КЕНТ Т. ХИЛЛИ

И
35 г.
241

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ГОСЖЕЛДОРИЗДАТ НКПС 1933

ГПТБ
ДНУЖКТ

СССР

1934

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

КЕНТ Т. ХИЛИ

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Учебный фонд
б-ки ВТА РККА
им. Кагановича

Перевод с английского
инж. Е. И. ЦЕЛИКОВА
под редакцией
инж. М. М. АЛЬБАЦА

ОДОБРЕНО ЦУПКАДРОМ НКПС В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ДЛЯ ВТУЗОВ Ж.-Д. ТРАНСПОРТА

25302
Каф. Эл.-мех. Уч. Комб. ж. д. Транспорта
Учебное пособие
Инв. №
шифр

НКПС—ГОСЖЕЛДОРИЗДАТ
МОСКВА ★ ЛЕНИНГРАД
1933

НТБ ДИИЖТ

KENT TENNEY HEALY

ELECTRIFICATION OF STEAM RAILROADS

НТБ ДИИЖТ

Редактор *Е. Фишбейн* Техред. *П. Хитров*

Уполн. Главл. Б-26379. ЖДИЗ 38 Ж-1 Зак. тип. 439

Тираж 7150 экз. Разм. бум. 62×94 *20¹/₂ п. л.* *51408 зн. в п. л.*

Сдано в набор *8/IX—32 г.* *Подписано к печати 5/V—33 г.*

5-я типография треста „Полиграфкнига". Москва. Каланчевский тупик, д. 3/5.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие издательства к русскому изданию 8
Предисловие 14
Введение 15

Глава I

Общая экономика электрификации

Общие экономические методы, применяемые для изучения электрификации 17
Принципы сравнительного изучения эксплоатации жел. дорог с паровой и электрической тягой 19
Опасность обобщений . . 19
Общее распределение расходов 22
Избранные примеры экономии, связанной с электрификацией 27

Глава II

Источники энергии для электрических жел. дорог

Исторические данные в вопросе об источниках энергии 32
Влияние правительственной энергетической политики 34
Надежность источников электроэнергии . 35
Стоимость электроэнергии 36
Влияние различных типов распределительных систем на выбор источника энергии 37

Глава III

Договора на снабжение энергией

Интересы железной дороги 44
Интересы электроснабжающей организации 43
Общая стоимость энергии . . 44
Обеспечение потребной мощности 15
Учет энергии 47
Учет коэфициента нагрузки в договорах . 48
Тарифы, основанные на фактических расходах 49
Уголь 50
Учет коэфициента мощности. 51
Скользящие тарифные шкалы 52
Условия измерений 53
Изменение напряжения и частоты . . . 53
Обеспечение от перерывов в подаче энергии 55

Глава IV

Тяговые подстанции

Функции выключателей выс. напряжения 56
Защита осредством реле 56

НТБ ДНУЖТ

Стр.

Общее расположение коммутационной аппаратуры 57
Выключатели . 58
Трансформаторы 59
Открытые и закрытые подстанции 61
Общие конструктивные требования 62

Типы преобразователей

Одноякорные преобразователи 64
Мотор-генераторы . . . 67
Ртутные выпрямители . . 67
Преобразователи частоты 73
Управление аппаратурой подстанций 75
Дистанционное управление 77
Сравнение различных систем преобразователей 79

Глава V

Схемы включения и секционирования контактной сети

Устройства для секционирования и выключатели переменного тока

Прежние системы выключателей 83
Защита по системе Мерца 86
Защитные устройства для выключения и секционирования с помощью приборов, зависящих от напряжения. 87
Прочие системы включения и секционирования контактной сети . 90
Координирование работы фидерных и электрозозных выключателей 91
Обнаружение повреждений 92
Быстродействующие выключатели переменного тока 92

Устройства для коммутации и секционирование сети при постоянном токе.

Быстродействующие выключатели постоянного тока 94
Секционирующие и выключающие устройства . . 96

Секционирование путей

Секционирование однопутных линий 98
Секционирование двухпутных линий . . 98
Секционирование многопутных участков. 99
Секционирование сортировочных станций 100

Глава VI

Конструктивное выполнение воздушной сети

Фундаменты

Теория фундаментов, использующих боковое давление. 101
Теория фундаментов тяжести 103
Практические вопросы, связанные с устройством фундаментов 103
Выемка грунта 104
Фундаменты, составляющие одно целое со столбом . . 105
Фундаменты, не составляющие одного целого с опорами 107
Укрепление столбов в фундаменте 110

Опоры

Теория расчета конструкций 111
Деревянные опоры 112
Опоры из прокатного железа 113
Полые стальные опоры . . . 115
Фасонные (тянутые) стальные опоры 116

НТБ ДНУЖТ

Стр

Составные конструкции 116
Жел.-бетонные опоры . . 117
Овщий экономический анализ 118

Общее расположение и конструкция линии

Влияние общих правил по охране безопасности 119
Продольное тяжение 120
Устройства, применяемые на однопутных участках ж. д. 122
Устройства, применяемые на двухпутных линиях ж. д. 123
Устройства, применяемые на многопутных линиях 127

Глава VII

Воздушная контактная сеть

Общая теория цепной подвески

Уравнение цепной линии 131
Упрощенное уравнение цепной линии 133
Вертикальные перемещения цепной подвески под влиянием изменений температуры 134
Вертикальное перемещение системы цепной подвески под действием изменения веса 135
Горизонтальные перемещения цепной подвески под действием ветра 136
Горизонтальные перемещения цепной подвески под действием оттяжек . 137
Образование цепной подвески на кривых помощью коротких хорд 139
Кинетическая теория контактной сети 141
Общее вертикальное перемещение всей цепной системы 146
Влияние удара на контактный провод 147

Общее описание конструкций

Изоляторы 149
Типы и расположение изоляторов 151
Механические напряжения . . . 154
Технические условия на материалы 155
Нагрузки на провода 156
Напряжения в струнах и держателях воздушного провода 156
Обгорание проводов . 157
Ветровые фиксаторы . . 158
Устройство цепной подвески на кривых 159
Некоторые указания по монтажу сети 160
Меры для уменьшения провеса контактного провода 161
Меры по предохранению воздушного провода от других проводов . . 162
Мероприятия, обеспечивающие безопасность персонала поездных бригад 164
Безопасность пешеходов 166
Мероприятия по технике безопасности для линейного персонала 166
Конструктивные особенности и стоимость воздушных сетей 167
Конструкция струн, соединений и крепсений 170

Глава VIII

Рельсы в системах распределения тока

Электрическое сопротивление рельсов 176
Стыковые соединения рельсов 177
Третий рельс 181
Эксплоатация систем распределения с третьим рельсом 183

НТБ ДНУЖТ

Стр.

Глава IX

Экономика эксплоатации и сооружения питательных и распределительных сетей

Капитальные затраты 185
Коэфициент полезного действия подстанций и распределительных сетей 190
Эксплоатационные расходы по передаче, преобразованию и распределению электрической энергии 191
Надежность работы подстанций, линий передачи и распределительных сетей 192

Глава X

Влияние электрического поля железнодорожных тяговых сетей на посторонние линии и электролиз

Линии связи

Электростатическое поле 197
Электромагнитное поле 198
Теоретическое обоснование уменьшения влияний 199
Практические мероприятия по защите линий связи 200
Правовые нормы, регулирующие взаимоотношения между телефонными, телеграфными и железнодорожными о-вами . 209

Электролиз

Глава XI

Общие вопросы тяги

Сопротивления движению поезда 213
Тяговые характеристики 214
Потребная мощность . . . 215
Мощность тяговых единиц 219

Глава XII

Съем тока с контактного провода

Общие положения 221
Материалы 221
Давление в контакте . . . 223
Электропроводность контакта 225
Общее описание конструкции пантографа . . 226
Механизм для подъема и опускания пантографа 227
Практика эксплоатации пантографов 228

Глава XIII

Управление работой тяговых двигателей

Метод управления при помощи реостатов и комбинированного включения моторов 230
Метод управления при помощи изменения коэф-та трансформации . 232
Управление при помощи мотор-генератора 235
Другие системы управления 238
Управление тормозами 240
Переключатели и контакторы цепи управления 245
Вспомогательное оборудование 247

НТБ ДНУЖТ

Стр.

Глава XIV

Тяговые электродвигатели

Электродвигатели постоянного тока . . . 248
Коллекторные двигатели переменного тока 250
Асинхронные (индукционные) двигатели 253
Охлаждение моторов 254
Определение мощности мотора 256

Глава XV

Передача тягового усилия от моторов к ведущим осям

Непосредственная передача 259
Непосредственная упругая (эластичная) передача 260
Простая зубчатая передача 261
Упругая (эластичная) зубчатая передача 264
Рычажные передачи 267
Шатунная передача 270
Общее сравнение различных типов передачи 278

Глава XVI

Механическое оборудование электровозов

Конструкция рамы и кузова 283
Направляющие механизмы 287
Отопление 293

Глава XVII

Экономика и эксплоатация электрической тяги

Распределение эксплоатационных расходов 295
Капитальные затраты на тяговые средства 296
Потребление энергии 297
Расходы по содержанию электровозов 299
Эксплоатационные качества и бесперебойность движения. 312
Факторы, влияющие на стоимость содержания оборудования и качество его работы 317

Глава XVIII

Организационная структура и штат для эксплоатации электрифицированных железных дорог

Функциональная характеристика организации управления . 322
Существующие организационные формы 324

НТБ ДНУЖТ

ПРЕДИСЛОВИЕ ИЗДАТЕЛЬСТВА К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Предлагаемый советскому читателю труд инженера Хили представляет собой попытку описать основные технико-экономические проблемы электрификации ж. д. Но если можно отлично использовать ту часть этого труда, в которой разработан технический материал по тяговым подстанциям, контактной сети и по подвижному составу[1], то рассуждения автора как в части экономических изысканий, так и в остальном представляют собой рафинированную точку зрения капиталиста, который во всяком предприятии, в том числе и в описываемом, не видит ничего кроме средства извлечения прибыли. Вот почему история развития электрической тяги рассматривается автором в аспекте борьбы с ее «конкурентами», главным образом с паровой тягой. Вот почему единственная, по мнению автора, причина необходимости экономичного проектирования и дешевой эксплоатации электрифицированных ж. д. сама по себе очевидна, ибо иначе «ж. д. зачастую находили более приемлемым получать больший процент на капитал, вложенный в усовершенствованные паровозы, нежели в электрификацию ж. д.».

В области экономических изысканий его труд представляет некоторый интерес для нас только в тех частях, которые до известной степени аналогичны проблемам, возникшим в связи с переводом на электрическую тягу ж. д. в Советском союзе, а именно: специфические особенности электроснабжения ж. д., тарификация электрической энергии, сравнительные таблицы капитальных затрат и некоторые другие.

В чем автор совершенно прав, это в том, что чрезвычайно опасно делать широкие обобщения в области экономического сравнения электрифицированных ж. д. как между собой, так,—прибавим мы,—и с областью паровой тяги. Эти экономические обобщения тем более малоценны для нас, т. к. сама по себе проблема электрификации ж. д. ставится и решается у нас на основе факторов, ничего общего не имеющих с теми причинами, которые побуждают ж. д. вкапиталистическом мире переходить на электрическую тягу.

Электрификация ж. д. в условиях социалистического хозяйства является важной проблемой, неразрывно связанной с решением более общей проблемы реконструкции всего народного хозяйства и переводом всех отраслей этого хозяйства, в том числе и ж.-д. транспорта, на высшую

---

[1] Необходимо отметить весьма ценные указания автора, касающиеся степени надежности работы всей системы электроснабжения поездов. Автор, кроме того, дает довольно богатый материал по статистике аварий, целый ряд практических данных по эксплоатации, защите линий связи, электролизу и т. д. Эти указания представляют для нашего читателя злободневный интерес.

Особое внимание читателя мы обращаем на вопросы технической эксплоатации и содержания всех устройств электрифицированных ж. д., которые разработаны в настоящем труде достаточно подробно.

Использование их и в наших условиях является безусловно необходимым.

НТБ ДГТУ

техническую ступень. Вот почему мы не можем основываться на разрешении лишь отдельных частей этой проблемы, хотя бы эти отдельные части, как например капиталовложения, играли бы и весьма большую роль.

Экономичность капиталовложений в электрификацию рассматривается автором для нескольких случаев. Наиболее характерным является тот, когда вследствие электрификации паровой ж. д. «капитал вложен в недвижимое ж.-д. имущество, которое становится бесполезным после электрификации», и должен так или иначе приносить прибыль. Капиталист решает этот вопрос следующим образом:—«При электрификации не будет иметь места уменьшение основного капитала, хотя некоторая часть имущества и подвергается изъятию. Начисления на этот капитал ложатся на электрическое оборудование.“

Это значит, что нужны ли после электрификации угольные склады или не нужны, требуется ли водоснабжение и паровозное депо или нет, но так как средства, вложенные на эти обустройства, капитализированы, то прибыль на вложенный капитал должна тем самым извлекаться непрерывно, даже после полного морального устарения оборудования.

Каковы причины постановки вопроса об электрификации? —Такими причинами автор считает необходимость снижения расходов на топливо.

Какой же метод кладется в основу сравнения паровой и электрической тяги?—Этим методом является выяснение «степени экономичности капиталовложений в новую установку по отношению к их прежнему применению».

Таким образом эта задача решается им при помощи подсчета той экономии, которая может быть получена при вложении соответствующего капитала на введение электрической тяги и сопоставления этой экономии, с той, которая может быть получена от вложения того же капитала в подогреватели питательной воды, пароперегреватели и т. д.

На такой, например, принципиальной основе установлен метод французского инженера Пароди, который разработал способы сравнения паровой и электрической тяги, исходя из расходов по топливу, по водоснабжению и эксплоатационных расходов на содержание подвижного состава.

Если же вопрос об электрификации решается в связи с необходимостью повышения пропускной и провозной способности, то и в этом случае решение также диктуется сравнением капиталовложений на электрификацию с вложением капитала на укладку дополнительных путей, смягчение уклонов и пр.

Автор не в состоянии подняться выше узко деляческой точки зрения, продиктованной интересами капитализма. Автор даже не пытается ставить перед собой вопрос о связи ж.-д. транспорта с развитием народного хозяйства в целом.

Разумеется, что общий метод сравнения паровой и электрической тяги в Советском союзе коренным образом отличается от указанных.

Глава 3-я о договорах на снабжение энергией является типичной иллюстрацией взаимоотношний двух конкурирующих и враждующих между собой организаций, каковыми в капиталистическом обществе являются: железная дорога—потребитель и электрическая компания—производитель энергии. Эта глава подверглась при переводе весьма значительному сокращению, так как в основной

ДТВКТ

своей части излагает всю ту массу сложных, иногда чрезвычайно запутанных и мелких вопросов, облеченных в форму юридического крючкотворства двух договаривающихся сторон. Даже в той части главы, которая оставлена, как наиболее интересная для советского читателя, сквозит эта юридическая изощренность, стремящаяся опутать своего контрагента так, чтобы при малейшей его «виновности» предъявить иск об уплате неустойки, пени, штрафов и пр.

В чем заинтересована железная дорога капиталистического мира по отношению к электрической компании?—На этот вопрос Хили отвечает следующим образом:—«Основным фактором, интересующим ж. д., естественно является цена одного киловатт-часа энергии».

Это правильно, ибо ж. д. меньше всего заинтересована в развитии энергетических ресурсов страны в целом, в наиболее правильном и экономичном энергетическом балансе ее и в других подобных вопросах, играющих первенствующую роль в Советском хозяйстве.

В чем заинтересована электрическая компания?—И на этот вопрос Хили отвечает совершенно безапелляционно:

«Она заинтересована в продаже электрической энергии лишь в том случае, если это ей выгодно».

Вот почему электрическая компания может пойти на временные уступки ж. д. с тем, чтобы стимулировать последнюю к применению электрической энергии в будущем, а в других случаях она может использовать все преимущества своего монопольного положения и заставить дорогу или отказаться от применения электрической энергии или покупать ее по монопольной цене.

Стоит ли говорить, что такая точка зрения является совершенно немыслимой и абсурдной в Советском союзе.

В условиях Советского союза планирование электроснабжения районов включает в себя также и все элементы, необходимые для снабжения энергией электрифицируемых ж. д.

Обратно, план перевода ж. д. на электрическую тягу одной из своих предпосылок имеет тесную увязку с планированием электроснабжения районов страны. Поэтому, в отличие от взаимоотношений энергоснабжающих организаций и ж. д., как это описывается в настоящем труде, не может быть и речи о принципе коммерческого штрафования или наложения «ренты» на ж. д. в виде компенсации за превышение той или другой мощности оборудования.

Разумеется, совершенно неправильно утверждение автора, что расходы по электроснабжению ж. д. относятся на стоимость электрификации линии. Когда планирование электроснабжения района в Советском союзе производится в полном согласовании с планированием электрификации ж. д. и единая государственная организация руководит и несет ответственность за бесперебойое снабжение энергией, то включение электрифицированной ж. д. в единую энергетическую систему целой страны совершенно исключает отнесение всех капиталовложений на расходы ж.-д. транспорта.

Есть, однако, в проводимых договорах некоторые пункты, которые так или иначе могут быть полезны для советского читателя при разрешении практических вопросов, возникающих между ж. д. и энергоснабжающей организацией. Однако следует иметь в виду, что принципиальной стороной вопроса при заключении договора в Советском союзе является

НТБ ДПУ

ие вопрос о цене на электрическую энергию и не ограждение коммерческих интересов сторон, а бесперебойное и непрерывное снабжение энергией, обеспечение одной стороны от недопустимых для другой стороны колебаний нагрузки, колебаний напряжений, частоты и пр. Это, конечно, не значит, что определение цены на электроэнергию не играет роли в советских условиях. Однако эта цена как одна из величин, определяющих экономическую выгодность электрификации, регулируется государством в общих интересах всего народного хозяйства.

* * *

В нашей стране электрификация ж. д. является одним из технико-экономических мероприятий, которые на ряду с такими мощными средствами повышения его эффективности, как напр. мощный паровоз, большегрузный вагон, автосцепка, автоблокировка и т. д., призваны перевести ж. д. на самую высшую ступень технической реконструкции. Но именно потому, что самым эффективным из всех этих мероприятий является электрификация ж. д., именно поэтому она признана Центральным Комитетом ВКП(б) ведущим звеном реконструкции, за которым в свою очередь признано особое народнохозяйственное значение. Следовательно электрификация ж. д. является не одним из способов выгодного вложения капитала, а одним из наиболее могучих элементов социалистической реконструкции ж.-д. транспорта.

Что послужило причиной такого преимущественного отношения к электрификации транспорта?

1) Электрификация ж. д. коренным образом меняет энергетическое лицо транспорта. В 1930 году, например, расход топлива только для паровозов выразился цифрой 14,4 млн. тонн условного топлива. В 1933 г. потребность ж. д. СССР в топливе определяется ориентировочно суммой свыше 20 млн. тонн, из которых около 4%, т. е. около 1 млн. тонн, расходуется на паровозах, доставляющих это топливо для нужд транспорта.

Электрификация ж. д. полностью освобождает транспорт от необходимости перевозки топлива для собственных нужд, и все количество топлива, им потребляемое, переключается на другие отрасли народного хозяйства. Электрифицированная ж. д., получая энергию в централизованном порядке от районной высоковольтной сети, вместе с тем заменяет потреблявшееся ею до электрификации высокосортное топливо низкосортным местным топливом, добыча которого производится в непосредственной близости от генераторной станции. Таким образом, энергетический баланс ж.-д. транспорта после его электрификации полностью и целиком включается в единый энергетический баланс страны. В районах, относительно богатых водной энергией, транспорт пользуется энергией от гидравлических станций, полностью освобождаясь от необходимости потребления какого бы то ни было топлива. К. п. д. паровоза, считая от топки до крюка паровоза включительно, в редких случаях доходит до 6%. К п. д. электровоза, считая от топки генераторной станции до крюка электровоза включительно, бывает не ниже 12—14%. Таким образом, электрифицированная ж. д. уже вследствие этого потребляет в 2 с лишним раза менее топлива, чем при паровой тяге.

НТБ ДГТУ

Если взять, напр., такую магистраль, как Мурманская ж. д., находящаяся в особо благоприятных условиях в отношении электроснабжения как от существующих, так и от намеченных к сооружению государственных электрических станций, то электрификация этой магистрали принесет огромные экономические и технические выгоды для всего Северного края. Вместе стем доставка значительного количества угля на расстояние свыше 2 000 км или потребление в паровозах местного топлива в виде дров вызывает весьма неблагоприятный энергетический баланс не только в самом районе Мурманской ж. д., но и для всей страны.

На участке Кизел—Чусовская Пермских ж., д., вместо 200 000 тонн высокосортного топлива, сжигаемого в топках паровозов для грузооборота $10^1/_2$ млн. тонн, потребуется всего около 120 000 тонн кизеловского угля, сжигаемого в топках электрических станций.

2) Пропускная и провозная способность при электрической тяге, по крайней мере в $2^1/_2$ раза выше, чем при паровой тяге. Это повышение пропускной и провозной способности при электрической тяге является прямым следствием большей мощности электровоза по сравнению с паровозом, следовательно, и большей скорости на руководящем подъеме.

Так напр. на труднейшем участке Сурамского перевала (Молити-Цица) средняя техническая скорость в 11—12 км в час при паровой тяге сразу же была повышена до 32 км в час при электрической тяге. На Баку—Сабунчинской ж. д. скорость пригородного сообщения поднялась в $2^1/_2$ раза против скорости при паровой тяге, а пассажиро-оборот возрос в 6 раз.

На Северных ж. д. коммерческие скорости возросли от 30 и 42 км в час при паровой тяге, соответственно до 43, 50 км в час при электрической. Средняя коммерческая скорость возросла на отдельных участках в $1^1/_2$ и 2 раза, а частота поездов увеличилась по сравнению с паровой тягой в 5 раз.

3) Вследствие значительного повышения скоростей и мощности электровоза, а также вследствие отсутствия таких элементов, как топка, котел и паровая машина, и сокращения в связи с этим временем простоя в ремонте среднесуточный оборот электровоза и подвижного состава, с ним связанного, возрастает по крайней мере не менее чем на $20^0/_0$ с соответственным уменьшением их потребного количества, а годовой пробег увеличивается почти вдвое. Электрификация ж.-д. практически полностью исключает необходимость смягчения профиля для повышения пропускной способности.

4) Электрификация ж. д. на много лет обеспечивает от необходимости увеличения количества главных путей.

5) Вследствие указанных выше причин электрификация ж. д. освобождает огромное количество металла для нужд других отраслей народного хозяйства.

Укладка вторых путей при рельсах типа 2-а сама по себе требует около 100 тонн стали на 1 км пути, а считаясь с необходимостью устройства дополнительных разъездов, то, кроме того, по 200 тонн на 1 разъезд. Считая, что один электровоз заменяет собою в эксплоатации не менее чем 2 паровоза, экономия в металле определяется примерно около 100 тонн на каждую единицу, а экономия в металле на подвижной состав—около 20 тонн на каждый вагон.

НТБ ДГУЖТ

Работающие во временной эксплоатации на Сурамском перевале Закавказск. ж. д. 3 электровоза полностью заменяли собою 6 паровозов, переданных для эксплоатации на смежных участках.

Среднесуточный пробег подвижного состава на Северных ж.-д. превышает 450 км против 190 км при паровой тяге. Эта цифра в 450 км является мировым рекордом по степени использования электрического подвижного состава. Количество подвижного состава на 1932 г. было уменьшено в 3 раза по сравнению с количеством подвижного соства, необходимого для того же количества пассажироперевозок при паровой тяге.

6) На горных участках помимо всех прочих преимуществ электрическая тяга характерна еще своим свойством рекуперировать энергию, Эта рекуперация энергии в количестве до 10—20% замечательна главным образом своими исключительными качествами в отношении торможения составов, идущих под уклон благодаря чему сберегаются в год сотни тонн металла тормозных колодок и бандажей в два раза сокращаются расходы по ремонту колесных пар, обточке бандажей и пр. В огромной степени уменьшается износ рельс, угон пути, расстройство верхнего строения и пр., что довольно трудно поддается количественному подсчету, но до неузнаваемости изменяет характер эксплоатации пути.

7) Эксплоатационные расходы при электрической тяге по крайней мере в 2 раза ниже, чем при паровой тяге.

Снижение расходов на содержание поездных бригад достигает 50%. Снижение расходов по содержанию и ремонту подвижного состава— не менее чем вдвое.

Эксплоатационные расходы при электрической тяге на Северных ж. д. уменьшились почти на 60% по сравнению с паровой тягой. Количество поездных бригад уменьшилось на 55%.

Эксплоатационные расходы наМексиканских ж. д. снизились при переходе с паровой на электрическую тягу на 62%. На 2 участках ж. д. Чикаго—Милвоки эти эксплоатационные расходы уменьшились соответственно на 41 и 54%. Эксплоатационные расходы на ж. д. Паулиста в Бразилии дали уменьшение на 78%. На ж. д. Бьютте—Анаконда на 42% и т. д.

Вот какие элементы количественной и качественной характеристики электрической тяги в дополнение к расчетам капиталовложений лежат в основе методики сравнения ее с паровой тягой в Советском союзе.

Ясно, что только в СССР возможно действительно полное использование всех возможностей электрификации ж. д., только в условиях социалистического хозяйства возможна исключительная реализация новейших достижений современной техники.

Москва апрель 1933 г.

НТБ ДНУЖТ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Идея выпуска такой работы по электрификации возникла у автора в процессе шестимесячного осмотра электрифицированных железных дорог в Европе. В основу книги положен предыдущий опыт автора, в эксплоатации и сооружении одной из электрифицированных железных дорог, вышеупомянутый осмотр и позднейшее изучение электрификации в Соединенных Штатах.

Автор преследует цель осветить предмет таким образом, чтобы сочетать описание технических элементов электрификации с анализом экономических проблем и вопросов эксплоатации электрифицированных железных дорог. При этом он не ставит своей задачей охватить все детали, а имеет в виду лишь показать, на типичных примерах, основные элементы электрификации и выявить те вопросы, которые подлежат разрешению.

Особое внимание уделено договорам на снабжение энергией, распределительным сетям и экономике электрификации, поскольку эти элементы не детализированы в других работах.

К. Х.

Нью-Хэйвен, Коннектикут, апрель 1929 г.

НТБ ДНУЖТ

ВВЕДЕНИЕ

Электрификация паровых железных дорог является недавним достижением в области транспорта. Поэтому отсутствие стандартизации, достаточно накопленного опыта и определенных результатов эксплоатации сказалось в том, что первоначальное применение электрической тяги было вызвано такими факторами, как затруднения в эксплоатации головных станций, горных участков, туннелей, высокой стоимостью угля, или правительственными или промышленными ограничениями.

В этот начальный период электрификация была преимущественно проблемой технического порядка, для разрешения которой производились испытания различных систем оборудования. Но постепенно электрификация переходит из этой ранней стадии, характерной для всякого процесса развития, в более установившуюся и предшествующую тому периоду развития, когда она будет являться обычным мероприятием на транспорте.

Эта вторая стадия является периодом технических усовершенствований, направленных преимущественно к снижению расходов, в результате чего накапливался соответствующий опыт. В этой фазе на сцену должна выступить стандартизация и массовое производство с вытекающим отсюда понижением стоимости. Исключительные условия некоторых железных дорог, требовавшие электрификации во что бы то ни стало, привели к тому, что в данный момент все эти ж.-д. линии уже переведены на электрическую тягу. Дальнейший прогресс электрической тяги зависит от усовершенствования, улучшения и стандартизации оборудования и приемлемой его стоимости. С этого момента проблема электрификации определяется более экономической, чем технической стороной вопроса.

В то время как электрификация находилась в таком состоянии, конкуренты ее быстро развивались. Конструкция паровоза была усовершенствована и мощность его увеличена благодаря улучшению процесса сжигания топлива и лучшему использованию тепла. Это сильно повысило производительность паровоза. Пробеги паровозов достигли таких пределов, которые считались раньше возможными лишь при электрической тяге. Одновременно с этим первоначальная стоимость новых паровозов и некоторые расходы по содержанию их, в связи с усложнением конструкции, возможно, несколько повысились. В итоге, тем не менее, железные дороги зачастую находили более приемлемым получать больший процент на капитал, вложенный в усовершенствованные паровозы, нежели в электрификацию железных дорог. Поскольку развитие электрификации происходит при наличии такой сильной конкуренции, постольку необходимость экономичного проектирования и дешевой эксплоатации электрифицированных ж. д. становится совершенно очевидной и вопросы экономики приобретают соответственно большое значение.

НТБ ДНУЖТ

К сожалению, общие экономические взаимоотношения в их связи с электрификацией изучить и проанализировать чрезвычайно трудно. Экономические обобщения обычно расстраивают тем бесконечным разнообразием условий постройки и эксплоатации, которые имеются в каждом отдельном случае. В части одной эксплоатации такие факторы, как густота движения, качество обслуживания, методы эксплоатации и ремонта, характер продольного профиля пути, свойства тяговых единиц, стоимость рабочей силы, топлива и материалов—представляют собой по отношению к разным дорогам большое разнообразие. Поэтому трудность экономической дедукции и обобщения совершенно очевидна. Изучение этих экономических взаимоотношений должно принимать вследствие этого форму анализа отдельных случаев, имеющих иногда чисто индивидуальное значение. Это лишает возможности выполнить требования широких кругов о представлении, на основании опытных данных, материалов об общей экономичности электрификации; всякая попытка удовлетворить указанные требования неизбежно приведет к заблуждениям.

Это оставляет в области экономики электрификации ряд неразрешенных проблем, настоятельно требующих обсуждения и указывающих на возможность ошибок, связанных почти со всяким анализом. Подобное обсуждение может быть полезным для более глубокого понимания проблем и правильной оценки перспектив в каждом отдельном случае.

Область технико-экономических изысканий представляет собой поле для широкого исследования. Именно на этом основании можно рассчитывать на те данные, которые дадут возможность выявить положительные стороны электрификации по отношению к другим видам транспорта. Вообще капитальные затраты по электрификации не являются объектом столь тщательного обследования, как эксплоатационные расходы, в виду недостатка материалов для сравнения, вследствие чего трудно определить, можно ли рассчитывать на экономию в части этих затрат. Если например на одном участке расходуется угля на тонно-километр вдвое больше, чем на другом аналогичном участке, то это вообще служит достаточным показателем того, что на первом участке положение с расходом топлива ненормально и что там имеются предпосылки для различных усовершенствований и улучшений. Но если воздушная сеть какой-либо одной электрифицированной линии стоит 30 000 долларов на километр рельсового пути, то, вообще, очень мало возможностей для того, чтобы установить, является ли эта стоимость преувеличенной или нет, так как сооружений такого рода, которые могли бы быть сравнимы, довольно мало.

Подойдя однако к этому вопросу более детально, можно выявить факторы, обусловливающие различия, найти почву для сравнения и установить твердый базис для изучения вопроса, что безусловно приведет к полезным результатам. Такое изучение однако должно быть тесно увязано с практическим знанием эксплоатационных требований и условий. Это значит, что всякие усовершенствования, необходимость в которых вызывается соображениями экономии, должны быть согласованы с указаниями практического опыта, поскольку надежность работы электрифицированной ж.-д. линии, конечно, должна доминировать над экономичностью.

НТБ ДИЭИТ

ГЛАВА I

ОБЩАЯ ЭКОНОМИКА ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Выгодность электрификации железных дорог—один из главных факторов для суждения о желательности применения последней. Это условие является базисом для всякого суждения относительно любой электрифицируемой железной дороги, кроме тех, которые были электрифицированы по специальным причинам. Несмотря, однако, на значение экономических факторов для электрификации, общие экономические основы последней выявлены весьма слабо. Вместе с тем противоречивость мнений различных инженеров по этому вопросу затрудняет правильность анализа положения со стороны не специалиста. Причиной этих обстоятельств, быть может, является невозможность охватить полностью все то разнообразие условий, при которых проводится электрификация отдельных железных дорог, что влечет ошибки при попытках к обобщениям.

Общие экономические методы, применяемые для изучения электрификации. Существует несколько общих экономических методов, применяемых к любой отрасли промышленности или торговли, когда производится анализ их развития. Они в той же мере применимы к железным дорогам и их электрификации. Методы эти служат в частности для выяснения степени экономичности капиталовложений в новую установку по отношению к их прежнему применению. В связи с электрификацией устройство, например, токораспределительной системы требует во всех случаях совершенно нового капиталовложения с обычными в этих случаях процентами на капитал, налогами, процентами в фонд погашения капитала, процентами на амортизацию и страхованием. В некоторых случаях электрификация, заменяя паровозы электровозами, обусловливает лишь перевод первых на другие участки железной дороги. В других же случаях паровозы совершенно вытесняются, так как для них не оказывается применения.

Вложение капиталов в подвижной состав вызывает таким образом более сложные соображения, нежели вложения в токораспределительную систему. До электрификации какого-либо участка определенный капитал при соответствующем проценте на него был вложен в подвижной состав, отвечающий паровой тяге. С переходом же на электрическую тягу этот капитал продается, если можно так выразиться, путем передачи его на другой участок или путем полной ликвидации. В этот момент участок не имеет подвижного состава, но имеет лишь некоторую сумму денег, состоящую из накопленных отчислений в амортизационный фонд и продажной стоимости ликвидируемого имущества. В более простых случаях передачи подвижного состава другому участку—продажная

НТБ ДНУЖТ

стоимость, видимо, равнялась бы первоначальной стоимости минус амортизационные отчисления, и электрификация участка осуществлялась бы вложением в подвижной состав капитала, равного сумме первоначального вложения в паровой подвижной состав. Эта сумма, в виде стоимости электрического подвижного состава, снова входит в дальнейшем в оборудование и первоначальный капитал, инвестированный на этом участке, остается тем же в виде электровозов вместо паровозов. В случае если стоимость электрооборудования выше стоимости старого парового оборудования, необходимо увеличить размеры вложения на участке на сумму, равную разнице в стоимости.

Более сложное положение имеет место в том случае, когда паровое оборудование совершенно ликвидируется, и когда амортизационные накопления плюс продажная стоимость не равны первоначальной сумме вложения. Это наблюдается в тех случаях, когда в перспективе предвидится столь высокая общая экономия от электрификации, что считают возможным изъять паровое оборудование из обращения до наступления срока полной его амортизации, причем другие участки это оборудование использовать не могут. Тогда, в промежуточный момент после продажи парового и до покупки электрического оборудования, первоначальное вложение в подвижной состав будет представлено не целиком, а выражено в меньшей сумме, состоящей из амортизационных накоплений и продажной стоимости. В этом случае недостающая сумма должна быть восполнена за счет какого-либо дополнительного фонда со стороны, или реализована кредитным путем за счет последующих ежегодных отчислений с нового оборудования, производимых дополнительно для погашения недостающей части первоначального вложения. В этом случае новое электрооборудование, пущенное в эксплоатацию, должно оправдывать как проценты на капитал, затраченный на него, так и проценты на капитал и амортизацию той части капитала, которая была вложена в старый подвижной состав, и которая не погасилась еще своими собственными амортизационными отчислениями, и суммой, вырученной от продажи этого подвижного состава.

Этот метод создает для реализации электрического подвижного состава кредит, так как паровой подвижной состав был бы впоследствии все равно заменен единовременно, в то время как электрификация производит эту замену постепенно и до срока.

Дополнительные начисления на электрическое оборудование, относящиеся к части капитала, вложенного в паровой подвижной состав и не представленного ни в виде амортизационных накоплений, ни в виде имущества, означают тот факт, что паровой подвижной состав еще не изношен и годен к работе.

Подобная же проблема встает в отношении капитала, вложенного в недвижимое железнодорожное имущество, которое становится бесполезным после электрификации. Типичным примером такого имущества является оборудование по водоснабжению, паровозные депо и частично сигнализационно-блокировочное устройство. Вложения в это имущество могут быть списаны за счет дополнительного фонда, но для более осторожного подхода, хотя бы в целях изучения вопроса, следовало бы считать, что электрическая тяга покрывает также проценты и на этот капитал с тем, чтобы окончательно погасить вложения, предшествующие электрификации. Другими словами, при электрификации не будет иметь

НТБ ДГУЖТ

места уменьшение основного капитала, хотя некоторая часть имущества и подвергается изъятию: начисления на этот капитал ложатся на электрическое оборудование.

Принципы сравнительного изучения эксплоатации жел. дорог с паровой и электрической тягой. При изучении экономики электрификации следует иметь в виду необходимость параллельного изучения всех других усовершенствований, которые могут быть противопоставлены электрической тяге. Если например причиной постановки вопроса об электрификации является необходимость снижения расходов на топливо, то следует подсчитать экономию, получаемую при вложении соответствующего капитала на введение электрической тяги, сопоставить эти данные с экономией, ожидаемой от вложения того же капитала в подогреватели питательной воды, пароперегреватели и т. д. Если стоит вопрос о перегрузке какого-либо ж.-д. участка, то следует сравнить капиталовложения на электрификацию этого участка с вложениями капитала в дополнительные рельсовые пути.

В связи с этим встает вопрос о принципах параллельного изучения эксплоатации паровой и электрической тяги. Следует ли проводить сравнение по отношению к существующему паровозному оборудованию или по отношению к усовершенствованному паровозному оборудованию с существующей ж.-д. линией или с усовершенствованной трехколейной линией? Сравнение с существующим паровозным оборудованием или с существующей ж.-д. линией покажет фактическую разницу в стоимости эксплоатации, связанную с переходом к электрической тяге. Исходя из стоимости эксплоатации установки при усовершенствованном оборудовании, мы сталкиваемся с таким положением, что существующее паровое оборудование вызывает бо́льшие эксплоатационные расходы, чем усовершенствованное паровое оборудование; соответствующая разница должна быть вычтена из экономии, которую дает применение электрической тяги.

Наиболее правильный путь в этом случае—исходить из реальных условий, имеющихся налицо, и установить, насколько рентабельным будет вложение капитала по обоим вариантам. Одни усовершенствования могут требовать небольших капитальных затрат и давать экономию, представляющую высокий процент на инвестированный капитал, но сумма сбережений может при этом составлять небольшую абсолютную величину. С другой стороны, такие усовершенствования, как электрификация, могут требовать крупных капиталовложений и давать экономию, представляющую меньший процент на капитал, но обусловливающую большую абсолютную величину сбережений. Последнее положение более желательно с точки зрения снижения общих расходов железной дороги, хотя возможно не столь интересно с точки зрения капиталовложения.

Опасность обобщений. В результате предварительного изучения экономики электрификации было выработано несколько основанных на широком обобщении методов, которые были рекомендованы для решения вопроса, на каких линиях электрификация даст экономию. Эти методы делят расходы по электрификации на эксплоатационные расходы, изменяющиеся в зависимости от протяжения линии, и расходы, зависящие от частоты движения. Выводились постоянные величины для различных элементов, как например, содержания

НТБ ДГУЖТ

подстанций, распределительной сети и т. д. для подсчета эксплоатационных расходов на единицу длины ж.-д. линии и то же—в отношении топлива, энергии и расходов по содержанию оборудования на единицу движения.

Проверка этих постоянных величин на основе данных о фактических расходах, произведенная в последнее время, дает хорошее представление о том, насколько эти постоянные величины далеки от действительности.

Возьмем например стоимость двух недавно оборудованных распределительных сетей на километр главного пути магистрали; в одном случае эта стоимость составляет 20 000 долларов с подстанциями, в другом примерно тоже 20 000 долларов, но без подстанций. Такие колебания наблюдаются в стоимости современных установок. В части расходов по содержанию и эксплоатации распределительной системы колебания еще сильнее. Для системы с третьим рельсом на дороге с большим движением стоимость эта составит примерно 1 200 долларов или выше на 1 *км* пути главной магистрали в год, в то время, как для системы с воздушной контактной сетью с небольшим движением—примерно 300 долларов в год. Те же колебания наблюдаются в отношении норм потребления энергии, изменяющихся в пределах от столь высокой нормы, как 50—70 ватт-часов на тонно-километр для пригородных линий, до 15 ватт-часов для линий с дальним пассажирским движением и до 20—30 ватт-часов для линий с товарным движением. Эти колебания зависят от различия в характере работы, частоты остановок, сопротивления движению и других факторов, связанных со скоростью движения, профилем пути и другими моментами, которые не могут быть приняты в расчет при использовании упомянутых выше обобщенных формул, и которые трудно учесть даже в каждом отдельном случае.

Именно это различие условии делает чрезвычайно трудным даже специальное исследование, и требуется тщательное изучение всех особенностей и данных условий как строительства, так и эксплоатации, прежде чем что-либо предпринимать. Условия эксплоатации играют при этом достаточно большую роль. Частые пассажирские поезда специального рода, обслуживающие наиболее загруженный нью-иоркский головной участок ж.-д. магистрали Нью-Йорк-Централ—требуют наилучшего содержания распределительной сети и подвижного состава, так как незначительная неполадка в течение всего лишь нескольких минут в наиболее интенсивный час движения означает задержку десятков тысяч людей. С другой стороны, более крупная авария на однопутной линии, имеющей местный характер, не вызовет заметной задержки в виду нежесткости расписания и незначительных размеров движения. В то же время степень загруженности путей оказывает большое влияние на возможность освобождения определенного участка для его осмотра и ремонта. В этом отношении между четырехпутным участком с большим пригородным, товарным и пассажирским движением и аналогичным участком, не имеющим густого пригородного движения, будет громадная разница.

Эти факторы отражаются и на первоначальной стоимости. При частом движении поездов-экспрессов необходимо применить все существующие методы для обеспечения бесперебойности работы. Число фидеров для питания разных участков должно быть увеличено, оборудование для возможности локализации аварии должно обладать наилучшими свой-

НТБ ДНУЖТ

ствами, электровозы должны быть усовершенствованы до максимума. Наоборот, при более слабом движении и курсировании обычных поездов, может быть применена более простая и дешевая система снабжения энергией без опасности сколько-нибудь серьезного нарушения движения. Приспособления для секционирования сети могут быть более простой системы и расположены на большем расстоянии друг от друга.

Расположение автоматических секционных выключателей на пригородной линии с большим движением на расстоянии примерно в 4 *км* друг от друга при управлении их работой из центрального пункта является примером одного крайнего случая. Размещение этих пунктов на расстоянии примерно в 30 *км* с ручным обслуживанием их, по мере надобности, персоналом станции, ремонтной мастерской или депо, представляет собой другую крайность. Связанная с этим громадная разница в единичной стоимости на 1 *км* пути при прочих равных условиях очевидна.

По отношению к первоначальной стоимости распределительной системы имеют немалое значение вес и скорость поездов и профиль железнодорожного полотна. Необходимо например обеспечить более высокую электропроводность контактной сети, даже при одном и том же напряжении, для передачи электроэнергии мощностью 15 000 kW, необходимой для трогания с места поезда весом в 6 000 *m* на подъеме в $25^0/_{00}$, нежели для трогания на площадке 600-тонного поезда, состоящего из отдельных моторных вагонов. Точно так же применение более низкого напряжения для контактной сети требует, при передаче того же количества энергии, более высокой электропроводности, в результате чего воздушная сеть будет более тяжелой и потребует солидных опор и конструкций, что вызовет естественно повышение стоимости этих сооружений. Стоимость рабочей силы, занятой на строительстве, сильно изменяется в зависимости от условий движения и расписания поездов.

При многопутной линии с короткими расстояниями между стрелочными переводами пути могут быть использованы для строительных целей в течение большей части дня, в то время как при одноколейном пути с редко расположенными разъездами работа возможна примерно только в течение четырех часов даже при 10-часовом рабочем дне. Эти колебания являются в некотором роде функцией частоты движения, но они зависят также от часов движения, условий и методов эксплоатации, расположения путей, а также квалификации диспетчеров и поездных бригад.

Еще одна группа условий, которая делает изучение экономии, получаемой от электрификации, трудным и неопределенным, относится к вопросу о степени технической новизны применяемого оборудования. Оригинальность устройства при электрификации в 1906 г. ж.-д. линии Нью-Йорк—Нью-Хэйвен—Хартфорд является типичным примером влияния технической новинки на первоначальную стоимость работ. Эта же дорога была пионером в мало известной еще области применения однофазного тягового двигателя и воздушной распределительной сети высокого напряжения.

С другой стороны, сооружение контактной сети имеет теперь за собой 20-летний опыт на различных дорогах, что облегчает ее проектирование.

НТБ ДНУЖТ

В некоторых случаях неопределенность в отношении расположения тупиковых или тракционных путей требовала сооружения временных устройств, с тем что впоследствии они должны были быть сняты и заменены постоянными сооружениями. Это без сомнения значительно увеличивало окончательную стоимость сооружения.

Далее, стоимость работ по сооружению значительно понижается в том случае, когда работы производятся на путях, еще не находящихся в эксплоатации, так как на уже эксплоатируемых дорогах или линиях рабочая сила в связи с движением поездов не может быть полностью использована в течение всего рабочего дня.

Наконец, пожалуй, ни к одной стороне электрификации не наблюдается такого разнообразия условий, как по отношению к стоимости энергии. В таких условиях, как например на железных дорогах угольного бассейна Зап. Виргинии, где уголь дешев, будет низка и стоимость энергии. Равно и при наличии источников гидравлической энергии и электропередач можно иметь также дешевую электрическую энергию. Наоборот, на железных дорогах, пролегающих в тех районах, где уголь дорог и дешевая гидроэнергия отсутствует, расходы на электроэнергию будут высокими. Характер нагрузки, коэфициент ее использования, сезонные изменения и т. п. являются также весьма существенными факторами.

Поскольку удешевление энергии играет большую роль в экономике электрификации, колебание условий электроснабжения вносит в общее решение проблемы экономичности электрификации еще один неопределенный фактор, который подлежит поэтому исследованию в каждом отдельном случае.

