами для переключения с переменного на постоянный ток размещены в двух шкафах.

Каждый шкаф обращён фасадом к боковому проходу, из которого возможен удобный осмотр и обслуживание оборудования. Центральный проход между шкафами даёт доступ к их задней стороне и к помещённым в проходе конденсаторам фильтров. На верхней части каркасов шкафов с аппаратами управления расположены пусковые сопротивления и вентиляторы. Такое расположение сокращает до минимума длину проводов, соединяющих сопротивления и контакторы. Сопротивления ребристого типа охлаждаются при помощи вентиляторов, приводимых во вращение двигателями, включёнными параллельно сопротивлениям. При такой схеме количество продуваемого воздуха пропорционально напряжению на сопротивлении.

12 выпрямителей главной цепи и 4 вспомогательных выпрямителя вместе с электрооборудованием для цепей зажигания размещены в двух шкафах (фиг. 3). Насос системы охлаждения выпря-



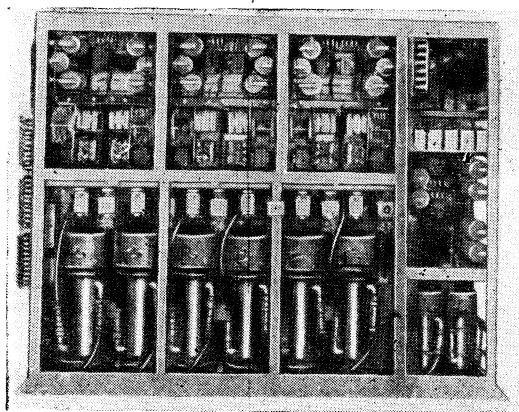
Фиг. 2. Агрегат главного трансформатора, подготовленный для установки на электровозе

мителей вместе с его аппаратами управления расположен в самой нижней части помещения вентиляторов.

Стандартные выпрямители с 200-мм вентилями были несколько модифицированы для установки на электровозе; предусмотрен анод

более тяжёлой конструкции и изменена ртутная ванна, чтобы обеспечить горение дуги при наиболее неблагоприятных условиях движения электровоза. Охлаждающая вода под действием мотор-насоса циркулирует через выпрямители, клапаны управления и радиаторы; последние охлаждаются воздухом.

Два реактора, установленные между шкафами с выпрямителями, охлаждаются воздухом, поступающим из главного вентиляционного



Фиг. 3. Шкаф с выпрямителями

воздухопровода. Один из них—воздушный реактор с шестью отдельными катушками для ограничения токов обратного зажигания в каждой из выпрямительных цепей; другой — реактор с железным сердечником предназначен для сглаживания пульсаций тока, поступающего от выпрямителей в тяговые двигатели. Последнее необходимо для обеспечения удовлетворительной коммутации двигателей. Вспомогательные цепи также имеют сглаживающие реакторы для той же цели.

### Электрические схемы

Общая схема питания показана на фиг. 4, а схема включения тяговых двигателей — на фиг. 5.

В зоне питания от переменного тока энергия 11 000 в 25 гц подводится к первичной обмотке трансформатора от верхнего контактного провода. Токосъём осуществляется при помощи двух пантографов, установленных на крыше. В зависимости от необходимости могут работать оба пантографа вместе или любой из них. От вторичной обмотки трансформатора через контакторы, установленные на выводах обмотки, и через реакторы питание подаётся к 12 главным выпрямителям, соединённым в три отдельных моста.

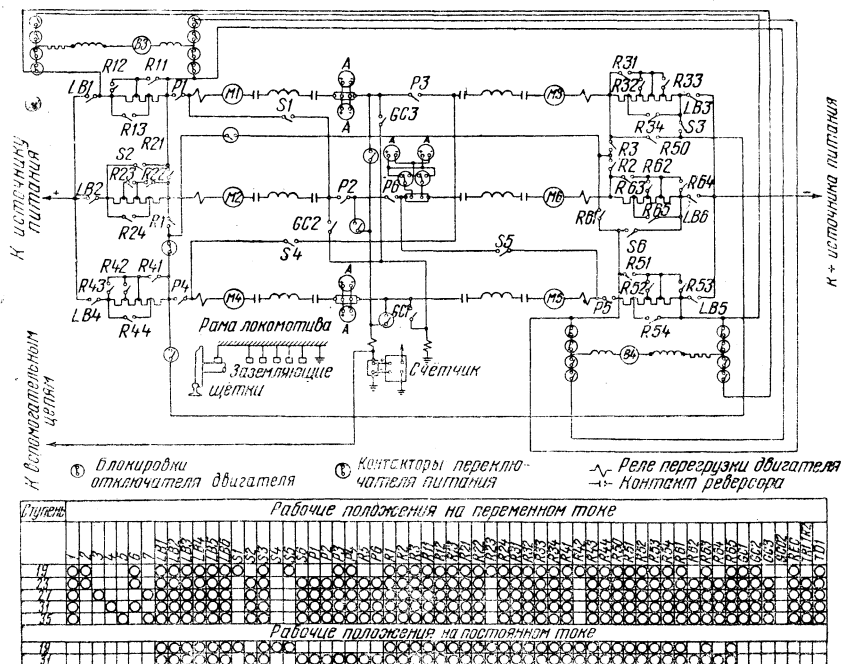
От выпрямителей энергия через контакторы переключателя питания, главный сглаживающий реактор, линейные контакторы и пусковые сопротивления поступает к шести тяговым двигателям. Схема предусматривает две комбинации включения двигателей: две парал-

[illegible]

*GS* — заземляющий контактор пантографа; *GSR* — реле заземляющего контактора;  
*LA* — разрядник; *TPR* — реле защиты трансформатора

В зоне питания постоянным током энергия получается от третьего рельса при напряжении 650 в при помощи токоприёмников, расположенных по обеим сторонам каждой тележки. Цепь тока проходит через предохранители, два линейных автоматических выключателя и переключатель питания к пусковым сопротивлениям и к тяговым

двигателям. Схема включения тяговых двигателей предусматривает две группировки: три параллельные группы по два двигателя последовательно (для пуска и работы при низких скоростях) и полное параллельное соединение всех двигателей (для работы при высоких скоростях). Характеристики электровоза изображены на фиг. 6. Контакторы переключателя питания, находящиеся в главных и вспомогательных цепях и управляемые отдельным выключателем



Фиг. 5. Упрощённая схема цепей тяговых двигателей и таблица замыкания контакторов при питании на переменном и постоянном токе

с поста машиниста, дают возможность переключать цепь для питания от переменного или постоянного тока.