Общее распределение расходов. Одной из наиболее интересных областей в изучении общей экономики электрификации является анализ распределения эксплоатационных расходов. При проектировании новой электрифицируемой дороги или при усовершенствовании существующей весьма полезно знать сравнительную величину отдельных статей расходов. При таком анализе однако должна быть принята во внимание неодинаковость условий эксплоатации и постройки.

В прилагаемой таблице приведены основные, прямые и косвенные, эксплоатационные расходы крупных электрифицированных жел. дорог и основные измерители. Таблица эта учитывает только прямые эксплоатационные расходы и твердые процентные отчисления, предусмотренные формами отчетов Межштатной торговой комиссии.[1] Расчет процентных отчислений произведен во всех случаях по одному принципу: взято 5% от инвестированного капитала в качестве процентов на капитал, $1^1/_2$% на налоги; $1^1/_2$% на амортизацию или возобновление оборудования для распределительной сети, $2^1/_2$% для подстанций и силовых установок и $3^1/_2$% на подвижной состав, куда входит как механическое, так и электрическое оборудование моторных вагонов. В эксплоатационные расходы входят расходы по содержанию и обслуживанию электростанций, линий передач, подстанций и контактной сети, содержание электровозов, моторных вагонов и стоимость покупаемой энергии. Эти статьи расходов представляют собой главные их виды при эксплоатации электрических жел. дорог и дают достаточное представление о соотношениях между ними.

---

[1] Interstate Commerce Commission.

НТБ ДНУЖТ

Статьи расходов	% от общей суммы процентов на капитал и прямых эксплоатационных расходов						
	дорога *а*	дорога *б*	дорога *в*	дорога *г*	дорога *д*	дорога *е*	пределы колебаний
Расход на энергию. .	31	42	32	39	45	39	31—45
Линии передачи, подстанции и контактная сеть. .	37	33	32	24	33	24	24—37
Подвижной состав .	32	25	36	37	22	27	22—37
Приблизительная мощность тяговых двигателей л. с. . .	170 электровозы	260 электровозы	310 электровозы	345 электровозы и моторные вагоны	525 моторные вагоны	960 моторные вагоны	—
Откуда получается энергия .	покупная	от собственных электростанций	от собственных электростанций	от собственных электростанций и покупная	покупная	покупная	—

Между характером движения, источниками получения энергии или между способами распределения энергии и процентным распределением расходов по различным их группам, повидимому, мало зависимости. Например колебания стоимости энергии, как приобретенной со стороны, так и генерированной на собственных станциях, не дают возможности судить о преимуществах того или иного способа получения энергии. Колебания в ценах материалов и рабсилы во время строительства и во время эксплоатации также не дают возможности сделать какие-либо точные выводы по соответствующим статьям. Несмотря однако на эти и ряд других, трудно учитываемых в распределении расходов факторов, все же может быть выявлена некоторая закономерность. Статья расходов на энергию почти во всех случаях несколько превышает каждую из двух других статей в отдельности; исключение составляют лишь случаи, когда имеется возможность получения особенно дешевой энергии. Общие расходы по линиям передачи, подстанциям и контактной сети держатся примерно на уровне стоимости содержания подвижного состава. Пренебрегая таким образом незначительными колебаниями расходов по разным статьям, следует отметить, что в общем расходы по электрической энергии, стоимость содержания линий передач, подстанций и контактной сети и расходы по подвижному составу имеют равноценное значение и каждая из этих статей, с точки зрения экономики, заслуживает одинакового внимания для ее изучения и внесения соответствующих технических усовершенствований.

Соотношение между величинами процентов на капитал и прочих эксплоатационных расходов в каждой группе показано в следующей таблице.

НТБ ДНУЖТ

Статьи расходов	Приблизительное процентное распределение расходов по линиям передачи, подстанциям и контактной сети						
	дорога *а*	дорога *б*	дорога *в*	дорога *г*	дорога *д*	дорога *е*	предел колебаний
Процентные отчислен.	81	78	90	50	83	63	50—90
Прочие эксплоатационные расходы	19	22	10	50	17	37	10—50
То же по подвижному составу:							
Процентные отчисления .	63	52	65	32	64	60	32—68
Прочие эксплоатационные расходы .	37	48	35	68	36	40	35—65

В этих соотношениях большое значение имеет разница в ценах, имевшихся к моменту производства первоначальных затрат и во время эксплоатации. По отношению к распределительной системе наиболее важным элементом эксплоатационных расходов является первоначальная стоимость установки, так как сумма процентных отчислений превышает в 3—4 раза сумму остальных эксплоатационных расходов. В части подвижного состава прочие эксплоатационные расходы играют более значительную роль, так как в этой статье постоянные расходы на капитал превышают прочие эксплоатационные расходы не более, чем вдвое.

В качестве иллюстрации распределения расходов по капиталовложениям между различными их группами представляет интерес следующая таблица.

Наименование статей капитальных затрат	Процентное распределение общей суммы капиталовложений при собственных источниках энергии		
	Дорога *а*	Дорога *б*	Дорога *в*
Источники энергии.	20	24	23
Линии передачи, подстанции и контактная сеть.	56	46	42
Подвижной состав	24	30	35

НТБ ДНУЖТ

Наименование	Процентное распределение общей суммы капиталовложений при покупной энергии или при исключении вложений в источники энергии						
	Дорога *а*	Дорога *б*	Дорога *в*	Дорога *г*	Дорога *д*	Дорога *е*	Дорога *жс*
Линии передачи, подстанции и контактная сеть	63	70	60	62	70	55	46[1]
Подвижной состав	37	30	40	38	30	45	54
Примечания	высоковольтная контактная сеть постоянного тока	высоковольтная контактная сеть постоянного тока	высоковольтная контактная сеть постоянного тока	высоковольтная контактная сеть постоянного тока	низковольтная контактная сеть постоянного тока	высоковольтная контактная сеть постоянного тока	высоковольтная контактная сеть постоянного тока
Примерная мощность тяговых двигателей на километр магистрали в л. с.	Магистральная ж.-д. линия 170	260	310	150	Пригородная ж.-д. линия 525	Магистральная ж.-д. линия 345	Пригородная ж.-д. линия 980

В случаях, когда железная дорога сама производит электрическую энергию на собственных электростанциях, величина капиталовложений в распределительную систему примерно равняется сумме капиталовложений в электросиловые станции и подвижной состав. При этом вложение капитала в подвижной состав несколько превышает вложения в электросиловые станции. Оставляя в стороне капиталовложения для целей производства энергии, мы наблюдаем, что капиталовложения в распределительную систему проявляют тенденцию к превышению капиталовложений в подвижной состав примерно в $1^1/_2$—2 раза. Определенной закономерности изменения размеров вложений при различных системах тока или различных типах электрифицированных линий в функции от характера или густоты движения не наблюдается.

Не наблюдается также закономерности в распределении и чисто эксплоатационных расходов между различными их статьями. Нижеследующая таблица, охватывающая наиболее крупные электрифицированные жел. дороги в Соединенных Штатах, показывает большие пределы колебаний для различных статей эксплоатационных расходов и иллюстрирует всю невозможность сделать какие-либо обобщения относительно влияния различных факторов на распределение этих расходов.

Наблюдается, что расходы на энергию составляют примерно половину эксплоатационных расходов при собственных источниках энергии и несколько больше при покупной энергии. Содержание электровозов или моторных вагонов составляет значительно большие расходы, чем содержание и эксплоатация общей распределительной системы.

---

[1] Исключая расходы по подстанциям.

НТБ ДНУЖТ

Наименование статей эксплоатационных расходов	Процентное распределение общей суммы эксплоатационных расходов при пользовании энергией, вырабатываемой на собственных эл. станциях				
	Дорога *а*	Дорога *б*	Дорога *в*	Дорога *г*	Пределы колебаний
Производство энергии	47	49	63	47	47—63
Линии передачи, подстанции и контактная сеть	25	10	12	17	10—25
Подвижной состав	28	41	25	36	25—41
	Головной участок, низкое напряжение, постоянный ток	Магистральная линия, высокое напряжение, переменный ток	Магистральная линия, высокое напряжение, переменный ток	Магистральная линия, высокое напряжение, переменный ток	

Наименование статей эксплоатационных расходов	Процентное распределение общей суммы эксплоатационных расходов при покупной энергии						
	Дорога *а*	Дорога *б*	Дорога *в*	Дорога *г*	Дорога *д*	Дорога *е*	Амплитуда колебаний
Приобретение энергии	69	67	76	54	58	54	54—76
Линии передачи, подстанции и контактная сеть	13	6	12	20 [1]	19	12	6—20
Эл. подвижной состав	18	27	12	26	23	34	12—34
	Пригородная линия, низкое напряжение, постоянный ток	Пригородная линия, высокое напряжение, переменный ток	Пригородная линия, низкое напряжение, постоянный ток	Пригородная линия, высокое напряжение, постоянный ток	Магистральная линия, высокое напряжение, постоянный ток	Короткий участок, высокое напряжение, постоянный ток	

Из распределения расходов по отдельным статьям видно, что с точки зрения первоначальной стоимости главные усилия должны быть направлены к понижению стоимости распределительных систем, так как эта статья может поглотить до $^2/_3$ общего капиталовложения. С точки зрения эксплоатационных расходов главное значение приобретает стоимость энергии, независимо от того, будет ли она покупной или выработанной на собственных электростанциях. Это в особенности относится к случаям покупной энергии, когда оплата последней может поглотить

[1] Исключая расходы по подстанциям.

НТБ ДНУЖТ

до $^2/_3$ общей суммы эксплоатационных расходов. Содержание подвижного состава требует в свою очередь значительно большего внимания, нежели содержание и эксплоатация распределительной системы.

Избранные примеры экономии, связанной с электрификацией. При выяснении экономии, обусловливаемой электрификацией, мы встречаем в общем очень мало случаев, которые не были бы осложнены специфическими эксплоатационными условиями. Типичным для нашей практики является такое положение, при котором на электрифицированном участке циркулируют также и поезда с паровой тягой, вследствие чего распределительная система не используется полностью. Другое, нередко встречающееся явление,—это неполная электрификация участка, в виду чего возникает необходимость в дополнительной паровой тяге и паровозных депо. Такие случаи затемняют определение экономичности от электрификации, и при изучении вопроса их нужно исключать, хотя они и составляют часть общей проблемы с точки зрения железнодорожного транспорта.

Оба нижеследующих анализа произведены по этому принципу, т. е. в обоих случаях имелась в виду полная электрификация участков. Первый анализ касается электрификации грузового и пассажирского движения магистральной линии, второй—электрификации пригородной линии. Стоимость энергии, характер работы, частота движения и тип оборудования различны. В одном случае предусматривается передача прежнего парового оборудования другому участку, во втором—полное изъятие его из обращения. Различны также способы определения отчислений: в одном случае они вычислены путем подсчета общего амортизационного фонда по сложным процентам, в другом—путем прямых начислений на стоимость оборудования по отдельным группам. Анализ дан без комментариев, так как последние были бы излишними.

СЛУЧАЙ А

ОСНОВНОЙ КАПИТАЛ ДО И ПОСЛЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Новые вложения

Новые вложения—счет путевых сооружений на 1918 г.

Счет № 1 и другие			Сумма
	Проектирование, проценты и пр.	долл.	621 519
17	Дорожные здания.		114 215
27	Сигнализация и блокировка.		780 000
30	Здания подстанций.		452 808
31	Линии передачи энергии		549 521
32	Распределительная система.		2 190 401
33	Провода, мачты, крепления и пр.		966 563
46	Оборудование подстанций.		1 476 964
	Ремонтно-монтажное оборудование и инструмент . .		27 000
		Итого	7 178 991

НТБ ДНУЖТ

Новые вложения—счет оборудования

22 электровоза	долл.	4 149 490
Итого новых вложений	долл.	11 328 481

Старые капиталовложения

Паровозы, первоначальная стоимость[1]	долл.	2 710 240
Топливо—и водоснабжение и т. д. .		507 010
Сигнализация		612 000
	долл.	3 829 250
Паровой подвижной состав, переданный другим участкам.	долл.	2 710 240
Остаток капитала, вложенного в изъятое оборудование, подлежащий погашению за счет дополнительного фонда или за счет начислений на новое оборудование. . .	долл.	1 119 010

Начисления на капитал

Проценты на капитал—6%	Капиталовложения долл.	Начисления долл.
Электрический подвижной состав	4 149 490	248 969
Электрическая распределительная система.	7 178 991	430 739
Проценты за кредит, амортизация прежнего парового подвижного состава	2 710 240	кред. 280 881
Амортизация 6% (слож. проц.) за все виды оборудования	11 328 489	149 292
Земельная рента		кред. 25 842
Итого чистых начислений на новый капитал		долл. 522 277

Эксплоатационные расходы

Сравнительная таблица прямых эксплоатационных расходов, связанных с применением электрической и паровой энергии. Сопоставляются цифры 1923 и 1918 гг. с поправкой на цены 1923 г.

		1923 г (электр.)	1918—1919 гг. (пар.)	Уменьшение *(Д)* или увеличение	
Ремонт силового оборудования, включая подстанции, линии передачи и контактную сеть	долл.	46 271*	—		46 271
Производство энергии, включая подстанции и общие расходы.		53 748*	—		53 748
Приобретение энергии.		322 348	—		322 348
Надзор за сохранностью оборудования		22 306*	31 105[1]	*Д.*	8 799
Ремонт локомотивов. .		141 910	479 982	*Д.*	338 072
Электромашинисты . .		136 715	—	*Д.*	136 715
Кондукторские бригады . .		164 919	365 542	*Д.*	200 623
Оборудование поездов и пр..		7 723	—		7 723
Машинисты и кочегары		—	328 626	*Д.*	328 626
Водо-и топливо-снабжение, депо и пр.		12 513*	29 722[1]	*Д.*	17 209
Топливо для паровозов		—	705 016	*Д.*	705 016
Вода для паровозов.		—	16 860	*Д.*	16 860
Смазка		7 080	7 870	*Д.*	790
Прочие принадлежности .		5 528	10 515	*Д.*	4 987
Расходы по депо		20 725	82 056	*Д.*	51 331
	Долл.	951 786	2 057 294	*Д.*	1 105 508
Всего тонно-километров.					1 625 000
Уменьшение пробега—26%.			1 200 000		

Все эти статьи меняются в зависимости от числа тонно-километров, исключая отмеченных знаком (*).

[1] С поправкой на изменившуюся цену.

НТБ ДНУЖТ

Расходы по паровой тяге, изменяющиеся в зависимости от тонно-километров.	долл. 1 996 467	
26% уменьшение расходов варианта паровой тяги.	долл.	519 084
Сметные расходы при паровой тяге на 1923 г. . .		1 538 210
Сметные расходы при электрической тяге на 1923 г.		951 786
Сметная экономия на эксплоатационных расходах	долл.	586 424
В том числе начисления на капитал		522 277
Чистые сбережения .		64 147

СЛУЧАЙ Б

ОСНОВНОЙ КАПИТАЛ ДО И ПОСЛЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Новые вложения

Новые вложения—счет путевых сооружений на 30 сентября 1927 г.

Счет №			Сумма
1.	Проектирование	долл.	78 147
2.	Отчуждение участков для железной дороги		44 882
3.	Нивелировка		3 350
5.	Туннели и подземные дороги.		174
8.	Шпалы .		42 131
9.	Рельсы		51 662
10.	Прочие дорожные материалы.		49 547
15.	Стрелки и сигналы		853
16.	Станционные и служебные здания.		1 273
20.	Ремонтные мастерские и депо . .		23 235
26.	Телеграфные и телефонные линии . . .		7 739
27.	Сигнальные и блокировочные устройства		348 170
30.	Здания подстанций		158 760
31.	Линии передачи энергии		69 324
32.	Система для распределения энергии.		844 940
33.	Провода, мачты, крепления и пр. .		18 915
44.	Оборудование ремонтных мастерских .		46 869
46.	Оборудование подстанций		549 869
	То же (по счетам 3, 8, 9, 10 и 12).		518
	То же (» » 10 и 12). .		13 423
	То же (» 31 и 32).		15 949
	Итого		2 369 741

Новые капиталовложения—счет оборудования

90 моторных пассажирских вагонов.	долл.	2 996 839
10 прицепных пассажирских вагонов		264 910
Снегоочиститель		5 702
	долл.	3 267 451
Итого новые капиталовложения	долл.	5 637 19

Старые капиталовложения

Паровозы—первоначальная стоимость	долл.	176802
Пассажирские вагоны первоначальная стоимость		261 662
Итого	долл.	438 464
Фонд амортизации к моменту изъятия из обращения старого оборудования .		214 692

НТБ ДНУЖТ

Проценты на фонд амортизации		—
Продажная стоимость старого оборудования (ориентировочно) .		16 231
Итого	долл.	230 923
Остаток капитала, который должен быть получен из дополнительного фонда или покрыт за счет начислений на новое оборудование	долл.	207 511

Начисления на капитал

	Капиталовложения	Начисления
Электрический подвижной состав. Начисление в размере 4,7% (по нормам 1927 г.)	долл. 3 267 451	долл. 153 570
Система распределения энергии—5,6% (по нормальным оптовым ценам)	2 369 741	132 705
Кредит на старое оборудование, покрываемое амортизацией и т. д.—4%	230 923	кредит 16 165
Амортизация 3% от стоимости оборудования	3 267 451	98 024
Амортизация 2% от стоимости аппаратуры подстанции.	549 869	
» » » здания подстанции.	153 760	
» » контактной сети	844 940	
» линий передачи энергии	69 324	
	долл. 1 622 893	32 45
Итого чистых начислений на капиталы		долл. 400 592

Эксплоатационные расходы

Сравнительная таблица эксплоатационных расходов при электрической (1927 г.) и паровой (1924 г.) тяге для пассажирского движения.

	1927 (электр.)	1924 (пар.)	Увеличение или уменьшение (Д)
Ремонт силового оборудования [1]	22 574	—	22 574
Выработка энергии [1] . .	11 679	—	11 679
Приобретение энергии [1].	169790	—	196 790
Ремонт пассажирских вагонов [1] . .	66 365	79 226	Д. 12 860
Ремонт электрического оборудования .	33 109	—	33 109
Электромашинисты . .	88 910	—	88 910
Кондукторские бригады .	212 344	271 988	Д. 59 644
Поездной инвентарь и пр. . . .	45 826	23 647	22 179
Зарплата машинистам и кочегарам	—	169 218	Д. 169 218
Топливо для паровозов [1]	—	249 230	Д. 249 230
Содержание устройств по топливоснабжению	—	5 335	Д. 5 335
Водоснабжение паровозов [1]	—	15 977	Д. 15 977
Смазка паровозов . . .	—	2 570	Д. 2 570
Прочие принадлежности.	—	3 857	Д. 3 857
Расходы по содержанию паровозных депо	—	65 493	Д. 65 493
Ремонт паровозов	—	147 202	Д. 147 202
Страхование	—	208	Д. 208
	долл. 677 601	долл. 1 033 958	долл. Д. 356 356
Пассажирск. поездо-километров.	1 800 000	1 360 000	440 000
Пассаж. вагоно-километров	4 330 000	4 450 000	Д. 120 000

Уменьшение пассажирских вагоно-километров . 2,57%
Увеличение поездо-километров . . . 32,41%

Статьи по паровой тяге, меняющиеся в зависимости от числа вагоно-километров, отмечены знаком [1]. Другие статьи меняются в зависимости от числа поездо-километров.

НТБ ДНУЖТ

Расходы по паровой тяге применительно к 1927 г. выражаются в следующих цифрах:

Статьи, меняющиеся в зависимости от числа поездо-километров	долл. 344 433	в 1927 г.	уменьшение	долл. 8 825
Статьи, меняющиеся в зависимости от числа поездо-километров	689 517	в 1927 г.	увеличение	долл. 223 472

Чистое увеличение эксплоатационных расходов по паровой тяге в 1927 г. против 1924 г.	долл.	214 620
Расходы 1924 г.		1 033 958
Сметные расходы на 1927 г. при паровой тяге.	долл.	1 248 578
при электрической тяге .		677 601
Сметная экономия.	долл.	570 977
В том числе начислений .		400 592
Чистые сбережения в год.	долл.	170 385.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА II

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛ. ДОРОГ

Одним из первых вопросов, подлежащих разрешению при электрификации паровых железных дорог, является вопрос об источниках энергии для электрической тяги. Разрешение этой проблемы обычно бывает весьма разнообразным: даже одинаковые факторы в различных случаях не определяют непременную одинаковость результатов.

Исторические данные в вопросе об источниках энергии. В историческом аспекте выявляется интересное развитие проблемы о выборе источников энергии. В первые периоды электрификации железных дорог в Америке, жел. дороги Гранд Трэнк в Сарниа, Грейт-Норсерн в Каскадах, Нью-Иорк Сентрал и Пеннсильванская, включая Лонг-Айленд в Нью-Иорке и линию Нью-Иорк—Нью-Хэйвен—Хартфорд построили собственные электрические станции. Первая электрифицированная в 1907 г. ж.-д. линия в Голландии, соединяющая Роттердам с Гаагой, снабжалась электрической энергией от собственной станции в Лейдшендаме. Электрифицированная в 1915 г. в северной части Швеции железная дорога для подвоза руды получала энергию от электрической станции, построенной первоначально для специальных целей электроснабжения этой дороги. В дальнейшем с развитием электрификации многие из вышеперечисленных дорог изменили свою тактику и перешли на покупку энергии у электрических компаний. Филадельфийский участок Пенсильванской жел. дороги снабжался Филадельфийской электрической К-о, а позднейшие требования на энергию со стороны Нью-Хэвенской дороги удовлетворялись в Нью-Иорке компанией Юнайтед-Электрик Лайт-энд-Пауэр, Коннектикутской К-о в Нью-Хэвене и Коннектикут-Лайт энд Пауэр К-о в Девоне. В Швеции линия Гетеборг—Стокгольм, электрифицированная в 1926 г., снабжается от сети государственных электрических станций. Электрифицированные в позднейшее время железные дороги Голландии также питаются энергией от электрической сети общего пользования.

Одной из главных причин изменения этой политики явилось развитие мощных электро-силовых станций и широкая электрификация их районов. В прежнее время установки электрических компаний сплошь и рядом не обладали достаточной мощностью, и электрифицируемая жел. дорога в отношении электроснабжения не могла целиком на них полагаться. Во многих случаях в районе электрифицируемой дороги совершенно не имелось электрических станций, и железная дорога вследствие этого вынуждена была строить собственные электрические станции. Бесперебойность подачи энергии электрическими компаниями не могла быть

НТБ ДНУЖТ

в то время так гарантирована, как в настоящее время, при параллельной работе нескольких станций и при современном развитии конструкций электрической аппаратуры. Идея комбинирования потребителей с различным характером нагрузки не была еще достаточно усвоена электрическими компаниями. Конструкция генераторов большой мощности, обладающих высоким коэфициентом полезного действия, тоже является достижением сравнительно недавнего прошлого. Кроме того неразработанность конструкции преобразователей для преобразования 60-периодного тока в постоянный во многих случаях вынуждала железные дороги применять 25-периодное оборудование, которое уже не могло быть впоследствии присоединяемо в осветительным 60-периодным сетям. Достигнутые в последнее время большие успехи к области генерирования электроэнергии на районных станциях в значительной мере объясняют тенденцию большинства железных дорог к изменению своей прежней политики в отношении выбора источника энергии.

В некоторых случаях однако факторы, связанные с отсутствием постороннего источника энергии достаточной мощности в районе ж. д., продолжают иметь действие. Такое положение наблюдается на Вирджинской, Норфолькской и Западных дорогах САСШ и в некоторых областях Австрии, Германии, Франции и Италии. В этих условиях для жел. дорог не остается другого выхода, как постройка собственных электрических станций.

Жел. дорога обычно не является достаточно крупным потребителем энергии для того, чтобы оправдать существование собственной технической организации для разработки и осуществления проблем производства энергии. Для больших электрических компаний производство и распределение энергии является их единственной задачей и функцией. В связи с ограниченными возможностями увеличения нагрузки железные дороги не могут повышать мощность своих станций, как это было бы желательно и с точки зрения введения машин новейших типов.

Электрическая станция обычно проектируется жел. дорогой на предельную мощность, отвечающую полной предполагаемой нагрузке, и замена старого оборудования новым, более современной конструкции, не представляется целесообразной до тех пор, пока старая установка не обнаружит полной своей неудовлетворительности. Наоборот, электрическая компания, имеющая дело с постоянным увеличением промышленной и другой нагрузки, нуждается в систематическом усилении оборудования электростанций, и таким образом последнее во всех случаях будет более современным.

Само производство электрической энергии по своему характеру является делом совершенно чуждым для транспортной железнодорожной организации. Поэтому между персоналом электростанции, не рассматривающим проблемы с точки зрения транспортников, и собственно железнодорожным персоналом, стоящим на точке зрения, чуждой для электриков, легко могут возникнуть трения. Это может привести к недооценке значения отдела, занятого производством энергии, со стороны высшего железнодорожного персонала—обычно транспортников, в то время как в электрической компании отдел этот занимает главное место и ему полностью уделяется должное внимание

Во всяком случае бесспорно что если электрическая компания,

M. I. T.
№ 25302
НТБ МИИТ

снабжающая энергией железную дорогу, имеет налаженную организацию, хорошие перспективы в будущем и серьезно относится к своим обязательствам перед потребителем, бесперебойная подача энергии будет не менее хорошо обеспечена, чем при снабжении энергией от собственных станций дороги. Производство же электрической энергии, как совершенно чуждое конечным целям железнодорожной организации, безусловно не следует со слишком большой легкостью включать в состав функций этой организации, идя на это лишь в том случае, если создавшееся положение требует этого с других точек зрения.

Влияние правительственной энергетической политики. Внешним фактором, влияющим также в конечном счете на выбор источников энергии, является правительственная политика в отношении производства и передачи энергии. Наиболее яркий пример правительственного влияния в этом вопросе представляет Франция. С точки зрения интересов страны в целом правительство считает полезным развитие централизованной системы производства и передачи энергии. Это имеет то преимущество, что силовые установки охватывают большую территорию и скорее побуждают промышленность к применению электрической энергии, нежели в том случае, если промышленность стала бы сама строить электростанции.

Например в районах, куда железная дорога требовала подач энергии для электрификации и где промышленное развитие было слабым, промышленности и населению представлялась возможность пользоваться электрической энергией, каковой при других условиях пользовалась бы лишь одна железная дорога.[1]

Если спрос на энергию со стороны одной промышленности оправдывает строительство электростанций, то жел. дорога может в свою очередь использовать ее, не неся тяжести всех затрат, связанных с оборудованием собственной станции. В дополнение к этим соображениям предпочтение, отдаваемое во Франции централизованному производству энергии, обусловлено также выгодами, связанными с улучшением коэфициента использования и преимуществами комбинирования работы различных станций. Это дает возможность полностью использовать наличную водяную энергию, сезонную энергию ледниковых рек и в любое время года паровую энергию в размере, отвечающем непокрытой мощности. Преимущества эти вместе с правительственной политикой поощрения централизации производства энергии в стране привели к широкому использованию железными дорогами системы электростанций общего пользования. В других случаях электрические станции и сети железных дорог были запроектированы таким образом, чтобы в дальнейшем они могли быть включены в общую электрическую систему.

В Англии правительственное влияние в этом вопросе облечено в форму акта 1926 г. об электроснабжении. Железнодорожные компании, хотя и ограждены от включения их электрических станций и линий передач в общую систему, но Центральному электрическому управлению (Central Electricity Board) предоставлено право ликвидировать частную электростанцию, если управление само в состоянии дать требуемое коли-

[1] Таким образом правительственное влияние сводится к поощрению крупных электроснабжающих компаний, с одной стороны, а с другой—к освобождению ж.-д. обществ от несения всей тяжести затрат, связанных с сооружением электрических станций. (Прим. ред.)

НТБ ДНУЖТ

чество энергии по более низкой цене. В то же время на железные дороги не распространяются пункты, предоставляющие управлению право требовать изменения частоты, и лишь с санкции министра путей сообщения железнодорожную компанию можно принудить к подчинению стандартным нормам в отношении рода, частоты и напряжения вырабатываемого ею тока. Предсказать действенность этого акта весьма трудно, так как многое предоставлено инициативе управления, но есть основание полагать, что управление в соответствующих случаях скорее будет настаивать на покупке дополнительно требующейся энергии для электрической тяги от центральных станций, нежели санкционирует постройку железными дорогами собственных силовых установок.

В Италии правительство разрешает проблему электроснабжения железных дорог путем резервирования для этих целей 10% от гидроэнергии, передаваемой частным компаниям в эксплоатацию. Это обеспечивает дальнейшей электрификации железных дорог источники дешевой энергии, не зависящей от цены на уголь, а также дает железным дорогам возможность выбрать и забронировать за собой потребную в будущем мощность энергии, производимой в наиболее благоприятных и дешевых условиях.

В Соединенных Штатах правительство совершенно не вмешивается в вопрос об источниках энергии для снабжения железных дорог, хотя идея «сверхмощных» станций может вынудить общее решение проблемы в смысле централизации электроснабжения.

В ряде других стран правительство предприняло шаги к регулированию и координированию производства энергии для различных целей и к унификации различных систем передачи энергии. В этих случаях железные дороги в выборе источников энергии должны руководствоваться указаниями правительства, и таким образом проблема энергоснабжения разрешается для них этим путем.

Надежность источников электроэнергии. С эксплоатационной точки зрения вопрос об источниках энергии превращается в проблему сравнения надежности питания от различных источников. Разрешение этой проблемы определяется целым рядом факторов, большая часть которых зависит от общего развития электротехники. Совершенно очевидно, что в сети, питающей кроме электрифицированной железной дороги также и других потребителей, будет больше аварий, чем в самостоятельной железнодорожной сети. Вопрос только в том, сколько дополнительных аварий связано с подобным комбинированием нагрузок. Аварии на самих станциях и в сетях будут для данной системы одними и теми же, независимо от рода нагрузки, но серьезность аварий зависит от величины последней. Присоединение всякой промышленной или железнодорожной нагрузки вероятно потребовало бы усиления сети и приобретения нового оборудования. Возможность дополнительных аварий этого нового оборудования с избытком будет компенсирована дублированием главных линий сети, которое обеспечит работу системы в целом в случае аварии как на основной, так и на резервной линиях. Аварии, связанные с дополнительными (по отношению к железнодорожной) нагрузками, мало отражаются на системе, питаемой с двух сторон, так как в случае аварии присоединенные к этой системе потребители могут получать энергию при одностороннем питании. Если система питается только с одной стороны, аварии у других потребителей могут легко нарушить

НТБ ДНУЖТ

подачу тока к подстанциям железной дороги. Но при современной конструкции сети это происходит в общем довольно редко. В обоих случаях аварии в дополнительных линиях не отразились бы на системе в целом в случае применения современных защитных приборов. Общая надежность системы, питающей промышленность и железнодорожную нагрузку, базируется прежде всего на многочисленности питающих силовых установок и разветвленности питаемой ими сети. Системы такого рода встречаются в настоящее время весьма часто и доказали на практике свою полную удовлетворительность. Так в Соединенных Штатах в двух случаях железные дороги были настолько удовлетворены надежностью питания со стороны, после того, как электрическая компания усовершенствовала сеть указанным образом, что решили отказаться от собственных генераторных установок, переведенных в резерв.

Стоимость энергии. Стоимость энергии, получаемой из разных источников, имеет существеннейшее значение в выборе самого источника после того как вопрос о бесперебойности питания от него является разрешенным в положительном смысле. Если железнодорожная нагрузка не превышает 30 000 kW, то все говорит за то, что железная дорога не могла бы сама производить более дешевую энергию, чем электрическая компания, обладающая крупными станциями с мощными агрегатами и имеющая вследствие этого меньшие накладные расходы. Если однако железная дорога владеет угольными копями или в связи с тем, что транспорт угля обходится ей дешево, может доставлять своим силовым станциям более дешевый уголь, чем получает электрическая компания,—это может в конечном счете дать более низкую стоимость энергии при производстве ее железной дорогой. Кроме того электрическая станция, обслуживающая только железную дорогу, может позволить применение более дешевой системы коммутации и распределительного устройства, нежели центральная или районная электрическая станция, имеющая большое количество фидеров и связанную с этим сложную систему управления и защиты. Но при питании железной дороги от кольцевой сети высокого напряжения современного типа, система коммутации на станции общего пользования может быть почти так же проста, как и в случае чисто железнодорожной станции. При этих условиях первоначальные затраты на оборудование немногим будут отличаться от первоначальных затрат на установку, обслуживающую только железную дорогу. Однако в конечном счете соотношение стоимостей энергии в каждом отдельном случае может быть установлено только путем сопоставления размеров капиталовложений, накладных расходов, стоимости угля и пр. для различных источников энергии с учетом условий, которые можно реализовать по договорам с электрическими компаниями.

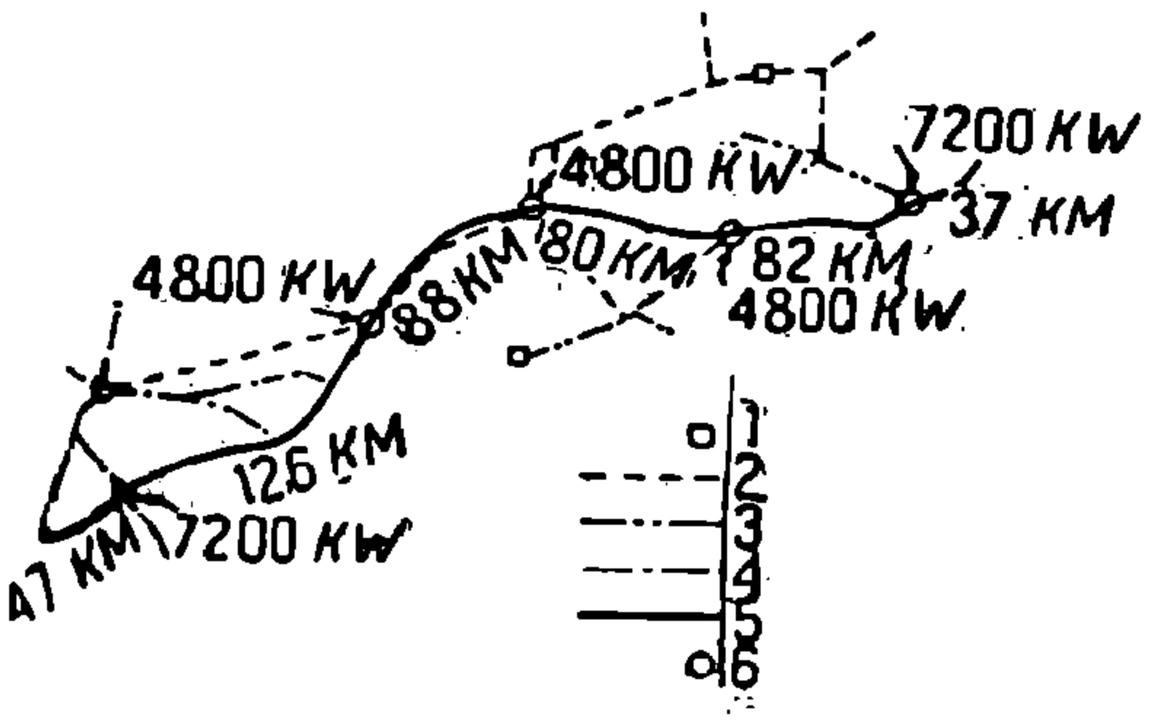
Влияние различных типов распределительных систем на выбор источника энергии. Род тока, применяемого как в случае воздушной контактной сети, так и в системе с третьим рельсом, может иметь большое влияние на выбор источника энергии для электрификации жел. дороги. Наиболее часто встречаются сети, питаемые постоянным током при напряжении от 600 до 3 000 V или однофазным переменным током напряжением от 3 000 до 22 000 V при 15—25 периодах. [1] В первом случае требуется

[1] В настоящее время применяется однофазный ток и при промышленной частоте 50 пер./сек. Относительно применения этой системы в СССР—см. постановления 1 конференции по электрификации ж. д. 1932 г..

НТБ ДНУЖТ

передача энергии трехфазным переменным током высокого напряжения к многочисленным подстанциям, оборудованным для трансформации высокого напряжения в низкое и для преобразования переменного тока в постоянный. Во втором случае оборудование может быть разнообразным, так как имеется возможность применять или однофазный ток требуемой частоты лишь с трансформацией напряжения на подстанциях, или же трехфазный ток нормальной промышленной или пониженной частоты, требующий преобразования числа фаз и частоты на немногочисленных, по сравнению с первым случаем, подстанциях. Расположение подстанций на двух участках магистралей со сравнительно слабым движением и длинными перегонами, иллюстрирующее влияние систем распределения на использование источников энергии общего пользования, показано на рис. 1 и 2.

В случае применения железной дорогой системы постоянного тока (рис. 2), участок в 364 *км* (226 миль) одноколейного пути магистрали



Схематический план железнодорожной линии, электрифицированной на однофазном токе 16 000 V, 16⅔ периода, питаемой от районной сети.

1—электростанции.
2—сеть 130 000 V (50 периодов).
3—сеть 70 000 V (50 периодов).
4—сеть 40 000—50 000 V (50 периодов).
5—линия электрифицированной железной дороги.
6—железнодорожные подстанции. Расстояния между подстанциями выражены в километрах.

Рис. 1.

имеет 7 подстанций общей мощностью в 29 000 kW с трехфазной линией, идущей параллельно жел.-дорожному пути и предназначенной для питания различных подстанций. Энергия подается электрической компанией к пяти точкам общей распределительной сети.

В другом случае (рис. 1) железная дорога длиной 435 *км* (270 миль одноколейного пути магистрали с высоковольтной однофазной воздушной контактной сетью имеет 5 подстанций общей мощностью 28 000 kW. Отдельной линии передачи здесь не требуется, так как подстанции расположены таким образом, что получают энергию непосредственно из общей сети там, где последняя близко подходит или пересекает железную дорогу. В первом случае на подстанциях устанавливаются вращающиеся преобразователи с оборудованием для повышения коэфициента мощности и регулирования напряжения общей сети. Во втором случае те же результаты обеспечиваются при помощи установленных на подстанциях преобразователей числа фаз и преобразователей частоты, служащих для преобразования трехфазного тока нормальной частоты в однофазный ток низкой частоты для железнодорожной сети. Эти преобразовательные установки также снабжены устройствами для повышения коэфициента мощности и регулирования напряжения в сети. В обоих случаях требуются преобразователи, но в случае более высокого напряжения в контактной сети возможность расположить подстанции на больших рас-

НТБ ДГУКИТ

стояниях допускает такой выбор их местоположения, что они могут получать энергию непосредственно от существующих линий передачи, без необходимости в устройстве специальной линии передачи, параллельной ж.-д. пути, как это имеет место в первом случае. Кроме того укрупнение участка, питаемого от данной подстанции при применении энергии более высокого напряжения повышает и коэфициент использования установленной мощности подстанции.

Магистрали с более густым и тяжелым движением имеют более высокий расход энергии и различие между системами распределения имеет меньшее значение. Подстанции, независимо от систем распределения, приходится располагать на более близком расстоянии друг от друга, чем это определяется непосредственной связью с общей высоковольтной сетью, и таким образом становится необходимой постройка линии передачи специально для железной дороги. При системе постоянного тока это означает возможность покупки энергии трехфазного тока в удобных пунктах, передачу ее на подстанции и преобразование на последних переменного тока в постоянный. При однофазном токе возможны два

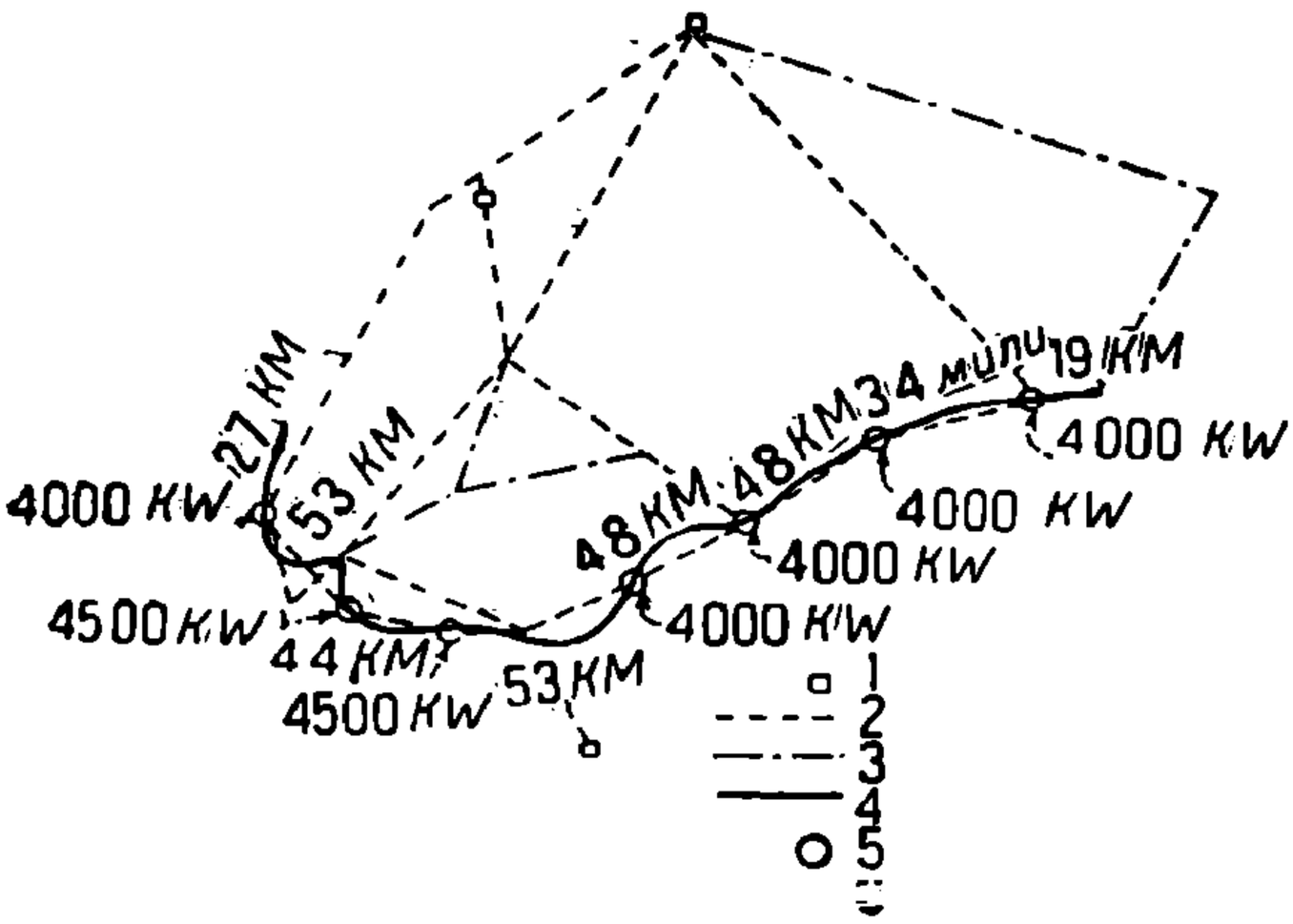


Схема участка железнодорожной линии, электрифицированной на постоянном токе напряжением 3000 V и питаемой от районной сети.

1—электростанции.
2—сеть 100 000 *V* (60 периодов).
3—сеть напряжением ниже 100 000 *V*.
4—линия электрифицированной железной дороги.
5—железнодорожные постанции. Расстояние между подстанциями выражены в километрах.

Рис. 2.

случая. Преобразование частоты и числа фаз может быть сконцентрировано в немногих пунктах, в связи с чем потребуется меньшая установленная мощность оборудования вследствие высокого коэфициента нагрузки. Затем энергия может быть передана однофазным током к относительно более дешевым трансформаторным подстанциям. Другая возможность заключается в передаче трехфазного тока нормальной промышленной частоты к подстанциям, непосредственно преобразующим и трансформирующим энергию для жел.-дор. тяги.

В районах пригородных линий и головных участков, в связи с наличием сильно разветвленных сетей общего пользования, возможны еще более разнообразные варианты. Линии передачи, параллельные железнодорожному пути, могут оказаться совершенно ненужными, и подстанции как для преобразования, так и трансформирования электрической энергии могут снабжаться энергией непосредственно в подходящих пунктах общей высоковольтной сети (рис. 3).

НТБ ДГУЖТ

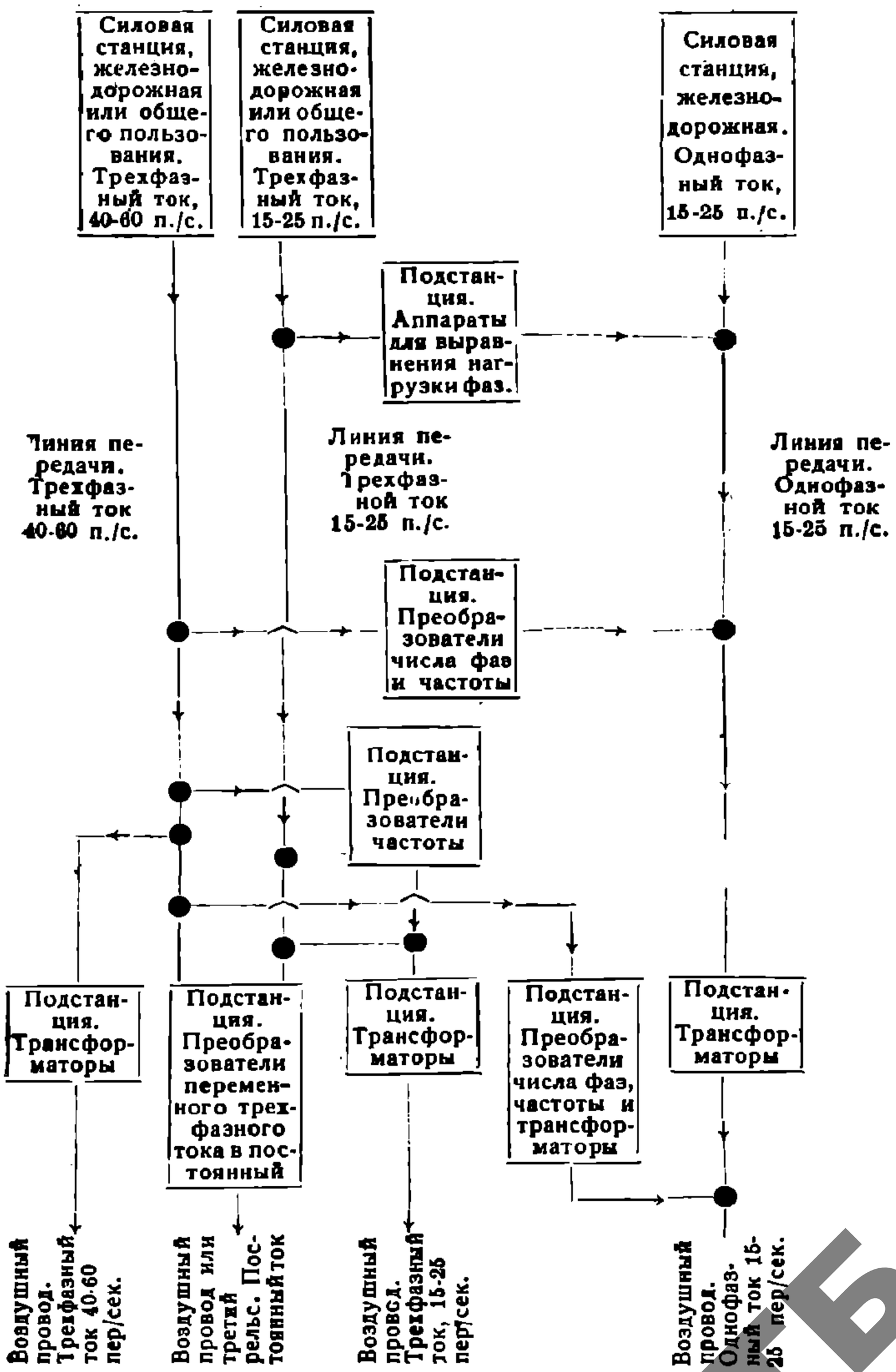


Рис. 4. Схема различных систем токоснабжения.

НТБ ДНУЖТ

Если силовые станции принадлежат железной дороге, то влияние различных систем тока и напряжения мало заметно, поскольку во всех случаях необходимо оборудование для всех элементов передачи и пре-

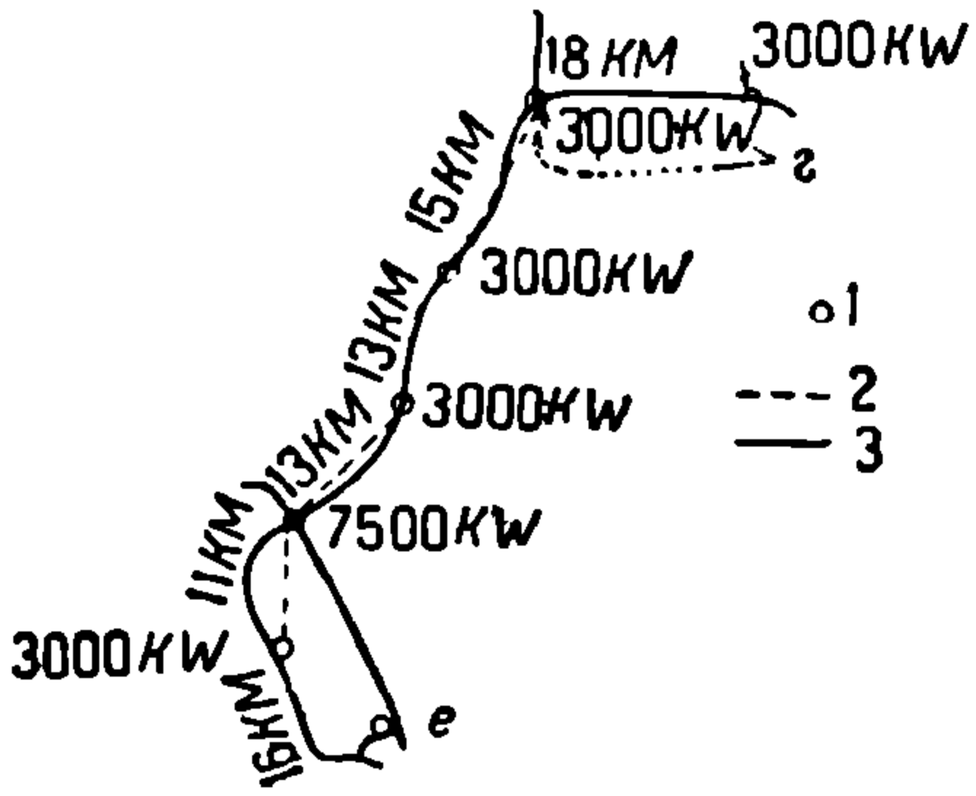


Схема питания ж.-д. линии, электрифицированной на постоянном токе 1500 V и снабжаемой энергией от местных станций.

г—питание от местной станции.
е—питание от местной станции.
1—железнодорожные подстанции с указанием мощности.
2—линия передачи.
3—линия электрифицированной железной дороги. Расстояния между подстанциями даны в километрах.

Рис. 3.

образования тока. Однако при системе однофазного тока производство однофазной энергии железнодорожной компанией является более простым, нежели покупка трехфазной энергии от сети общего пользования.

Схема различных систем питания показана на рис. 4.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА III

ДОГОВОРА НА СНАБЖЕНИЕ ЭНЕРГИЕЙ

При покупке железнодорожной компанией энергии у посторонней организации возникает вопрос об оформлении указанной покупки заключением договора с электроснабжающей организацией. При этом в виду противоположности интересов договаривающихся сторон возникает

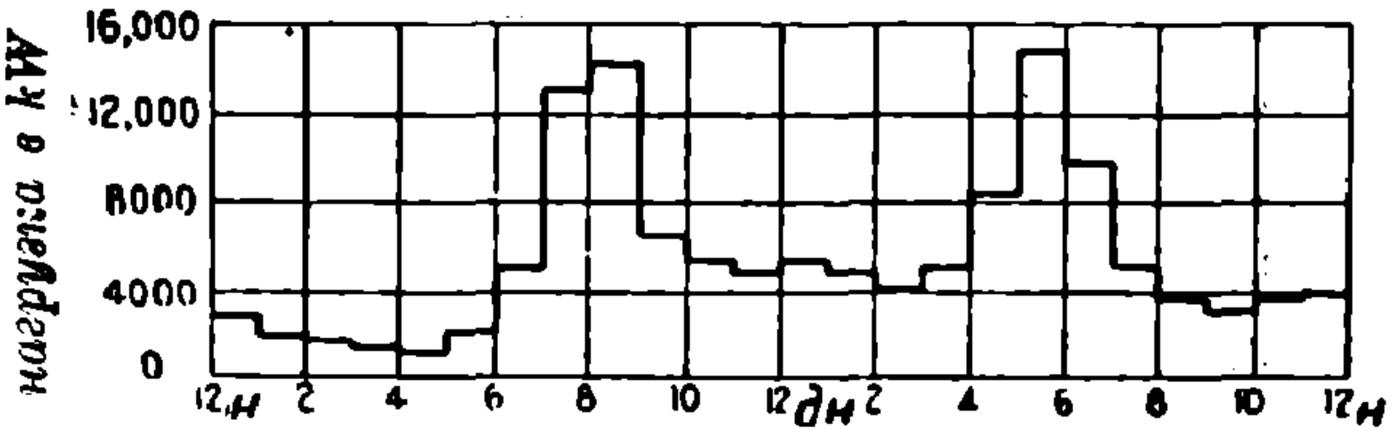


Рис. 5.

Кривая нагрузки пригородного движения.

целый ряд спорных вопросов. Характер ж.-д. нагрузки, различные условия производства и передачи энергии, а также общее направление политической линии договаривающихся организаций неизбежно создают такие вопросы.

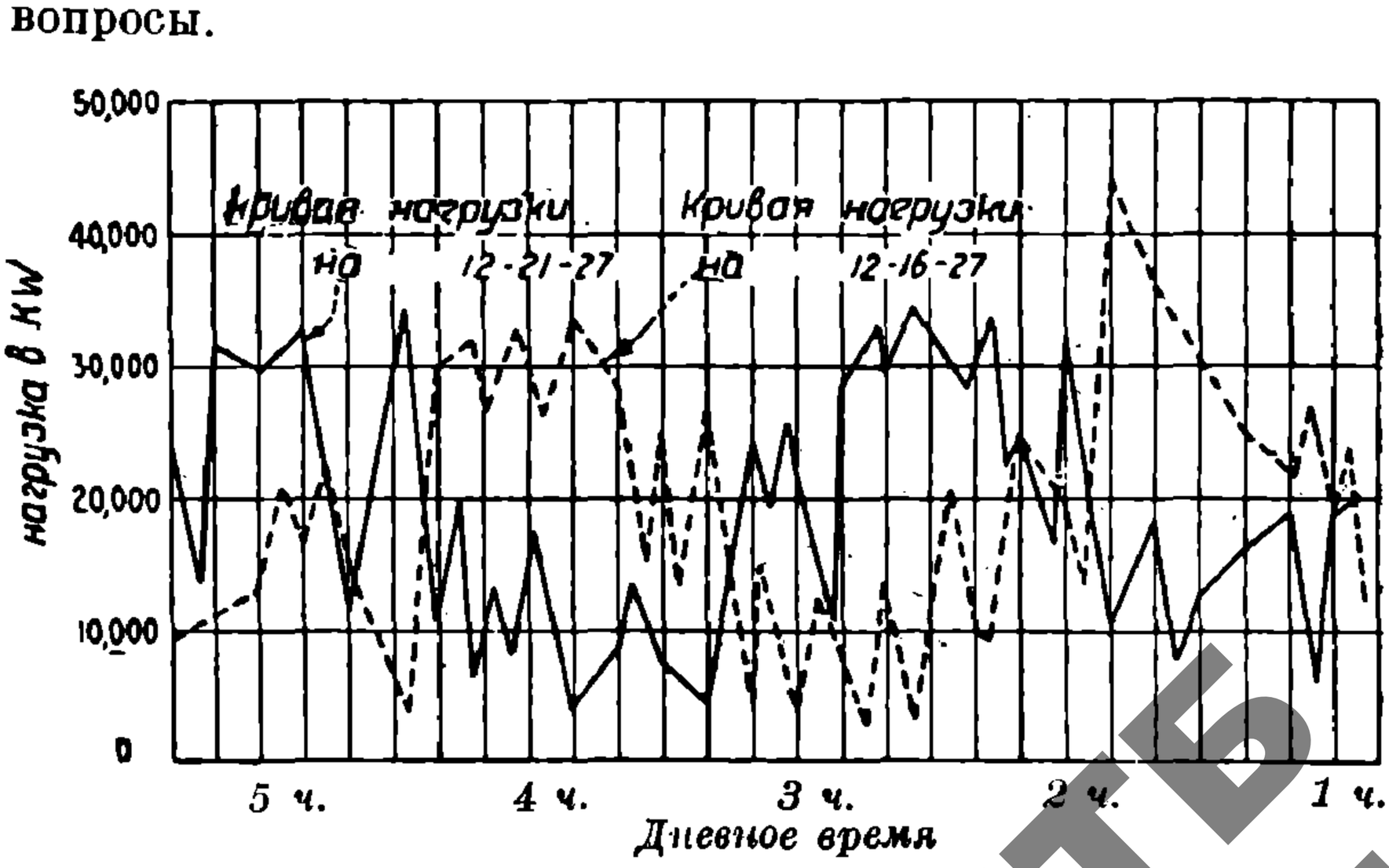


Рис. 6. Кривая нагрузки движения с малой частотой и тяжелыми составами.

Интересы железной дороги. Основным фактором, интересующим железную дорогу, естественно, является цена одного киловатт-часа энергии, так как она определяет стоимость энергии на тонно- или вагоно-километр. Цена киловатт-часа обычно определяется потребной мощ-

ностью, количеством потребляемой энергии и рядом связанных с этими величинами факторов. Как мощность, так и расход энергии для железной дороги, слагаются из потребности всего подвижного состава, курсирующего на линии. Продолжительность же и размеры потребления энергии всеми тяговыми единицами зависят от характера движения.

Так например, в условиях пригородного сообщения характер движения определяется тем, что большое количество поездов находится в работе в течение так называемых интенсивных часов—утром и вечером. В результате этого потребность в энергии чрезвычайно высока в течение этих немногих интенсивных часов и сравнительно невелика в остальное время (рис. 5). Эти пики в потреблении энергии повторяются с большой равномерностью

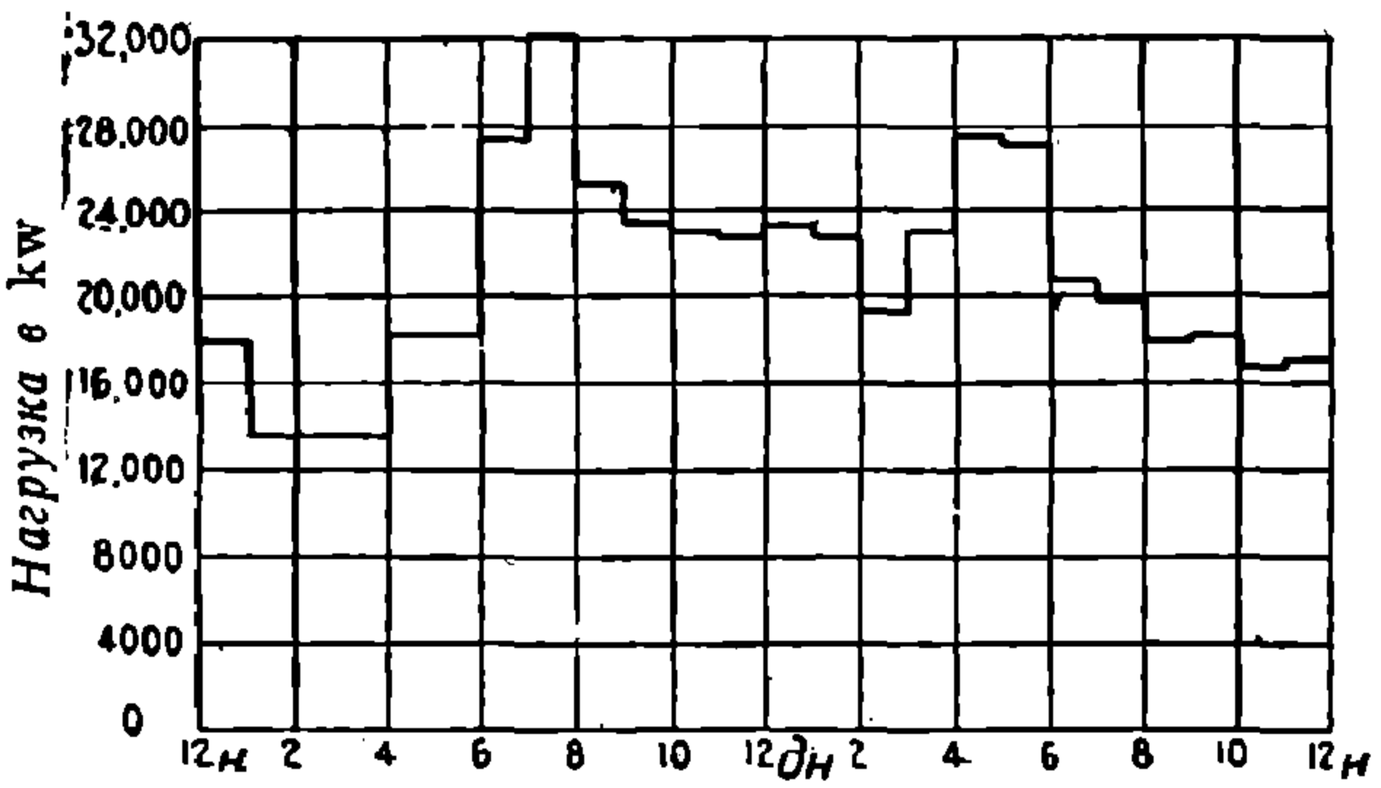


Рис. 7.

Кривая нагрузки для комбинированного пригородного, грузового и транзитного пассажирского движения.

Наоборот, в условиях эксплоатации при обращении на линии очень тяжелых поездов с мощными электровозами, потребляющими иногда свыше 12 000 kW на поезд, и при сравнительно небольшой частоте движения величина потребной мощности характеризуется чрезвычайно большими колебаниями самого перегулярного характера (рис. 6).

Эта нерегулярность движения объясняется тем, что движение поездов фактически не зависит от времени суток, а определяется наличием перевозимых грузов и условиями движения на одноколейной линии. Такой характер движения, и следовательно потребности в энергии, делает вопрос с энергоснабжением трудно разрешимым.

При сильно развитом движении колебания потребной мощности как для пригородного движения в интенсивные часы, так и для грузовых поездов, до известной степени сглаживаются общим потреблением энергии системой в целом (рис. 7).

Внезапные пики совершенно отсутствуют, так как число единиц, находящихся одновременно в работе, так велико, что усиленное потребление энергии какими-либо отдельными единицами, имеющее место во время трогания с места или ускорения, не оказывает существенного влияния на форму кривой. Подобного рода потребление энергии является довольно типичным для большинства электрифицированных жел. дорог и является одним из моментов, который, с точки зрения интересов жел. дороги, должен быть оговорен в контракте на энергию.

С точки зрения общей экономики расходов железные дороги рас-

НТБ ДПУЖТ

сматривают стоимость энергии как одну из наиболее крупных статей эксплоатационных расходов, связанных с электрифицированным движением. Расход этот может доходить до 40—70 % всей суммы эксплоатационных расходов. Поэтому при обсуждении целесообразности электрификации вопрос о стоимости энергии играет соответственно большую роль. Иногда достаточно небольшого повышения этой стоимости, чтобы жел. дорога отказалась от электрификации; наоборот, небольшое снижение тарифов может оказаться решающим фактором в пользу электрификации. В первоначальный период электрификации, когда она вынуждалась или законодательством или требованиями движения, стоимость энергии не имела столь жизненного значения. В настоящее же время, при электрификации магистралей, последняя должна быть непременно оправдана соображениями рентабельности. Другое, не менее существенное значение с точки зрения жел. дороги, имеет обеспечение бесперебойности подачи энергии. При заключении договора железная дорога должна иметь в виду, что бесперебойное питание энергией должно быть гарантировано.

Интересы электроснабжающей организации. Электрическая компания заинтересована в продаже энергии жел. дороге лишь в том случае, если это ей выгодно. В некоторых случаях при этом со стороны первой могут быть сделаны, в целях стимулирования интереса железных дорог к применению электрической энергии в будущем, и соответствующие уступки. В других случаях, наоборот, электрическая компания может использовать преимущества своего монопольного положения, если например нагрузка железной дороги невелика и не оправдывает устройства собственной станции. В большинстве случаев однако электрическая компания стремится лишь покрыть проценты на капитал, включая нормальную прибыль и эксплоатационные расходы, связанные со снабжением энергией железной дороги.

Для обеспечения мощности, потребной жел.-дор. компании, электрическая компания должна установить соответствующее оборудование для генерирования и передачи энергии. Размеры дополнительного оборудования зависят от того, совпадают ли моменты пиков суммарной нагрузки электрической сети с моментами пиков нагрузки железной дороги. Если оба пика совпадают, электрической компании приходится устанавливать добавочное силовое оборудование в размере полной потребности железной дороги. Если же пиковая нагрузка жел. дороги приходится на такое время, когда нагрузка других потребителей невелика, то электрическая компания может удовлетворить потребность жел. дороги за счет существующего оборудования, обеспечив в случае надобности лишь небольшую дополнительную мощность в размере некоторой части нагрузки жел. дороги. Электрическая компания обычно требует от жел. дороги возмещения расходов именно на такое дополнительное оборудование.

Изменение эксплоатационных расходов по производству энергии, как например изменение расходов на топливо, материалы и рабочую силу, естественно отражается на тарифах для железной дороги. Вообще электроснабжающей организации желательно застраховать себя от колебаний в эксплоатационных расходах, вызываемых повышением цен, что достигается путем создания системы гибких или подвижных тарифов. Типичным примером этого является статья договора, предусматривающая стоимость угля.

ДГУЖТ

В связи с довольно резкими колебаниями железнодорожной нагрузки и частыми нарушениями режима электрические компании склонны обычно считать питание железной дороги более сложной задачей, чем питание других потребителей, в связи с чем могут иметь место соответствующие претензии на дополнительную компенсацию.

Общая стоимость энергии. Общая стоимость энергии, получаемой по договорам от различных электрических компаний, колеблется в очень широких пределах. Здесь играет роль местоположение станции по отношению к источникам угля или гидравлической энергии. Отражается на стоимости производимой энергии и общая мощность электростанций данной компании. Промышленная политика разных компаний и преимуще-

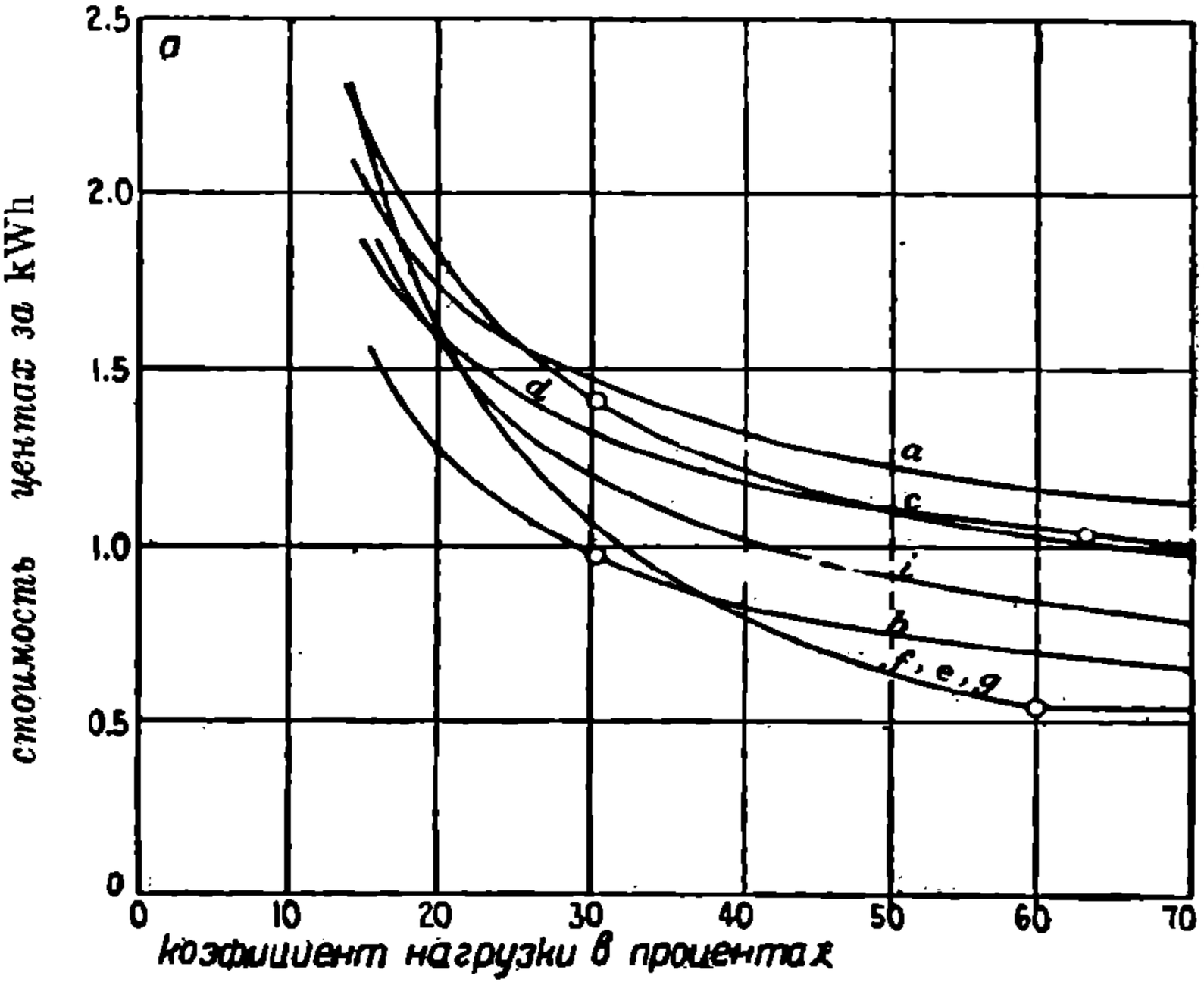


Рис. 8.

Общая стоимость энергии по различным договорам на снабжение энергией жел. дорог.

Примечание. Калькуляция произведена на расчета стоимости угля 4 долл. за ам. тонну (short—ton=907 кг).
Гарантированный минимум коэфициента нагрузки показан кружком.

ственное положение одной из договаривающихся сторон, имеющей большую свободу действия, в свою очередь могут отразиться на договорной цене. При этом разнообразии условий трудно сказать что-либо о договорной цене на энергию вообще. Рис. 8 показывает общую стоимость энергии при различных коэфициентах нагрузки в предположении твердой цены на уголь и размерах потребления энергии, предусмотренных соответствующими договорами.

Кривые эти следует рассматривать, имея в виду различие рода тока доставляемой энергии и наличие в каждом отдельном случае ряда специфических условий.

НТБ ДГУКТ

Обеспечение потребной мощности [1]. Статьи, определяющие стоимость за 1 kW потребной мощности, представляют один из важнейших элементов договоров на электроснабжение. Именно в этом пункте отражаются специфические особенности нагрузки данной железной дороги, особенности электростанций и характер работы всей сети. Железнодорожная компания заинтересована в том, чтобы не нести расходов, связанных с длительными отклонениями в ту или иную сторону от нормальной договорной мощности, которые вызываются авариями, перегрузками или другими случайными обстоятельствами; обычно такие длительные отклонения от нормы случаются не чаще, чем несколько раз в году. Со стороны электрической компании желательно предусмотреть в договоре постоянные расходы на оборудование, предназначенное для снабжения энергией железной дороги.

Размеры потребной мощности обычно предусматриваются договором в целях определения мощности оборудования, необходимого электрической компании для обеспечения жел.-дор. нагрузки. Наиболее просто было бы установить нечто вроде ренты, размеры которой основывались бы на величине капиталовложения и накладных расходов на оборудование, потребное для снабжения дороги. В Европе заключен ряд договоров именно на таких условиях: установлена твердая плата, основанная на потребности в мощности в размере, соответствующем 30% от номинальной мощности оборудования подстанций, причем в случае превышения потребной мощности вдвое взимается дополнительная плата, пропорциональная величине этого превышения.

Неудобство этого способа заключается в том, что в большинстве случаев станционное и сетевое оборудование обслуживает одновременно нескольких потребителей. При этих условиях для определения того, какая часть данного оборудования служит для снабжения энергией железной дороги, приходится производить анализ как потребления энергии жел. дорогой при различных условиях нагрузки, так и суммарного потребления энергии всеми прочими потребителями.

Существующие методы измерения потребной мощности различны и тоже зависят от разных обстоятельств. При снабжении энергией из одного пункта применимы обычные измерительные инструменты. В одном из договоров максимальная потребная мощность определяется «одобренным жел.-дор. компанией измерительным прибором, дающим записи максимальной мощности потребляемой энергии через каждые 15 минут, каковые показания за 60-минутный интервал максимальной нагрузки должны представить среднее количество kW, потребленных для каждого рода службы в отдельности».

По другому контракту:

«За ежедневную максимальную 60-минутную суммарную мощность потребляемой энергии принимается максимальная мощность энергии,

---

[1] При чтении настоящего раздела следует иметь в виду примененную терминологию. Следует четко различать понятия потребной мощности (выраженной в киловаттах Power Demand) от понятия потребляемой мощности, хотя величина потребной мощности, как увидим из текста, выводится на основе потребленной мощности. Так как величина потребной мощности играет первенствующую роль в вопросах тарификации электрической энергии, то изобретен целый ряд разных приборов, применяемых для измерения этой величины. (прим. ред.)

НТБ ДГУЖТ

потребляемой в течение любых четырех последовательных 15-минутных интервалов в течение дня».

При питании энергией нескольких подстанций необходимо суммировать все их потребление. Для такого случая один из договоров гласит:

«Под понятием «пиковая нагрузка», употребляемым в дальнейшем, следует подразумевать суммарное максимальное количество kWh согласно показаний счетчиков энергии в одни и те же часы во всех пунктах потребления энергии в течение одного часа .

Другой договор предусматривает, что измеритель потребной мощности и счетчики энергии должны быть установлены на фидерах, причем максимальный регистрирующий ваттметр «должен в начале каждого часа автоматически давать также итог потребленного в течение предыдущего часа количества kWh».

По двум другим договорам потребление энергии должно измеряться «в каждом пункте потребления энергии самопишущими ваттметрами, действующими одновременно со счетчиками».

Часовой интервал, как единица времени, может показать значительно более низкую мощность потребляемой энергии, чем четыре любых 15-минутных интервала, так как мало шансов, что четыре последовательных 15-минутных периода максимальной нагрузки придутся на один какой-либо час.

Связь подобных разнообразных требований на энергию с общими задачами электрической компании разрешается по разному в различных договорах. Повышенное потребление энергии, совпадающее с моментами, когда электрическая компания располагает большим запасом мощности, не требует дополнительного оборудования, и жел. дорога не должна оплачивать установку этого оборудования. В виду этого в некоторых договорах устанавливается, что повышение потребной мощности может иметь место со стороны жел. дороги без нарушения условий договора лишь при наличии в это время необходимой свободной мощности станционных машин; при этом, по требованию электроснабжающей компании жел. дорога немедленно должна сократить повышенное потребление энергии. Расходование железной дорогой энергии в моменты. когда общая нагрузка сети не является пиковой, потребует от электрической компании установки меньшего оборудования, чем в том случае, если эта железнодорожная нагрузка совпадает с часами пиковой нагрузки. Многие договоры содержат статьи, предусматривающие меньшее влияние максимального потребления энергии на стоимость энергии в эти моменты, нежели в период пиковой нагрузки всей сети. Эти статьи могут обуславливать удешевленное потребление энергии в летние месяцы, или в известные часы, как например от 11 час. вечера до 5 час. утра. Обычным в практике является также нормирование пределов отклонения средней величины пиков нагрузки в течение месяца для того, чтобы какой-либо случайный пик не повлиял на стоимость энергии. Пики эти могут колебаться от средней арифметической величины из трех месячных пиков до средней из 11-ти часов максимальной нагрузки в течение года, как например это обусловлено в одном из европейских договоров. Часто допускаются отклонения от средних пиков, вызванные непредвиденными обстоятельствами, как авария и пр.

Продолжительность времени, в течение которого снимается показание для установления максимума мощности, подлежащей оплате, зависит от размеров оборудования, установленного на электростанции. Наиболее

НТБ ДНУЖТ

распространены для подсчетов пиков часовые промежутки времени, и такие промежутки обычно кладутся в основу определения тарифов на потребляемую энергию. Одно и то же оборудование в течение малых промежутков времени допускает значительно большую перегрузку, поэтому на более кратковременные пики, если они не превышают соответствующего предела, особого штрафного тарифа не вводится.

В некоторых европейских договорах система тарифов на энергию диференцирована таким образом, что установлен отдельный тариф для часовых пиков и отдельный для пятиминутных. Но вообще, поскольку мгновенные колебания в потреблении энергии при нормальной работе магистрали с большим движением не настолько велики, чтобы они могли превысить допускаемую кратковременную перегрузку оборудования, рассчитанного на одночасовой режим, постольку нет необходимости и особо предусматривать кратковременные пики. Если же в движении находится мало поездов, кратковременные колебания нагрузки могут быть очень велики и в этом случае необходимо установить и более короткий промежуток времени для определения тарифной величины максимальной мощности.

Нижеследующие выдержки из договоров показывают, как на практике предусматривается формулировка всех этхи разнообразных условий.

***

«... Потребная мощность определяется как средняя величина за 6 часов наибольшего потребления энергии в течение месяца, беря наиболее интенсивные утренние и вечерние часы за три следующих один за другим дня...».

***

«... Потребная мощность определяется как максимальный 10-минутный пик в течение любого месяца или в течение 11 предыдущих месяцев, но не ниже 85% от предыдущего максимума...».

***

«... За мощность, на основе которой устанавливается величина потребной мощности, подлежащая оплате, принимается либо а) наибольшая месячная мощность за октябрь, ноябрь, декабрь, январь, февраль и март (в дальнейшем именуемые «зимние месяцы»), либо б) две трети от наибольшей месячной мощности за апрель, май, июнь, июль, август и сентябрь (в дальнейшем именуемые «летние месяцы»), из коих берется большая величина. Для определения наибольшей месячной мощности берется 5 наиболее высоких пиков нагрузки потребителя, приходящихся в любые часы дня или ночи (не считая воскресений или праздников и беря продолжительность пиков не более 1 часа в течение любого дня); затем низшая и высшая из этих величин отбрасываются, а из трех остальных выводится средняя арифметическая, которая и кладется в основу при определении потребной месячной мощности. В дальнейшем потребная мощность на каждый месяц устанавливается равной наибольшей месячной потребной мощности за предыдущие 11 месяцев. При этом однако соблюдается условие, что ни в одном из последующих месяцев потребная мощность не будет ниже, чем среднее потребление за предыдущие 11 месяцев минус 1000 kW

Пики сверх нормальных или повышение мощности потребляемой энергии допускаются и в расчет не принимаются, если это имеет место в те периоды, когда электрическая компания имеет свободный резерв мощности...».

Учет энергии. В противоположность статьям, предусматривающим определение размеров потребной мощности, статьи, устанавливающие порядок расчета за энергию, относительно просты [1]. Количество израсходо-

[1] В практике электрифицированных пригородных участков Северных ж. д. СССР расчеты с электроснабжающей организацией (МОГЭС) сводятся к оплате энергии согласно показаниям счетчиков kWh.

НТБ ДГУЖТ

ванной энергии легко может быть измерено в одном или нескольких пунктах с помощью счетчиков, как на стороне высокого, так и на стороне низкого напряжения. По некоторым старым договорам, заключенным еще до того, как были сконструированы измерительные приборы, устанавливаемые на стороне высокого напряжения, счетчики устанавливались на стороне низкого напряжения, и к их показаниям прибавлялся некоторый процент, учитывающий потери в трансформаторах.

В виду больших колебаний в величине отдельных составляющих цены 1 kWh энергия на паровых станциях в договоры вводились статьи, предусматривающие зависимость стоимости энергии от колебаний стоимости угля, а в отдельных случаях и от ставок заработной платы.

В некоторых договорах предусматривался льготный тариф на энергию в часы слабой нагрузки сети, что должно было стимулировать увеличение потребления энергии в это время. Один европейский договор дает 35 % скидки с тарифа на энергию, потребляемую между 11 час. вечера и 5 час. утра. В американских же договорах это практикуется редко. Себестоимость энергии в часы слабой нагрузки, в связи с более низким коэфициентом использования станционного оборудования, бывает обычно выше, так как эксплоатационные расходы относятся на малое количество отдаваемых в сеть kWh.

Учет коэфициента нагрузки в договорах. Хотя теоретически плата за мощность должна покрывать общую сумму постоянных расходов на оборудование, необходимое для питания данного потребителя, на практике является желательным кроме того и обеспечение достаточной загрузки этого оборудования. Иначе говоря, для электроснабжающей организации является выгодным, чтобы кроме возмещения расходов по дополнительному оборудованию имело место и надлежащее использование последнего. В связи с этим электрические компании обычно прямым или косвенным путем требуют от жел. дороги гарантии того, что ее коэфициент нагрузки (load-factor) не будет падать ниже определенного минимума. Железная дорога со своей стороны также заинтнрисована увеличении коэфициентанагрузки, так как с его увеличением уменьшается размер постоянной слагающей в плате за единицу потребленной энергии.

Коэфициент нагрузки для какой-либо жел. дороги определяется характером движения на электрифицированной ж.-д. линии. При одном лишь пригородном сообщении коэфициент нагрузки обычно невысок. Для магистральных линий коэфициент нагрузки более высок и доходит иногда для некоторых отдельных линий до 80%. Столь высокий коэфициент нагрузки дает в смысле стоимости энергии большое преимущество электрификации магистральных линий по сравнению с пригородными. Различные коэфициенты нагрузки, гарантированные прямым или косвенным образом по договорам на электроснабжение различных ж.-д. линий, показывают его изменение в зависимости от различных условий.

Статьи, предусматривающие размер минимальной нагрузки, в различных договорах сформулированы не одинаково.

В некоторых договорах прямо устанавливается, что:

«... Количество kWh, подлежащих оплате за месяц, должно быть не ниже того, какое понадобилось бы в случае потребления энергии при месячном коэфициенте нагрузки в 30%, при условии однако, если не имелось каких-либо, независящих от жел. дороги причин, воспрепятствовавших ей использовать соответствующее количество энергии...».

НТБ ДИУЖТ

Характер электрифицированной линии	Источники снабжения энергией	Коэфициент нагрузки в процентах
Чисто пригородное движение	Покупная энергия	30
Чисто пригородное движение	» »	30
Головной участок	Частично-покупная энергия	30
Магистральная линия	Покупная энергия	60
Магистральная линия с пригородным движением	Частично покупная энергия	50
Магистральная линия, вначале имевшая только пригородное движение	Покупная энергия	30
Магистральная линия.	Частично покупная энергия	42
Линия пригородного сообщения с некоторым грузовым движением .	Частично покупная энергия	

Коэфициент нагрузки в этом случае определяется как

«... число kWh, составляющее 30% того числа kWh, которые могли бы быть потреблены при нагрузке, равной максимальной потребной месячной мощности в течение всех часов месяца».

В другом случае предусматривается определение коэфициента нагрузки на основе потребной мощности путем установления минимального количества kWh, подлежащих потреблению, причем увеличение этой потребной мощности оказывает влияние на установленный минимум потребления энергии.

Еще в одном случае прямо устанавливается, что в пределах до некоторой величины максимальной потребной мощности потребителем гарантируется определенный минимальный коэфициент нагрузки, при повышении же этой величины потребной мощности устанавливается более низкий коэфициент нагрузки.

Продолжительность потребления энергии, влияющая на коэфициент нагрузки, является весьма важным фактором даже и с точки зрения жел. дороги, для которой конечно нежелательно, чтобы кратковременные ненормальные пики понижали ее коэфициент нагрузки.

В качестве методов исчисления коэфициента нагрузки используются обычно те же методы, которые предусмотрены для определения размеров платы за мощность, причем в расчет принимаются те же периоды времени, которые приведены в разделе о потребной мощности.

Тарифы, основанные на фактических расходах. В некоторых случаях между электрическими и ж.-д. компаниями достигались соглашения об оплате энергии по себестоимости плюс некоторая надбавка на прибыль. Это как будто справедливый для обеих сторон, но недостаточно простой путь разрешения вопроса. Прямые эксплоатационные расходы могут быть установлены более или менее точно, но определение твердых ставок включающих проценты на капитал, представляет сложную задачу. Нелегко, во-первых, установить, какая часть постоянных расходов должна быть отнесена за счет жел. дороги; нелегко также притти к соглашению, что именно следует включать в начисления на капитал—только ли проценты на капитал и расходы по страхованию или также налоги и статьи амортизации.

НТБ ДНУЖТ

Такие соглашения могут выдвинуть вопросы, которые совершенно нельзя предвидеть при подписании договора. Возьмем например случай, когда энергия покупается по цене, учитывающей прямые и косвенные эксплоатационные расходы электрической компании, владеющей собственными электростанциями. В дальнейшем компания может ликвидировать собственные силовые установки и перейти на покупку энергии и перепродажу ее ж.-д. компании. В этом случае представляется спорным—должна ли жел. дорога попрежнему оплачивать проценты на капитал и дополнительно к этоту покупную стоимость kWh, которую можно рассматривать как составляющую прямых эксплоатационных расходов.

Продажа энергии по фактической себестоимости может элиминировать у электроснабжающей компании стимул к экономии и снижению своих расходов, поскольку в конечном счете тяжесть этих расходов ложится не на эту снабжающую электрическую компанию, а на потребителя. В особенности это может касаться обеспечения оборудования: поскольку оплата процентов ляжет полностью на потребителя, электрическая компания не будет иметь интереса в уплате минимального процента, так как к тому же уплата более высокого процента сильно облегчает получение банковского кредита, необходимого для приобретения оборудования.

В одном из крупных договоров ж.-д. компания потребовала гарантии от такой возможности путем установления максимального твердого лимита процентных отчислений на капитал, который должен был служить основой для калькуляции энергии в случае, если действительная себестоимость ее повысилась бы вследствие происшедшего превышения вышеуказанного лимита.

Тарифы, основанные на фактических расходах, облегчают электроснабжающим компаниям продажу энергии более, чем те, которые предусматривают заранее определенные величины расходов. И хотя исчисление действительных расходов по отношению к производству расчетов представляет значительные трудности, все же чаще заключаются договоры на оплату энергии по действительной стоимости, и таким образом уменьшаются побудительные причины к тому, чтобы добиться экономии в эксплоатационных расходах или снижению первоначальных затрат и процентов на капитал.

Уголь. Влияние изменения цен на уголь на стоимость энергии заслуживает особого внимания.

Электрическая компания обычно относит стоимость угля не к его весу, а к его калорийности. В некоторых договорах однако пункты, касающиеся стоимости угля, предусматривают только его стоимость за тонну, не касаясь калорийности. По другим договорам устанавливаются пределы теплотворной способности, как например от 6000 до 5500 кал. на 1 *кг* или от 8 000 до 7 500 кал. Отклонения вверх и вниз от этой нормы учитываются соответственно их отношению к средней теплотворной способности в 5750 и 7750 кал.

Изменения стоимости угля учитываются в договорах по разному. По одному договору при отклонении основной цены на уголь (4 долл.)на 5% допускается изменение в 0,005 цента на 1 kWh. Другой договор не предусматривает изменений тарифов на энергию до тех пор пока цена на уголь не изменится более, чем на 28 центов за тонну при стоимости

НТБ ДГУЖТ

последней в 2,82 долл. Иногда изменение тарифа определяется в 0,0035 цента за 1 kWh на каждый 1% изменения стоимости угля. Наконец в одном договоре стоимость энергии определяется по особой формуле, учитывающей как стоимость угля, так и величину его теплотворной способности:

$$\text{А } \frac{\text{долл.}}{\text{kWh}} = \left(\frac{\text{стоимость тонны угля (в долларах)} \times 5750}{\text{фактическая теплотворная способность}} + 2{,}5 \right) 10^{-3}$$

Дальнейшее развитие этого способа встречается в одном из европейских договоров, где стоимость энергии исчисляется по формуле вида:

стоимость энергии = постоянная величина + $\frac{\text{постоянная величина}}{\text{потребленная энергия}}$ + постоянная величина, умноженная (на стоимость угля—100 + постоянная величина (зависящая от заработной платы).

При установлении исходной цены на уголь весьма существенным является способ определения этой цены. В этом отношении жел. дорога, оплачивающая уголь франко-борт парохода в ближайшей гавани, будет иметь преимущества по сравнению с дорогой, вынужденой оплачивать кроме этой цены транспорт и хранение. Другой вопрос, на который следует обратить внимание,—это срок, в течение которого действует принятая исходная цена. По некоторым договорам стоимость угля устанавливается ежемесячно в соответствии с рыночными ценами. В одном договоре стоимость устанавливается на 3 месяца на основе цен за 3 предшествовавшие месяца, в другом,—исходя из средних цен за истекшие 12 месяцев.

Жел. дорога, имеющая значительные собственные запасы угля, может удержать величину топливной составляющей на низком уровне, настаивая на снабжении электрической компании углем из этих запасов, если последняя вынуждена платить за него более высокую цену. Подобное условие имеет место в одном из американских договоров.

Учет коэфициента мощности. При заключении договора для электрической компании большое значение имеет коэфициент мощности, непосредственно связанный с рядом факторов первостепенной важности, а именно—количеством энергии, которое может быть произведено станциями компании и передано ее сетью, потерями при передаче энергии и регулированием напряжения сети. Первый фактор имеет особое значение в периоды пиковой нагрузки, когда со стороны всех частей оборудования может потребоваться развитие максимальной мощности, низкий же коэфициент мощности при этом понизит размеры отдаваемой полезной мощности. Жел. дорога заинтересована только в последнем факторе, поскольку он влияет на изменение напряжений при нагрузке и совершенно не заинтересована в увеличении коэфициента мощности, так как это вообще может привести ее к дополнительным расходам. В тех случаях, когда жел. дорога покупает энергию, передаваемую на подстанции, оборудованные синхронными преобразователями, она сравнительно легко может обеспечить хороший коэфициент мощности. При этом можно пойти дальше и дать требуемый коэфициент мощности при опережающем или отстающем токе в зависимости от того, насколько электрической компании может понадобиться регулирование напряжения сети. Согласно одному договору энергия передается к подстанциям, производящим постоянный ток, причем предусматривается, что железная дорога обя-

НТБ ДГУЖТ

зуется установить аппаратуру, дающую коэфициент мощности в 80% при опережающем или отстающем токе и должна предоставить электрической компании право установить соответствующие приспособления для изменения коэфициента мощности, если электрическая компания найдет это нужным.