Вспомогательные двигатели рассчитаны для работы на постоянном токе напряжением 650 в. В зоне переменного тока они питаются от вспомогательного выпрямителя, который получает питание от отдельной вторичной обмотки главного трансформатора. Для выпрямления используются четыре стандартных игнитрона, соединённых по мостовой схеме. Они имеют общее водяное охлаждение с игнитронами главной цепи. Во вспомогательной цепи, так же как и в главной, установлен сглаживающий реактор.

Заряд батареи и питание цепей управления осуществляются при помощи мотор-генератора. Генератор имеет напряжение 75 в и служит для питания электрооборудования котлов отопления поезда,

двигателя насоса для охлаждения выпрямителей и цепей управления, а также для заряда аккумуляторной батареи.

Защита электрооборудования выполнена в двух видах: защита от перегрузки трансформатора, тяговых и вспомогательных двигателей и защита от заземления главных и вспомогательных цепей. Выпрямители защищены при помощи реакторов, ограничивающих ток, установленных в каждой цепи, и реле обратного зажигания, которое снимает возбуждение с цепей зажигания выпрямителя.

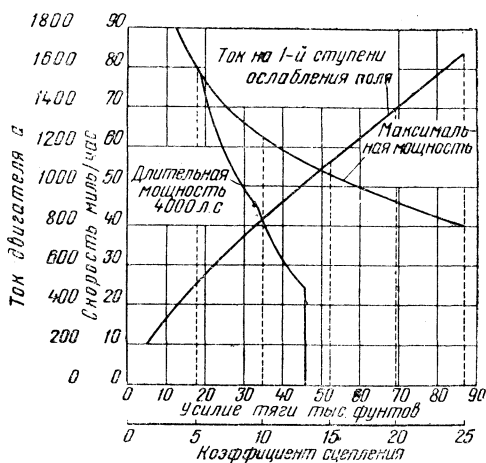
Впервые на дороге Нью-Йорк—Нью-Хавен использованы для пассажирского сообщения электровозы, у которых весь вес является сцепным. Два основных фактора способствовали принятию этой удачной конструкции: условия нагрузки виадука на Парк Авеню и принятый тип тележки.

Электровозы с коллекторными двигателями переменного тока, построенные для тех же условий работы в 1937 г., имеют вес 196 т. Этот вес распределяется между двумя сочленёнными трёхосными ведущими тележками и двумя двухосными бегунковыми тележками, т. е. всего на 10 осей. Большая концентрация нагрузки, возникающая вследствие тесного расположения тележек и осей привела к ограничению давления на ось 20 т.

При осуществлении последней строительной программы виадук Парк Авеню был модернизирован и его нагрузочная способность возросла. Поэтому, когда было решено строить выпрямительный электровоз с двумя трёхосными люлечными тележками, с более широко расставленными осями, было принято давление на ось 26,2 т. При этом вес 6-осного электровоза был ограничен 157 т.

Из сопоставления весов электровозов обоих типов видно, что полный вес нового электровоза на 38 т меньше, чем вес электровоза, построенного в 1937 г., а сцепной вес нового электровоза больше сцепного веса первого электровоза на 33,5 т. Облегчение веса получено главным образом за счёт тележек и оборудования, в то время как вес кузова возрос.

Применение запаянных выпрямителей на электровозах и моторных вагонах имеет большое значение с точки зрения перспективы электрификации железных дорог.



Фиг. 6. Характеристики электровоза

### Сравнительные данные электровозов с коллекторными двигателями и выпрямителями

Тип электровоза	С коллекторными двигателями	Выпрямительный
Ходовая формула . . . . .	$2 \cdot C_0 + C_0 - 2$	$C_0 - C_0$
Год постройки . . . . .	1937	1954
Назначение . . . . .	Пассажирский	Пассажирский
Длительная мощность в л. с. . . . .	4 000	4 000
Длина между осями сцепок в м . . . .	23,469	20,723
Вес в т:		
Тележки . . . . .	72,0	32,6
Кузов и площадки . . . . .	32,6	42,1
Оборудование . . . . .	81,5	70,5
Запасы снаряжения . . . . .	9,5	12,2
Всего . . . . .	195,6	157,4
Вес сцепной . . . . .	122,2	157,4
Давление на ведущую ось . . . . .	20,37	26,23
» » бегунковые оси . . . . .	73,4	—
» » одну бегунковую ось . . . . .	18,35	—

При современном уровне техники выпрямительный вентиль может быть выполнен весьма большой мощности и эффективно использован на электроподвижном составе. Его способность преобразовывать переменный ток промышленной частоты в постоянный открывает новые возможности современной и будущей электрификации железных дорог.

Намеченный план разработок и исследований новых материалов и методов открывает дальнейшие блестящие перспективы в этом направлении. Новые выпрямительные материалы обещают ещё большую концентрацию мощности при меньшем объёме, более простое управление выпрямителями и меньшие потери. Поэтому перспективы снижения стоимости весьма велики. Эти возможности, наряду с использованием двигателей и аппаратов управления, получивших широкое распространение и развитие на тепловозах, способствуют снижению первоначальной стоимости электровоза, которая служила препятствием для дальнейшего развития электрификации.

Вес электрического оборудования выпрямительного электровоза приблизительно на 10 % меньше, чем у электровоза той же мощности с коллекторными двигателями.

Модернизация железной дороги Нью-Йорк—Нью-Хавен и прогресс в области электрического и механического оборудования привели к созданию нового типа электровоза, у которого сцепной вес повышен на 29 %, а общий вес снижен на 19 % по сравнению с электровозом, построенным в 1937 г. для одинаковых условий эксплуатации.

ЭМС, ХУТЧИСОН, МООР  
(E. W. Ames, W. M. HUTCHISON, V. A. MOORE)

## МОТОРНЫЕ ВАГОНЫ С ИГНИТРОНАМИ ДЛЯ ЛИНИЙ НЬЮ-ХАВЕН

*Railway Locomotives and Cars. 1954 № 3, март*

В начале 1954 г. на электрифицированных линиях железной дороги Нью-Йорк—Нью-Хавен и Хартфорд был пущен в эксплуатацию первый из 100 новых моторных вагонов, управляемых по системе многих единиц. Отличительной особенностью вагона является применение игнитронных выпрямителей для преобразования переменного тока, получаемого от контактного провода, в постоянный, который питает тяговые двигатели. Впервые в мире подобное оборудование применяется в значительном количестве. Это оказалось возможным вследствие прекрасных результатов работы выпрямительных игнитронных установок на опытном моторном вагоне, находящемся в эксплуатации на Пеннсильванской железной дороге с 1949 г., и на четырёх электровозах (номинальной мощностью по 3 000 л. с. каждый), работающих на той же дороге с начала 1952 г.