Обычно, однако, для коэфициента мощности устанавливаются лишь нижние пределы, ограничивающие реактивную мощность ж.-д. нагрузки. При синхронных преобразователях этот минимум может быть удержан в пределах около единицы. В одном договоре требуется установка жел. дорогой синхронных преобразователей, которые могли бы обеспечить опережающий коэфициент мощности величиной 95% при полной нагрузке. По двум другим договорам на питание энергией преобразователей требуется коэфициент мощности в 90%. По договору, где передача энергии производится по линии, обслуживающей только жел. дорогу, коэфициент мощности требуется только. 80% В одном случае, при применении преобразователей частоты для питания однофазной контактной сети, требуется коэфициент мощности в 90% на шинах подстанции. В тех случаях, когда электрическая компания питает непосредственно однофазную сеть жел. дороги, особенности нагрузки могут затруднить удержание столь высокого коэфициента мощности. По одному договору для питания нагрузки такого рода установлен коэфициент мощности в 75%.

Нарушение указанных выше ограничений обычно обусловливается увеличением ставок за потребную мощность таким образом, что в основу учета кладутся не киловатты, а киловольт-амперы. Типичное соглашение такого рода гласит: «если коэфициент мощности в течение часов, служивших для установления максимальной потребной мощности, окажется в среднем менее 75%, то размеры потребной мощности, на основе которой устанавливается средняя плата за мощность, должны быть изменены путем деления величины потребной мощности на фактический коэфициент мощности и умножения его на 75%».

При такого рода фискальной системе, отражающейся на плате за максимальную потребную мощность, жел. дорога штрафуется за низкий коэфициент мощности лишь в периоды пиковой нагрузки. С точки зрения электрической станции моменты эти однако являются наиболее важными. Другой способ для последней удержать величину коэфициента мощности на определенном уровне—это требовать, чтобы установленное жел. дорогой оборудование давало коэфициент мощности в предписанных пределах. Приводим пример такого пункта договора:

«...Если коэфициент мощности в течение 30 дней будет ниже 80%, то потребитель обязуется с возможной срочностью установить необходимые аппараты для повышения коэфициента мощности, хотя бы до 80%.

Скользящие тарифные шкалы. В некоторых договорах имеются статьи, цель которых заключается в создании у потребителя стимула для увеличения потребления энергии. Это делается путем уменьшения тарифов при увеличении общего количества потребляемой энергии или цифры потребной максимальной мощности. С точки зрения электрической компании это представляет интерес не только в смысле увеличения доходности от повышения спроса и потребления энергии, но и в смысле возможности снижения себестоимости 1 kWh энергии. Железной дороге это дает возможность уменьшения расходов на измеритель при дальнейшем развитии электрификации.

НТБ ДГУАТ

Обычная форма составления скользящих тарифов заключается в установлении средней цены на энергию при потреблении ее до определенного количества. За энергию, превышающую это количество опять-таки до другого оговоренного предела, устанавливается другая средняя цена, и таким образом в зависимости от увеличения размеров потребления устанавливается ряд цен. Путем варьирования пределов количества энергии для различных групп и средних цен может быть выведена желательная степень снижения последних. Рис. 9 и 10 иллюстрируют пункты одного договора, касающиеся скользящих тарифов.

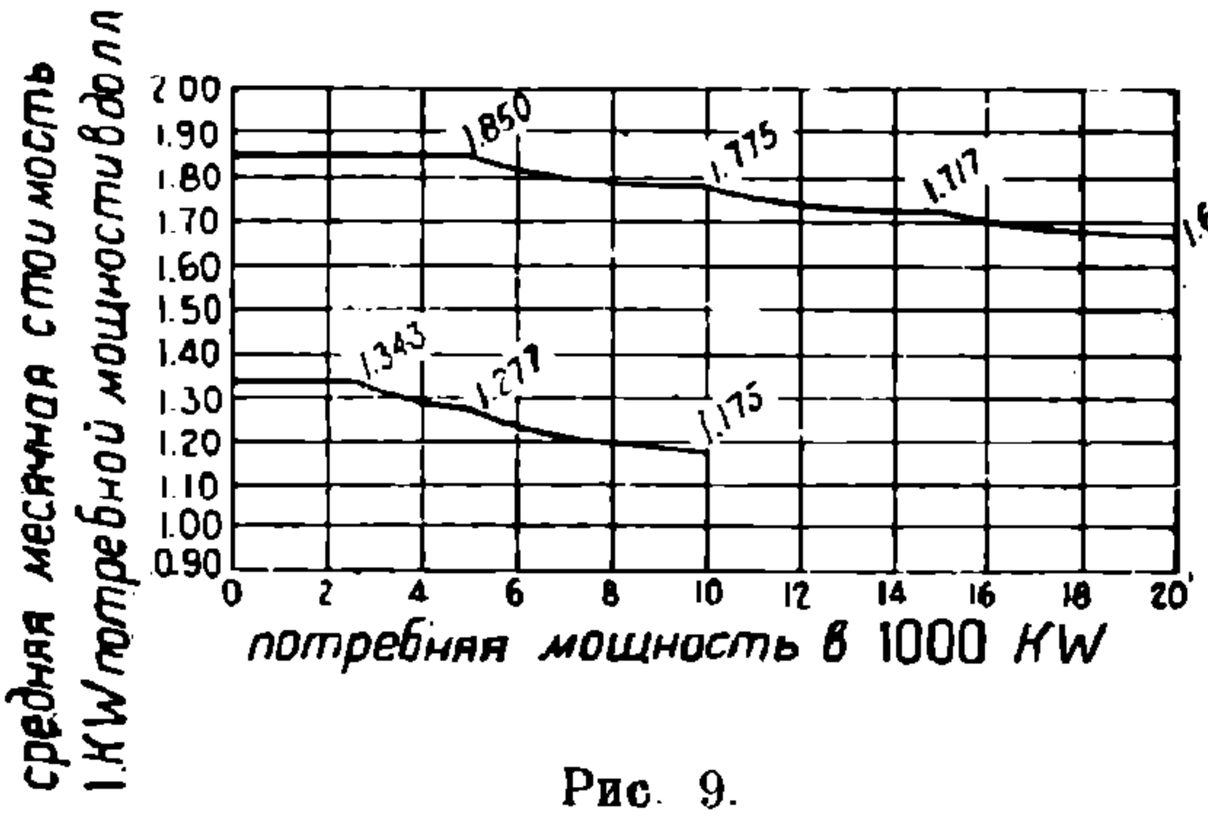


Рис. 9.

Скользящая шкала для тарифа на мощность.

Условия измерений. Ваттметры и счетчики устанавливаются обычно электрической компанией на подстанциях железной дороги. За персоналом электрической компании сохраняется право свободного доступа к ним для их осмотра и проверки. В последнее время в договорах обусловливается обычно все большая и большая точность этих приборов. По двум договорам, заключенным до 1920 г., требовалась точность только до 2%. Из трех заключенных позднее значительных договоров два предусматривали 1% точности и один—2%. Обычно при обнаружении неточности прибора, превышающей «допускаемую», соответственно исправляют за-

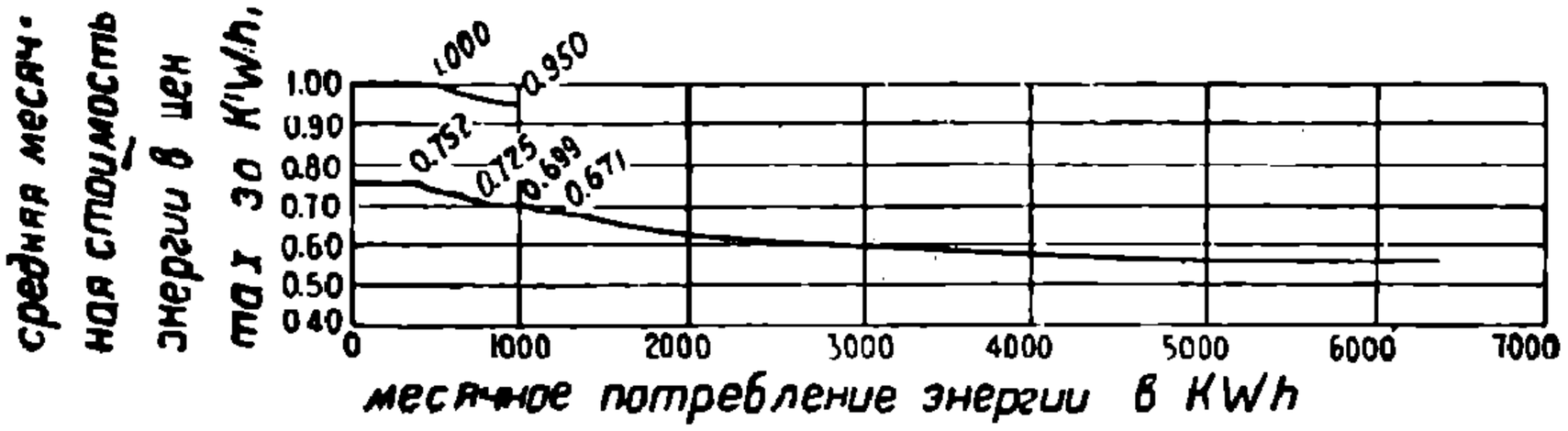


Рис. 10.

Скользящая шкала для тарифа на энергию.

писи за предшествовавшие 30 дней. В случае расхождения сторон в вопросе о неточности счетных приборов в качестве нейтральной стороны для испытания счетчиков привлекается правительственная комиссия.

Колебания напряжения и частоты. Железная дорога, заинтересованная в поддержании постоянства напряжения и частоты, обычно требует, чтобы это было ей обеспечено.

В тех случаях, когда питание производится от одного источника энергии, изменение частоты не так существенно для всей системы, как в тех случаях, когда питание энергией производится от нескольких источников. При синхронных генераторах колебания напряжения должны быть

НТБ ДНУЖТ

удержаны в узких пределах, чтобы была осуществлена возможность регулировать распределение нагрузки между несколькими станциями. Появление синхронных преобразователей частоты сделало распределение энергии менее зависимым от частоты и таким образом для колебаний последней стали допустимы более широкие пределы.[1]

При системах постоянного тока синхронные преобразователи работают удовлетворительно лишь в определенных пределах частоты и напряжения. Обеспечение удовлетворительного питания с этой точки зрения выражено в очень простой форме в одном из договоров: «колебания частоты и напряжения не должны быть таковы, чтобы они могли препятствовать удовлетворительной работе трансформаторов, преобразователей и контрольных приборов, включенных в цепь потребителя, при условии конечно, что все указанные приборы хорошей конструкции».

Пункт такого рода вообще полезен для обеих сторон, так как, с одной стороны, он обеспечивает хорошие условия питания железной дороги и одновременно предохраняет электрическую компанию от повреждений, которые могли бы иметь место при включении в сеть плохого оборудования.

Другой способ нормирования колебаний заключается в установлении допускаемых пределов колебаний. Так, один из европейских договоров допускает колебание частоты в пределах от $22^1/_2$ до 27 периодов в секунду, т. е. примерно 10% в ту и другую сторону, и колебание напряжения в 15% ниже нормального и в $7^1/_2$% выше нормального. Более строгие требования американской практики иллюстрируются другим договором, допускающим колебания частоты в пределах от 58,8 до 61,2 периодов, т. е. всего в 2% в обе стороны.

В тех случаях, когда электрическая компания подает ток непосредственно в контактную сеть, у жел. дороги возникают совершенно другие требования. Скорость, грузоподъемность и ускорение моторных вагонов и локомотивов сильнейшим образом страдают от понижения напряжения. Повышенное напряжение в свою очередь угрожает изоляции, из-за чего могут произойти аварии. Если сигнальные и блокировочные цепи питаются от силового оборудования, должны быть приняты во внимание пределы настройки реле и условия работы этих цепей. Требования одного договора устанавливают в этом направлении для однофазной сети колебания в пределах от 11 400 до 10 600 V, или 4%. По другому договору для однофазной линии в связи с наличием сигнальных приборов устанавливаются пределы колебаний от 2 200 до 2 400 V и от 60 до $62^1/_2$ периодов. Технические условия одной линии постоянного тока с контактной сетью, питаемой непосредственно электрической компанией от нескольких подстанций, предписывают менее строгие пределы, допуская понижение на $6^2/_3$% и повышение на $3^1/_3$% от нормального напряжения. Более гибкое соглашение относительно колебаний напряжения предусмотрено еще одним договором, по которому допускаемое колебание напряжения «...определяется соглашением между инженерами—представителями сторон».

---

[1] Колебания частоты на стороне переменного тока играют особую роль для подстанций, оборудованных ртутными выпрямителями, когда несмотря на наличие устройства, сглаживающих высшие гармонические на стороне выпрямленного тока колебания частоты вызывают весьма сильную расстройку резонансных шунтов, что вредно отзывается на работе линии связи. (Прим. ред.).

НТБ ДГУЖТ

Обеспечение от перерывов в подаче энергии. Еще большее значение, чем колебания напряжения и частоты, имеет вопрос о бесперебойной подаче тока. Степень заинтересованности жел. дороги в этом вопросе находится в зависимости от характера движения и степени электрической эластичности и конструктивной надежности жел.-дорожной сети, а также количества источников питания; при наличии нескольких источников питания вопрос о бесперебойности питания зависит от состояния системы питания в целом. Развитие электропромышленности и укрупнение станций сыграли большую роль в смысле обеспечения бесперебойной подачи энергии. Пункты договоров, связанные с этим вопросом, непременно включавшиеся в договор 15 лет назад, в настоящее время не являются необходимыми.

Примером договоров с «особо жесткими» условиями являются несколько договоров на электрификацию в САСШ и Европе, когда в каждом случае одна и та же электрическая компания являлась единственным поставщиком энергии для всей электрифицированной линии. Первоначально мероприятия против перебоев в подаче энергии принимались самими жел. дорогами посредством установки аккумуляторных батарей или устройства резервных силовых станций. В некоторые договоры включались пункты, устанавливающие определенный штраф за каждый день, в течение которого имели место перебои в подаче энергии общей продолжительностью свыше 15 минут, равно как и штраф за каждую минуту перерыва в электроснабжении. Другие пункты предусматривают понижение выплачиваемой жел. дорогой платы за мощность пропорционально продолжительности перерыва в снабжении. Ни один из этих «штрафных» пунктов не предусматривает возмещения тех убытков жел. дороги, которые вызываются вышеуказанными перерывами в подаче тока.

Договоры другого типа, предусматривающие снабжение жел. дороги энергией только из одного источника, ограничиваются дополнительным пунктом, дающим право ж.-д. компании в течение 30 дней расторгнуть договор в случае, если электрическая компания не возобновила прерванного питания, причем договор считается аннулированным даже после возобновления подачи энергии. Аналогичные пункты включаются почти во все договоры.

Некоторые договоры в качестве гарантии бесперебойности подачи тока требуют надлежащих условий эксплоатации и надежности конструкции оборудования, применяемого электрической компанией. Этому быть может весьма правильному и разумному разрешению вопроса может быть в свою очередь противопоставлено требования электрической компании об аналогичной гарантии в смысле надлежащей эксплоатации жел. дорогой распределительной сети.

———

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА IV

ТЯГОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ

Практически ни для одной железнодорожной подстанции высоковольтное оборудование, как выключатели высокого напряжения и трансформаторы, не классифицируется в зависимости от системы тока и напряжения в контактной сети, за исключением случаев деления последней на однофазные и трехфазные системы. Поэтому высоковольтную часть подстанций желательно изучать как нечто самостоятельное целое, не разделяя ее на особые типы в зависимости от системы, принятой для распределительных сетей.

Принципы устройства и выбора как выключателей высокого напряжения, так и остального подстанционного оборудования, в значительной степени зависят от характера и интенсивности движения на участке, питаемом данной группой подстанций. При интенсивном движении ответственных поездов, требующих непрерывности в подаче энергии, должны быть использованы все методы, обеспечивающие непрерывное снабжение энергией этих подстанций, и обратно, установка особо усовершенствованной аппаратуры не оправдывается при слабом и неответственном движении.

Функции выключателей высокого напряжения. Коммутационная аппаратура высокого напряжения предназначена для выполнения разнообразных функций.

Некоторая часть ее необходима для защиты оборудования. Другая же часть служит для улучшения технической эксплоатации. Все эти функции сводятся к следующему:

1) Защита трансформатора от короткого замыкания при повреждении самого трансформатора. Эта защита должна действовать автоматически и мгновенно для того, чтобы действительно спасти трансформатор от разрушения.

2) Защита трансформатора от перегрева вследствие перегрузки.

3) Локализация повреждений различного оборудования для того, чтобы они не повлияли на работу остального оборудования.

4) Локализация повреждения на подстанции по отношению к линиям передачи.

5) Секционированное выключение линии передачи в целях выключения только поврежденных участков.

Защита посредством реле. Для автоматического выполнения этих задач сконструированы различные типы реле. В числе последних имеются обычный тип максимального реле без выдержки времени, реле с выдержкой времени, независимой от тока, и реле с зависимой выдержкой, обратно пропорциональной величине тока перегрузки. Для защиты трансформаторов можно пользоваться диференциальными реле, действующими на масляный выключатель в случае внутреннего повреждения в цепи транс-

НТБ ДНУЖТ

форматора. Эта простая защита, которая не очень чувствительна в отношении короткого на землю в незаземленных системах. Для защиты от заземления необходимо реле напряжения, питаемое от трансформатора напряжения, включенного между нейтралью трансформатора и землей.

Очень ценным для автоматического селективного отключения поврежденных линий передач, при питании из различных пунктов, оказывается применение обратно-максимального реле с независимой выдержкой времени. Им можно пользоваться одновременно с приспособлением для установки выдержки времени для различных участков линий передачи. Эта система относительно проста, но вследствие ограниченности пределов выдержки времени, с одной стороны, и необходимости иметь достаточный по абсолютной величине промежуток времени для селективной работы реле, с другой стороны, такая система может быть применена не более, чем для четырех участков.

Развитие схемы и конструкции импедансного или дистанционного реле с направленным селективным действием и работой от тока с выдержкой времени, падающей с понижением напряжения, сделало возможным защиту наиболее сложных кольцевых сетей. Это реле действует тем быстрее, чем оно ближе к месту короткого замыкания вследствие большого понижения напряжения на шинах, и тем медленнее, чем оно далее от места короткого замыкания вследствие влияния полного сопротивления более длинной линии, дающего большее падение напряжения между реле и местом короткого замыкания.

Соответственно с этим подстанции для получения, в случае короткого, падения напряжения по крайней мере в три процента от нормального напряжения линии, должны быть возможно более отдалены друг от друга. Этот способ быстро ликвидирует короткое замыкание, но при установке на линиях высокого напряжения для последних требуются особые трансформаторы напряжения. Так как вообще трансформаторы напряжения, установленные на шинах, обычно используются для синхронизации при питании от кольцевых линий, то в таких случаях стоимость этих трансформаторов напряжения не является расходом, падающим только на защиту. Защита от заземления может быть получена при такой системе с помощью дополнительного реле заземления. Применение направленных реле в целях отключения неисправной линии при питании по нескольким параллельным цепям возможно с помощью диференциальной схемы соединений трансформаторов тока, хотя трансформаторы напряжения, также необходимые при этой системе, делают ее довольно дорогой. Однако эта система всегда отключает только поврежденный участок сети и там, где необходимо поддерживать непрерывность питания, она вполне оправдывает свое применение.

Для защиты от аварий на шинах возможно устроить параллельное включение обмоток трансформаторов тока на одно максимальное реле перегрузки, которое выключает все маслянники на питающих фидерах.

Общее расположение коммутационной аппаратуры. В настоящее время существует большое разнообразие систем применения и расположения коммутационной аппаратуры. Простейшим типом устройства является установка обычного разъединителя или выключателя с роговым искрогасителем для отключения одиночной линии передачи и автоматических масляных выключателей у трансформаторов для защиты от перегрузок.

НТБ ДГУКТ

Одна из железных дорог разработала прекрасную систему автоматического секционированного выключения однофазной линии с помощью определенного числа масляных выключателей для отключения поврежденных участков. Эта железная дорога пользуется направленными реле и реле с зависимой выдержкой времени.

В целях экономии и для использования этой системы при числе участков, превышающем четыре, подстанции были оборудованы для автоматического секционированного выключения не все, а лишь через одну.

При параллельных линиях передачи простейшей системой выключения является та, при которой можно удовлетвориться неавтоматическим выключателем. На установках, где желательно достигнуть большей надежности, все линии передачи могут быть подведены к шинам подстанции через автоматические масляные выключатели. Еще большая надежность и гибкость могут быть получены посредством секционирования автоматическими масляными выключателями самих шин.

Вопрос, насколько гибкой должна быть система коммутации, что именно может быть выполнено простыми разъединителями или разъединителями с роговыми искрогасителями с ручным или моторным приводом, или масляными выключателями,—является одним из важнейших вопросов, тесно связанных с эксплоатацией железной дороги. Он решается на основании экономического сравнения стоимости различных типов выключателей с расходами при авариях и связанными с ними перебоями в ж.-д. движении.

Выключатели. Имеется много типов выключателей, пригодных для линий передач, из которых простейшим является тип воздушного выключателя. В целях простоты обслуживания и безопасности обслуживающего персонала для таких выключателей рекомендуется применение дистанционного механического привода. Сравнительно небольшие дополнительные расходы на дистанционное управление компенсируются сокращением числа происшествий и повреждений, связанных с неправильным переключением при пользовании простой штангой.

Если желательно приводить в действие выключатели электрическим путем, то можно установить моторный привод. При использовании выключателей с роговыми искрогасителями и с моторным приводом можно получить выключатель с большой разрывной мощностью, который может быть приспособлен и для автоматической работы.

Такие устройства значительно более экономичны по сравнению с высоковольтными масляными выключателями и заслуживают внимания во всех случаях, за исключением тех, когда требуется мгновенная защита, и где это не вызывает мешающего влияния на провода связи.

Удовлетворительная работа воздушных искрогасительных выключателей этого типа зависит в значительной степени как от их взаимного расположения, так и по отношению к другим сооружениям. Если они выключаются под нагрузкой, то при известных условиях образуемая при выключении дуга может быть раздута на большой радиус (рис. 11), вследствие чего расстояние между фазами и до земли должно быть взято весьма значительным.

Масляные выключатели существуют различных размеров и типов. Они стоят относительно дорого по сравнению с выключателями с роговым искрогашением, вследствие чего их следует применять только в тех случаях, когда необходимо быстрое размыкание цепи.

НТБ ДНУЖТ

Вопрос о том, какие именно линии могут быть причислены к последней категории, решается также путем экономического сравнения стоимость установки, с одной стороны, и расходов, связанных с задержками движения и предполагаемыми размерами повреждений, с другой.

На дорогах с мало интенсивным движением и не жестким графиком неавтоматически секционные выключатели в достаточной степени обеспечивают непрерывную работу. При интенсивном движении на пассажирских линиях каждый выключатель должен быть автоматическим и полная изоляция поврежденного участка должна происходить мгновенно. При прочих условиях движения возможны различные комбинации автоматических и неавтоматических выключателей сообразно с требованиями, предъявляемыми экономическими и эксплоатационными соображениями.

Трансформаторы. Благодаря тому что на тяговых подстанциях величина нагрузки колеблется чрезвычайно сильно, трансформаторы преобразователи должны быть расчитаны на кратковременные большие перегрузки. Обычно средняя нагрузка бывает незначительной, но благодаря совпадению трогания нескольких поездов или из-за исключительных условий движения оборудование подстанций должно выдерживать большую перегрузку в течение коротких периодов времени.

Однако; при интенсивном движении величины этих перегрузок не слишком велики по сравнению со средней нагрузкой. При расчете трансформаторов, с точки зрения их экономичности, лучше чем большие размеры, и тогда годовые потери в них будут не столь большими. Это свойство лучше всего выявляется в величине перегрузочной способности трансформатора в течение двух часов, $^1/_2$ минуты и т. д.

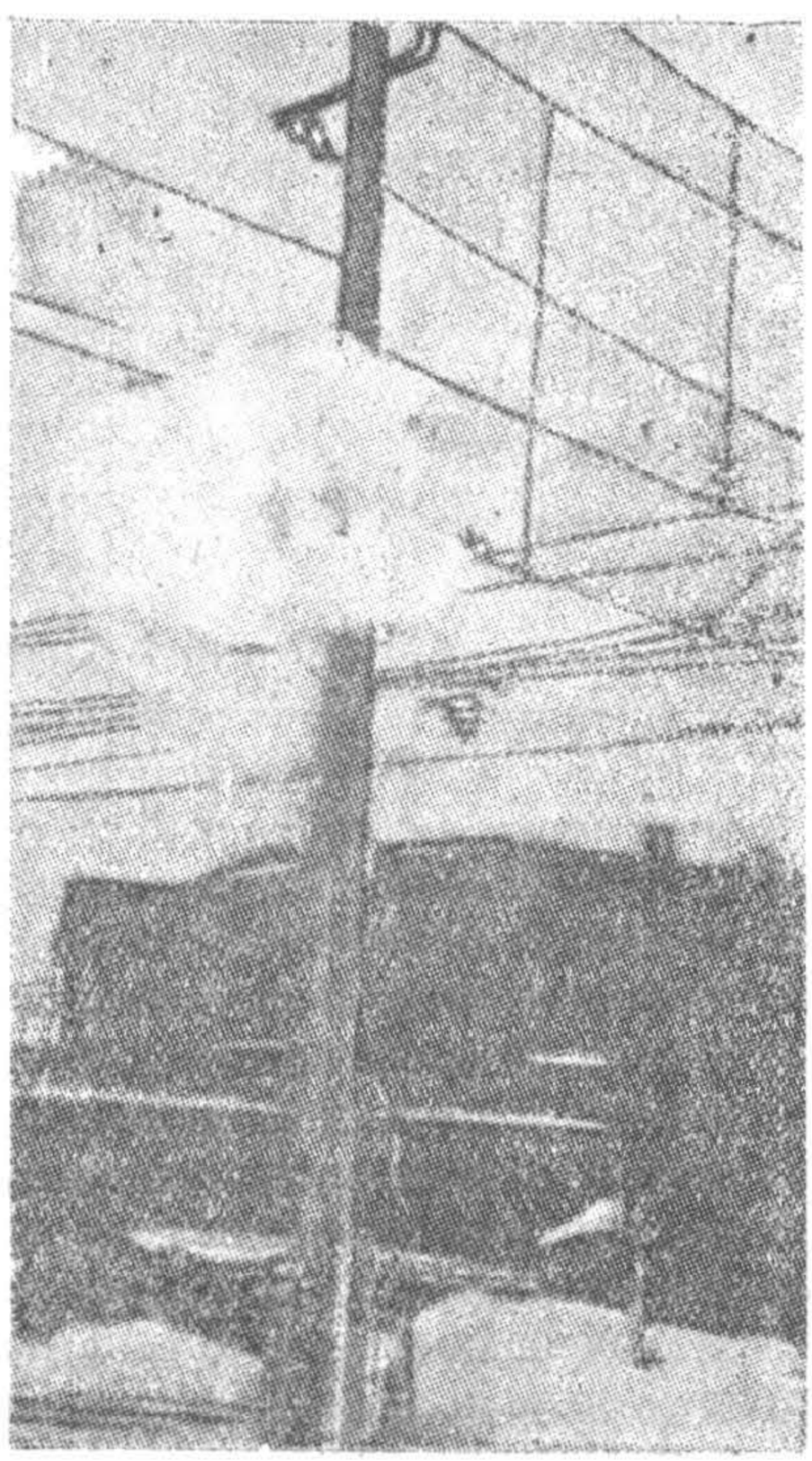


Рис. 11. Дуга при заземлении на опоре с выключателем 11 000 V.

В этом отношении особый интерес представляет таблица, составленная на основании практических данных.

Характеристика движения и размеры участка являются наиболее важными факторами при выборе размеров или номинальной мощности трансформатора.

Для ж.-д. линии с наличием утренних и вечерних часов интенсивного пригородного движения более желательны трансформаторы с большей одночасовой, или даже двухчасовой перегрузкой, нежели трансформаторы с высокой длительной мощностью. При неинтенсивном движении тяжелых составов следует предпочесть снимание пиков нагрузки за

НТБ ДПУЖТ

Мощность трансформатора		Система охлаждения	Допускаемая перегрузка (в процентах) в течение								
Киловольт амперы	Чистота пер./сек.		3 часов	2 часов	1½ часа	1 часа	30 минут	15 минут	10 минут	5 минут	Мгновенно
2 500	60	естественная	—	50	—	—	—	—	—	200	—
3 000	25		—	—	—	50	—	—	—	100	—
7 200	25		—	50	—	—	—	—	—	200[1]	—
2 500	25		50	—	—	—	100	—	—	—	200
3 000	25		—	—	—	50	—	—	—	200[1]	—
2 400	16⅔		—	—	—	—	—	50	—	—	100
1 900 / 2 400	16⅔		—	—	—	—	—	—	150	—	300
5 000	16⅔		—	30	50	—	—	—	100	—	—
3 000 / 9 000	16⅔		—	—	25	—	50	—	—	—	—
840	—		—	50	—	—	—	—	—	200	—
2 250	—		—	50		—	—	—	—	200	—
4 500	—		—	50	—	—	—	—	—	200	—

счет кратковременной перегрузочной способности, а не за счет продолжительной мощности трансформаторов.

Время, в течение которого трансформатор должен выдерживать такую перегрузку, зависит от расстояния между подстанциями и от скорости движения поезда. Там, где подстанции рассчитаны для обслуживания больших районов, колебания менее значительны и перегрузочная способность трансформатора может быть соответственно понижена.

При выборе номинальной мощности и допускаемых пределов температуры, необходимо все же предусматривать некоторый запас. Расходы в несколько сот долларов, обеспечивающие несколько большую мощность, при этом легко компенсируются большей надежностью работы и устранением аварий. Опыт показал, что оборудование, используемое до предела своей мощности, приводит к повреждениям, которые не появились бы, если бы условия работы не были столь тяжелыми. Например при трансформаторе в 3 000 kVA стоимостью 5 000 долл. вполне возможно затратить еще 500 или даже 1000 долларов на увеличение мощности этого трансформатора. Более дешевый тип был бы менее долговечен и расходы на содержание возрасли бы сравнительно с первоначальными издержками на добавочную мощность, предотвращающую преждевременный выход из строя. Всякая предусмотрительность в отношении повышения мощности и обеспечения непрерывности работ будет всегда окуплена.

Вследствие большого числа толчков тока, которым подвержено тяговое оборудование, трансформаторы должны быть сконструированы таким образом, чтобы механически и электрически противостоять возникающим напряжениям. Это означает усиленную изоляцию первых витков для

[1] Вольт-амперная мощность трансформаторов, допускающих перегрузку, например в 200% в течение 5 минут показывает, что действительная мощность трансформатара значительно выше и достигает не менее чем 3200 кило-вольт-ампер. (Прим. ред.).

НТБУКТ

предотвращения пробоев между витками вследствие высокого напряжения, вызываемого волнами с крутым фронтом. Кроме того, это также предполагает устройство прочных механических креплений и прокладок могущих противостоять механическим силам взаимодействия, развивающимся при больших силах тока. Намечаются также тенденции увеличивать напряжение короткого замыкания для того, чтобы ослабить влияние неустановившихся режимов.

Германские трансформаторы в 5 000 kVA имеют напряжение короткого замыкания 9,2% от нормального. Швейцарские трансформаторы рассчитаны приблизительно на 10%.[1]

Открытые и закрытые подстанции. Подстанции открытого типа считаются вполне приемлемыми, поскольку это касается высоковольтного оборудования и трансформаторов. В Европе еще имело место некоторое количество исключений из этого, что было вероятно отражением тенденции послевоенного периода инфляции к размещению капиталов в промышленные предприятия. За последние годы во всем мире наблюдалось заметное стремление к устройству подстанций открытого типа. На первоначально электрифицированных участках ж. д. Норфольк и Вестерн подстанции были устроены закрытого типа, а на новых—все подстанции выстроены открытого типа. Один из первых открытых для движения участков швейцарских федеральных дорог—С. Готардская линия—был оборудован подстанциями закрытого типа, а на всех последних подстанциях применено как оборудование, так и устройство открытого типа. Из австрийских подстанций на участке Альберг старые были закрытого типа, тогда как на новых подстанциях все высоковольтное оборудование установлено на открытом воздухе.

В Швеции на Северной линии подстанции более ранней конструкции были закрытого типа, но за последнее время все высоковольтное оборудование установлено, также снаружи.

Эта перемена конструкции явилась результатом действия двух различных причин: во-первых, стремления снизить строительные расходы и, во-вторых, желания ограничить размеры повреждений вследствие аварий. Благодаря тому, что вся подстанция не окружается стенами, а устанавливаются лишь фундаменты и несущие конструкции, строительные расходы могут быть значительно уменьшены. Это достигается за счет отсутствия более легкого обслуживания, которое имеет место в устройствах закрытого типа, защищенного от разного рода влияний и колебаний температуры. Можно считать доказанным, что последнее обстоятельство не имеет значения по отношению к современной конструкции бушингов для наружной установки.

С большими трудностями пришлось встретиться при образовании в масле льда; вода, находящаяся на дне, при замерзании поднималась в верхние слои масла, что вызывало различные нежелательные результаты. Это явление было в дальнейшем предотвращено установкой проволочной сетки на уровне несколько выше днища масляного бака для того, чтобы уловить лед при его стремлении подняться кверху; кроме того было обращено внимание на применение незамерзающих масел.

В некоторых случаях низкая температура и вызываемое ею обледе-

---

[1] Тяговые трансформаторы союзного изготовления 35 kV имеют $l_к$=8,5%, 110 kV—10%.

НТБ ДНУЖТ

нение движущихся частей механизмов обусловливали аварии, но этого возможно избежать при надлежащей конструкции оборудования. Известны случаи серьезных повреждений в открытых подстанциях вследствие прямых ударов молнии, которые не были бы так разрушительны, если бы на верху имелась металлическая рама перекрытия. Но, с другой стороны, точно такие же серьезные повреждения причинялись и в подстанциях закрытого типа теми же прямыми грозовыми разрядами на вводные линий передач. Аварии такого рода в общем настолько редкие явления и защита от них настолько затруднительна вообще, что они не могут оправдать необходимости применения закрытых подстанций.

По отношению к эксплоатации оборудования имеется лишь одно обстоятельство в пользу закрытого типа подстанций: при неблагоприятной погоде работа обслуживающего персонала замедляется или становится иногда почти невозможной. В особенности это имеет место при низких температурах. В С. Штатах при конструировании большинства открытых ж.-д. подстанций было обращено мало внимания на необходимость перенесения какого-либо аппарата на время ремонта в соседнее закрытое помещение, несмотря на то, что это имеет определенное удобство, создавая для ремонтных бригад благоприятные условия работы и обеспечивая тем самым ее хорошее выполнение. Такое помещение для ремонтируемого оборудования является весьма полезным, так же как и соответствующие приспособления для быстрой доставки туда этого оборудования, производимой ремонтной бригадой.

Для обычного типа подстанций это означало бы, что здание должно иметь помещение для того, чтобы туда поместился самый крупный тип масляного выключателя с возможностью его разборки и сборки.

Повидимому нет основания включать в число предметов, подлежащих переносу для ремонта в закрытое помещение, и трансформаторы. Так как обыкновенная ремонтная бригада не с состоянии исправлять сколько-нибудь значительные повреждения в последних, необходимо, чтобы трансформаторы могли перевозиться с места постоянной установки в вагон нормальной колеи для последующей доставки в специальные мастерские, на завод или в соответствующий центральный ремонтный ж.-д. пункт.

В Европе многие установки открытого типа настолько усовершенствованы, что особые закрытые помещения, оборудованные для ремонта трансформаторов, устраиваются при подстанциях, и все же эти установки дают 25 % экономии по сравнению с подстанциями закрытого типа.

В большинстве случаев одним из самых влиятельных факторов для перехода от закрытого типа к открытому было желание избегнуть последствий разрушительных взрывов масляных выключателей. Вполне очевидно, что при больших расстояниях и при установке на открытом воздухе имеется меньше возможностей для распространения размеров аварий этого рода. С другой стороны, современные открытые установки имеют в большинстве случаев и более усовершенствованную конструкцию масляных выключателей, так же как и большую разрывную мощность последних по сравнению с прежними установками закрытого типа, что дает в этом отношении уверенность в лучшей работе, которая т. обр., может быть приписана отчасти и более совершенным масляным выключателям.

Общие конструктивные требования. При проектировании подстанций многие детали от инженера-конструктора ускользают, что впослед-

ДПИ

ствии затрудняет инженера-эксплоатационника в его текущей практике или еще более тяжело обременяет его во время аварий.

Прежде всего в текущей эксплоатационной практике приходится иметь дело со сложным расположением разъединителей и трансформаторов. Работа на шинах, расположенных в два ряда один над другим, и с нагроможденными разъединителями затруднительна как благодаря недостатку места, так и вследствие возможности ошибок из-за сходства оборудования. Наиболее простое и наглядное расположение проводки сокращает число ошибок со стороны обслуживающего персонала и этим снижает расходы.

Опыт показал, что оборудование, установленное тесно друг возле друга,—хотя это и практикуется обычно,—опасно для жизни вообще и губительно в случае аварий. Следует иметь в виду то, что с оборудованием быть может придется работать, исправляя повреждение в темноте, при сильном дожде, или снегопаде, людям иногда засыпающим от усталости; такие условия требуют простой системы расположения, которая легко воспринимается и запоминается и при которой легко работать.

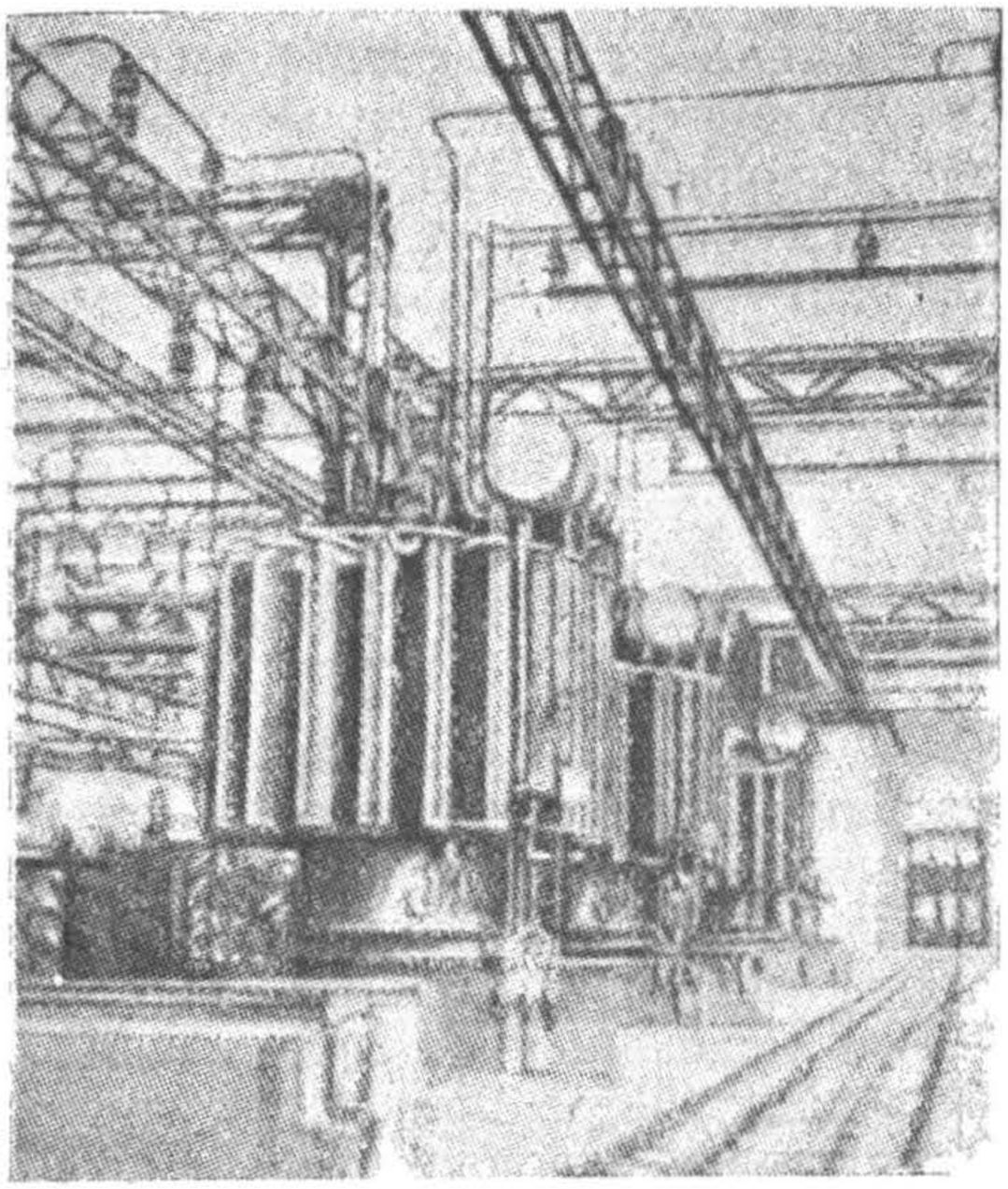


Рис. 12. Оборудование подстанции с применением катков для легкого обслуживания.

В процессе ремонта аппаратов обычно выявляется такая сторона вопроса, как желательность облегчить транспортировку и замену оборудования. В этом направлении изобретение выключателя, монтированного на тележке, явилось известным достижением. Установка масляных выключателей и трансформаторов на роликах и тележках, так же как и соединение их с шинными проводами посредством легко разъединяемых клемм, может быть рекомендована как для закрытых так и для открытых помещений (рис. 12). В открытых установках частью этого устройства является ж.-д. колея, по которой может передвигаться соответствующее оборудование для доставки его в закрытое помещение, где оно может ремонтироваться при нормальной температуре с помощью кранов и механических приспособлений. Обычно предварительно делается подсчет, оправдывают ли себя издержки на эти приспособления.

С точки зрения снижения расходов на металл и окраску желательно применять для опорных конструкций простейшие сечения прокатного железа. Трудность и опасность окраски опор для проводов высокого напряжения—достаточное основание для введения любого приспособления, облегчающего этот труд.

При окраске конструкций в разобранном виде требуется лишь половина или треть времени, затрачиваемого на окраску уже установленных

НТБ ДГУКТ

сооружений. Точно так же представляется возможным использовать способ гальванизации, заменяя ею окраску.

Если мы имеем в открытой части подстанции предметы оборудования, содержащие масло, то рационально устраивать соответственно дренированную канаву, наполненную измельченным камнем или гравием и окружающую место установки трансформатора или маслянника для задерживания в случае взрыва масла; это локализирует также и пожар. Устройство таких канав сопряжено с небольшими затратами; их покрывают металлической сеткой и они образуют часть пола открытой подстанции.

В связи с конструкцией шин возникли самые разнообразные мнения по вопросу об относительных достоинствах натяжных (гибких) и жестких шин. С точки зрения простоты конструкции натяжная шина представляет удобство, как требующая незначительных опорных сооружений с незначительным количеством точек соприкосновения с изоляцией. Но именно эти самые факторы и составляют слабое место этой конструкции в случае перегорания провода. Поэтому весьма желательно заменить этот тип шин там, где по характеру работы требуется большая надежность, как это имеет место на ж.-д. подстанциях большинства дорог. Жесткая шина имеет определенные преимущества в том отношении, что она сама поддерживает себя в пролетах между изоляторами в случае повреждения проводника, хотя применение ее требует несколько большего количества металла для опор (рис. 12).

ТИПЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Одноякорные преобразователи. В простейшем виде одноякорный преобразователь представляет машину, в которой в качестве преобразующего элемента применяется обычный коллектор машин постоянного тока, получающий переменный ток из внешнего источника, а не в результате генерирования его в обмотках собственного якоря.

При неискаженном поле такая машина имеет определенное соотношение между напряжением отдаваемого постоянного тока и напряжением получаемого переменного тока, выражаемое следующей формулой:

$$\frac{\text{напряжение (переменный ток)}}{\text{напряжение (постоянный ток)}} = 0{,}707 \sin \frac{180^\circ}{\text{число фаз}}$$

Вследствие того факта, что обмотки якоря нагружены лишь разницей получаемой и отдаваемой мощности, а не всей отдаваемой мощностью,—как это имеет место в случае генератора постоянного тока,—обмотки одноякорного преобразователя для заданной номинальной мощности по размерам меньше, чем у генератора постоянного тока, между тем как размеры коллектора остаются такими же. Вследствие этого тепловые потери в обмотках преобразователя меньше, нежели у генератора постоянного тока.

Однако при этом нагревание в проводниках не одинаково, что надлежит учесть при конструировании машин. Джаулевы потери по мере увеличения числа фаз преобразуемого тока по отношению к различным проводникам уравниваются и уменьшаются.

НТБ ДНУЖТ

Приводимая ниже таблица иллюстрирует указанное различие в потерях на нагрев между генератором и одноякорным преобразователем при различном числе фаз и работе одной и той же машины, как генератор и как преобразователь, при одном и том же коэфициенте мощности.

Одним из свойств одноякорного преобразователя, на которое следует обратить внимание, является реакция якоря при различных условиях нагрузки.

Число фаз	Отношение мощностей преобразователя и генератора	Отношение коэфициентов полезного действия преобразователя и генератора
3	1,3	1,02
4	1,7	1,03
6	1,9	1,04
12	2,2	1,04

При нормальной синхронной работе преобразователя реакция якоря значительно меньше чем при работе его в качестве генератора вследствие

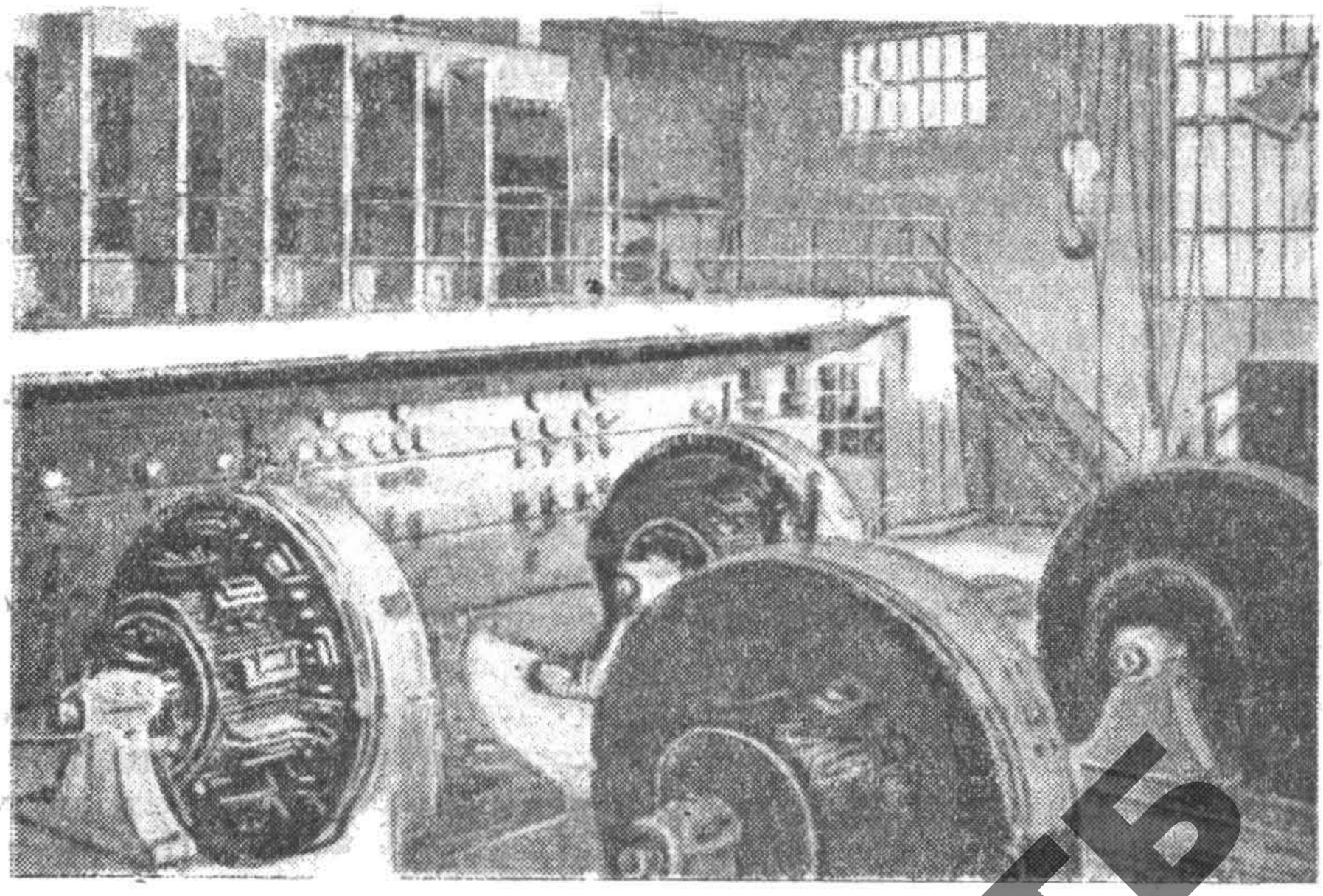


Рис. 13. Одноякорные преобразователи на 1500 V.

того, что имеющая наиболее существенное значение слагающая силы тока, обусловливающая реакцию якоря, которая остается не уравновешенной, есть реактивная слагающая переменного тока. В результате этого имеет место значительно меньшее искажение поля, чем у генератора постоянного тока, вследствие чего для компенсации реактивного напряжения достаточен более слабый поток дополнительных полюсов.

ДГУЖТ

При неустойчивых условиях эксплоатации, как например при наступлении качаний в обмотках якоря, протекает ток, имеющий большую величину реактивной слагающей переменного тока, которая стремится уменьшить угол отставания вращающегося поля якоря. Этот ток вызывает декомпенсацию реакции якоря, что вызывает чрезмерное искажение поля, и следовательно искрообразование или круговой огонь на коллекторе. Аналогичные условия создаются при коротком замыкании на стороне постоянного тока, в результате которого получается более сильное искажение поля и круговой огонь на коллекторе, чем у генератора постоянного тока, потому что искажающий поток реакции якоря замыкается по пути с более низким магнитным сопротивлением.

Одним из способов предотвращения кругового огня является тщательная изоляция и соответственная защита различных частей коммутирующих приспособлений.

Рассматривая одноякорный преобразователь с точки зрения его работы как синхронного мотора, можно видеть, что причиной качаний является изменение порядка фаз или частоты питающего преобразователь тока или электрические характеристики длинных линий передач. К одноякорным преобразователям применим тот же способ гашения колебаний, которым пользуются в синхронных моторах, а именно— с помощью успокоительной обмотки, которая при нормальных условиях не работает; по ней течет лишь ток, стремящийся воспрепятствовать всякому изменению скорости вращения якоря.

При одноякорных преобразователях регулирование напряжения несколько ограничено; оно возможно лишь путем изменения подводимого напряжения переменного тока или изменением поля. К первому виду относятся индукционные регуляторы и синхронные бустеры,— приборы, независимые от работы самого преобразователя. Изменением реактивной слагающей потребляемого тока преобразователя, осуществляемым изменением магнитного потока, может быть получено желаемое падение напряжения в трансформаторах. Но это регулирование напряжения может производиться лишь в ограниченных пределах. Последовательно с трансформаторами, в целях реализации более широких пределов регулирования, может быть включено добавочное внешнее сопротивление.

Второй вид регулирования требует расщепления полюсов с устройством самостоятельных обмоток для регулирования степени искажения поля. Этот способ в настоящее время устарел.

Одноякорные преобразователи конструируются для переменного тока с частотой 25—60 периодов в секунду. В более ранних конструкциях, при ограниченных скоростях, осуществление 60-периодных преобразователей встречалось с большими затруднениями. При значительном количестве полюсов по сравнению с 25-периодными машинами, являлось затруднительным найти место для компенсационной обмотки и кроме того разместить на коллекторе достаточное количество пластин, которое оказывается необходимым для того, чтобы напряжение между соседними пластинами было сохранено достаточно низким. В современных конструкциях, в условиях возможности повышения пределов скорости вращения, число полюсов может быть уменьшено, и указанные затруднения могут быть в значительной степени устранены.

25-периодные машины имеют важные преимущества перед 60-пе-

НТБ ДГТУ

риодными; во-первых, они занимают меньше места и, во-вторых, их отдача в большинстве случаев на 1—2% выше. Благодаря получающемуся недостатку места для необходимых размеров, вместе с неустойчивостью работы преобразователя при колебаниях и коротких замыканиях как со стороны переменного, так и постоянного тока, не сделано попыток к повышению напряжения постоянного тока выше 1 500 V.

Параллельная работа одноякорных преобразователей относительно проста; их характеристики к принятию нагрузки легко могут быть регулированы компаундными или шунтовыми обмотками соответствующих размеров. Общий вид машинного зала с одноякорными преобразователями показан на рис. 13.

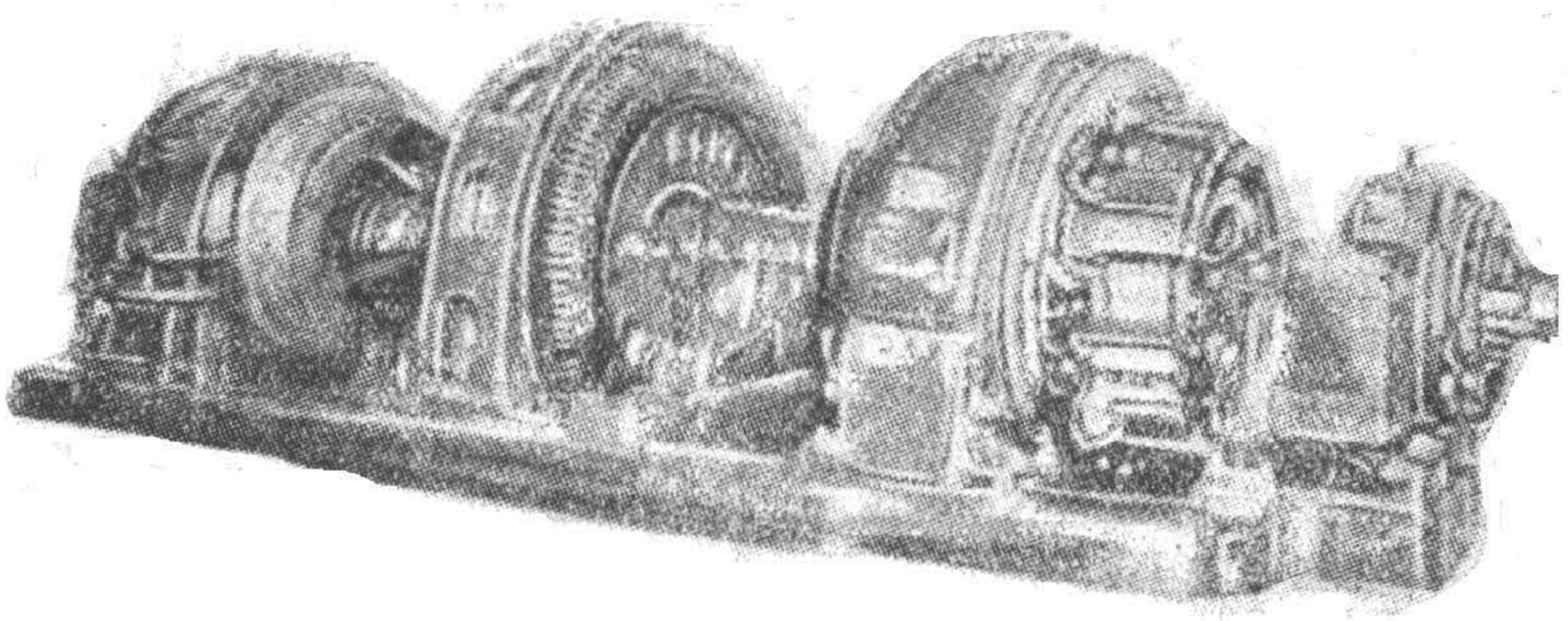


Рис. 14. Мотор-генератор на 3000 V

Мотор-генераторы. Мотор-генератор как преобразующая единица не является всецело приспособлением, связанным с наличием лишь электрического преобразования энергии. Электрическая энергия переменного тока превращается в механическую двигателем переменного тока и обратно в электрическую энергию—генератором постоянного тока. Поэтому электрические характеристики генератора и мотора могут колебаться в известных пределах независимо друг от друга.

Обычно в качестве двигателей пользуются синхронными моторами, дающими постоянную скорость с возможностью изменения коэфициента мощности при изменении поля возбуждения. Генератор постоянного тока может быть выбран компаундного или шунтового типа с желаемыми характеристиками. Типичный вид агрегата показан на рис. 14.

Ртутные выпрямители. Развитие конструкции ртутного выпрямителя большой мощности открыло совершенно новую область для оборудования преобразовательных подстанций. Сам выпрямитель изготовляется из стали; на дне резервуара, охлаждаемого водой, находится изолированный ртутный катод и наверху, вокруг конденсационной камеры, группа анодов. Нагретый катод испускает по направлению к анодам, отрицательные электроны и ток проходит только в обратном направлении, т. е. от анодов к катоду. Нагревание катода в целях получения электронного потока начинается с образования ртутной дуги при помощи цепи зажигания. Если в цепи имеется нагрузка, то дуга распространяется на всю длину от катода до главных анодов, и температура ртути поддерживается этой дугой до падлежащей величины.

НТБ ДГУЖТ

Для того чтобы поддержать электронную эмиссию в случае падения нагрузки и разрыва главной дуги, у выпрямителя устраиваются вспомогательные аноды, в цепь которых включается постоянное дополнительное балластное сопротивление, потребляющее от 1 до 2 kW, вследствие чего вспомогательная дуга действует непрерывно. Благодаря высокой температуре ртуть испаряется и пары ее поднимаются в верхнюю часть резервуара, где имеется холодильная камера, охлаждаемая водой, в которой происходит охлаждение и конденсация ртутных паров. Ртутный конденсат стекает к катоду на дно резервуара, причем особые направляющие экраны предохраняют аноды и дугу от попадания на них стекающего конденсата. Местонахождение этих направляющих экранов чрезвычайно важно, так как они предохраняют как от обратного зажигания, так и от перекрытия между анодами во время работы выпрямителя.

Вакуум поддерживается в резервуаре с помощью вспомогательного агрегата, состоящего из двигателя небольшой мощности, приводящего форвакуумный насос, последовательно соединяемый с ртутным насосом, служащим для получения максимального предела требуемого вакуума в 0,005 *мм* ртутного столба.

Конструкция газонепроницаемого уплотнения швов вакуумаппаратов явилась очень полезным достижением по отношению к ртутным выпрямителям. Самые удачные результаты были получены при использовании в качестве этого самой ртути. Преимущества последнего способа заключаются не только в том, что при его применении получается надежное уплотнение, но и в той легкости, с которой определяются места утечки блогадаря видимому недостатку или отсутствию на них ртути.

Выпрямление однофазного переменного тока с помощью ртутной дуги между электродами, состоящими из катода и лишь одного анода, дало бы пульсирующий ток, мало удовлетворяющий требованиям тяги. Благодаря параллельному включению группы анодов, дающих выпрямленный пульсирующий ток от нескольких источников переменного тока, амплитуды которого соответственно сдвинуты во времени одна по отношению к другой, может быть получен менее пульсирующий постоянный ток, уже удовлетворяющий требованиям тяги. При обычном трехфазном токе, передаваемом по линиям передачи, наиболее удобный способ получения такой группы источников тока осуществляется с помощью шестифазного или двойного трехфазного соединения вторичных обмоток трансформатора, нулевые точки которых соединяются через сеть с катодом, а концы с анодами. При таком включении в течение одного полного периода переменного тока будет иметься шесть полуволн последнего, энергия которых будет перенесена дугой через выпрямитель в соответствующем направлении.

Каждый анод действует лишь в течение того промежутка времени, когда напряжение соответствующей фазы, изменяющееся от нуля до своего амплитудного значения, будет выше, чем напряжение других пяти анодов. Указанное имело бы место вполне точно при условии отсутствия сдвига фаз между силой тока и напряжением или при отсутствии реактанца в цепи питающего трансформатора. Фактически благодаря индуктивной слагающей падения напряжения происходит перекрытие одной фазы другой вследствие того, что в цепи работающего анода напряжение

НТБ ДИУЖТ

падает и в тот момент, когда нагрузка передается соседнему аноду, снова повышается вследствие сброса нагрузки, переданной соседнему аноду.

Величина этого перекрытия пропорциональна падению напряжения в данной фазе трансформатора, или приблизительно пропорциональна коэфициенту самоиндукции рассеяния, так как омическое падение напряжения весьма незначительно.

Характеристика напряжения выпрямителя определяется падением напряжения в самой дуге и падением напряжения в трансформаторе. Падение напряжения в самой дуге колеблется от 19 до 25 V в зависимости от размеров выпрямителя. Колебания этой величины при различных нагрузках чрезвычайно слабы и равняются лишь 3 или 4 V при изменении нагрузки от минимума до максимума. Падение напряжения в той фазе трансформатора, которая питает работающий анод, пропорционально величине тока и сопротивлению обмотки этой фазы. Для случая перекрытия работы отдельных анодов падение напряжения пропорционально всей величине тока, обтекающей две фазы трансформатора, и параллельному сопротивлению обмоток этих двух фаз, которое следовательно будет иметь меньшую величину, чем в первом случае.

Поэтому желательно величину перекрытия, по возможности, увеличить, что даст благоприятную характеристику. При некоторых типах соединений выпрямителей применяются реактивные катушки, включаемые между нулевыми точками двух трехфазных систем шестифазного соединения, которые увеличивают перекрытие работы одного анода соседним, вследствие чего полная нагрузка выпрямителя всегда будет распределена между двумя анодами, и падение напряжения в выпрямителе понижается, так как через сопротивление данной фазы трансформатора течет только половина общей силы тока нагрузки.

Такое устройство допускает осуществить конструкцию выпрямителей с колебанием падения напряжения между холостым ходом и полной нагрузкой лишь от $3^1/_2$ до 5%.

При параллельной работе выпрямителей важное значение имеют их характеристики. Внутренние характеристики параллельно работающих агрегатов определяются величинами падения напряжения в трансформаторах, и поскольку они выражаются достаточно спадающими характеристиками, постольку это обусловливает и достаточно хорошее распределение нагрузки между параллельно включенными агрегатами.

Так как напряжение постоянного тока зависит от напряжения подводимого переменного тока и от падения напряжения в трансформаторе, то путем регулирования подводимого напряжения тоже можно добиться хороших условий параллельной работы. Для непрерывного изменения напряжения может служить индукционный регулятор, включенный последовательно с обмотками трансформатора. Там, где достаточны ступенчатые изменения напряжения, можно пользоваться более дешевым приспособлением, дающим небольшие потери, а именно—переключателем для концов ответвлений обмоток трансформатора.

Общее устройство ртутно-выпрямительной подстанции относительно просто по сравнению с типами подстанций, оборудованных вращающимися преобразователями. Устройство тяжелых фундаментов в первом случае не требуется, и кубатура помещения, приходящаяся на 1 kW установленной мощности, достаточно мала, в особенности при более

ДПУКТ

высоких напряжениях. Для охлаждения анодов очень важно обеспечить достаточный приток охлаждающей воды из надежного источника.

Температура анодов не должна превышать приблизительно 43°Ц. При температуре воды в 15° Ц это составит приблизительно расход в 3,8 *л* (1 галлон) воды в минуту на каждые 400 А постоянного тока. При напряжениях в 2 000 V и ниже охлаждающую систему возможно без особенных затруднений изолировать при помощи соединительных резиновых шланг; таким образом, при этом можно пользоваться общей системой водопровода. При более высоких напряжениях необходимо применять совершенно изолированную систему водоснабжения, так как проводимость воды становится существенным фактором.

Отдача выпрямителей определяется потерями в дуге и потерями в трансформаторе. Эти потери, за исключением области низких нагрузок, пропорциональны силе тока и вследствие этого к. п. д. выпрямителя при различных нагрузках постоянен. При этом потери почти не зависят от напряжения отдаваемого тока, вследствие чего величина к. п. д. повышается вместе с повышением напряжения постоянного тока. На рис. 15 показаны соответствующие характеристики выпрямителя.

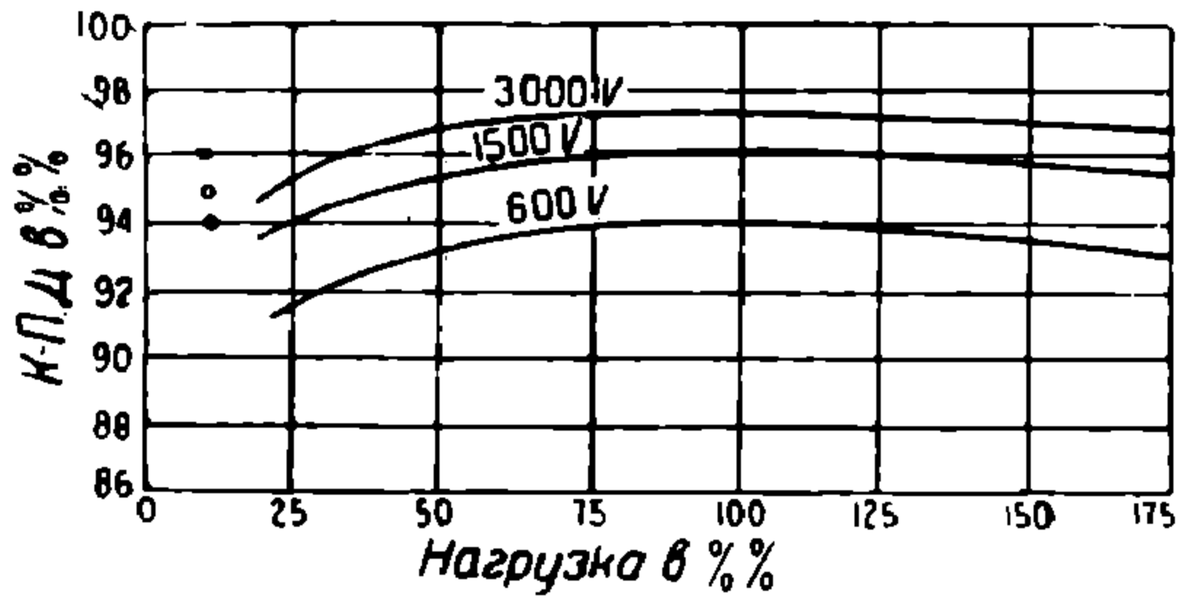


Рис. 15. Кривые коэфициента полезного действия выпрямителей при различных напряжениях постоянного тока.

Благодаря своей простоте ртутный выпрямитель допускает его удобное применение для автоматической работы. Последовательность операций пуска состоит лишь во включении маслянника питающего трансформатора, в зажигании дуги и включении цепи возбуждения, в пуске охлаждающей воды и включении автомата постоянного тока. Для защиты выпрямителя требуются приборы, предохраняющие от перегрузки, короткого замыкания цепи, перегрева, недостаточного вакуума и неисправной подачи охлаждающей воды.

При остановке следует последовательно исполнить следующие операции: выключить масляный выключатель, связанный с автоматом постоянного тока, снять возбуждение дуги и отключить доступ охлаждающей воды. Вакуум-насосы пускаются в работу автоматически каждый раз, когда вакуум падает ниже известной величины. На рис. 16 показана схема соединения проводов для такого включения.

Сведения о количестве ртутновыпрямительных установок, существующих или строящихся,—показаны в приводимой таблице.

Практический опыт показал, что выпрямители являются вполне пригодным типом оборудования, служащего для преобразования тока. Включение их и пуск при высоком вакууме и наличии охлаждающей воды производятся в несколько секунд. Выше уже указывалось, какое важное значение для работы выпрямителя имеет надежный источник подачи воды. Поддержание вакуума при надлежащих уплотнениях швов резервуара—дело относительно легкое. При некоторых конструкциях

ГПТБ ДПУКТ

Ртутновыпрямительные подстанции на электрифицированных железнодорожных линиях

Страна	Год	Число подстанций	Общая мощность (в kW)	Напряжение	Число цилиндров
Франция	1923	5	19 200	1 500	
	1926	1	1 500	1 500	
Япония . . .	1925	1	4 800	1 500	6
Австралия. .	1924—1926	2	3 650	1 500	2
Италия .	1925	2	1 800	1 500	4
	1926—1927	1	1 700	3 000	2
	1927	1	6 000	3 000	3
Голландия. .	1926 - 1927	7	21 500	1 500	40
Германия .	1928—1929	40	108 000	800	
С-Штаты .	1926	4	9 000	1 500	4
	1928	1	1 000	650	1
СССР .	1929 – 1932	10	28 000	1 500	28

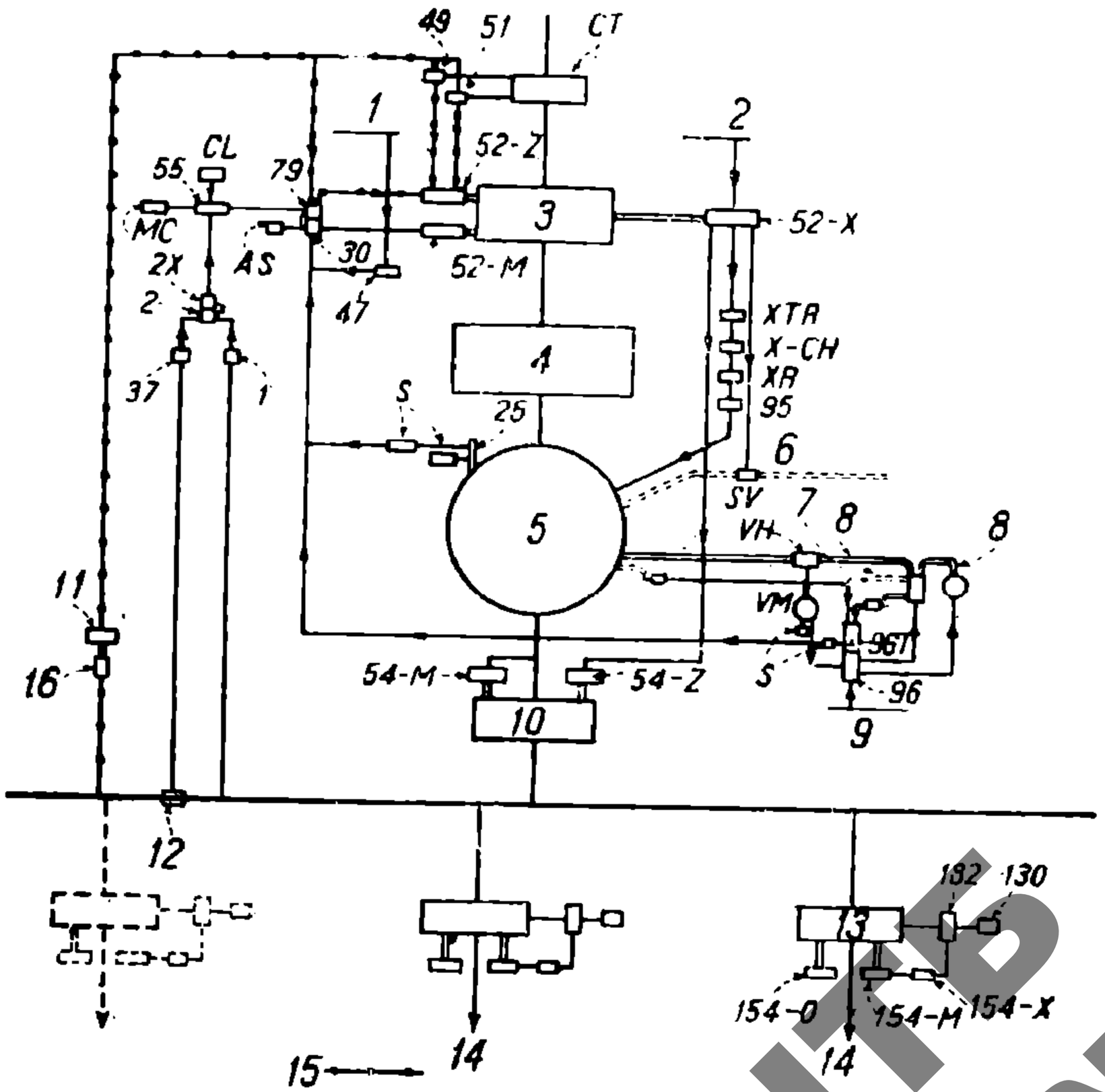


Рис. 16—Автоматическое управление выпрямителем. 1—2. Источник служебного тока. 3—Масляный автоматический выключатель переменного тока. 4—Силовой трансформатор. 5—Выпрямитель. 6—7—Охлаждающая вода. 8—Трубопровод для вакуума. 9—Служебный ток. 10—Автоматический выключатель постоянного тока. 11—Батарея. 12—Шунт. 13—Фидерный автоматический выключатель. 14.—Фидер. 15—Выключающая цепь.

НТБ ДИИЖТ

НАИМЕНОВАНИЯ:

AS—Звуковой и оптический сигнал. *CL*—Контрольные часы. *CT*—Трансформатор тока. *MC*—Ручное управление. *S*—Сигнал оптический. *SS*—Избирательный выключатель. *SV*—Соленоид для водяной задвижки. *VH*—Термоэлемент для вакуум-метра. *VM*—Вакуум-метр и контактный измеритель. *WI*—Реле, действующее при прерыве подачи воды. *X*—*CH*—Катушка возбуждения. *XR*—Сопротивление для цели возбуждения а сжигания. *XTR*—Трансформатор для возбуждения и зажигания, 1—Главный элемент (зависимый от напряжения постоянного тока для пуска). 2—Реле с выдержкой времени для пуска и остановки. 2—*X*—Вспомогательное реле для № 2. 16—Приспособление для зарядки батареи. 26—Температурное реле для выпрямителя (ртутный контактный термометр). 30—Реле, сигнализирующее нарушение блокировки. 37—Токовое реле (минимальное) для остановки. 47—Указатель обратного направления фаз. 49—Температурное реле переменного тока. 51—Максимальное реле переменного тока. 52—*M*—Мотор для привода масляного выключателя. 52—*X*—Вспомогательный выключатель для масляника. 52—*Z*—Шунтовое размыкание масляного выключателя. 54—*M*—Электрическое управление выключателем постоянного тока. 54—*Z*—Шунтовое размыкание выключателя постоянного тока. 79—Повторно замыкающее реле постоянного тока. 95—Реле зажигания и возбуждения. 96—Реле управления вакуум насосом. 96—*T*—Реле времени для реле прекращения подачи воды и вакуум-насоса выпрямителя. 130—Сигнал нарушения блокировки фидерныхреле. 154—*M*—Электрическое управление фидерными автоматами. 154—O—Выключение фидерного автомата при перегрузке 154—*X*—Вспомогательное реле для фидерного автомата. 182—Реле для повторного включения фидерного автомата.

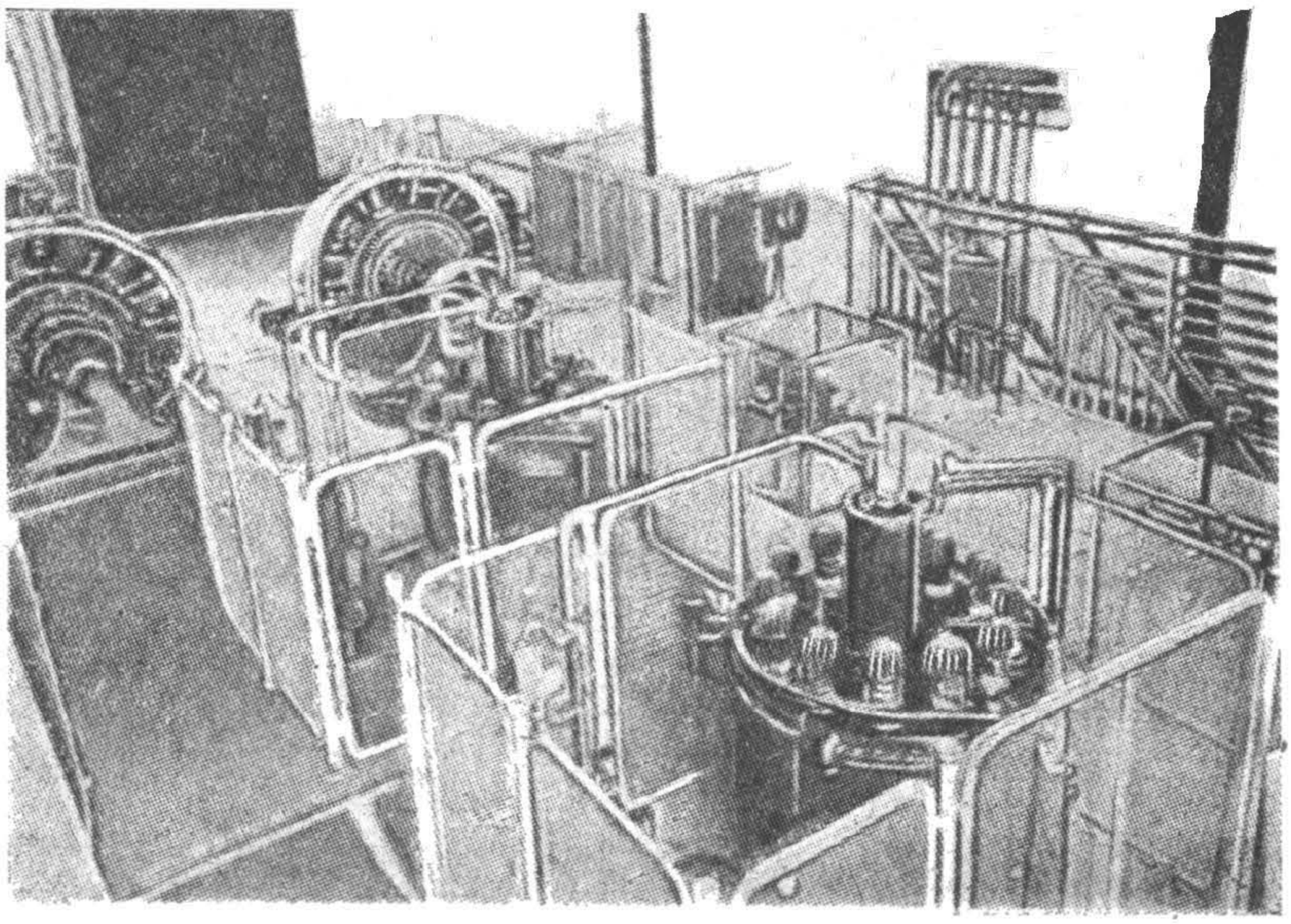


Рис. 17. Установка 3000-киловаттных ртутных выпрямителей 1500 v. на подстанции, обслуживающей движение тяжелых поездов (САСШ)

уплотнений трудно было находить места утечки, что являлось источником больших затруднений.

На некоторых установках часто имело место явление обратного зажигания, которое не вполне еще понятно;[1] оно не отражалось особенно тяжело на эксплоатации, так как вызывало перерывы движения лишь на 30—40 секунд. При надлежащем расположении и действии выключателей параллельная работа выпрямителей этим не осложняется. Ремонт выпрямителей не сложен вследствие отсутствия частей, подвергающихся износу и отсутствию обмоток и коллекторов, требующих особо тщательного ухода.

---

[1] См. Марти и Виноград, Рт. выпрямители большой мощности Желдориздат, 1933. (Ред.).

НТБ ДНУЖТ

Высшие гармоники, развивающиеся при процессе выпрямления и переходящие в сеть выпрямленного тока, оказывают в некоторых случаях значительное мешающее влияние на телефонные линии.

Эта проблема получила теперь удовлетворительное решение в виде включения в цепь выпрямителей сериесных реактивных катушек и фильтрующих контуров «резонансных шунтов».

Хотя при этом конденсаторы, которые применялись во временных установках, обусловливали некоторые затруднения, но стационарные приспособления для отфильтровывания гармоник дают удовлетворительные результаты.

Преобразователи частоты. Простейший тип преобразователя частоты состоит из двух синхронных машин, механически соединенных одна с другой; при этом одна работает как мотор, а другая как генератор. Этим достигается соединение между двумя электрическими системами с возможностью регулирования напряжения в обеих цепях с помощью регуляторов цепи возбуждения. Передача энергии из цепи одной частоты в цепь другой частоты зависит в значительной степени от относительных величин этих частот и не допускает никакого регулирования за исключением изменения последних [1].

Такой преобразователь относительно прост, требует небольшого количества аппаратуры и надежен в работе.

Там, где несколько различных источников энергии должны быть присоединены к одной и той же железнодорожной распределительной системе посредством преобразователя частоты, жесткость простого типа преобразователя не допускает надлежащего регулирования дебета энергии и затрудняет синхронизацию единиц, включаемых в параллельную работу. Недавно был изобретен новый тип преобразователя частоты, обладающий большой гибкостью и дающий возможность регулирования мощности преобразуемой энергии независимо от величины частот. Для распределительной сети ток вырабатывается так же, как и при однофазной системе—нормальным трехфазным синхронным генератором с отдельным, соединенным с ним, возбудителем. Статор генератора устанавливается со специальным пружинящим креплением, необходимым для компенсации колебаний, получающихся при однофазной нагрузке.

Первичным двигателем агрегата служит нормальный индукционный мотор. Обмотки ротора последнего включаются на напряжение внешнего источника, вырабатывающего ток при частоте, отвечающей нормальной рабочей частоте скольжения ротора; тем самым допускается независимое регулирование скорости вращения ротора. Этот независимый внешний источник тока осуществляется в регулирующем генераторе, находящемся на валу главного двигателя; его конструкция очень близка к конструкции одноякорного преобразователя. Источник энергии с постоянной частотой, питающей статор главного индукционного мотора, служит и для подведения напряжения к коллекторным кольцам этой регулирующей машины. Коллектор последней, вращающейся со скоростью, отличающейся от синхронной на величину скольжения ротора главного мотора, дает переменный ток с частотой, равной частоте скольжения, поступающей в ротор регулируемой машины. Благодаря этому незави-

---

[1] О регулировании нагрузки синхронных преобразователей частоты см.—Gener. El. Rewiew № 10, 1932 г. (Ред.).

НТБ ДГУЖТ

симому регулированию скорости индукционного мотора можно воздействовать на отдачу или потребление энергии главного индукционного мотора или генератора независимо от скорости последнего, определяющейся частотой распределительной системы. Одновременно это допускает и регулирование коэфициента мощности мотора и генератора. На практике это регулирование производится автоматически, исходя из заранее заданной постоянной величины нагрузки или коэфициента мощности и переменных величин частоты, силы тока и напряжения. Одна из таких установок изображена на рис. 18.

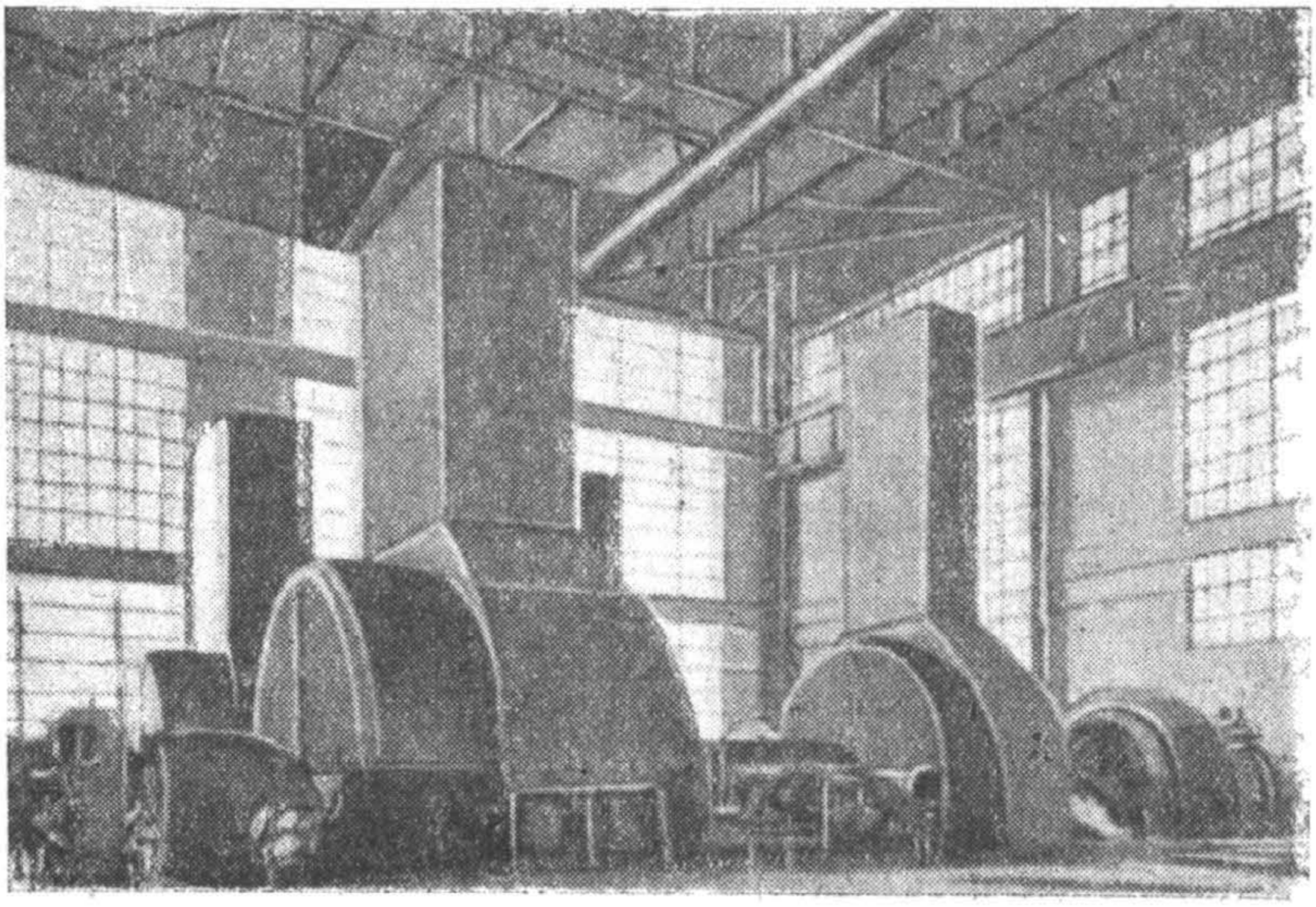


Рис. 18. Агрегат для преобразования частоты с регулированием отдачи мощности.

Характеристики современных установок агрегатов для преобразования частоты в С. Штатах приведены в следующей таблице:

Частоты	Регулирование частоты в процентах	Скорость об./мин.	Номинальная мощность генератора (в kVA)	Номинальная мощность мотора (в л. с.)
25—25	6	750	7 140	7 200
60—25	8	500	7 140	7 200

Регулирующие машины	Общий вес агрегатов (в m)	к. п. д.	
		При 50% нагрузки	При полной нагрузке
4	175	83	88
2	168	80	87

НТБ ДНУЖТ

Управление аппаратурой подстанций. Более ранние типы подстанций строились в расчете на ручное управление. Пуск в ход или действие осуществлялись путем ряда последовательных операций, исполняемых обслуживающим персоналом, и хорошая работа оборудования всецело зависела от наблюдения за общими условиями работы. С развитием конструкций реле, контакторов и дистанционного управления стали осуществимыми и различные системы автоматического управления.

Выполнение последовательных операций пуска и остановки оборудования, начиная от включения переменного тока до включения автоматов постоянного тока, может быть произведено при помощи соответствующих реле, должным образом сблокированных и приводимых в действие согласно указаниям главного контроллера, устанавливающего всю последовательность операций для того, чтобы таковые совершались в надлежащем порядке.

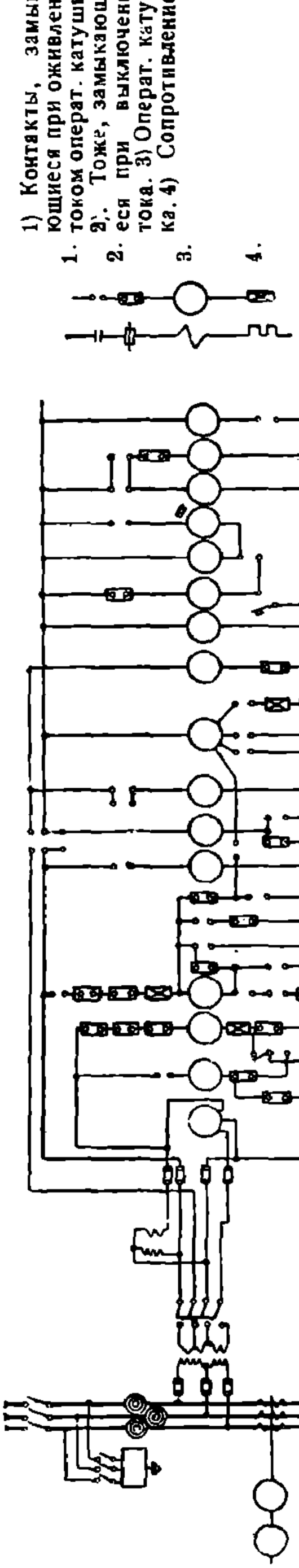
Первоначальной причиной для начала требуемого последовательного ряда операций может служить например приказание, переданное с ближайшей подстанции или из конторы диспетчера, регулирующего нагрузку, или, при совершенной автоматизации, хотя бы падение напряжения в контактной сети ниже определенной величины.

Другие элементы оборудования подстанции могут быть пущены с помощью различных приборов, указывающих например на перегрузку первой единицы, выражающейся в перегреве машины, и нагреве контрольных сопротивлений, включенных последовательно в цепь. Во время нормальной работы импульс для остановки может быть дан в виде указания наблюдающего персонала при частичном обслуживании подстанции, и в виде реакции соответствующего реле на отсутствие должной нагрузки при полной автоматизации. В условиях нормальной работы импульс для остановки может получаться от многих приборов, регулирующих нормальную работу оборудования. Ненормальные условия работы, как-то: понижение напряжения, перегрев обмоток или добавочного сопротивления выключают машину; затем она автоматически пускается в ход при восстановлении нормальных условий работы. Другие условия, как например чрезмерный нагрев подшипников, круговой огонь на коллекторе, чрезмерная скорость вращения, потеря возбуждения, неправильная последовательность операций и т. д., выключают машину, и работа прекращается до тех пор, пока не будет произведен соответствующий осмотр.

В зависимости от типов и характера аппаратуры меняется и последовательность операций при автоматическом пуске и остановке подстанции. Однако большей частью первая операция—это присоединение шин переменного тока подстанции к фидерам, включение статора и поднятие щеток с коллектора. Затем пониженное пусковое напряжение включается в цепь машины и ротор последней приобретает соответствующую скорость. Затем в цепь генератора для независимого возбуждения с соблюдением надлежащей полярности включаются обмотки возбуждения. Следующая операция состоит в том, что машине дается полное напряжение (при нормальном возбуждении) и опускаются щетки. И наконец последняя операция—включение контактора постоянного тока и включение машины через ограничительное сопротивление. Если сила вырабатываемого тока при этом недостаточно велика, то ограничительные сопротивления соединяются параллельно.

НТБ ДНУЖТ

Остановка машины—менее сложный процесс и заключается только в выключении контактора постоянного тока и затем масляного выключателя на стороне переменного тока.