Указанное оборудование, сочетающее преимущества передачи энергии переменным током высокого напряжения с превосходными характеристиками низковольтных двигателей постоянного тока, очень хорошо приспособлено для обслуживания линии Нью-Хавен, где на участке длиной 18,9 км между Большим центральным вокзалом в Нью-Йорке и Вудлауном в штате Нью-Йорк вагоны проходят по путям Нью-Йоркской центральной дороги, электроснабжение которой осуществляется постоянным током 650 в от третьего рельса.

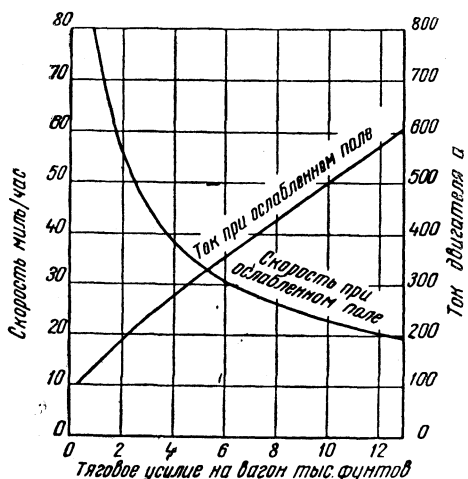
Новые вагоны, сооружённые вагоностроительной компанией Пульман Стандарт на заводе в Ворчестере (Массачузетс), весят 74 т без пассажиров и имеют 120 мест для сидения.

Кондиционирование воздуха и автоматическое управление отоплением обеспечивают комфорт пассажирам во все времена года.

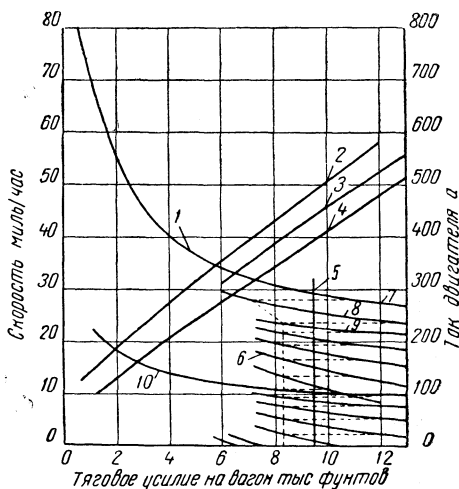
В отличие от существующих моторных вагонов, на которых применяется ручной пуск и работающих совместно с прицепными вагонами, новые вагоны — только моторные, каждый с четырьмя двигателями по 100 л. с. Вагоны имеют автоматический пуск и ускорение 0,45 м/сек<sup>2</sup> при средней нагрузке 60 пассажиров. Благодаря тому что поезд составлен из одних моторных вагонов, требуется минимальное количество междувагонных соединений, а также обеспечивается

наилучшая надёжность работы оборудования и бесперебойность графика движения в случае повреждения одного из моторных вагонов.

Оборудование может использоваться как для местного сообщения, так и для скоростных поездов с максимальной скоростью 130 км/час.



Фиг. 1. Характеристики вагона в зоне переменного тока (6-вагонный состав)



Фиг. 2. Пусковые характеристики в зоне третьего рельса при напряжении 650 в постоянного тока:

1 — скорость при параллельном соединении; 2 — усилие тяги при полном поле; 3 — то же при среднем поле; 4 — то же при ослабленном поле; 5 — среднее ускоряющее усилие; 6 — ток отпадания реле ускорения; 7 — скорость при ослабленном поле; 8 — скорость при среднем поле; 9 — скорость при полном поле; 10 — то же при последовательном соединении

На фиг. 1 изображены характеристики типового 6-вагонного поезда, питающегося переменным током 11 000 в от контактного провода. На фиг. 2 показаны характеристики при питании постоянным током на напряжение 650 в от третьего рельса.

### Система управления

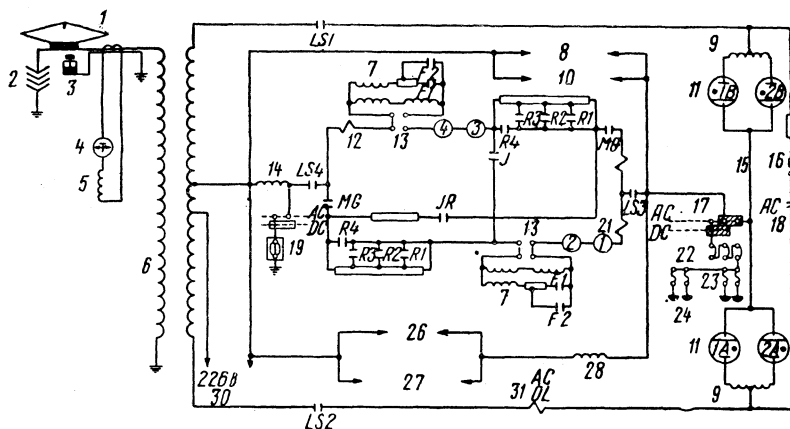
Большая часть электрооборудования главных и вспомогательных цепей используется как при питании от переменного, так и от постоянного тока. Отличие состоит только в подводе питания: в зоне постоянного тока переключатель включает цепи тяговых двигателей и вспомогательные цепи постоянного тока между токоприёмниками третьего рельса и землёй; в зоне переменного тока переключатель включает эти же цепи между катодами игнитронов и средней точкой трансформатора через главный реактор постоянного тока.



В обеих зонах — переменного и постоянного тока — применяются реостатный пуск и последовательно-параллельное переключение групп двигателей. Переход с последовательного соединения на параллельное осуществляется по мостовой схеме, подобной тем, которые получили применение на многочисленных ранее выпущенных вагонах местного и скорого сообщения для линий на напряжение 650 в. Пуск — автоматический с постоянным ускорением, осуществляемым под контролем реле ускорения. Имеются две ступени ослабления поля.