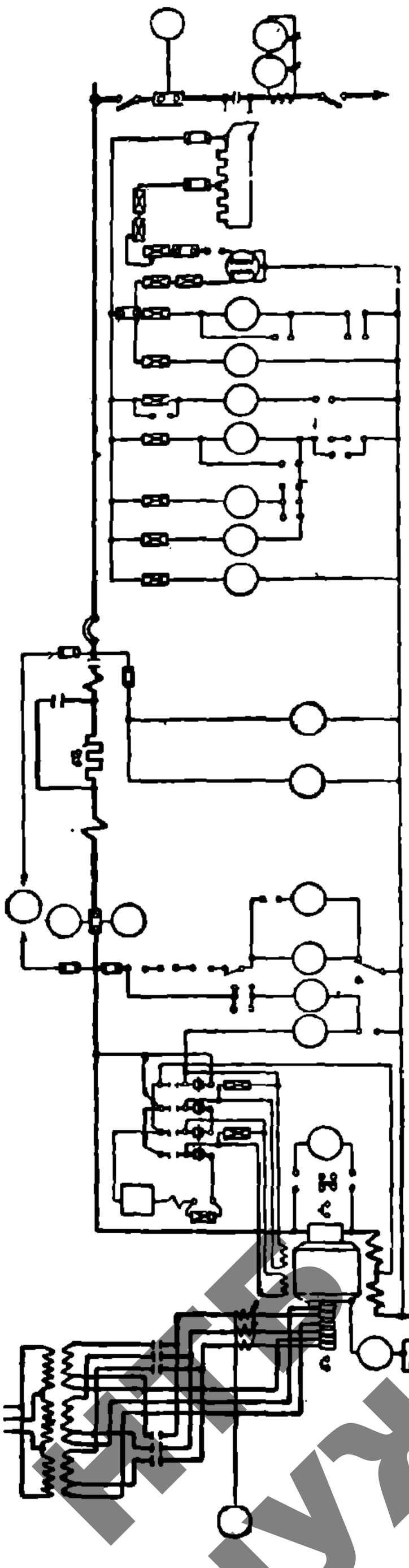


Рис. 19. Автоматическое управление подстанции с одноякорными преобразователями

Одним из наиболее важных вопросов автоматического оборудования является настройка защитных и контролирующих реле. Термические реле контролируют температур усопротивлений и величину трения в под-

ДНУЖТ

шипниках. Нагрев обмоток машин и трансформаторов оказывает соответствующее действие на реле, учитывающее характеристики нагрева оборудования. Чрезмерная скорость вращения заставляет замыкаться контакты центробежного механизма. Обычные реле максимального тока, диференциальное реле, реле обратного тока, реле напряжения и другие применяются в качестве контролирующих приборов при других процессах. Работа всех этих аппаратов может регистрироваться таким образом, что наблюдающее лицо немедленно получает указание о месте неисправности, вызвавшей остановку машины.

В процессе развития автоматического управления подстанций большое развитие получила также и автоматическая защита машин и аппаратов от перегрузки. Защита машин была весьма усовершенствована изобретением элементов сопротивления, автоматически включаемых в цепь машины при превышении нагрузки выше установленного процента от номинальной мощности. Это сопротивление, ограничивающее предельную нагрузку, бывает одноступенчатым для шунтовой машины и многоступенчатым для компаундных машин.

Другим достижением в этой области явилось изобретение автоматического действия фидерных выключателей. Избирательное отключение цепи высокого напряжения при помощи быстродействующего автомата,—его описание дается ниже,—было усовершенствовано изобретением термических реле, приводящих в действие автомат в случае продолжительных, но не сильных перегрузок и приборов, заставляющих его вновь включаться. Вторично включающий прибор действует, когда сопротивление цепи нагрузки, определяемое током, проходящим через ограничитель нагрузки, достаточно для восстановления нормального напряжения.

Это позволяет выключателю, как только короткое замыкание или перегрузка устранены, автоматически вновь включить данный фидер.

Дистанционное управление. За последние годы управление на дальнем расстоянии достигло больших успехов.

Первоначальная идея дальнеуправления возникла в связи с управлением на расстоянии таким оборудованием, как масляные выключатели, приводимые магнитными механизмами или моторами. Следующей стадией развития явилось применение проводов управления электрическими цепями. Из этих приборов, примененных для управления, автоматическим оборудованием, в дальнейшем развился простейший тип дистанционного управления. Вследствие дороговизны кабелей появилось стремление создать такую систему дистанционного управления, чтобы, по возможности, избегнуть большого числа проводов.

Было изобретено два способа многократной передачи импульсов по небольшому числу проводов (рис. 20 и 21). Первый способ, известный под названием «селекторного метода», был заимствован из телефонной практики. Передача по коду простых электрических импульсов производится при помощи особого кулачкового выключателя, приводимого в действие вручную или электромотором; обычно применяются три цепи для групп отдельных импульсов. Эти импульсы получаются всеми селекторными реле, включенными в цепь, однако только одно из них, настроенное на какой-либо определенный код, будет на эти импульсы реагировать. Роль реле заключается в замыкании контакта какой-либо цепи управления на подстанции, где данное реле расположено.

НТБ ДГУЖТ

Для этой системы требуются трехпроводная цепь, два провода—для рабочих процессов и показаний приборов и третий—для операции замыкания. Оборудование диспетчерского пункта состоит из кнопок, при помощи которых производится замыкание цепи и из селекторов, получающих соответствующие импульсы тока, которые отмечаются красными и зелеными лампами, находящимися возле каждой кнопки. Эти огни таким образом непрерывно указывают на положение аппарата, находящегося на расстоянии. Оборудование управляемых пунктов, располо-

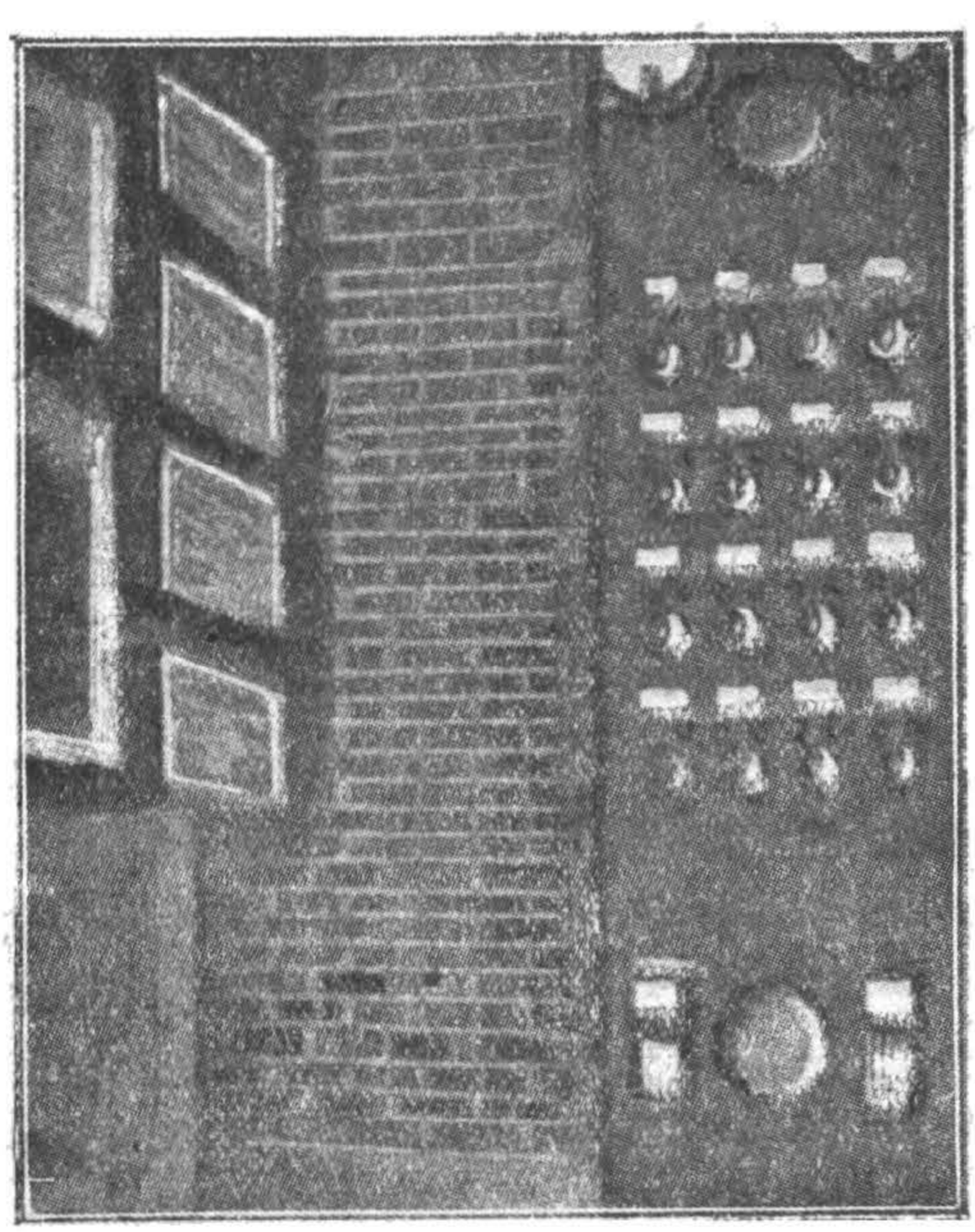


Рис. 20. Приемное устройство в системе управления на расстоянии.

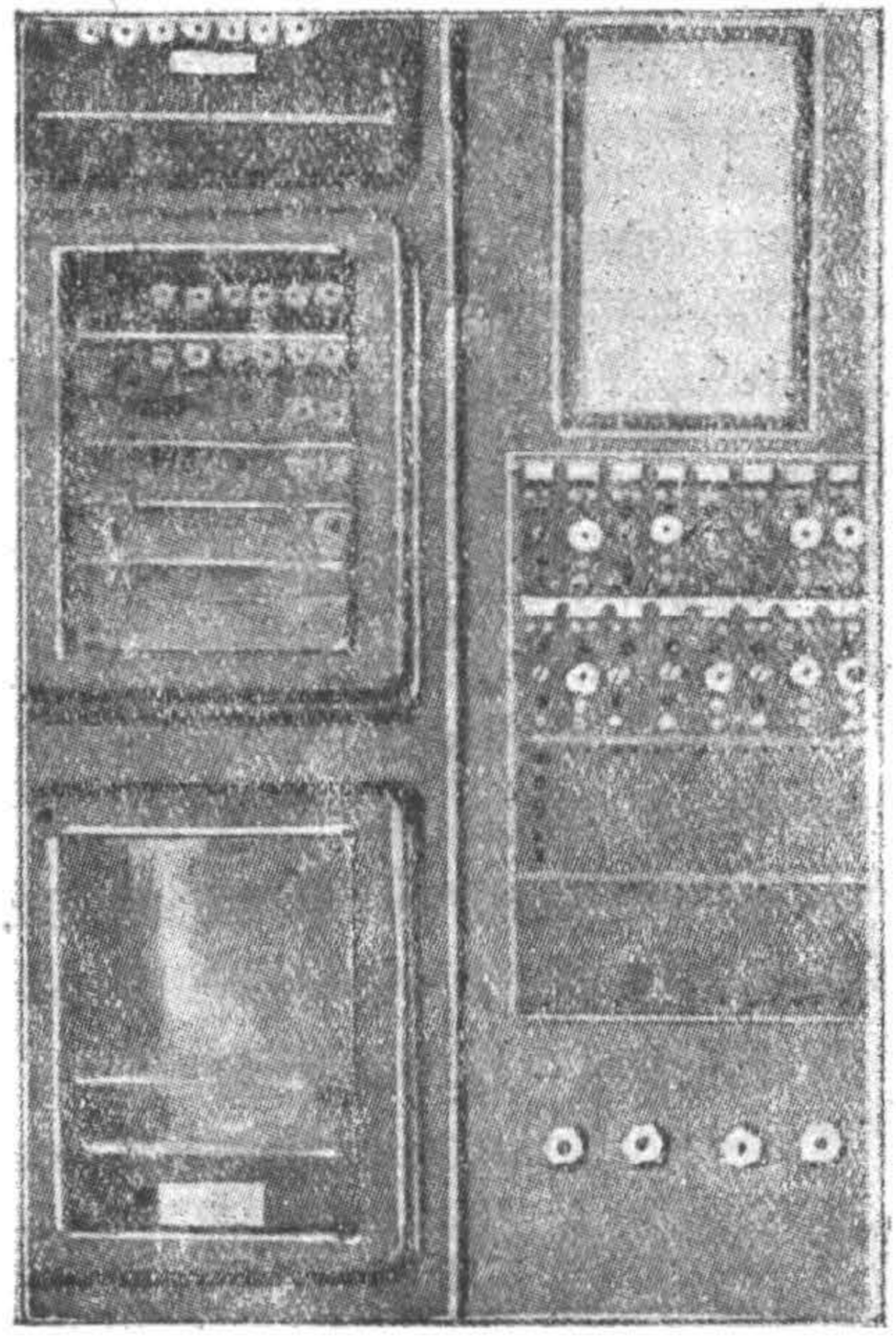


Рис. 21. Диспетчерское оборудование в системе управления на расстоянии.

женных на расстоянии, состоит из селекторов, приводящих в действие реле, и кнопок для обратной передачи указаний диспетчеру; последние приводятся в действие мотором. Во избежание двух или нескольких передач по коду одновременно устраиваются выключающие реле, и импульсы одного кода не передаются до тех пор, пока цепь не будет свободной. При таком оборудовании для одного цикла требуется 8 секунд.

Другой вид управления известен под названием «системы с распределителями». При ней возможно более быстрое управление и нет необходимости задерживать передачу импульсов в ожидании полного освобождения цепи. Многократные вращающиеся выключатели, работающие синхронно, управляются из диспетчерской конторы и из пунктов, находящихся на расстоянии. Каждая из нескольких контрольных цепей подстанции через каждые 5 секунд замыкается посредством поляризованного реле, получающего положительный или отрицательный ток через одновременно действующие контакты распределительного выключателя цепи, присоединенного тремя проводами к диспетчерской контрольной доске. Это позволяет диспетчеру включать по желанию любую из этих цепей

НТБ ДНУЖТ

для того, чтобы вызвать работу любого контрольного прибора. При этой системе требуются четыре провода: 1) для управления, 2) для показаний, 3) для синхронизации распределительных выключателей и 4) в качестве обратного провода. При этом может быть произведено любое число операций одповременно, причем контроль их производится автоматически и поочередно через каждые 5 секунд.

Обе эти системы дали на практике хорошие результаты. Преимущества подстанций или секционных пунктов, оборудованных исключительно автоматическими аппаратами, и дистанционный контроль их действия особенно хорошо выявились в случаях повреждения контрольных кабелей. Точно так же выявилась желательность контроля смежных пунктов различных цепей при селекторной системе.

Сравнение различных систем преобразователей. Электрические характеристики имеющихся в эксплоатации трех типов преобразователей, преобразующих переменный ток в постоянный, различны. Мотор-генератор имеет преимущества, связанные с независимостью и раздельностью сторон постоянного и переменного тока.

Легкое регулирование коэфициента мощности позволяет регулировать и напряжение питающих линий передач. Изменение напряжения отдаваемого постоянного тока осуществимо в самых широких пределах. Как в случае одноякорного преобразователя, так и ртутного выпрямителя, напряжения переменного и постоянного тока имеют определенное соотношение регулирование напряжения постоянного тока возможно лишь путем изменения напряжения переменного тока. Возможность изменения коэфициента мощности с помощью одноякорного преобразователя ограничена прямой пропорциональностью между напряжением отдаваемого постоянного тока и напряжением получаемого переменного тока, вследствие чего изменение коэфициента мощности будет вызывать изменение напряжения как на стороне переменного тока, так и постоянного тока.

В случае выпрямителя вообще не имеется средств для исправления коэфициента мощности. Однако внутренние характеристики этого типа преобразователя благоприятны тем, что его коэфициент мощности приблизительно равен единице (ок. 0,94).

Конструкция одноякорных преобразователей такова, что получение напряжения свыше 1 500 V является при работе одной машины невозможным. Даже в случае мотор-генератора для получения 3 000 V постоянного тока желательно применение двух динамомашин, последовательно включенных. Ртутный же выпрямитель по своей сущности есть прибор для выпрямления тока, и повышение напряжения не оказывает на него другого влияния, помимо повышения к. п. д. вследствие повышения преобразуемой мощности.

Характеристики всех трех типов преобразователей возможно контролировать так, что параллельная работа является возможной. В отношении обратимости только один ртутный выпрямитель не может иметь обратного действия и превращать постоянный ток в переменный.[1] Тем самым область его применения ограничивается такими условиями, где не требуется рекуперация энергии от электровозов для отдачи в сеть переменного тока.

---

[1] Относительно обратимости ртутных выпрямителей—см. Gener. El. Review № 8, 1932 г. (Ред.)

НТБ ДНУЖТ

Пуск ртутных выпрямителей наиболее несложен и требует только включения зажигания и затем фидерных выключателей.

При обоих типах вращающихся преобразователей машины должны быть доведены до синхронной скорости и должна быть определена полярность для одноякорного преобразователя и порядок фаз для обоих; эти операции предшествуют включению фидеров. С точки зрения быстроты пуска и других операций преимущество остается за ртутным выпрямителем. Автоматическое управление для выпрямителя более просто, чем для вращающихся преобразователей, именно в виду менее сложной системы пуска.

Из трех аппаратов самым неустойчивым при ненормальных условиях работы является одноякорный преобразователь. Неполадки на стороне переменного тока отражаются в виде кругового огня или искрения на коллекторе. Короткое замыкание на стороне постоянного тока в виде кругового огня у него бывает чаще, чем у мотор-генератора. И одноякорные преобразователи и мотор-генераторы выпадают из синхронизма в случае короткого, или в случае изменения частоты сети больше, чем на несколько периодов в секунду. Выпрямитель подвержен опасности обратного зажигания, которое однако прерывает работу лишь на несколько секунд. Вследствие того, что он не является синхронным двигателем, он не подвержен выпадению из синхронизма по причинам, связанным с ненормальностями первичной системы.

С точки зрения эксплоатации выпрямитель имеет большие преимущества благодаря отсутствию частей, требующих замены вследствие износа. Требуется лишь надзор за состоянием уплотнений.

Вследствие большей устойчивости мотор-генераторы работают более исправно, чем одноякорные преобразователи.

С экономической точки зрения важное значение имеет общая стоимость установки и потери энергии при преобразовании. В зависимости от различных условий и напряжений отдаваемого постоянного тока значительно колеблются цены оборудования. Стоимость выпрямителя увеличивается относительно медленно по сравнению с увеличением напряжения. В этом отношении он имеет вполне определенное преимущество перед всеми другими типами при напряжениях свыше 2 000 V Изменения цен видны из нижепомещенной таблицы, дающей общую стоимость оборудования. Цена оборудования мотор-генераторной установки принимается за 100%.

Кроме издержек на оборудование следует также принять во внимание и расходы по фундаментам и зданиям. Выпрямитель занимает значительно меньше места, чем одноякорный преобразователь, а последний в свою очередь требует меньше места, чем мотор-генератор. Например для 600-вольтного оборудования в одном случае отношение требуемых площадей соответственно составляло: 108 : 131 : 282. Соотношение весов приблизительно такое же; выпрямитель имеет в этом отношении преимущество. Приблизительно это отношение весов равнялось 20:65:132.

Относительные коэфициенты полезного действия различных типов изменяются в соответствии с характеристиками. Коэфициенты полезного действия вращающихся машин имеют тенденцию резко понижаться при низких нагрузках вследствие относительно больших постоянных потерь в железе, на трение, от сопротивления воздуха и т. д.

Наоборот выпрямитель при низких отдачах сохраняет высокую отдачу вследствие того, что его потери в значительной мере пропорцио-

НТБ ДПУ

Первоначальные затраты на оборудование в процентном отношении к цене мотор-генератора

	Постоянный ток 600 V (%)	Постоянный ток 3 000 V (%)
Одноякорный преобразователь .	91	Неприменим
Мотор-генератор .	100	100
Ртутный выпрямитель.	115 [1]	87

нальны первой степени силы тока. По этой же самой причине потери не возрастают с повышением напряжения, и если с повышением напряжения повышается мощность, то повышается и к. п. д.

Приводимая ниже таблица показывает эти изменения коэфициента полезного действия при различных нагрузках, напряжениях и величинах нормальной мощности различных типов преобразователей.

Коэфициенты полезного действия (%)

Процент нагрузки	600 V 500 kW				600 V 3 000 kW			1 500 V 1 500 kW			
	Одноякорный преобразователь		Выпрямитель		Одноякорный преобразователь	Мотор-генератор	Выпрямитель	Одноякорный преобразователь		Выпрямитель	
	25	60	25	60	60	60	60	25	60	25	60
	периодов в секунду										
25	87,7	85,2	92,0	91,2	—	—	—	89,6	87,5	93,5	—
50	92,0	90,0	93,0	93,6	92,5	87,3	93,2	92,7	92,3	95,0	95,3
75	93,3	92,0	93,1	94,0	—	—	—	94,0	93,5	95,1	96,1
100	93,5	92,6	93,0	93,8	94,0	90,6	93,5	94,4	93,6	94,9	96,1

[1] Процентное соотношение первоначальных затрат на мотор-генераторы и ртутные выпрямители при напряжении 600 V является несомненно ошибочным. Процент на ртутные выпрямители должен быть понижен по крайней мере до 100. Однако, нужно заметить, что вплоть до настоящего момента цены на ртутные выпрямители являются непомерно высокими благодаря существующей монопольной цене на них, поскольку еще далеко не все фирмы полностью овладели процессом производства. (Прим. ред.).

НТБ ДНУЖТ

Высокая отдача выпрямителя при низких нагрузках является важным фактором для сохранения низкой величины годовых потерь. Там, где нагрузки имеют большие колебания, как например на железных дорогах, эти преимущества чрезвычайно важны.

Результаты работы одноякорного преобразователя и выпрямителя мощностью в 3 000 kW и приблизительно с одинаковыми средними нагрузками в 360 и 380 kW при фактических одинаковых условиях работы за несколько дней дали следующие цифры средне-суточного к. п. д. преобразователь—73%, выпрямитель—89%.

Таким образом для установок с высоким напряжением выпрямленного тока ртутный выпрямитель должен считаться наиболее желательным типом преобразователя, исключая естественно условия, при которых является необходимым рекуперация энергии или исправление коэфициента мощности питающей сети.

В этом направлении, по мере того как преодолеваются затруднения с обратным зажиганием и по мере понижения цены 1 kW с повышением мощности, ртутный выпрямитель имеет большие преимущества. При низких же напряжениях нельзя с такой определенностью указать на тот или другой тип преобразователя; каждый из них имеет свои благоприятные свойства, но с понижением стоимости выпрямителей преимущества могут быть и на их стороне.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА V

СХЕМЫ ПИТАНИЯ И СЕКЦИОНИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Оборудование для выключения и включения конктактной сети является на подстанции наиболее важной частью общего оборудования по отношению к бесперебойности электроснабжения. Оно должно выдерживать максимальные токи коротких замыканий и заземлений, случающихся более часто, чем в обыкновенных электрических сетях. Вся система изолирования неисправных участков путевой сети и возможность предупреждения задержек поездов вследствие неисправностей в сети зависят от точности работы выключающего оборудования. Любая система последнего должна удовлетворять определенным условиям: во-первых, чтобы оно само по себе не являлось источником неисправностей и аварий; во-вторых, чтобы оно отключало и изолировало поврежденные линии быстро и с наименьшими возможными повреждениями, и наконец — последнее, чтобы оно включало в работу поврежденные линии, как только обстоятельства это допустят.

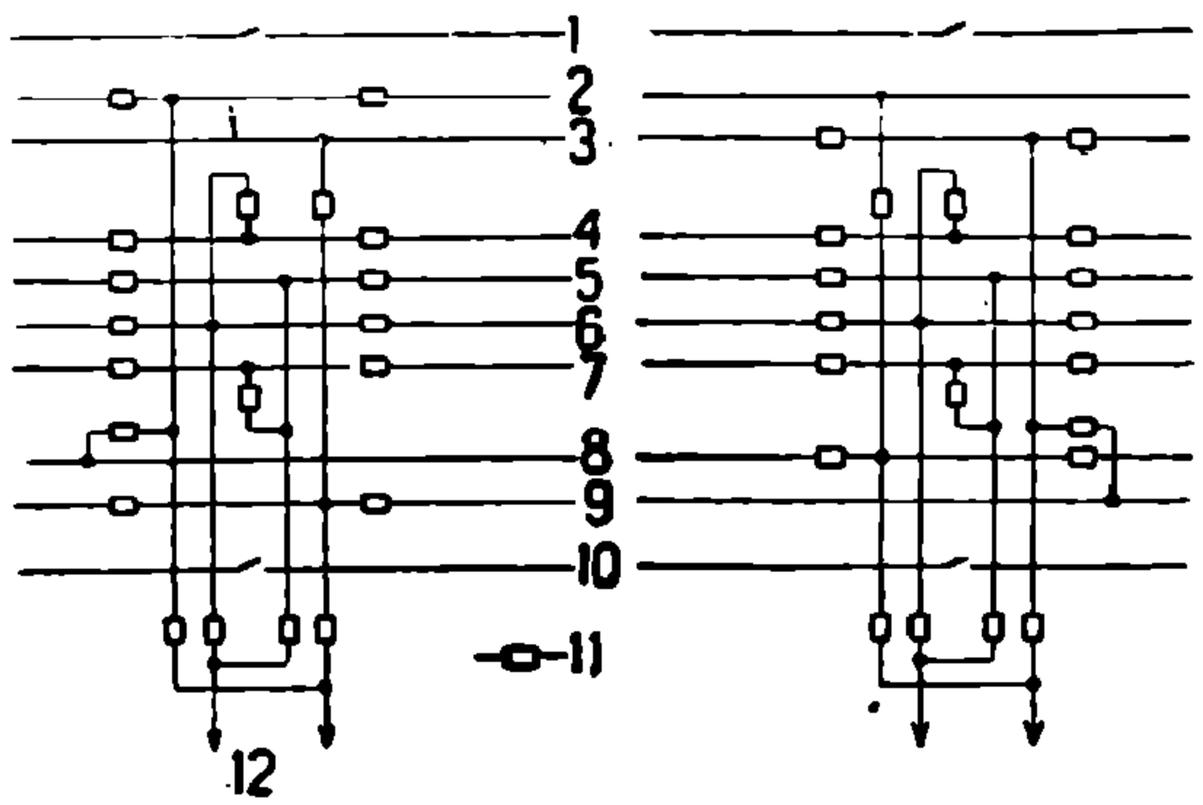


Рис. 22. Прежняя схема расположения выключателей и секционирования с якорными мостиками над путями.

1—Контрольный провод № 1. 2—Фидер № 3, 3—Фидер № 1. 4—7. Контактные провода. 8—Фидер № 2. 9—Фидер № 4. 10. Контрольный провод № 2. 11—Автоматический масляный разъединитель, работающий от перегрузки при протекании тока по контрольному проводу 12—к автотрансформатору.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ И ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Прежние системы выключателей. Средства, которыми пользовались на подстанциях переменного тока для исполнения вышеперечисленных функций, были разнообразны и эволюционировали в своем развитии одновременно с приборами для секционирования, расположенными вне подстанций. Первоначальная конструкция секционирующего автомата была такова, что он должен был размыкаться не при полном токе заземления, а лишь по прошествии некоторого промежутка времени, в течение которого величина силы тока понижалась включением сопротивления в питающую цепь (рис. 22). Это замедление производилось

НТБ ДГУЖТ

с помощью контрольного провода, проложенного вдоль контактной линии. Контрольный провод при нормальных условиях током не обтекается, вследствие чего никакой ток не может воздействовать на выключающий механизм выключателя. Когда же сопротивление включилось, то по контрольному проводу начинает течь ток и соответствующий выключатель посредством реле перегрузки размыкается (рис. 23). На практике эти реле при установке на участках, питаемых с обоих концов и с подачей энергии из различных пунктов, особой избирательностью не обладают.

В случае очень большого тока заземления может произойти выключение еще нескольких выключателей в дополнение к тем двум, которые питают данный участок распределительной сети. Это не является дефектом системы, а происходит лишь вследствие того, что обыкновенные реле перегрузки не могут обладать селективностью при многопутной системе. Помимо специальной защиты питания контактной сети в пунктах секционирования устанавливаются также автоматы для защиты в случае повреждения на шинах. Это достигается путем выключения всех автоматических выключателей в результате действия многоконтактного реле, включенного к вторичным обмоткам всех трансформаторов тока питающих фидеров или к специальной шине, включенной последовательно со всеми дополнительными вторичными обмотками этих трансформаторов.

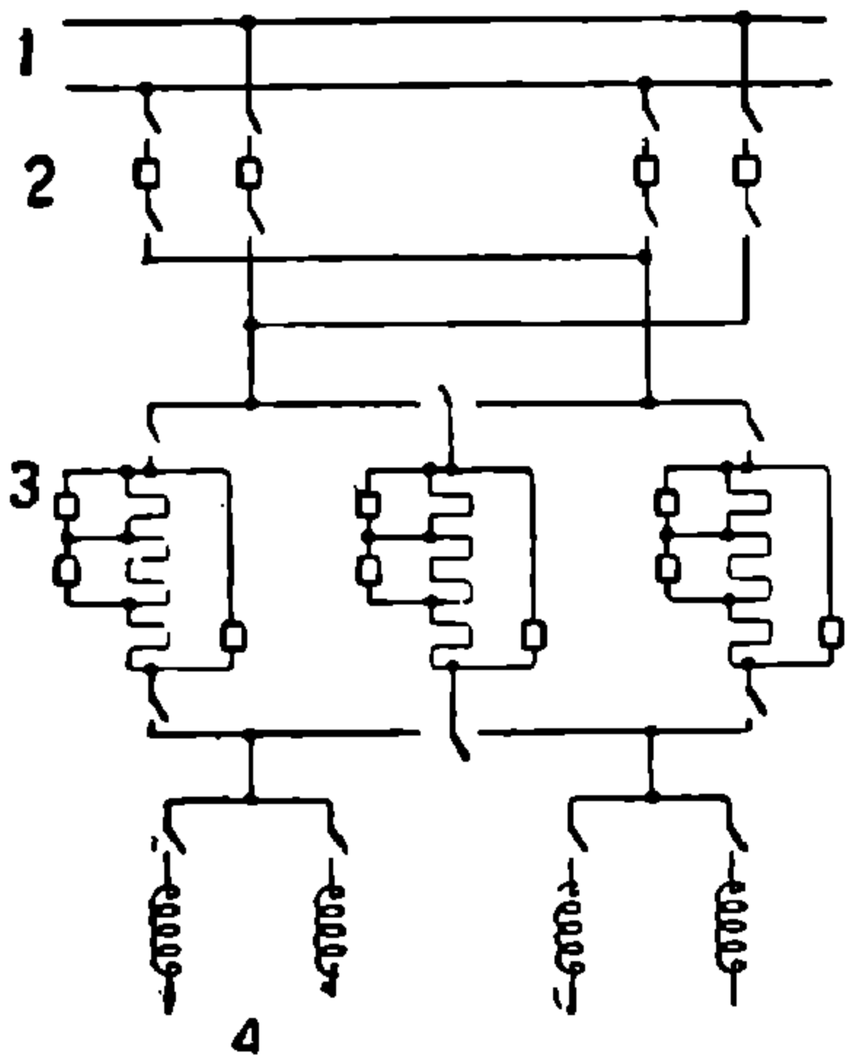


Рис. 23. Прежняя схема для ограничения тока посредством сопротивления и расположения главных масляных выключателей.

1—Шины 22 000 V. 2—Главные автоматы. 3—Выключатели, шунтирующие сопротивления и последовательно размыкающиеся при коротком замыкании, вследствие чего сила тока уменьшится прежде, чем контрольный провод будет оживлен током и воздействует на выключатели якорного мостика.

Защита трансформаторов осуществляется размыканием масляных выключателей трансформаторных фидеров с помощью максимального токового реле.

В Европе существует много разнообразных систем коммутационного оборудования высокого напряжения для однофазной распределительной сети. Во многих случаях выключатели снабжаются встроенными сопротивлениями, через последовательные контакты которых происходит размыкание главных контактов выключателя.

В некоторых случаях имели место попытки снизить расходы на оборудование путем производства всех операций по секционированию в секционных пунктах вручную и устройства автоматического выключения только на подстанциях. Несомненно, такое стремление к экономии должно быть проверено с точки зрения требований движения и необходимости быстрого пуска в работу соответствующих участков сети.

Подобная упрощенная система выключения распределительной сети показана на рис. 24. В случае работы на двухпутном участке фидер заменяется контактными проводами на втором пути.

Масляные выключатели на подстанциях размыкаются через находя-

НТБ ДНУЖТ

щиеся при них сопротивления. Их разрывная мощность измеряется в пределах от 150 000 до 250 000 kVA и они приводятся от мгновенно-действующих реле перегрузки, размыкающих цепь в течение 0,3—0,4 секунды. Продольное секционирование участков сети производится вручную с помощью выключателей, находящихся в пределах ж.-д. станций и приводимых в действие по распоряжению подстанции станционным механиком или другим лицом.

Группа выключателей, предназначенных для секционирования сети в средине между двумя подстанциями, разделена соответствующим образом для питания каждого участка от любой подстанции. Обычно каждый участок питается лишь с одного конца и подстанции со стороны распределительной сети друг с другом не связаны. При повреждении какого-либо участка сети поврежденный фидер или контактная сеть

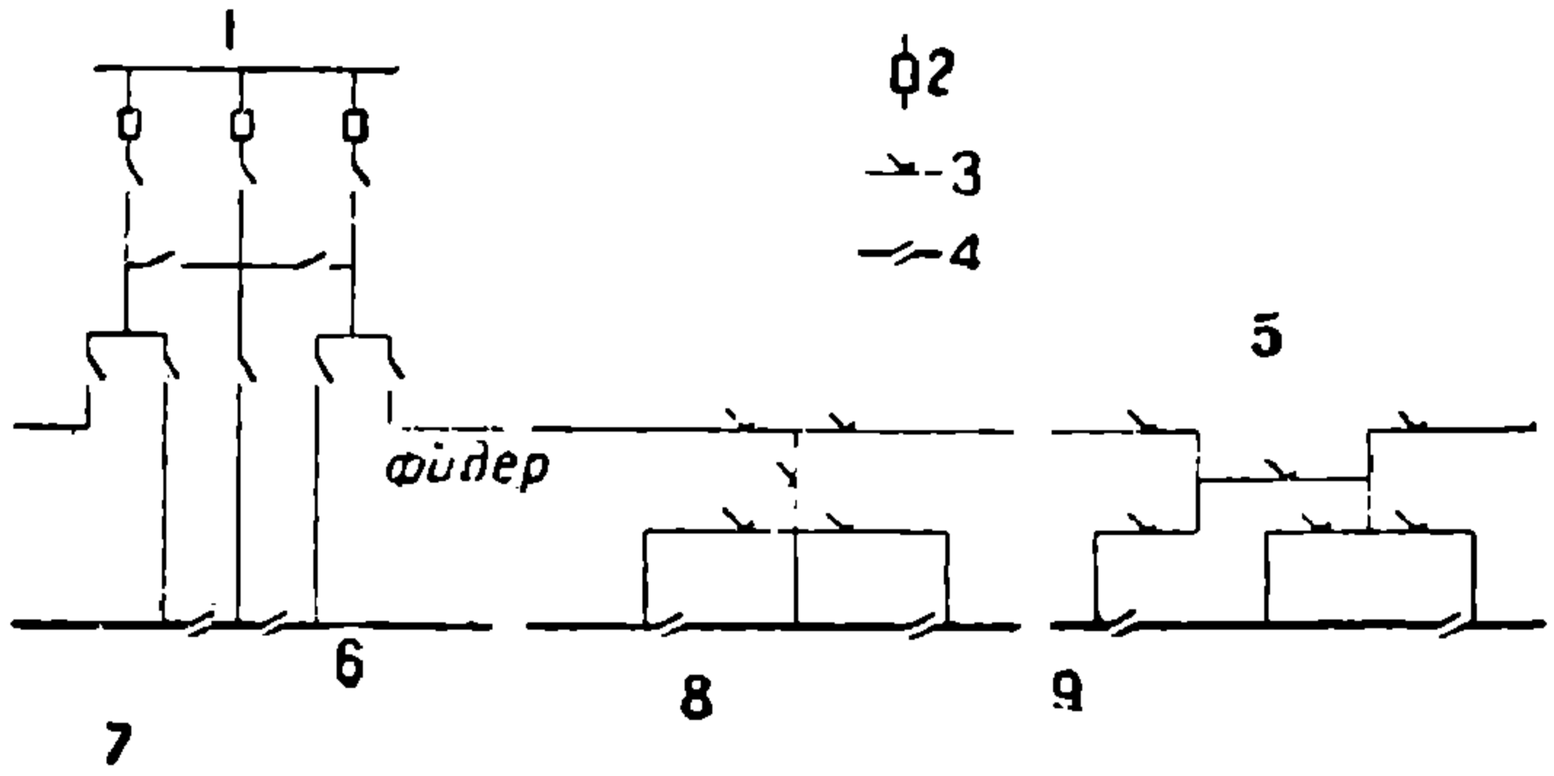


Рис. 24. Простая схема расположения выключателей и секционирования.

1—15 000-вольтные подстанционные шины. 2—Автоматический масляный выключатель. 3—Выключатель с рогами для искрогашения. 4—Секционирование контактного провода. 5—Нормально разомкнут. 6—Контактный провод 7—Подстанция. 8—Ординарный секционный пост. 9—Промежуточный пункт. секционирования в средине между подстанциями.

присоединяются к шине последовательно с сопротивлением, с масляным охлаждением, величиной в 2 000 ом, понижающим силу тока до 5—8 А. Это устройство имеет определенное преимущество, не допуская протекания тока к поврежденному участку, что вызвало бы серьезные повреждения; однако в случае отсутствия короткого замыкания к цепи может быть приложено достаточное напряжение для того, чтобы произвести ее испытание и поверку. Для нахождения места повреждения дежурный электромонтер пробует состояние линии, включая и выключая различные выключатели на секционных постах путем телефонных распоряжений линейным монтерам.

Подобное распределительное устройство имеет свои преимущества: во-первых, здесь только один выключатель будет размыкаться в случае короткого замыкания, так как каждый участок контактного провода питается лишь в одном пункте. Во-вторых, оно также уменьшает силу тока при коротком замыкании до сравнительно небольшой величины. При применении либо фидера, либо цепи контактного провода второго пути для питания двух цепей оба участка всегда и в достаточной степени обеспечиваются подачей энергии.

НТБ ДГУЖТ

С помощью соединительного выключателя на промежуточном пункте между подстанциями питание в случае надобности может производиться от любой подстанции. Для сортировочных или станционных путей устраивается особый фидер или отдельная секция контактных проводов, что предохраняет магистральные линии от многих повреждений. Опыт показал, что большая часть заземлений контактного провода происходила именно на сортировочных станциях и на территориях станций вообще.

Защита по системе Мерца. При электрификации двухпутных участков, на которых интенсивность и значительность перевозок требуют применения всякого рода усовершенствований, пользуются в отношении соединений вспомогательных и контрольных проводов системой Мерца (рис. 25).

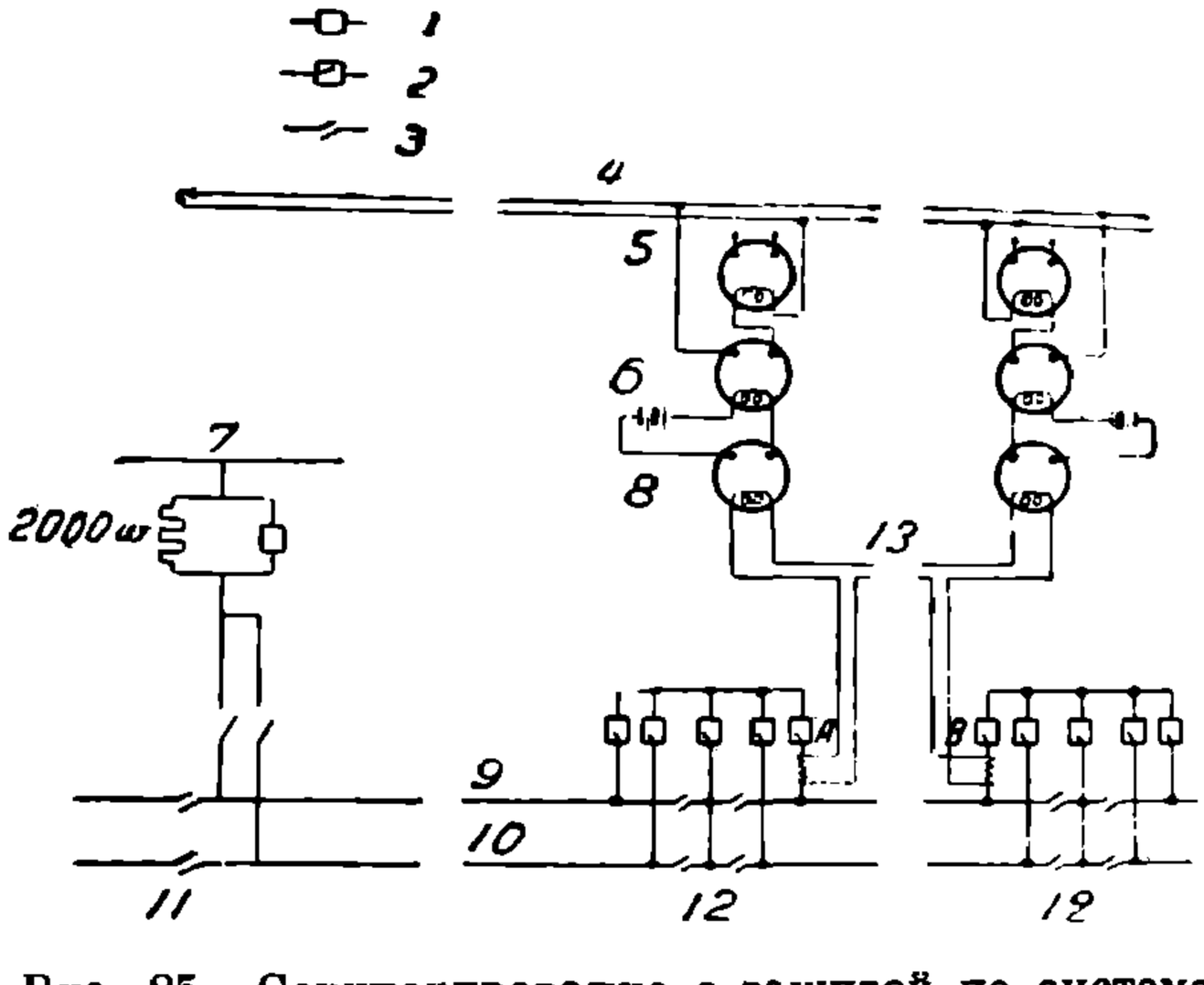


Рис. 25. Секционирование с защитой по системе Мерца.

1—Автоматический масляный выключатель. 2—Масляный разъединитель, управляемый на расстоянии. 3—Секционирование контактного провода. 4—Контрольные провода. 5—Выключающее реле для масляников А и В. 6—Реле времени. 7—Шины подстанции. 8—Мгновенное реле перегрузки. 9—Контактный провод I пути. 10—Контактный провод II пути. 11—Подстанция. 12—Секционирующий пункт. 13—Контр. провода.

В каждом секционирующем пункте устанавливаются масляные разъединители, приводимые электрически и присоединяющие каждый участок магистральной контактной линии и станционных путей к общей шине. Параллельно каждой линии магистрали между секционными постами проложены два вспомогательных провода, соединяющих между собой вторичные обмотки трансформаторов тока в питающих цепях соседних секционных пунктов.

Вспомогательная цепь замыкается через реле перегрузки. Обмотки трансформаторов тока включены таким образом, что при питании через контактную сеть одного участка от другого, в случае короткого замыкания на первом, ампервитки вторичных обмоток направлены навстречу друг другу и взаимно компенсируются. Однако при заземлении на данном участке, о котором идет речь, ток течет к месту заземления с двух сторон и равновесие токов нарушается, что приводит в действие реле, установленное на обоих концах участка, так как ток короткого превышает нормальную величину тока нагрузки, на которую устанавливаются реле. Мгновенное действие этих реле передается замедляющему реле времени, которое приходит в действие через $^1/_2$ или 1 минуту; в течение этого времени масляный выключатель данного фидера на подстанции размыкается через сопротивление и сила тока ограничивается до небольшой величины. Дежурный на подстанции отмечает силу тока и если оказывается, что величина последней указывает на короткое

НТБ ДГУЖТ

замыкание, то он замыкает цепь контрольных проводов и тем самым разъединяет секционирующие выключатели, которые устроены таким образом, что их размыкание происходит от действия реле перегрузки. Затем, убедившись в том, что неисправная линия выключена, он снова может включить главный выключатель.

Если же короткое замыкание прекратилось, он снова замыкает главный фидерный выключатель, не замыкая цепи контрольных проводов.

В первое время эксплоатации этой системы защиты часто случались перебои в ее работе вследствие неисправности контактов, колебаний времени, потребного на выключение и трудности надлежащей регулировки катушек реле и трансформаторов тока, что в результате вызывало неправильное размыкание цепи.