### Питание выпрямленным током

Выпрямление однофазного тока 25 гц осуществляется по двух-полупериодной схеме. В течение одного полупериода (фиг. 3) ток поступает от одного крайнего вывода вторичной обмотки трансформатора к выпрямителям 1А и 2А. В течение другого полупериода питание поступает от другого крайнего вывода вторичной



Фиг. 3. Упрощённая схема. Контакторы  $LS1$  и  $LS2$  включены при работе в зоне переменного тока и выключены при работе в зоне постоянного тока:

1 — пантограф; 2 — разрядник; 3 — заземляющий контактор; 4 — тепловое реле; 5 — реле опускания пантографа  $PL$ ; 6 — первичная обмотка трансформатора, 11 000 в, 25 гц; 7 — индуктивный шунт для цепи ослабления поля; 8 — вагонные печи; 9 — делительный реактор; 10 — мотор-компрессор; 11 — игнитроны; 12 — реле ускорения; 13 — реверсор; 14 — сглаживающий реактор главной цепи; 15 — катод; 16 — предохранитель; 17 — переключатель; 18 — фильтр переменного тока; 19 — шунт амперметра; 21 — реле перегрузки постоянного тока; 22 — главный разъединитель; 23 — предохранители; 24 — токоприёмники третьего рельса; 26 — мотор-генератор; 27 — двигатели системы кондиционирования воздуха; 28 — сглаживающий реактор вспомогательных цепей; 30 — 226 в к вспомогательным цепям переменного тока; 31 — реле перегрузки переменного тока

обмотки к выпрямителям 1В и 2В. Между трансформатором и выпрямителями включены анодные делительные реакторы, обеспечивающие равномерное распределение нагрузок между выпрямителями. Катоды выпрямителей являются положительным полюсом источника выпрямленного тока, питающего тяговые двигатели и вспомогательные цепи постоянного тока. Как в цепи тяговых двигателей,

так и во вспомогательной цепи установлены сглаживающие реакторы. Сглаживающий реактор вспомогательных цепей присоединён к положительному полюсу источника энергии, а сглаживающий реактор главной цепи — к отрицательному. Назначение реакторов — ограничить переменную составляющую выпрямленного тока до значений, обеспечивающих удовлетворительную коммутацию всех двигателей. Для цепей мотор-компрессора и электропечей вагона сглаживающий реактор не требуется, поэтому указанные цепи включаются непосредственно между катодами и средней точкой трансформатора. Сглаживающий реактор вспомогательных цепей ограничивает также вредные толчки тока в цепях вспомогательных двигателей (исключая двигатель компрессора) во время нахождения вагона в зоне питания от постоянного тока.

### Тяговые двигатели

Тяговые двигатели — самовентилирующиеся, с одноступенчатой редукторной передачей и эластичными муфтами. Двигатели имеют последовательное возбуждение, дополнительные полюса и регулируемое поле возбуждения; они рассчитаны на номинальное напряжение 325 в постоянного тока и имеют изоляцию, рассчитанную на последовательное включение двух двигателей при максимальном напряжении 750 в. Двигатели сконструированы для подвески в раме тележки и соединяются при помощи муфт зубчатого типа с передачами, которые смонтированы на осях и прикреплены к боковой части двигателей при помощи подвесных болтов. Двигатели эти весьма сходны с поставляемыми для вагонов Нью-Йорского метрополитена.

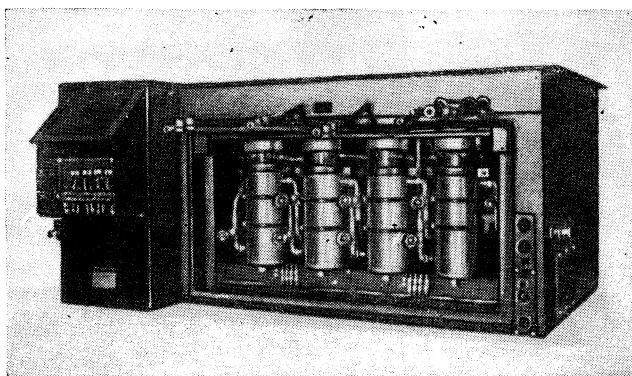
### Аппараты главной цепи

Главный трансформатор мощностью 380 ква заполнен инертным и имеет охладитель, обдуваемый воздухом, с расходом 28 м<sup>3</sup> воздуха в минуту. Трансформатор имеет ширину 1 340 мм, высоту 745 мм, длину 2 400 мм и весит 3,5 т. Напряжение первичной обмотки трансформатора—11 000 в, частота 25 гц. Напряжение между средней точкой вторичной обмотки и каждым из её крайних выводов—780 в. На вторичной обмотке имеется один промежуточный вывод на напряжение 226 в, предназначенный для питания вспомогательных цепей переменного тока. На вагоне установлен фильтр переменного тока, состоящий из конденсатора и сопротивления, соединённых последовательно и включённых на всю вторичную обмотку трансформатора. Он предназначен для подавления помех в телефонных линиях, примыкающих к электрифицированным линиям в зоне переменного тока.

Камера для выпрямителей (фиг. 4 и 5) имеет Т-образную форму. Высота её — 736 мм, длина — 1 650 мм, ширина (по наиболее широкой части) — 1 245 мм. Для обеспечения удобного доступа к

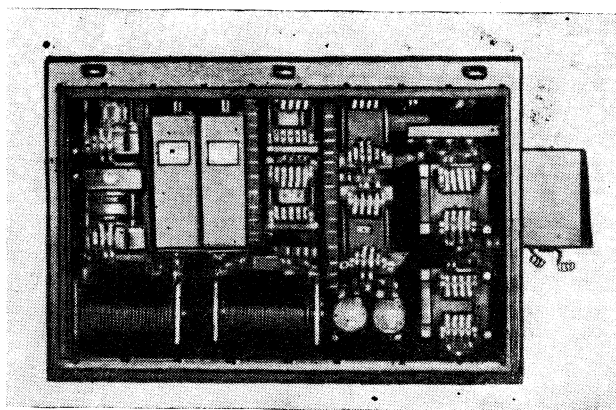
оборудованию в камере предусмотрены три съёмные крышки с войлочными уплотнениями.

Камера с выпрямителями смонтирована под вагоном; вес её около 850 кг.



Фиг. 4. Камера с выпрямителями; отделение для выпрямителей

Четыре игнитронных вентиля смонтированы на отдельной раме, изолированной от основной конструкции ящика и укрепленной на нём при помощи амортизирующих устройств.



Фиг. 5. Камера с выпрямителями; отделение для цепей возбуждения

Игнитроны имеют замкнутое циркуляционное водяное охлаждение. Изоляция выпрямителей от земли достигается при помощи 4-метровых резиновых рукавов, надеваемых на входной и выходной

патрубки, расположенные на основании выпрямителя. Водяная система охлаждения защищена от замерзания применением антифриза. Температура воды регулируется при помощи температурно-измерительного устройства, воздействующего на трёхходовой клапан. Температура воды поддерживается в пределах от 42 до 50°C установкой трёхходового клапана в положение, при котором вода пропускается через радиатор (если надо охладить воду), или установкой того же клапана в положение, когда часть воды направляется в обход радиатора (когда надо сохранить тепло воды).

Клапан и регулятор сконструированы таким образом, что часть воды может миновать радиатор, так что температура поступающей воды изменяется в соответствии с нагрузкой выпрямителя. Водяной насос и радиатор помещены вне камеры с выпрямителями. Расширительный бак с погруженными в него нагревателями смонтирован в камере с выпрямителями. Нагреватели включаются автоматически, если температура воды падает ниже 25°C. Если температура воды падает ниже 5°C, то контакторы *LS1* и *LS2* не могут включиться, пока температура воды не поднимется до 5°C. Последнее необходимо потому, что выпрямитель становится неустойчивым при работе в области низких температур. При температуре свыше 55°C выпрямитель склонен к обратным зажиганиям. Поэтому на каждом выпрямителе смонтированы тепловые реле, отключающие контакторы *LS1* и *LS2*, если температура рубашки выпрямителя достигает 55°C.

На входной трубе охлаждающей системы установлен выключатель низкого напора воды, который отключает контакторы *LS1* и *LS2*, если давление воды на входе падает ниже 1,05 *am*; нормальное давление равно приблизительно 2,5 *am*.

Если перечисленные выше условия соблюдены, то контакторы *LS1* и *LS2* замыкаются и подача энергии на вагон восстанавливается.

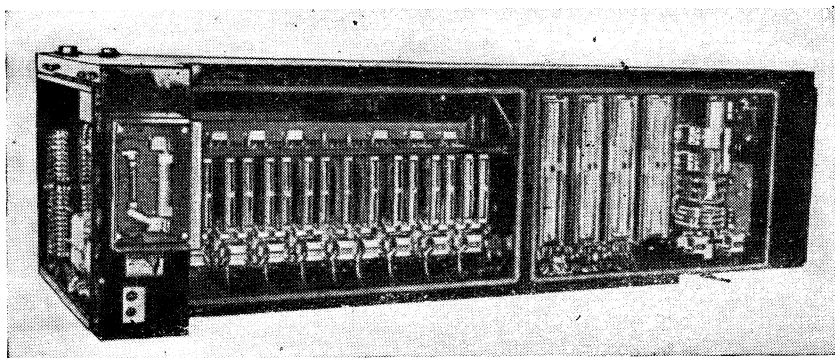
Радиатор для охлаждения воды расположен на входе вентилятора, охлаждающего трансформатор и реактор. Температура воздуха, прошедшего сквозь радиатор, повышается примерно на 5°C и в дальнейшем этот воздух используется для вентиляции электрооборудования.

Система водяного охлаждения такая же, какая была принята для опытного выпрямительного вагона, проработавшего свыше 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> лет, и для выпрямительных электровазнов, проработавших свыше 2 лет. Как показал опыт эксплуатации, водяная система охлаждения требует небольшого ухода и работает в течение длительного периода без повреждений.

Возбуждение игнитронов осуществляется при помощи двух цепей с реакторами нелинейного типа, размещёнными в конце выпрямительной камеры. Защитные автоматы для цепей возбуждения помещаются в камере. Для обеспечения возможности контроля работы выпрямителя на каждом вентиле предусмотрена лампа, сигнализирующая пропуски зажигания.

## Аппаратура управления

Большая часть аппаратов управления смонтирована в ящике главных и вспомогательных аппаратов управления (фиг. 6). В этом ящике размещаются следующие электропневматические контакторы: линейные переменного и постоянного тока, ослабления поля, реостатные (закорачивающие ступени пусковых сопротивлений) и контакторы, переключающие группы двигателей последовательно или параллельно. В ящике также установлены: реверсор, переключатель переменного-постоянного тока, реле управления и защиты, автоматиче-



Фиг. 6. Ящик главных и вспомогательных контакторов

ские выключатели вспомогательных цепей, электромагнитные контакторы для вагонных обогревателей, индикаторные лампы и счётчики переменного и постоянного тока.

Реверсор и переключатель переменного-постоянного тока — аппараты барабанного типа, приводятся в действие пневматическими цилиндрами при помощи реек и рычагов. Оба они могут быть повернуты вручную без снятия крышек при помощи рукояток, выступающих из торцов ящика.

Реле ускорения представляет собой статически уравновешенный быстродействующий аппарат. Оно служит для поддержания необходимого пускового тока. На уставку реле не влияют вибрации или удары во время движения. Ящики для оборудования заземлены посредством болтов, которыми они крепятся к раме вагона.

### Вспомогательные цепи

Постоянный ток напряжением 650 в, получаемый для питания двигателей от ignитронов или от третьего рельса, используется также для всех вспомогательных цепей, в обеих зонах питания (переменного и постоянного тока). Печи вагона также питаются или от ignитронов или непосредственно от третьего рельса.

Вентилятор для охлаждения трансформатора и сглаживающего

реактора и насос для циркуляции инертна в трансформаторе нужны только при работе на переменном токе. Они приводятся в движение индукционными конденсаторными двигателями, которые питаются от ответвления 226 в на вторичной обмотке трансформатора.

Нагреватели воды для игнитронов и подогреватели анодов в зоне постоянного тока питаются от третьего рельса, а в зоне переменного тока от ответвления 226 в через изолирующий трансформатор 226—650 в.

Низковольтный постоянный ток для цепей управления, низковольтных вспомогательных цепей и для заряда батареи получается от мотор-генератора.

Панель с реле заземления служит для обнаружения заземления во вторичной обмотке трансформатора, тяговых двигателях и вспомогательных цепях. Срабатывание реле заземления приводит к загоранию сигнальной лампы.

Реле перегрузки постоянного тока комбинируется из двух реле перегрузки, восстановительного реле и реле линейных контакторов. В каждую группу двигателей включено одно реле перегрузки.

Срабатывание любого реле перегрузки приводит к отключению линейных контакторов. Реле линейных контакторов не допускает включения последних, пока реверсор не займёт положения, обусловленного положением контроллера машиниста. Восстанавливающее реле допускает восстановление реле перегрузки посредством контроллера машиниста. Максимальные реле могут быть также восстановлены вручную при помощи кнопки, которая выступает наружу через крышку ящика главных и вспомогательных аппаратов.

Реле перегрузки переменного тока защищает от обратных зажигания в игнитронах и от перегрузки в цепи переменного тока. Подобно реле перегрузки постоянного тока, оно может восстанавливаться дистанционно при помощи контроллера машиниста или вручную при помощи кнопки, выступающей из крышки ящика.

Реле напряжения переменного тока включено в одну ветвь вторичной обмотки трансформатора. Оно отключает линейные контакторы переменного тока при низком напряжении в контактном проводе.