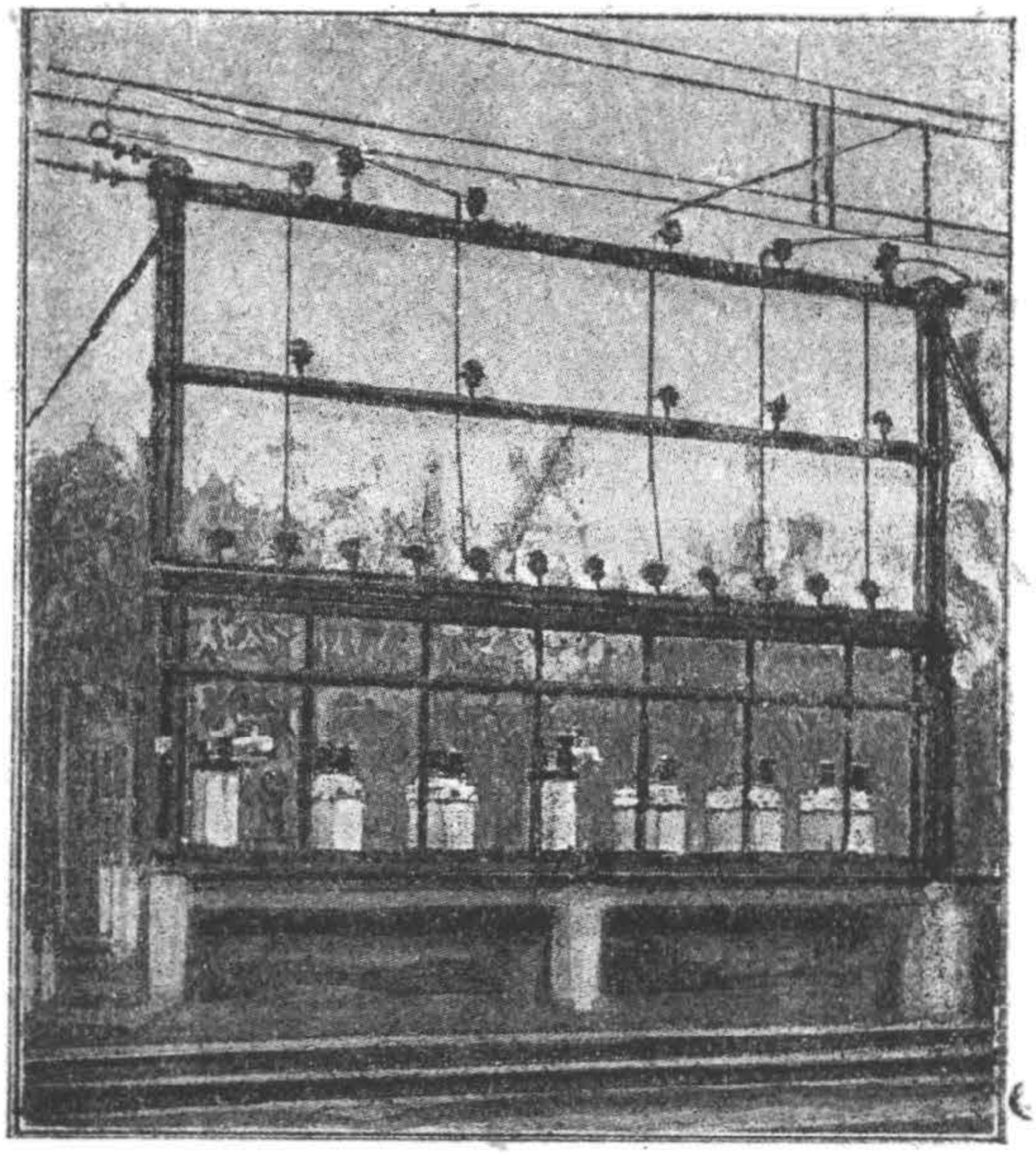


Рис. 26. Система расположения приборов секционирования с масляными разъединителями на швейцарских ж. д.

Защитные устройства для выключения и секционирования с помощью приборов, зависящих от напряжения. Система защиты, приводимая в действие в зависимости от напряжения, имеет свои преимущества, понижая стоимость устройства. Вместо срансформаторов тока в качестве первичных элементов в секционирующих пунктах устанавливаются реле нулевого напряжения, которые и служат для приведения в действие масляных разъединителей (рис. 26—27).

Все процессы по секционированию поврежденного участка происходят всегда вслед за мгновенным размыканием масляных автоматических выключателей на обоих подстанциях и питанием линии через защитное ограничительное сопротивление. Если напряжение падает до нуля вследствие короткого замыкания, то первыми отъединяются подстанции. Промежуточный секционный пункт между подстанциями оборудован автоматическим выключателем, который размыкается при нулевом напряжении через 10 секунд и выключает обе подстанции.

Затем секционирующий выключатель, работающий от реле нулевого напряжения в первом секционирующем пункте, считая от промежуточного пункта, или наиболее удаленный от подстанции, размыкает свой контакт в течение 15 секунд, выключая этот участок. Если короткое замыкание произошло не на данном участке, то напряжение все еще остается близким к нулю и еще через 15 секунд размыкается выключатель в ближайшем от подстанции пункте секционирования. Если этот соседний участок действительно поврежден, то на всей остальной линия напряжение возвращается к нормальному значению и главный масляный выключатель снова замыкается.

НТБ ДПУЖТ

В связи с этими операциями особые часы на подстанции регистрируют секунды нулевого напряжения, что дает возможность установить место нахождения выключателя, который выключается последним и затем находят поврежденный участок.

Тем временем половина линии между соседними подстанциями, питаемая от другой подстанции, уже получает полное напряжение благодаря отключению соединительного выключателя промежуточного пункта, вследствие чего происходит замыкание контактов выключателя главного фидера.

Эта система оказалась в эксплоатации удачной, если не считать некоторых перебоев в работе реле.

При выборе системы защитного секционирования в настоящее время в Европе на новых электрифицированных железных дорогах было обна-

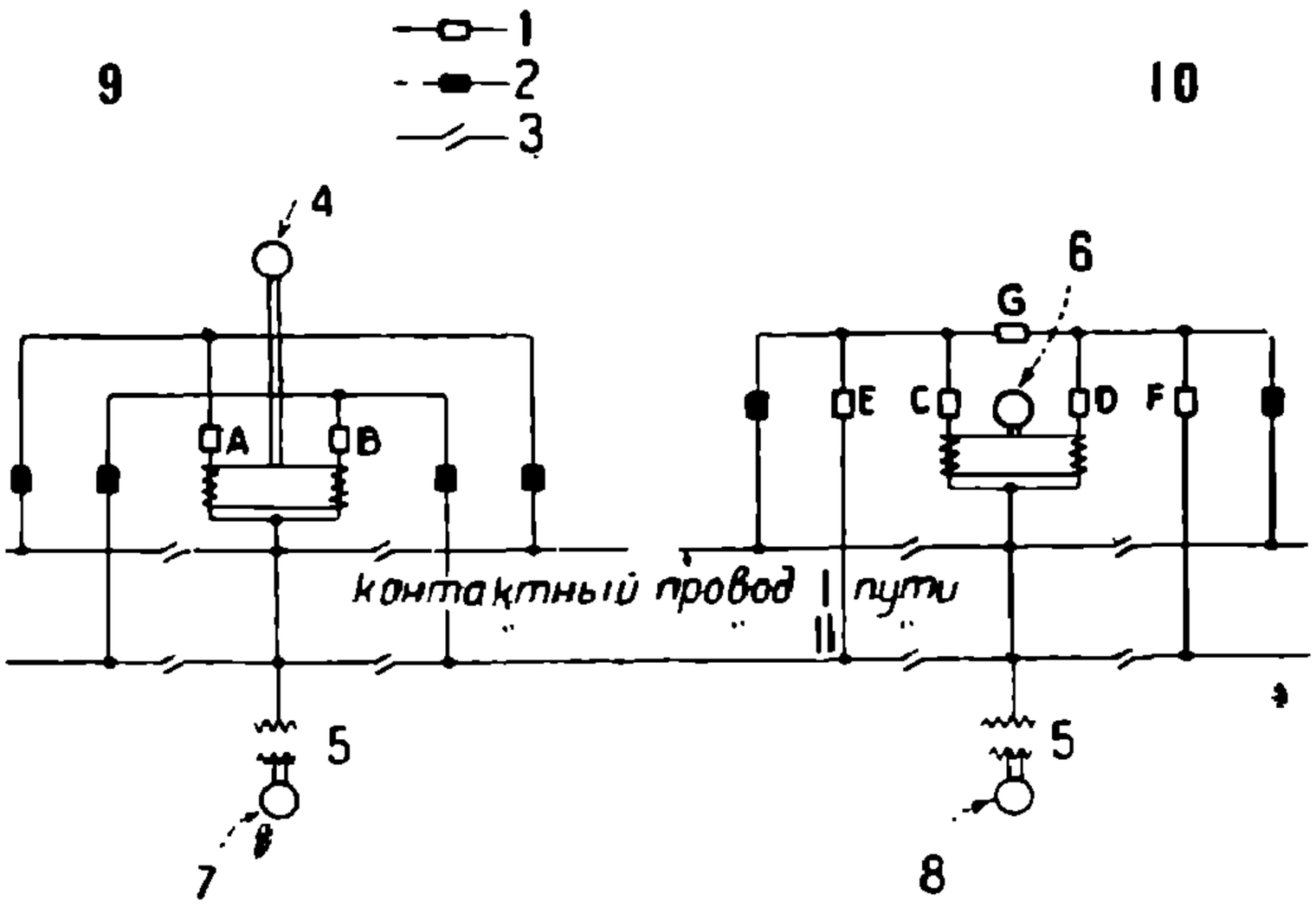


Рис. 27. Современное устройство секционирования на швейцарских ж. д. при помощи реле нулевого напряжения.

1—Автоматический масляный разъединитель. 2—Масляный разъединитель. 3—Секционные выключатели. 4—Реле перегрузки с выдержкой 10 сек. для *A* и *B*. 5—Трансформатор напряжения. 6—Реле перегрузки с выдержкой 10 сек. для *C* и *D*. 7—Реле напряжения с выдержкой 30 сек. для выключателей *A* и *B*. 8—Реле напряжения с выдержкой 10 сек. для выключателей *C*, *D*, *E*, *F* *G*. 9—Ординарный пункт секционирования и 10—Пункт секционирования в средине между подстанциями.

ружено стремление к упрощению, достигаемому путем сокращения значительного количества реле, а также вспомогательных и контрольных проводов в целях снижения расходов. В то же самое время относительно причин повреждений было получено много опытных данных, которых не имелось ранее. Из общего числа коротких замыканий почти 85% мгновенны и для их отсоединения не требуется сложных аппаратов. Остальные 15% случаев короткого замыкания происходят на сортировочных и станционных путях, где их однако возможно избегнуть путем устройства отдельных фидеров.

В новых устройствах отдельные участки контактной сети все же питаются с обеих сторон от двух соседних подстанций с помощью фидерных автоматов, размыкающихся при перегрузке мгновенно, причем линия остается

НТБ ДНУЖТ

включенной последовательно с сопротивлением в 2 000 ом для испытания (рис. 27). Секционный промежуточный пункт имеет две части, имеющие связь с помощью соединительного выключателя, который отключается в 10—20 секунд в результате падения напряжения от заземления системы. Автоматическое разъединение контактных линий параллельных путей наступает приблизительно через 30 секунд. На наиболее важных промежуточных секционных постах пути соединены с помощью двух выключателей, обслуживающих и сортировочные пути. Эти выключатели устанавливаются с расчетом их действия через 30 секунд при падении напряжения вследствие короткого замыкания на линии и через 10 секунд при коротком замыкании на самой сортировочной станции. Точно так же на промежуточном участке выключатель фидера сортировочной станции при перегрузке размыкается. В секционных пунктах, не имеющих особо важного значения, не имеется автоматических выключателей,

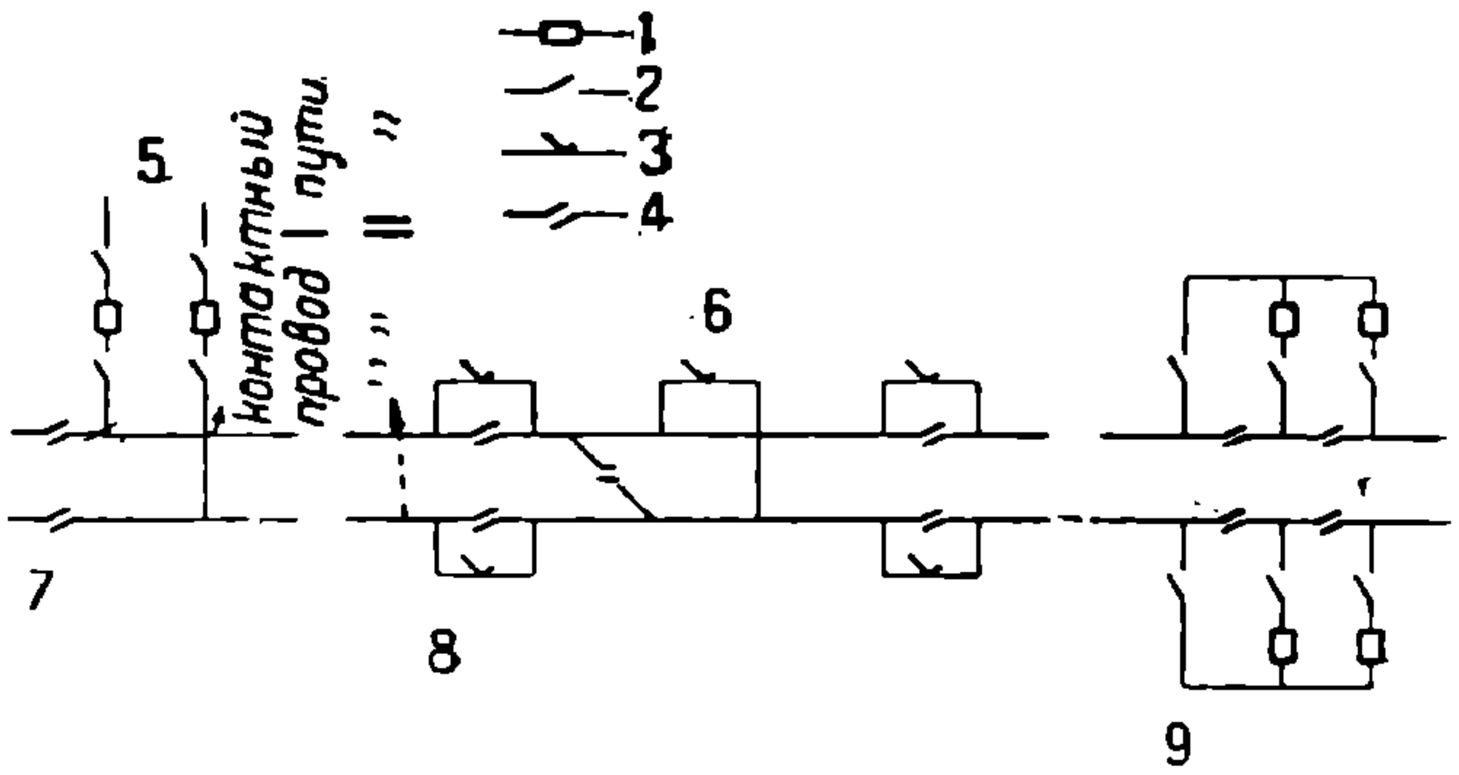


Рис. 28. Система секционирования на германских ж. д. с автоматическим разъединением подстанц

1—Автоматический масляный выключатель. 2—Разъединитель. 3—Разъединитель с роговым искрогашением. 4—Секционный выключатель. 5 — Фидера. 6—Нормально разомкнут. 7—Подстанция. 8—Ординарные пункты секционирования. 9—Автоматический промежуточный секционный пункт в средине между подстанциями.

исключая фидера сортировочных и станционных путей, в виду того, что два пути вместе не соединены. Сортировочные пути могут питаться от контактной линии или одного пути, либо другого с помощью выключателей с роговыми искрогасителями. В последнее время отказались даже от автоматических выключателей для фидеров сортировочных станций, и зрительный и акустический указатели перегрузки или исчезновения напряжения являются единственными автоматическими приборами, служащими для вышеуказанной цели.

Приведенная система автоматически разъединяет подстанции и две параллельные цепи контактной линии и отключает поврежденные фидеры сортировочных станций. Секционирование однопутного участка производится дежурным по подстанции, который даст телефонные распоряжения станционным монтерам о приведении в действии тех или иных секционирующих выключателей на различных пунктах.

Интересны цифры об относительной стоимости систем защиты, хотя может быть на них отразились отчасти и общие колебания цен.

	Стоимость оборудования на 1 км пути
Система Мерца.	1 000 долл.
Первоначальный тип системы с реле нулевого напряжения.	560
Упрощенная система с реле нулевого напряжения.	310

НТБ ДНУЖТ

Прочие системы включения и секционирования контактной сети. В целях снижения стоимости были спроектированы еще некоторые простые схемы защиты и секционирования, при которых сокращалось число автоматических выключателей; расположение последних имело при этом целью их наилучшее использование (рис. 28).

Каждая цепь магистрали, находящаяся между подстанциями, питается через фидерные масляные выключатели подстанций. На промежуточном секционном пункте, находящемся в средине между двумя подстанциями, имеется другой автоматический масляный выключатель, разъединяющий цепь между подстанциями на две части. Обычно этот

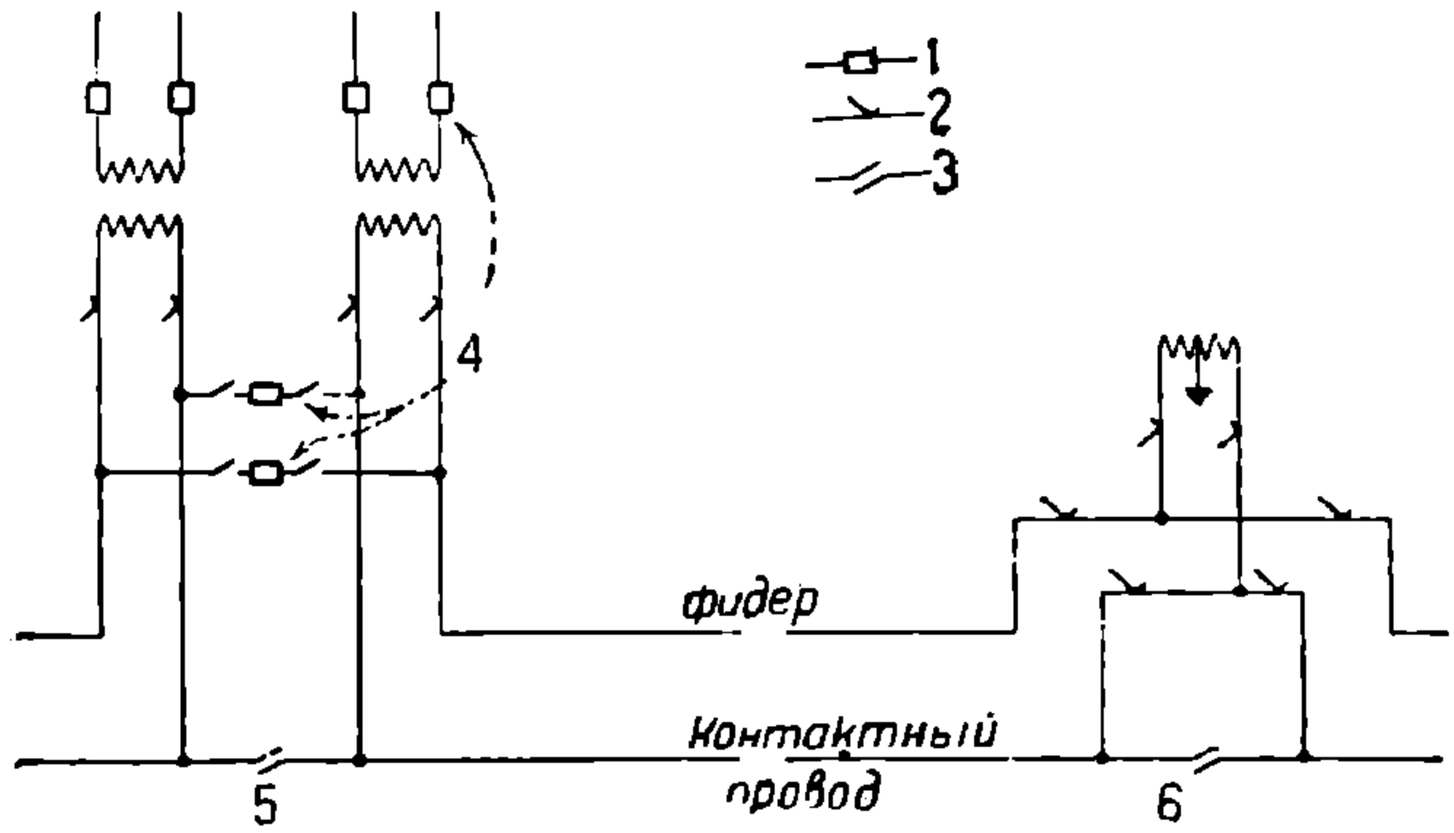


Рис. 29. Простая схема секционирования при трехпроводной распределительной системе.

1—Автоматический масляный выключатель. 2—Разъединитель с роговым искрогашением. 3—Секционн. выключатель. 4—Автоматические маслянники, приводимые от мгновенно действующего направленного реле перегрузки. 5 — Подстанция. 6—Трансформатор для уравновешивания нагрузки с выведенной средней точкой.

выключатель замкнут, но он мгновенно размыкается приблизительно при 350 *А* перегрузки. Контактная сеть этим разделяется на две части, причем неповрежденная питается с соседней подстанции; работа последней не приостанавливается. Этот выключатель устроен таким образом, что он автоматически вновь замыкается, если напряжение между его контактами будет иметь необходимую величину и соответствующую полярность. Контактная сеть секционируется на всех пунктах с помощью разъединителей с роговым искрогасителем, приводимыми в действие мотором или от руки. Для соединения двух параллельных путевых цепей имеются соединительные провода, но обычно они находятся в разомкнутом состоянии, вследствие чего авария на одной контактной линии не мешает работе другой. Запасные пути и пути сортировочных станций питаются от любой из цепей с помощью разъединителей с роговыми искрогасителями, которые размыкаются, когда эти пути не эксплоатируются.

Стремление к простоте, соединенное с требованиями эксплоатации, привело к чрезвычайно интересной конструкции выключателя и схеме секционирования трехпроводной распределительной сети (рис. 29). Контактная сеть и фидер, служащий третьим проводом, питаются на каждом участке с двух сторон непосредственно от вторичных обмоток

ГПБ ДГУКТ

трансформаторов, причем включение их производится без масляных автоматов. На каждой подстанции соседние участки контактного провода и фидеры соединены с помощью масляного выключателя большой разрывной мощности. Эти выключатели устанавливаются для мгновенного выключения при перегрузке в случае короткого замыкания и посредством направленного реле трансформатор, питающий цепь короткого, выключается со стороны высокого напряжения, в результате чего таким образом происходит отключение соответствующего участка с обеих сторон.

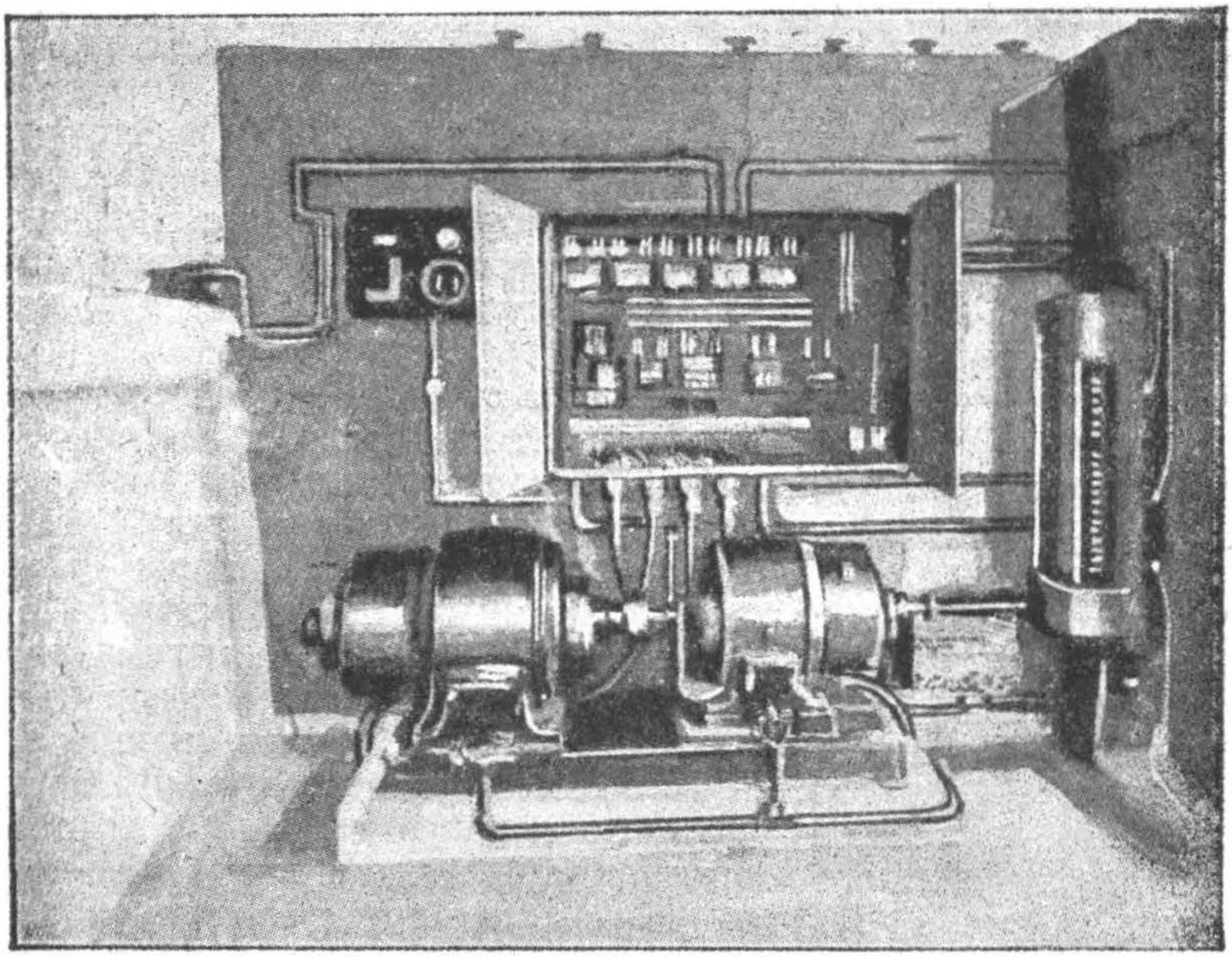


Рис. 30. Автоматическое оборудование для испытания и выключения поврежденных участков на швейцарских жел. дор.

Одновременно с этим возможно соответствующее выключение от руки на промежуточных пунктах. Для автоматического повторного включения двух участков в случае, если оба они питаются от двух подстанций с противоположных сторон, устанавливается реле для замыкания цепи и включения, если с обеих сторон имеется напряжение, соединительных выключателей.

Координирование работы фидерных и электровозных выключателей. Является полезным координирование процессов работы фидерных выключателей на подстанциях и выключателей, установленных на электровозах. На одной ж.-д. линии, где указанное имело применение, каждый участок контактной сети питался с помощью сдвоенного масляного выключателя, который был установлен на мгновенное размыкание при перегрузке величиной приблизительно в 450 А. Линия остается без тока в течение 30 секунд, после чего один из двух выключателей автоматическ

НТБ ДГУЖТ

замыкает силовую цепь через сопротивление, ограничивающее силу тока. Если при этом величина силы тока все же указывает на заземление, то этот выключатель по истечении 3 минут снова автоматически размыкает цепь, причем дается фонический сигнал. Если же перегрузка в течение указанных 3 минут устраняется, включается другой выключатель, и фидер вновь получает нормальное питание. На электровозах же имеются выключатели, которые размыкают цепь при перегрузке только до 200 А. Если же сила тока превышает эту величину, размыкание цепи не происходит, и лишь особое реле дает указание на перегрузку. Когда контактный провод остается без тока, благодаря размыканию на подстанции фидерного выключателя, происходящего, как указано выше, через 3 мин. 30 сек. после момента начала перегрузки, масляный выключатель на электровозе размыкается и моторы последнего отъединяются от линии, давая возможность одному из фидерных выключателей подстанции замкнуться снова. Такая же координированная работа может быть получена и с помощью реле, оттягивающих пантограф и размыкающих его цепь данной тяговой единицы после перегрузки подстанции, размыкания фидерного выключателя и падения напряжения в контактном проводе до нуля.

Обнаружение повреждений. Практика показала, что является желательным даже в самых простейших секционирующих системах устанавливать автоматические приборы для немедленного выключения и локализации поврежденных участков, не полагаясь при этом только на операции выключения, производимые вручную. Типовое устройство автоматической системы состоит из аккумуляторной батареи со всем необходимым оборудованием в виде мотор-генератора переменного тока с испытательным выключателем, соединенным с валом и пр. (рис. 30).

Главным действующим элементом для начала испытания является реле нулевого напряжения на шинах секционного пункта. С падением напряжения на этих шинах мотор приходит в действие и производится испытание током высокого напряжения (19 000 V для 15 000-вольтного контактного провода), который вырабатывается генератором и напряжение которого повышается трансформатором, соединенным с первым. Первое испытание на присутствие в линии постороннего напряжения производится автоматическим выключателем.

При наличии такого напряжения реле не допускает дальнейшего включения испытательного напряжения, и участок остается отключенным. Если же участок поврежден в результате не этой причины, то испытательное напряжение продолжает действовать. Если при этом величина силы тока указывает на наличие повреждения, то участок отключается. Если испытание показало, что участок свободен от аварии, то фидер контактного провода включается. На двухпутных участках, где была осуществлена такая установка, время испытательного периода равнялось 32 секундам, после чего поврежденный участок выключался, а все другие участки продолжали работать.

Быстродействующие выключатели переменного тока. Осуществление конструкции быстродействующих выключателей переменного тока явилось большим достижением в деле развития оборудования для выключения переменного тока и секционирования.

Прерывание тока производится или магнитным гашением дуги в масле или в воздухе с помощью как магнитного гашения, так и рогового гаси-

НТБ ДНУЖТ

теля дуги. В обоих случаях магнитное гашение должно быть отрегулировано в таких пределах, что дуга должна разрываться только при прохождении кривой силы тока через нуль. Слишком энергичное гашение, которое может произойти в пределах между двумя точками пересечения синусоиды тока с осью абсцисс, т. е. при наличии значительной силы тока, вызовет в результате уравнительный ток, который может принять опасные размеры.

Быстродействующие масляные выключатели рассчитаны на быструю работу реле, быстрое разъединение контактов и вспомогательное магнитное выдувание для более быстрого гашения дуги, нежели при обычном типе масляного выключателя (рис. 31).

Подвижные части сделаны более легкими, вследствие чего их инерция уменьшена. Усилия, приводящие их в движение, увеличены благодаря применению мощных спиральных пружин. Толчок при разъединении относительно велик; конструкция всего механизма и всех частей к нему должна быть рассчитана так, чтобы она выдерживала те напряжения, которые возникают во

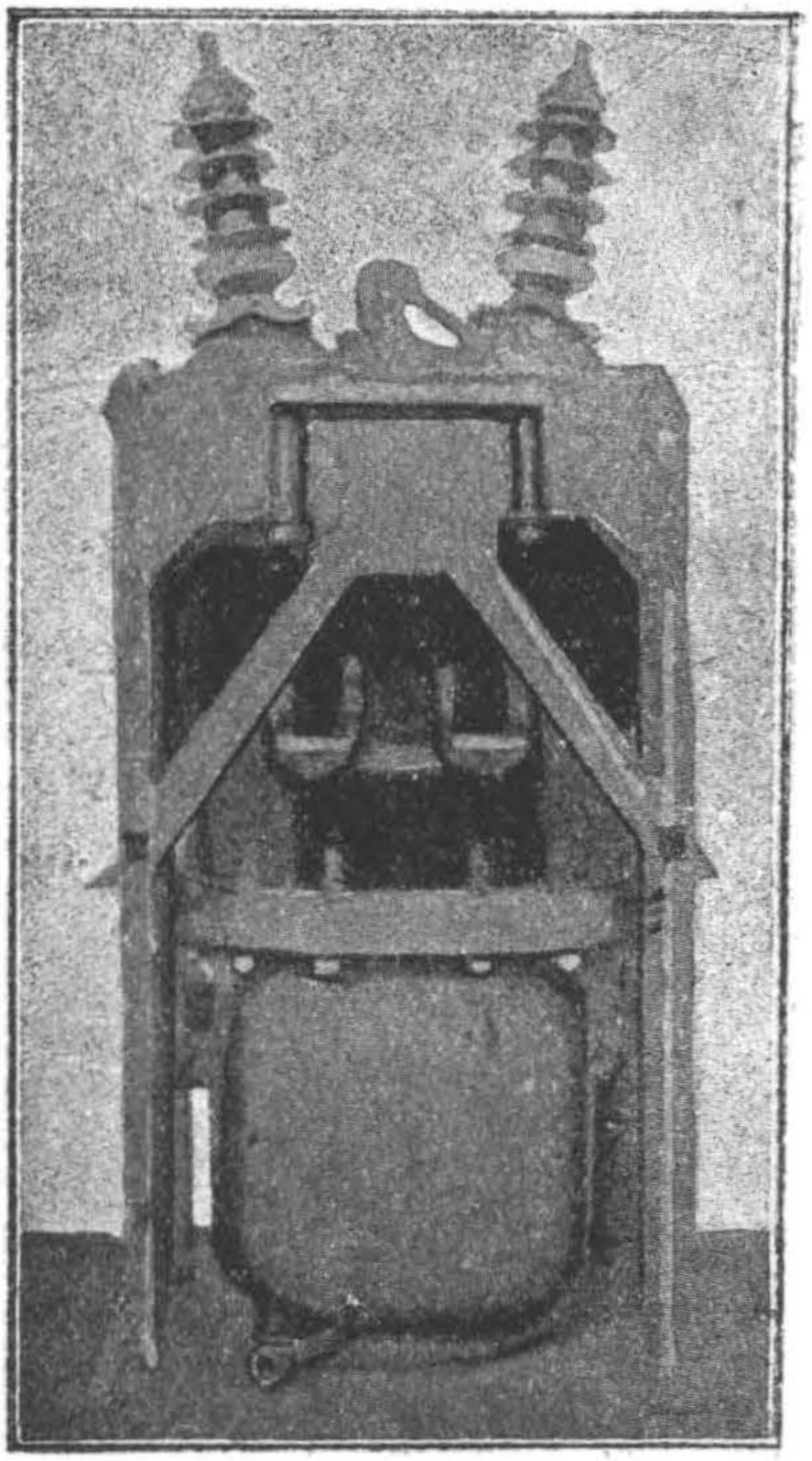


Рис. 31. Быстродействующий масляный выключатель переменного тока.

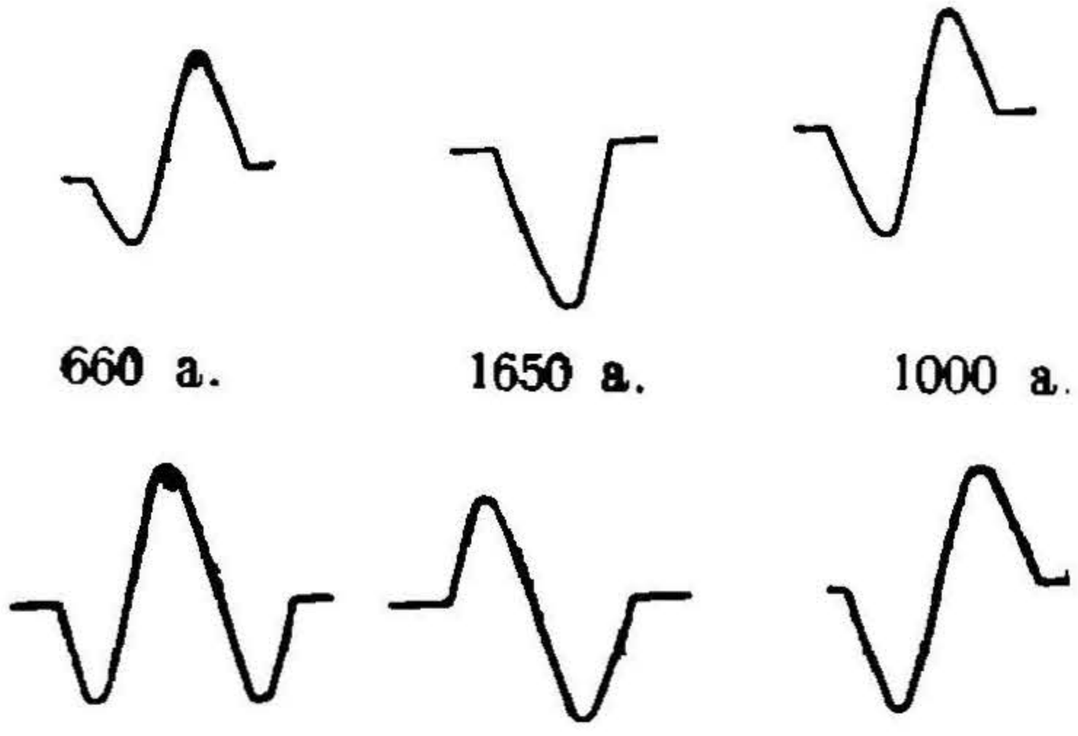


Рис. 32. Осцилограммы работы быстродействующего масляного выключателя.

время действия аппарата. Обычное гасящее действие масла на дугу усиливается катушкой для магнитного гашения. Питание этой магнитной цепи током производится от электрической цепи, шунтирующей главную, вследствие чего при более сильных токах обеспечивается более сильное магнитное поле.

Действие этого аппарата, вызывающего более быстрое прерывание цепи при более высоких величинах силы тока, показано на осциллограммах (рис. 32). При эксплоатации эти выключатели дали хорошие результаты. Из общего числа 1 467 выключений трех выключателей имело место лишь 25 случаев повреждений. Данные опыта выявляют необходимость конструирования как выключателя в целом, так и вспомога-

НТБ ДИИТ

тельных устройств так, чтобы они могли, как сказано выше, противостоять механическим ударам и выдерживать выключение больших величин сил тока.

Тип быстродействующего воздушного выключателя для переменного тока не похож на выключатель, применяемый для выключения постоянного тока, так как он требует отдельных выключающих цепей и так как при размыкании цепи нужно заботиться не о возможно быстром размыкании цепи, но о размыкании при нулевой силе тока. Сама конструкция выключателя требует весьма тщательной регулировки магнитной цепи.

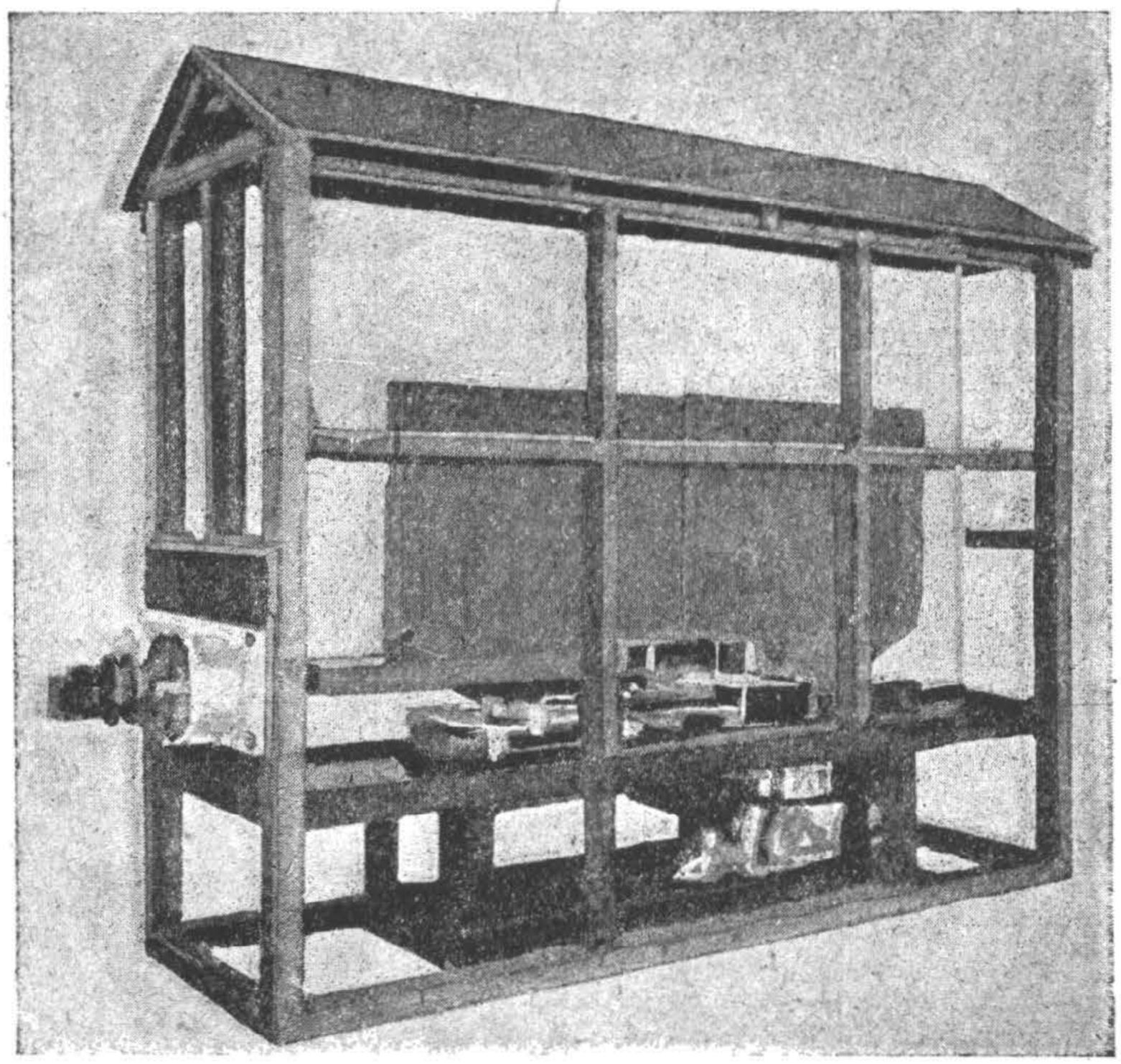


Рис. 33. Быстродействующий воздушный выключатель переменного тока.

Рога могут изготовляться из материалов с высоким омическим сопротивлением с тем, чтобы мощность дуги была ограничена, вследствие чего ее разрыв при прохождении синусоиды тока через нуль будет облегчен. Питание отключающей катушки может быть производимо через промежуточный трансформатор с сильным насыщением для сглаживания толчков тока, получаемых при нормальных трансформаторах тока (рис. 33).

УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОММУТАЦИИ И СЕКЦИОНИРОВАНИЕ СЕТИ ПРИ ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

Быстродействующие выключатели постоянного тока. На устройства, выключающие постоянный ток, и на секционирующие аппараты влияют различные факторы, отсутствующие в системе переменного

НТБ ДНУЖТ

тока. Благодаря действию больших сил тока при сравнительно низком напряжении, что имеет место в периоды усиленного потребления энергии для тяги, величина силы тока для соответствующей работы выключателей при перегрузк должна иметь значения, близкие к силе тока короткого замыкания цепи или в некоторых случаях даже превосходить ее. В соответствии с этим секционирующее оборудование должно обладать соответствующей «избирательной» способностью для того, чтобы неодинаково реагировать на короткое в цепи и на обычно случающиеся перегрузки. Главное значение среди аппаратов и оборудования для выключения постоянного тока имеют автоматические быстродействующие выключатели (рис. 34 и 35.)

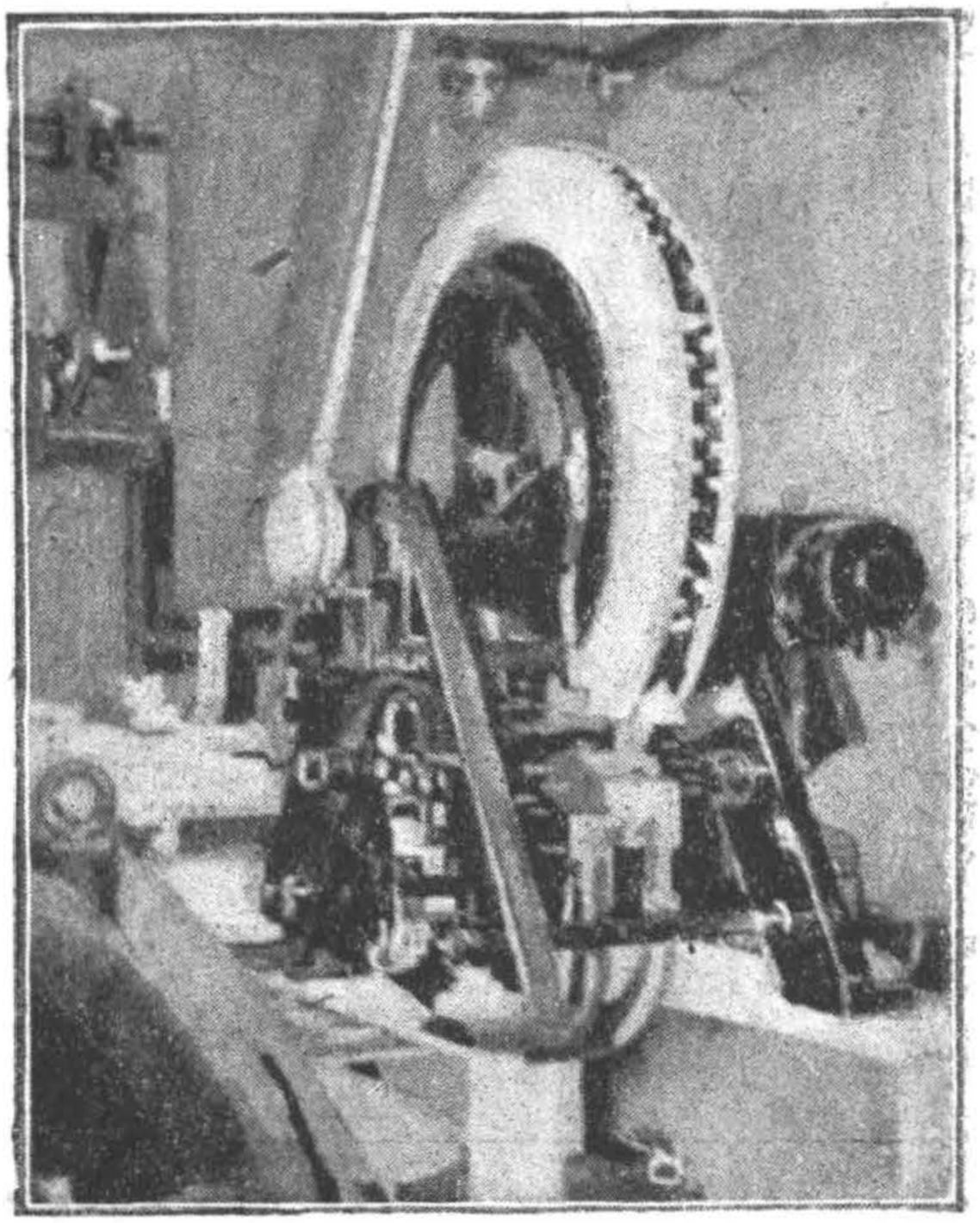


Рис. 31. Быстродействующий выключатель постоянного тока (ВВС).