Реле напряжения постоянного тока выключает линейные контакторы постоянного тока при низком напряжении в сети постоянного тока. Отключение линейных контакторов приводит к отключению реостатных контакторов. Когда реле напряжения включается вновь, позволяя тем самым включиться линейным контакторам, все пусковые сопротивления включены последовательно с двигателями. Вслед за тем реостатные контакторы включаются в нормальном порядке. Таким же способом реле напряжения постоянного тока вводит всё пусковое сопротивление в цепь тяговых двигателей при прохождении разрывов в третьем рельсе.

Линейное реле постоянного тока удерживает переключатель переменного-постоянного тока в положении постоянного тока до тех пор, пока имеется напряжение на токоприёмниках третьего рельса.

Тепловое реле трансформатора получает питание через контакты термостата, погружённого в инертин в главном трансформаторе. Когда температура достигает 85°C, контакты термостата замыкаются и возбуждают тепловое реле трансформатора. Включение этого реле приводит к отключению линейных контакторов постоянного тока, благодаря чему с трансформатора снимается вся тяговая нагрузка. Кроме того, реле при своём выключении зажигает сигнальные лампы, находящиеся на пульте управления и в тамбуре вагона. Реле восстанавливается кнопкой, находящейся на пульте управления.

Главный трансформатор имеет дополнительную защиту при помощи реле опускания пантографа *PL* и теплового реле, помещённых в небольшом ящике внутри вагона. При возникновении большой перегрузки реле пантографа срабатывает и возбуждает магнитный вентиль, который впускает воздух в контактор заземления пантографа. Возникающий благодаря этому большой ток в контактном проводе приводит в действие автоматический выключатель на подстанции и тем самым снимает напряжение с линии. После этого реле *PL* переключается в положение, при котором возбуждается магнитный вентиль опускания пантографа, в результате чего пантограф на повреждённом вагоне опускается. Реле запирается в этом положении и машинист не может поднять пантограф. Перегрузка, величина которой лежит ниже уставки реле *PL*, достаточно высока для того, чтобы повредить главный трансформатор, если она будет длиться слишком долго, приводит в действие тепловое реле. Последнее возбуждает магнитный вентиль, который впускает воздух в контактор заземления пантографа. Как видно из фиг. 3, ток контактора заземления проходит через трансформатор тока, питающий реле *PL*, которое, будучи быстродействующим, срабатывает до того, как подстанционный автоматический выключатель отключит линию. После снятия напряжения с линии реле *PL* опускает пантограф.

---

## ИНЖЕНЕРЫ-ЭЛЕКТРИКИ ОБСУЖДАЮТ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

*Railway Locomotives and Cars. 1955, март, Стр. 97—100*

Основным предметом обсуждения в области техники железнодорожного транспорта на зимнем общем собрании Американского института инженеров-электриков, происходившем в Нью-Йорке с 31 января по 4 февраля 1955 г., явились электровозы и моторные вагоны переменного тока с выпрямительными установками и их воздействие на линии связи. Кроме того, были обсуждены вопросы термической стойкости нового типа изоляции для тяговых двигателей.

### Моторные вагоны с игнитронами

В настоящее время на дороге Нью-Хавен находится в эксплуатации 100 управляемых по системе многих единиц моторных вагонов с игнитронами. Доклад, составленный Эмс (E. W. Ames, фирма Вестингауз-Электрик) и Дауден (F. Dowden — ассистент инженер-механик железной дороги Нью-Хавен) даёт детальную информацию об их конструкции<sup>1</sup>.

В прениях были сообщены дополнительные данные относительно работы этих вагонов, из которых выяснилось, что ходовые свойства вагонов оказались исключительно хорошими — моторные вагоны по плавности хода не уступают прицепным. Коллекторы тяговых двигателей тепловозного типа после пробега 120 000 км оказались в превосходном состоянии. Эти показатели значительно лучше, чем у двигателей переменного тока, работающих в таких же условиях. Срок службы щёток значительно больше, чем у двигателей переменного тока, а количество щёток меньше. Одним из преимуществ применения двигателей постоянного тока является также то обстоятельство, что в данное время эти двигатели производятся в больших количествах.

Инженеры-электрики, работающие на железнодорожном транспорте убеждены, что электровозы и вагоны с выпрямителями будут стимулировать более быструю электрификацию железных дорог. На вагонах применены нормальные промышленные типы выпрямителей. Во время эксплуатации совершенно не было обратных зажиганий, за исключением двух случаев, вызванных установкой дефектных вентилях. 10-месячная эксплуатация 400 вентилях на вагонах железной дороги Нью-Хавен, а также работа выпрямителей на Пеннсильванской железной дороге свидетельствуют о высокой надёжности их.

<sup>1</sup> Описание электрооборудования этих вагонов см. на стр. 169.



## Питание двигателей постоянного тока выпрямленным током

В докладе Симон (M. Simon), фирма Дженерал-Электрик были изложены специальные проблемы, возникающие при питании электровозных тяговых двигателей постоянного тока выпрямленным переменным током.

Докладчик сообщил, что за последние годы предпринимались различные попытки питания тяговых двигателей электровозов выпрямленным однофазным током 25 гц. Первоначально эти попытки не имели успеха главным образом из-за плохой работы ртутных выпрямителей. Однако дальнейшие исследования и усовершенствования привели к тому, что в настоящее время работа электровозных тяговых двигателей, питающихся от ртутных выпрямителей, стала с технической точки зрения вполне возможной. За последние годы в связи с развитием тепловозостроения был создан стандартный, дешёвый тяговый двигатель постоянного тока, пригодный для локомотивов любого назначения. Эти стандартные двигатели могут быть с успехом использованы и на современных электровозах. Например, они применены на электровозах с выпрямителями, недавно построенных фирмой Дженерал-Электрик для дороги Нью-Йорк—Нью-Хавен и Хартфорд.

Проблема работы двигателей постоянного тока при выпрямлении однофазного тока 25 гц сводится к сглаживанию пульсаций выпрямленного тока до такой величины, которая обеспечивает надёжную работу двигателей.

Хотя выпрямленный переменный ток уже много лет используется для питания тяговых двигателей постоянного тока, но до сих пор он получался главным образом от многофазных выпрямителей, включённых в трёхфазную сеть. Ток, получаемый от такой системы, является по существу чисто постоянным, с очень незначительными пульсациями. Наоборот, ток, получаемый от выпрямителя, питающегося от однофазного переменного напряжения, имеет значительные пульсации, которые оказывают неблагоприятное воздействие на работу двигателя и его долговечность. Пульсации тока могут быть уменьшены при помощи реакторов до такой величины, при которой их неблагоприятное действие снижается до допустимого значения. При этом размеры реакторов не выходят за практически целесообразные пределы.

Симон в своем докладе рассматривает также вопросы, связанные с токами Фуко, коммутацией, нагревом, пульсациями крутящего момента и сглаживающими реакторами и их влияние на проектные характеристики.

Касаясь вопроса о модификациях тяговых двигателей при питании их выпрямленным током, Симон сказал: «Стандартный тяговый двигатель, установленный на электровозах с выпрямителями железной дороги Нью-Хавен, был слегка модифицирован и применён для работы на линиях Большого центрального вокзала в Нью-Йорке, получающих питание от третьего рельса при напряжении 650 в.

Одно из изменений предусматривало специальное устройство для возврата тягового тока в землю в обход буксовых роликовых подшипников электровоза. Нормальное пылезащитное устройство ведущей оси (между моторно-осевыми подшипниками) было заменено комбинацией из пылезащитного устройства и комплекта заземляющих щёток. Кабели, возвращающие ток в землю, присоединяются к заземляющим щёткам.

Второе изменение заключается в установке разрядных колец для отвода токов заземления, минуя якорные подшипники.

Оба эти изменения могут быть легко внесены в конструкцию стандартного тепловозного двигателя».

В заключение Симон сказал: «Насколько можно судить по относительно малому числу построенных электровозов с выпрямителями, применение тяговых двигателей постоянного тока с питанием их от однофазного тока 25 гц даёт наиболее экономичные результаты в том случае, когда используется стандартный, нормального типа двигатель и последовательно включённый реактор, обеспечивающий надлежащее ограничение пульсаций. При этом имеют преимущества двигатели, характеристики которых позволяют использовать реакторы, насыщающиеся с возрастанием нагрузки. Указанный способ преобразования энергии становится ещё более выгодным при использовании однофазного тока промышленной частоты 60 гц».

### **Новые изоляционные материалы для тяговых двигателей**

В докладе Файнхольта (R. W. Finholt, фирма Дженерал-Электрик) «Термическая стойкость новых изоляционных материалов, применяемых в тяговых двигателях», сформулированы требования, предъявляемые к изоляции тяговых двигателей:

«Современные тяговые двигатели работают в тяжёлых условиях. Последний стандарт, принятый для тяговых двигателей, относит их к классу изоляции В (соответственно стандарту Американского института инженеров-электриков № 11 от 1943 г. и стандарту ASA C35-1 — 1943 Американского Общества Стандартизации). Эти стандарты предусматривают, что пиковое значение температуры, измеренной по методу сопротивления, не должно превышать 160°C для обмотки якоря и 170°C для обмоток возбуждения. Современные тяговые двигатели для тяжёлых тепловозов часто перегреваются сверх этих пределов на 20—30°C. Температура в наиболее нагретой части обмотки якоря и обмоток возбуждения превосходит средние температуры, измеренные по методу сопротивления».

Наряду с высокими температурами, на изоляцию воздействуют постоянная тряска, пыль, весьма различные условия ухода и удары. При питании от сети постоянного тока напряжение на двигателях в большинстве случаев бывает менее 3 000 в, а при питании от сети однофазного тока менее 1 500 в.

Железнодорожные специалисты надеются получить и, несомненно, получают долговечный и надёжный в эксплуатации двигатель.

Главной проблемой изоляции является устойчивость в отношении высоких температур, сочетающихся с многочисленными разрушающими механическими воздействиями. В процессе исследований, производившихся в течение последних 15 лет, были испытаны все известные, пригодные для использования теплостойкие материалы. Один из них обнаружил столь хорошие физические свойства и экономические показатели, что фирма Джeneral-Электрик приняла его для широкого использования в тяговых двигателях. Этот новый материал известен под названием «мика мат».

Для изоляции тягового двигателя наиболее пригоден «мика мат», пропитанный кремний-органическим составом. Он употребляется в качестве изоляции для обмоток якоря и в качестве ленты для изоляции катушек полюсов. Первые тепловые испытания «мика мат» производились над плоскими листами, предварительно подвергнутыми тепловому старению при температуре  $250^{\circ}\text{C}$  в течение пяти дней и пропитанными щелочными смолами, кремний-органическими составами и различными полиэфирами. К концу недели только лист, пропитанный кремний-органическими веществами, сохранил свои первоначальные свойства. Остальные листы стали хрупкими, механически слабыми и потеряли первоначальную диэлектрическую прочность.

Обширные, чисто тепловые испытания показали, что по своим свойствам «мика мат» значительно превосходит те требования, которые предъявляются к работе изоляции.

Комбинированные испытания — тепловые и на сжатие — показали, что плоский листовый материал, содержащий кремний-органические вещества и применяющийся для изоляции катушек якоря, имеет разрушающее напряжение при сжатии около  $700 \text{ кг/см}^2$  при  $200^{\circ}\text{C}$ . Лента со стеклоизоляцией имеет разрушающее напряжение при сжатии около  $550 \text{ кг/см}^2$  при  $200^{\circ}\text{C}$ . Микалента, которая заменяет оба этих материала, удовлетворяющие в большинстве случаев требованиям нормального производства, имеет значительно большее разрушающее напряжение при сжатии, а именно  $1250 \text{ кг/см}^2$ .

Испытания на долговечность при высоких температурах и весьма сильных вибрациях показали, что «мика мат» лучше отвечает требованиям, предъявляемым к изоляции, чем медь — требованиям, предъявляемым к проводникам, и что ограничивающим элементом в двигателе при высоких температурах является не изоляция, а медь.

Четырёхлетние производственные испытания показали, что «мика мат» является изоляционным материалом более высокого качества, чем микалента при изоляции якорных катушек. Он более дешёв, обеспечивает большее единообразие исполнения катушек, более тепло- и вибростоек и может быть несколько лучше приспособлен к условиям заводского производства.

Одновременно докладчик сделал следующее предостережение: «Производственные испытания показали, что «мика мат» не является универсальным заменителем микаленты. В настоящее время он ещё

непригоден для изоляции обмотки якоря, хотя и является прекрасным материалом для изоляции полюсных катушек от земли.

Точно так же он непригоден для тех полюсных катушек, в которых в процессе производства или эксплуатации возникают высокие давления. Как было показано раньше, имеются определённые границы давлений, допустимых для этого материала. Имеются и другие конструкции, где он оказался неподходящим ввиду меньшей механической прочности по сравнению с микалентой. С чисто технической точки зрения он не может поэтому считаться наилучшим изолирующим материалом для тяговых двигателей».

### **Электровозы с выпрямителями для железной дороги Нью-Йорк — Нью Хавен**

В докладе Гоуэнса (F. D. Gowans, фирма Джeneral-Электрик) описаны электровозы с выпрямителями, питающиеся от контактного провода однофазным током на напряжение 11 000 в. На электровозах установлены двигатели постоянного тока, питающиеся выпрямленным переменным током. Поставка десяти таких электровозов началась в декабре 1954 г. \*.

Во время обсуждения докладчику был задан вопрос, почему выбрано постоянное последовательное соединение двух двигателей в группе, несмотря на то, что при параллельном соединении всех двигателей вероятность боксования меньше. Гоуэнс ответил, что трансформатор выгодно строить на более высокое напряжение, а двигатель на более низкое. Поэтому электровоз стоит дешевле при жёстком последовательном соединении двух двигателей.

Был поднят также вопрос относительно возможности применения выпрямителей из германия или кремния и было высказано мнение, что применение таких установок, безусловно, создаст перспективы для более быстрого развития электрификации железных дорог.

### **Воздействие высших гармоник тока и напряжения моторных вагонов на линии связи**

В докладах Хиббард (L. I. Hibbard, Вестингауз-Электрик, Восточный Питсбург), Гарри (F. T. Garry, Телефонная компания Южной Новой Англии) и Люмис (G. N. Loomis—железные дороги Нью-Йорк, Нью-Хавен и Хартфорд) излагались меры, которые должны быть приняты для исключения вредного воздействия моторных вагонов переменного тока на линии связи.

Линии связи, расположенные вдоль железной дороги, большей частью проложены в кабеле, однако имеется и некоторое количество открытых воздушных линий. В целях испытания дальний конец телефонных линий присоединялся к земле по схеме сбалансированного импеданса. Открытые воздушные линии были присоединены к кабельным парам, которые присоединялись к земле по схеме сба-

\* Описание этих электровозов см. на стр. 159.

лансированного импеданса. Железнодорожные линии связи были оборудованы дренажными цепями.

В результате испытаний было установлено следующее: при большом количестве вагонов с выпрямителями на линии помехи не возрастают прямо пропорционально числу вагонов; моторные вагоны с выпрямителями, не имеющие фильтров на стороне переменного тока, порождают приблизительно такие же уровни помех, как и существующие моторные вагоны при подобных же условиях нагрузки; моторные вагоны с выпрямителями и с фильтрами на стороне переменного тока создают меньшие уровни помех, чем существующие вагоны при аналогичных условиях нагрузки.

### **Требования к электровозам с выпрямителями**

В докладе Огдена (H. S. Ogden, фирма Дженерал-Электрик) изложены все основные свойства, которыми должен обладать электровоз с выпрямителями для того, чтобы удовлетворить требованиям железных дорог.

Первое требование заключается в том, что по своим характеристикам электровоз с выпрямителями не только не должен уступать, но и должен превосходить существующий электровоз с коллекторными двигателями на 25 гц. Широкие стендовые испытания показали, что двигатели постоянного тока могут кратковременно развивать требующуюся высокую мощность.

Опыты также показали, что коммутация двигателя при высоких перегрузках достаточно хороша и позволяет рассчитывать на хорошую работу коллекторов и двигателей в эксплуатации.

В процессе разработки соответствующего проекта учитывались соображения относительно формы волны выпрямленного тока, соединения выпрямителей, напряжения в контактном проводе, обратных зажиганиях в выпрямителях и помех, возникающих в телефонных линиях.

Электровоз с выпрямителями, обеспечивающий наилучшие показатели при минимуме веса и стоимости, должен обладать следующими свойствами:

1. Тяговый двигатель должен быть дешёвым, стандартного типа, разработанного для тепловозов.

2. Сглаживание пульсаций выпрямленного тока для улучшения условий работы тяговых двигателей лучше всего осуществлять при помощи сглаживающего реактора с железным сердечником. Реактор должен быть рассчитан с учётом всех цепей потребления.

3. Соединение выпрямителей предпочтительно осуществлять по схеме моста, а не по схеме с нулём посередине.

4. Для обеспечения удовлетворительной работы цепей зажигания последние должны быть приспособлены для работы при наибольших возможных в эксплуатации колебаниях напряжения.

5. Главные трансформаторы должны иметь оптимальный реактанс, обеспечивающий их минимальный вес и размеры. Дополни-

тельное реактивное сопротивление для ограничения токов должно быть выполнено в виде отдельных реакторов. Включение реакторов должно производиться в соответствии со схемой соединения главной цепи выпрямителей.

6. Проблемы телефонных помех в действительности оказались менее серьёзными, чем предполагалось. Помехи могут быть преодолены установкой относительно малого фильтра типа RC (сопротивление — ёмкость), включённого на входе выпрямительного контура.

### **Вспомогательные графики для расчёта электровоза**

Чарльтон (R. D. Charlton, фирма Джeneral-Электрик) в докладе о разработанных им «Графиках для расчёта характеристик локомотива» следующим образом изложил задачу этих графических исследований:

«Хорошая работа какого-либо изделия во многом зависит от его способности нормально функционировать при самых разнообразных условиях эксплуатации. Очень часто эти условия значительно отличаются от условий, поставленных заданием, на основе которого гарантировалась работа машины. Чтобы иметь уверенность в пригодности изделия, нужно уметь правильно оценить его работу при возможных отклонениях от заданных условий.

Электровозы обычно поставляются по техническому заданию и их характеристики рассчитываются по заданному профилю в предположении, что напряжение контактного провода имеет величину, обусловленную в техническом задании. Точность такого допущения зависит от свойств системы токоснабжения и от характера, величины и относительного расположения других нагрузок системы.

Чтобы иметь уверенность в том, что локомотив, выполненный в соответствии с заданием, удовлетворяет реальным условиям эксплуатации, необходимо уже в начальной стадии проектирования выполнить совместный расчёт локомотива и системы электроснабжения.

В процессе проектирования электровоза с выпрямителями с питанием от сети 11 000 в, 25 гц желательно исследовать характеристики электровоза с учётом влияния постоянных параметров системы и нормальных рабочих процессов в ней на работу локомотива.

Присущая графическим методам возможность исследования неизвестных областей путём экстраполяции послужила основанием разработанного обобщённого графического метода расчёта тяговых характеристик. Эти методы были уточнены путём сравнения расчётов с результатами испытаний, полученных для расчётных условий.

Этот метод не только позволяет построить характеристики, но и помогает отчётливо представить влияние на них различных факторов.

Эффективность этих способов расчёта была позднее подтверждена сравнением запроектированных характеристик с полученными в действительности. Точность метода определяется отношением расчётной скорости и скорости, полученной при испытаниях. Разница между ними колеблется в пределах от 1 до 3 %.

---