В воздушных выключателях факторами, определяющими быстроту действия, являются условия передачи импульсов тока к выключающей цепи, скорость расхождения контактов и быстрота гашения дуги. Различное действие быстродействующего выключателя от короткого и от перегрузки обусловливается селективными процессами, происходящими в магнитной цепи выключающего устройства. Главный ток проходит через два параллельных пути—через один с относительно низким полным сопротивлением через воздушный зазор выключающих магнитов, и через другой,—с преимущественным индуктивным сопротивлением, шунтирующим первую (выключающую) цепь. При быстром возрастании силы тока (коротком замыкании) большая часть тока стремится вследствие большого индуктивного сопротивления второго шунта пройти через первую цепь. Быстрота возрастания силы тока определяет соотношение токов, протекающих по обеим цепям, и таким образом контролирует то время, в течение которого ток, разъединяющий цепь выключателя, становится достаточно большим для того, чтобы эту цепь разъединить. При относительно медленном возрастании тока—при перегрузке—часть тока проходит через индуктивный шунт, другая часть—в разъединяющую цепь, и таким образом сила тока во втором оказывается недостаточной для процесса разъединения; сила тока, которая для этого требуется, должна иметь значительно большую величину. Степень указанной селективной способности выключателя может регулироваться; для этого следует изменять величины омического сопротивления и индуктивности в обеих параллельных цепях.

Здесь действие механизма, разъединяющего контакты, ускорено по сравнению с действием обычного выключателя благодаря применению

НТБ ДНУЖТ

магнитного поля, действующего в качестве разъединяющего механизма, вместо разъединения клапана, откидывания собачки или какого-либо другого, чисто механического прибора, имеющегося в обычных автоматах. Вследствие применения электромагнита для удержания контакта и якоря с противоположно-направленным полем, образуемым главным током, процесс расцепления производится в результате уменьшения результирующей магнитной силы, поддерживающей якорь, от действия противоположного поля тока перегрузки. Гашение дуги ускоряется благодаря использованию комбинированного действия магнитов, выделяемого тепла и механических усилий от удлинения дуги. Магнитное поле усилено в начале образования дуги, и по мере того как дуга выдувается к концам рогов развивается тепло и происходит пространственное удлинение дуги. Для удержания дуги в границах безопасности требуется хорошая конструкция гасительной камеры, она предохраняет от заземления дуги и устраняет новое ее возникновение вследствие выделения газов.[1]

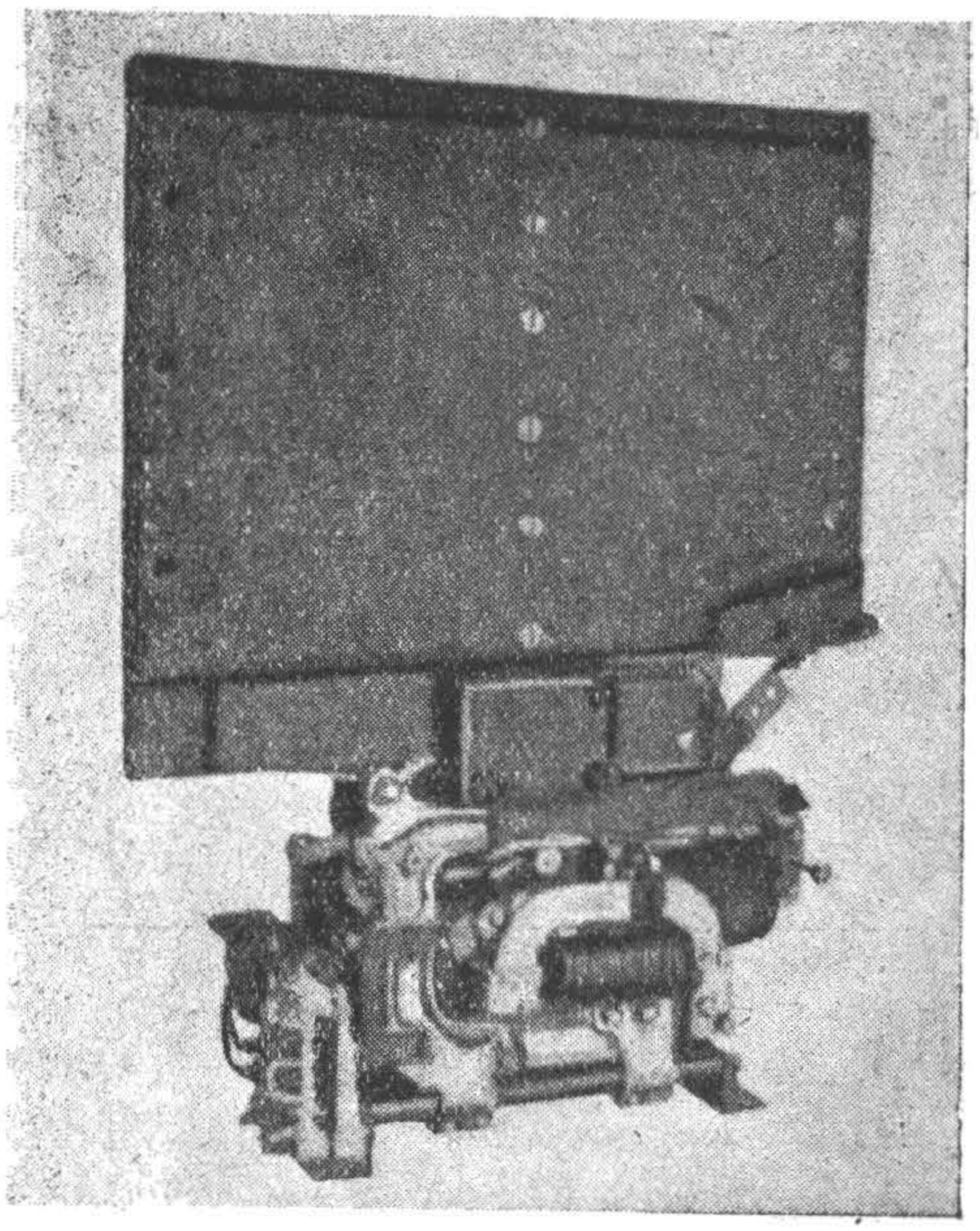


Рис. 35. Быстродействующий выключатель постоянного тока (GEC).

В большинстве систем выключатель должен не только разъединять цепь при перегрузках, но также и включать ее на короткое и снова разъединять при тех же высоких скоростях выключения, как если бы разъединение происходило при начальном замкнутом положении его контактов.

Для этого требуется специальное устройство замыкающего механизма со свободным расцеплением.

Секционирующие и выключающие устройства. На однопутных участках, питаемых постоянным током, при сравнительно слабом движении, секционирующее устройство может быть относительно простым; достаточны быстродействующие выключатели на фидерах в подстанциях и секционирующие выключатели на секционных постах (рис. 36).

При многопутных системах устройства сложнее благодаря параллельному включению, необходимому для получения максимальной проводимости контактной сети и удовлетворению условию о быстрой локализации поврежденных участков в случае какой-либо аварии. На подстанциях и нескольких промежуточных пунктах устраивается система продольного секционирования, а на других промежуточных пунктах — поперечные соединения (рис. 37).

---

[1] Приведенное описание относится к автомату GEC.

НТБ ДНУЖТ

Там, где к этому побуждают условия движения, может быть осуществлено автоматическое дистанционное управление этими быстродействующими выключателями, так что вся система в целом может контролироваться заведующим сетью или диспетчером.

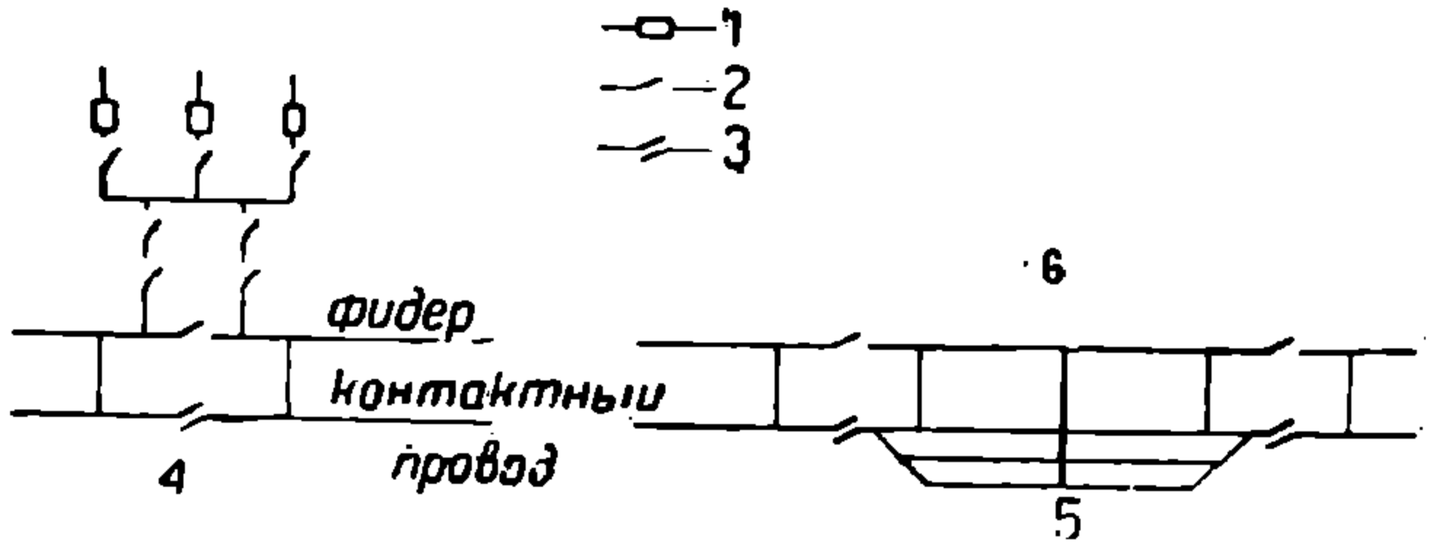


Рис. 36. Простая система секционирования для постоянного тока.

1—Быстродействующий выключатель постоянного тока. 2—Разъединитель. 3—Секционирование контактного провода. 4—Подстанция. 5—Сортировочные пути. 6 — Ординарный пункт секционирования для сортировочной станции.

При сложной системе сети быстродействующий выключатель сам по себе удовлетворяет условию селективности выключения. Благодаря острой настройке на силу тока и время действия при коротком замыкании действуют только выключатели, обслуживающие лишь поврежденный участок, и таким образом устраняются затруднения, вызывасмые размыканием выключателей на других участках.

Однако быстрота размыкания цепи имеет и свои недостатки вследствие того, что иногда желательно задержать ток в течение некоторого

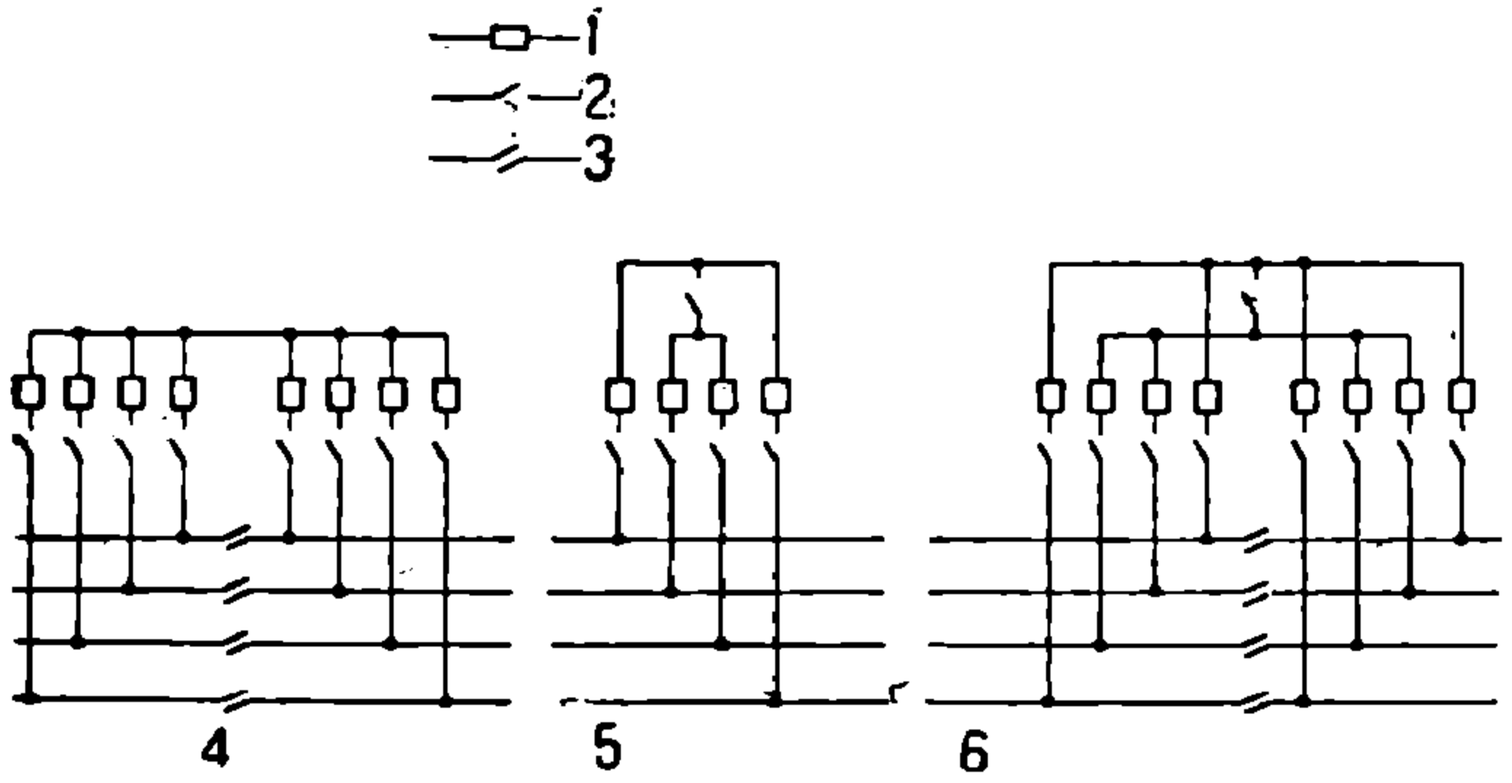


Рис. 37. Система секционирования на многопутных участках.

1—Быстродействующий выключатель постоянного тока. 2—Разъединитель. 3—Секционные выключатели. 4—Подстанция. 5—Соединительный пункт. 6—Промежуточная секционирующая станция.

промежутка времени с целью оставить след или даже выжечь короткое. При быстродействующих выключателях дуга не только не плавит провод, даже малого сечения, на котором произошло короткое замыкание, но при таком малом промежутке времени горения (сотые доли секунды) не оставляет сколько-нибудь заметных следов повреждения, вследствие чего обслуживающей бригаде трудно определить даже местонахождение происшедшего повреждения [1].

[1] Сомнительно, чтобы такой рискованный способ обнаружения причин выключения цепи мог быть рекомендован. (Прим. ред.).

НТБ ДНУЖТ

Быстродействующие выключатели допускают возможность дальнейшего усовершенствования, а именно автоматическое обратное включение. На подстанциях для испытаний сети устраивается мгновенное обратное включение поврежденного фидера через сопротивление, тогда как соединительные промежуточные пункты оборудуются аппаратами с выдержкой времени при обратном включении, причем весьма желательно, чтобы напряжения на обеих сторонах пунктов были равны и нормальны. Там, где имеются продольные соединяющие линии проводов между подстанциями, также желательно до обратного включения обеспечить проверку полярности.

СЕКЦИОНИРОВАНИЕ ПУТЕЙ

Секционирование однопутных линий. Правильное расположение секционных постов в системе с воздушной контактной линией или третьим рельсом имеет чрезвычайно большое значение для эксплоатации, и поэтому должны быть приняты все меры, чтобы это расположение соответствовало ее требованиям.

Однако в основе лежат и некоторые принципы общего характера, которые могут быть рассмотрены с общей точки зрения. Путь с «нейтральной вставкой» (dead wire) между двумя линейными выключателями или крестовинами не имеет значения для возможности прохождения поезда по этому участку или для перехода с одного параллельного пути на другой, так как поезд, входящий на такой путь, не может проходить далее. По этой же самой причине и секционирование провода между такими выключателями имеет мало значения.

Рациональная система секционирования должна быть установлена с расчетом, чтобы движение могло продолжаться с помощью «здорового» провода, несмотря на происшедшее повреждение участка. В некоторых случаях движение по инерции на участке, лишенном напряжения, может являться вполне полезным способом для получения максимального эффекта системы. Этот способ движения по инерции с успехом развит и осуществляется многими европейскими железными дорогами.

При движении по однопутному участку желательно устраивать секционирование таким образом, чтобы любой поезд, приближающийся к поврежденному обесточенному участку, мог подойти к этому участку по возможности ближе, не загораживая пути и не мешая ремонтным поездам подходить к поврежденному участку. Один из способов—это совершенно изолировать станцию и парк запасных путей и питать их в двух местах с помощью линейных разъединителей. Такая система является типичной для многих европейских железных дорог. Она удобна, так как позволяет освободить главный путь от движения поездов, пропуская их на сортировочные и запасные пути, питание которых может быть осуществлено по другим фидерам или контактным линиям. Такое устройство обходится довольно дорого, так как при нем требуется фидер, проходящий к запасным путям и два выключателя вместо одного; кроме того недостаток этой системы заключается в том, что при повреждении фидера сортировочных и станционных путей происходит остановка всего движения, заставляющая прибегать к способу прохода станционных путей посредством разгона поездов и движения по инерции.

Секционирование двухпутных линий. Вопрос несколько осложняется при работе на двухпутных участках вследствие необходимости держать

НТБ ДИУЖТ

оба пути электрически разъединенными. Для среднего запасного пути, имеющего соединения с главным, одна железная дорога применила устройство, которое позволяет питать запасной путь с любого главного пути, обеспечивая этим его постоянную способность к работе и позволяя поездам переходить на исправный путь в направлении, противоположном движению и в случае повреждения на впереди лежащем участке, в направлении прямого движения (рис. 38). Некоторые европейские страны расширяют свои станции или парки путей в целях соединения всех главных путей двухпутной линии между собой и с первыми. Это обеспечивает в случае повреждения непрерывность движения на участках главных путей, питаемых с обеих сторон с помощью фидеров, но это не устраняет остановки движения в обоих направлениях вышедшими из работы «мертвой» станцией и парком запасных путей. Эту систему можно усовершенствовать, если разъединить главные пути друг от друга и от запасных путей, а также секционируя последние. Эта система позволяет осуществить максимальное использование всех запасных и главных путей благодаря разнообразию комбинаций питания.

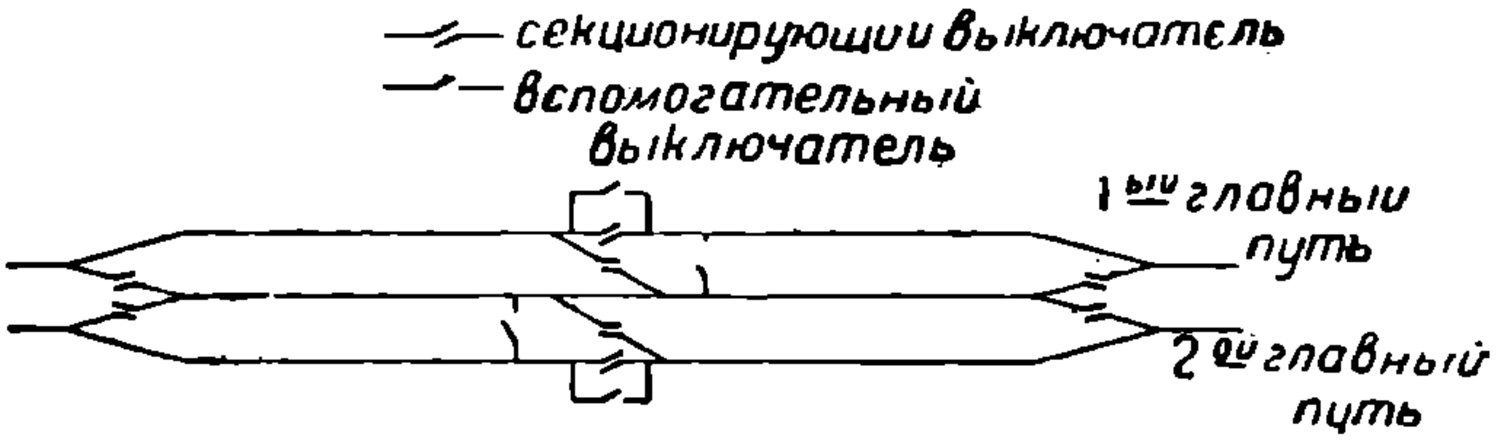


Рис. 38. Секционирование для среднего запасного пути.

Что касается крестовин на двухпутных участках, то желательно, чтобы была возможность проходить мимо отключенного участка по другому пути в направлении встречного движения, не заходя в «мертвый» участок больше, чем это возможно вследствие инерции.

Секционирование многопутных участков. Вопрос более осложняется на четырехпутных участках, но при этом достигается и большая гибкость. Никакие стандартные типы здесь невозможны вследствие большого разнообразия путевых устройств, но существует один основной принцип, который может служить общим руководящим указанием.

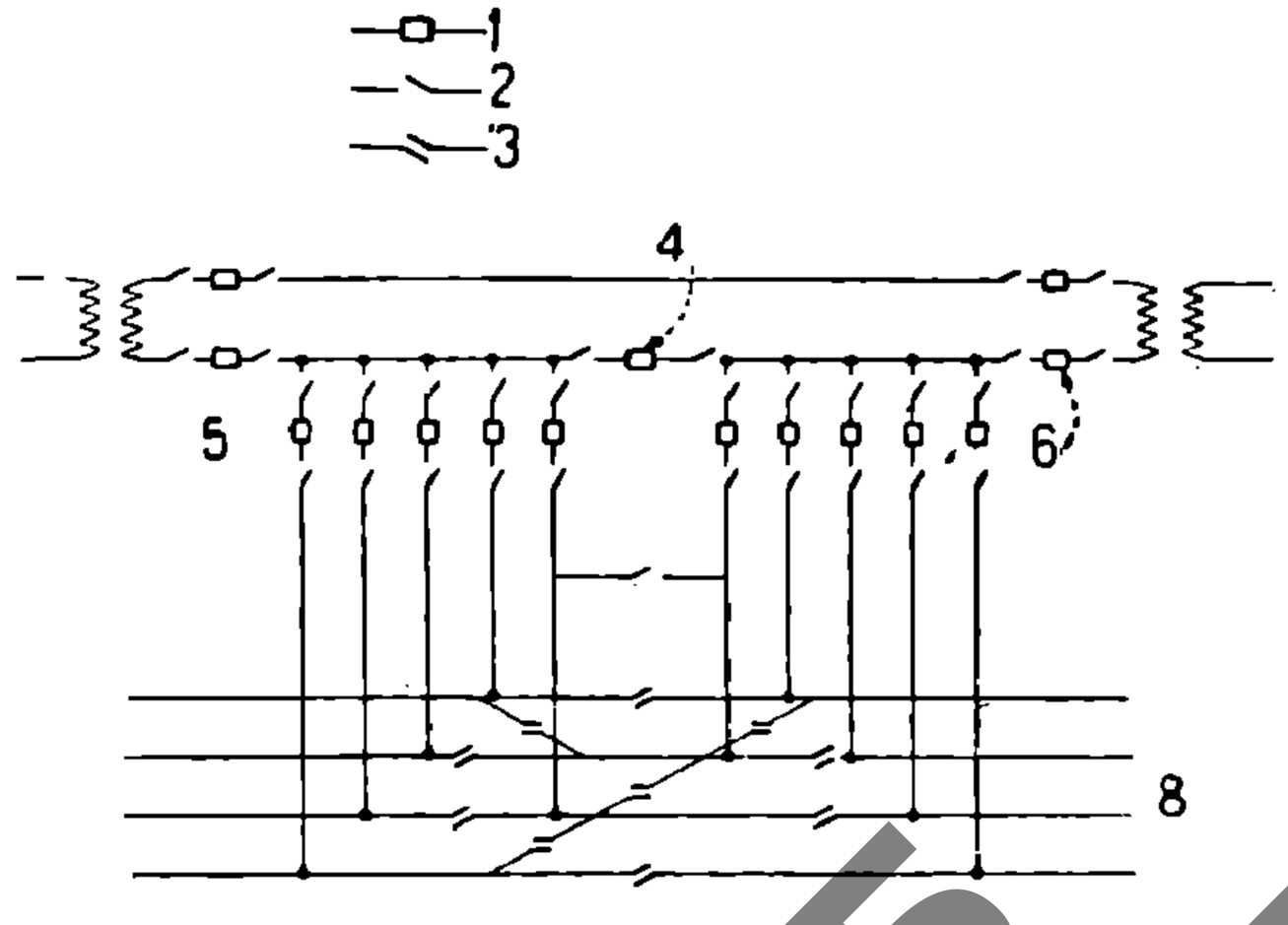


Рис. 39. Система секционирования на многопутных участках.

1—Автоматический масляный выключатель. 2—Разъединитель. 3—Секционные выключатели. 4—Дифференциальная защита. 5—Быстродействующие выключатели. Установка на мгновенное действие от перегрузки. 6—Защита с помощью реле обратного тока и дифференциальных реле.

Если на каждом главном пути должен быть только один секционный пост, то он должен находиться между противошерстной и пошерстной стрелками стрелочного соединения, идущего от этого пути к следующему

ЕТБ ДНУЖТ

в направлении нормального движения. При устройствах, имеющих анкерные или фидерные мостики, имеются известные ограничения конструктивного характера, так как все секционные посты должны быть сгруппированы в одном месте, благодаря чему приходится итти на компромисс в отношении соединения путей.

Если пользуются системой раздельного питания от фидеров, то имеется возможность расположить секционные выключатели соответственным образом в отношении большинства стрелочных соединений, обеспечивая независимую подачу тока на отдельные пути и их участки (рис. 39).

Секционирование сортировочных станций. Секционирование сортировочных станций еще более сложно. С эксплоатационной точки зрения провод, питающий входные пути, является наиболее важной частью электрической распределительной сети сортировочной станции, так как он обслуживает въезд и выезд по всем путям. Поэтому станционные выход и вход должны быть изолированными от всех других путей; повреждение питания любого из последних само по себе не причинило бы большого ущерба, но в случае, если бы оно передалось входному проводу, то это оказало бы чрезвычайно серьезные последствия.

Прежняя система секционирования состояла в том, что вся сортировочная станция была секционирована в продольном направлении; каждый участок пути соединялся с входным проводом. Лучше соединять два или три пути сортировочной станции в одну группу, а входные провода оставлять как отдельную единицу в случае ступенчатого расположения путей.

Если имеются очень длинные провода, то эти провода могут быть подразделены на секции так, чтобы повреждение провода могло быть локализовано. В тех случаях, когда отдельных фидеров для станционных путей не имеется, провода для входных путей станции должны быть изолированы аналогичным способом.

Основное положение при этом заключается в том, чтобы путь для сквозных маршрутов был свободен в случае какой-либо аварии на любом станционном пути.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА VI

КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ СЕТИ

ФУНДАМЕНТЫ

Устройство фундаментов для опор воздушной линии основывается на использовании силы сопротивления грунта и силы веса, являющихся реакциями для сил нагрузки.

Обычно различные системы фундаментов классифицируются по двум признакам в зависимости от того, используют ли они преимущественно боковое сопротивление грунта, в каком случае они называются «фундаментами бокового давления», или силу тяжести, причем их называют «фундаментами тяжести».[1]

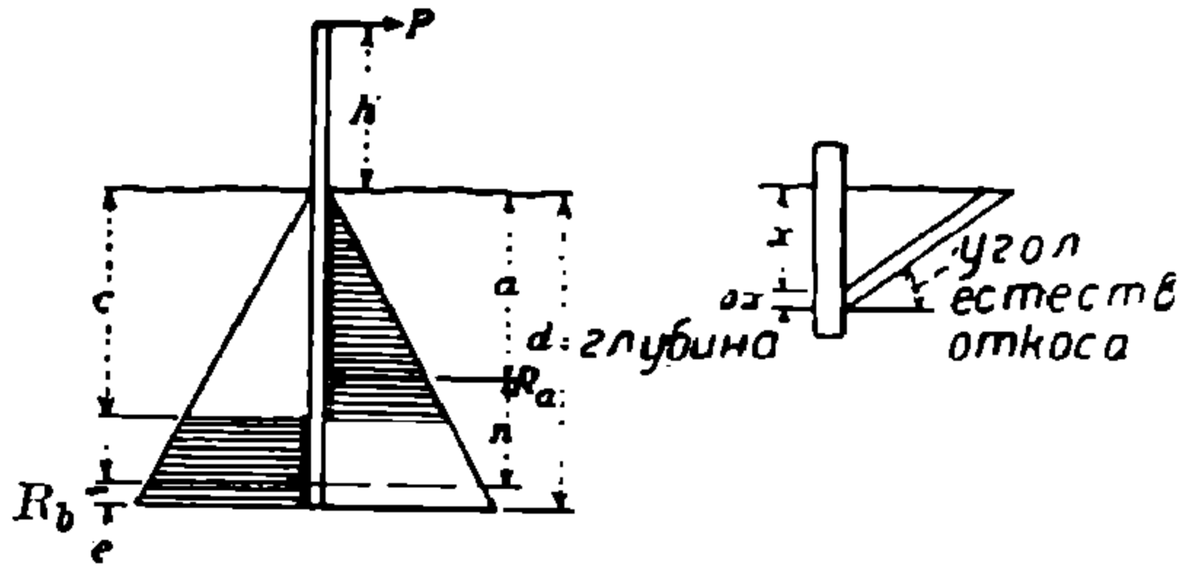


Рис. 40. Теоретическое исследование фундаментов с боковым давлением.

Теория фундаментов, использующих боковое давление. Фундаменты использующие боковое давление грунта согласно теории, передают свою нагрузку окружающему грунту в виде бокового давления, вызывающего реакцию грунта; последний может рассматриваться как несовершенно упругое тело. Определение реакции грунта возможно только с помощью эмпирических методов; на основании последних мы полагаемся на следующие данные, которые выявляют, что грунт обрушивается в числе большого ряда параллельных слоев, под углом к горизонту, равным углу естественного откоса (углу внутреннего трения) данного грунта. Принимая это положение, мы можем сказать, что элементарная площадка грунта Δx (рис. 40) будет нагружена давлением, равным весу призмы грунта высотой до поверхности земли и весом грунта, объем которого определяется углом естественного откоса.

Как сопротивление весу, так и трение пропорциональны глубине заложения x. Таким бразом реакция этого элемента Δr может быть выражена уравнением

$$\Delta r = kx \cdot \Delta x,$$

где k—величина постоянная.

Значит, если мы берем опору с горизонтальной нагрузкой P, оказывающей реакцию на фундамент в одном направлении в верхней его части и в противоположном направлении в нижней части, то величина реакции

---

[1] «Side-bearing foundations» и «Gravity foundations». Указанная терминология в русской технической литературе не является общеупотребительной.

НТБ ДНУЖТ

различных элементов грунта Δx будет пропорциональна глубине, и мы получим распределение реакций по глубине подобно изображенному на рис. 40. В случае равновесия равнодействующая верхней части фундамента минус равнодействующая реакции нижней части должна равняться усилию тяжения, действующему на верхнюю точку опоры, или

$$P = R_a - R_b. \tag{1}$$

Путем суммирования и интегрирования элементарных реакций, которые в сумме дают величины равнодействующих R_a и R_b, мы получаем для фундамента шириной W следующие выражения:

$$R_a = \sum_{x=0} kxW\,\Delta x = \int_0^c kxW\,dx = \frac{kc^2W}{2} \tag{2}$$

$$R_b = \sum_{x=0} kxW\,\Delta x = \int_c^d kxW\,dx = \frac{kW}{2}(d^2 - c^2). \tag{3}$$

и, подставляя их в вышеприведенное уравнение условия равновесия (1), получаем:

$$P = \frac{kW}{2}[c^2 - (d^2 - c^2)], \tag{1'}$$

или

$$c^2 = \frac{P}{kW} + \frac{d^2}{2}, \tag{1''}$$

откуда

$$c = \sqrt{\frac{P}{kW} + \frac{d^2}{2}} \tag{1'''}$$

Обычно первый член этого уравнения относительно мал, так как P равняется приблизительно 500—750 *кг*, ширина фундамента минимально от 600 до 1000 *мм*, а константа k свыше 500.

При таких условиях первый член становится величиной порядка единицы, тогда как второй член равен минимум 20. Под знаком квадратного корня влияние первого члена становится очень незначительным, так что мы можем им пренебречь и написать уравнение в виде:

$$c = \sqrt{\frac{d^2}{2}} \cong 0{,}7\,d. \tag{1''''}$$

Зная, что равнодействующая R_a приложена в расстоянии двух третей от вершины треугольника эпюры распределения реакций, мы получаем следующее выражение:

$$a = \frac{2}{3}\,\frac{d}{\sqrt{2}} = 0{,}47\,d. \tag{4}$$

Подобным же образом

$$e = \frac{(d + 2c)\cdot(d - c)}{3(d - c)} = 0{,}138\,d. \tag{5}$$

Благодаря соотношению между плечами силы P и равнодействующей сопротивления грунта, величина последней гораздо значительнее, но

НТБ ДНУЖТ

для удобства вычисления можно допустить их равенство. Например в действительной практике горизонтальная нагрузка на столб может равняться 500 *кг*, приложенным на высоте 8 *м*, тогда как опрокидывающий момент может быть равным 6 000 *кг/м* вследствие веса проводов. При плече 1,2 *м* мы получаем величину равнодействующих, равную 5 000 *кг*. Исходя из этого допущения, момент сопротивления грунта может быть выражен, согласно рис. 40.

$$R_a n = R_a \cdot 0{,}38 d. \tag{6}$$

но так как согласно формулам (2) и (3)

$$R_a = \frac{kc^2 W}{2} = \frac{kW \cdot 0{,}49\, d^2}{2},$$

то следовательно момент сопротивления опрокидыванию получается приблизительно равным:

$$M = \frac{kW d^3}{10} \tag{7}$$

Теория фундаментов тяжести. В типах фундаментов, работающих на основе силы тяжести, опрокидывающему моменту сопротивляется вертикальное давление земли на часть основания фундамента, а также вес самого фундамента. Силы, действующие на фундамент, сводятся таким образом к равномерно распределенной силе тяжести w и равномерно изменяющейся силе давления, вызванной опрокидывающим моментом. Эта последняя имеет маскимальную величину и изменяется от отрицательного до положительного значения (рис. 41).

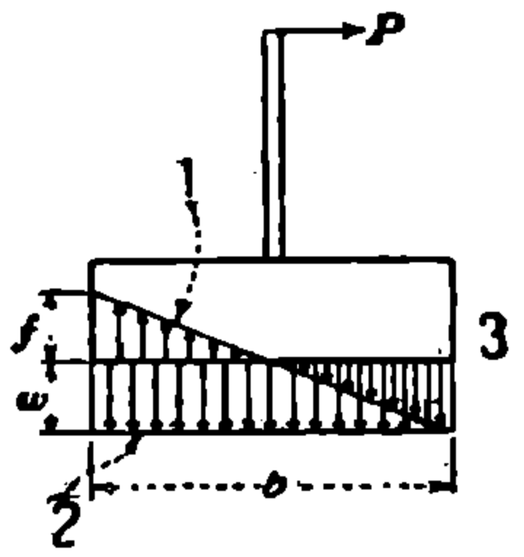


Рис. 41. Теоретическое исследование фундаментов, работающих на принципе силы тяжести.

1—Эпюра реакций от момента Ph. 2—Эпюра реакций от веса фундамента

Таким образом, как это усматривается из рис. 41, опрокидывающий момент может быть выражен в виде функции равнодействующей, приложенной в $^2/_3$ расстояния от вертикальной оси фундамента, следующей формулой:

$$P\ \ h = 2\begin{bmatrix} & & 2 & \\ f & ab & 3 & b \\ 2 & 2 & 2 & \end{bmatrix} = \frac{1}{6} f \cdot a \cdot b^2. \tag{1}$$

Максимум напряжения грунта находится на той стороне, где суммируется действие опрокидывающего момента силы тяжести и его допускаемая величина ограничивается природными свойствами грунта.

Второе уравнение может быть составлено, исходя из условий равенства максимального давления от веса опорной поверхности или максимального давления грунта p_m весу фундамента плюс максимальное давление от опрокидывающего момента, или после подстановки

$$\bar{p}_m = \frac{W}{a \cdot b} + f = \frac{1}{a \cdot b}\left(W + \frac{6Ph}{b}\right), \tag{2}$$

что дает основные соотношения между размерами для фундамента, использующего лишь силу собственного веса.

Практические вопросы, связанные с устройством фундаментов. В текущей практике многочисленные соображения, например экономические, иногда более значительные, чем теоретические расчеты, опре-

НТБ ДГУЖТ

деляют конструкцию и размеры фундаментов. При выборе одного из обоих приведенных типов фундаментов руководствуются практическими данными, учитывая местные условия, а не исходя только лишь из одних математических отношений между опрокидывающим моментом и моментом сопротивления, как то представляется в теории. Наиболее важное влияние оказывает характер грунта.

Стоимость различного рода материалов, рабсилы и транспорта тоже является важным фактором, влияющим на основные расходы.

Выемка грунта. При выемке грунта для установки опор обычно утилизируется ручной труд, так как объем грунта таких выемок, требующихся для фундаментов конструкций, употребляемых на электрифицированных дорогах, невелик. Инструмент, применяющийся при такого рода работах, пригоден при самых разнообразных условиях. Самый экономический способ рытья вручную—рытье с помощью кирок и заступов-лопат с короткими рукоятками. Однако при таком способе рытья необходимо, чтобы дно выемки было всегда доступно для землекопа; таким образом, если требуется выкопать траншею глубиной свыше 1 *м*, последняя должна быть достаточно широкой, чтобы рабочий мог спуститься в нее во время работы. При песчаных и глинистых грунтах не трудно сохранить как-раз такие размеры ям, как это удобно работающему, но при наличии валунов и в обломочных грунтах объем вынимаемого грунта обычно увеличивается.

Употребление рычагов и лопат с длинными рукоятками позволяет выкапывать глубокие траншеи небольшой ширины, но продуктивность такой работы ниже, чем при открытом рытье.

Обычно применению такого способа мешают большие валуны. Издержки на выемочные работы сильно возрастают по мере увеличения глубины траншей.

Отношение между продуктивностью этих двух способов рытья колеблется повидимому между 1 : 2 и 1 : 3. Таким образом можно видеть, что экономия, получаемая благодаря уменьшению объема, легко может быть поглощена возрастающими издержками на единицу кубатуры выемки при условиях, создаваемых теснотой траншеи.

В грунтах, не содержащих крупных камней, которые являются препятствием к тому, применяются способы, заменяющие ручной труд. Имеются различные типы машин для рытья ям диаметром от 0,6 до 0,9 *м*. При работах по электрификации одной жел. дороги частично применялся остроумный способ: в землю вгоняли два хорошо пригнанных концентрических цилиндра, затем внутренний цилиндр вынимался и содержащаяся в цилиндре земля удалялась, наружный цилиндр оставался в грунте, являясь таким образом обсадной трубой, окружающей опору.

Осуществимость какого-либо механического способа рытья при тесной полосе отчуждения главным образом зависит от занятости пути, а также от почвенных условий. На открытой и широкой полосе отвода, где машина может работать и передвигаться все время, эта механизация оказывается выгодной и применение ее вполне оправдывается. Однако в большинстве случаев там, где линии передачи имеют общие опоры с распределительной сетью, нагрузки на опоры таковы, что это требует более значительных выемок, нежели можно вырыть указанным способом. При ручном рытье большую пользу оказывает применение взрывчатых веществ. Можно снять верхний слой грунта и даже произвести частичную

НТБ ДНУЖТ

выемку, соответственно уложив динамит в скважину, сделанную с помощью шеста на глубину, которая требуется для окончательной выемки.

Легко покрыть издержки в 30-50 центов на динамит и патроны сокращением ручного труда. При выемках в горных породах для образования углублений главным образом применяется динамит и порох, закладываемые в буровые скважины. Буровая машина должна легко передвигаться как по рельсам, так и вне рельсового пути. Следует применять машины тяжелого типа, причем особое внимание должно быть обращено на их текущий ремонт и на регулярный осмотр. Повреждение машины вызывает перерыв в работе целой артели по меньшей мере на целый день, что сопровождается убытком от 30 до 50 долл. Ясно, что убытки, вызванные несколькими такими повреждениями, могут поглотить разницу между стоимостью более хорошей тяжелой машины и дешевой, но менее прочной.

В общем большее внимание следует обращать на выемки в горных породах, чем на выемки в обыкновенных, вследствие неравномерности работы и более высоких других издержек. Удаление скалистого грунта обходится на 1 *жб. м* в два-три раза дороже удаления простой земли. Кроме того медленность и ненадежность работы в скалистом грунте очень часто препятствуют успешности дальнейшей закладки фундамента, чем также повышают общие расходы.

Фундаменты, составляющие одно целое со столбом. Когда выемка готова, то возникает вопрос, каким образом связать грунт и конструкцию. Там, где опрокидывающий момент незначителен, достаточно одной опорной поверхности столба. Однако в этом случае приходится учитывать разрушающее действие грунта на материал столба; при временных конструкциях это не имеет значения. При применении деревянных столбов срок службы чрезвычайно важен, и поэтому были тщательно изучены различные способы удлинения этого срока. Пропитка зарываемых концов креозотом применяется повсеместно, где экономичность ее наглядно выявлена.

Исследование экономии, получающейся при этом способе, по меньшей мере удваивающей при некоторых условиях продолжительность жизни столбов, демонстрируется состоянием 10-метровых столбов при двух совершенно различных условиях.

Таблица I

Условия А

В восточной части Соединенных Штатов

Пропитанные столбы обходятся 8 долл., а непропитанные—5 долл. Оплата рабсилы на установку и армировку—15 долл. Продолжительность службы соответственно 30 и 15 лет.

(30-летний период)

Два непропитанных столба .	10 долл.	Один пропитанный столб	8 долл.
Установка двух столбов. . . .	30 »	Установка одного столба	15 »
Проценты и начисления, падающие на столб, считая 6% на 20 долларов в течение 30 лет. . . .	36 »	Проценты и начисления, падающие на столб, считая 6% на 23 доллара в течение 30 лет	41,40 »
	76 »		64,40 »

Экономия при пропитке одного столба—11,60 долл. за 30 лет, или 0,37 долл ежегодно.

Заключение. Пропитка дает ничтожную экономию, которой можно пренебречь.

НТБ ДНУЖТ

Условия Б

В западной части Соединенных Штатов

Пропитанные столбы обходятся 5 долл., а непропитанные столбы—1,50 долл. Оплата рабсилы на установку и армировку—8 долл. Продолжительность службы соответственно 30 и 15 лет.

(30-летний период)

Два непропитанных столба	3 долл.	Один пропитанный столб	5 долл.
Установка двух столбов. . . .	16 »	Установка одного столба . . .	8 »
Проценты и начисления, падающие на столб, считая 6% на 9,50 долл. в течение 30 лет. . . .	17,10 »	Проценты и начисления, падающие на столб, считая 6% на 13 долл. в течение 30 лет	23,40 »
	36,10 »		36,40 »

В случае установки стальных столбов непосредственно в грунт,—вследствие того, что сталь очень быстро подвергается действию коррозии,—необходимо часть, находящуюся в земле, покрыть защитным слоем. В этом особом случае продолжительная служба верхних частей опор делает еще более желательным обратить особое внимание на сохранение по крайней мере такой же продолжительности жизни и подземной части. Обычно стальные столбы устанавливаются потому, что они выдерживают более тяжелые нагрузки, чем деревянные, так что для них необходима большая опорная поверхность как для бокового давления, так и для давления на подошву.

Были предложены различные типы асфальтовых покрытий, но они не дают увеличения площади, необходимой для использования повышенного сопротивления стальной конструкции. На одной жел. дороге, где мачты поддерживали только фидера, применялись особые чугунные части, пригонявшиеся к столбу двутаврового профиля. Пространство между чехлом и столбом заполнялось материалом, который задерживал воду и защищал столб. Точно так же можно пользоваться бетонным слоем вокруг стали. Здесь еще одно преимущество—увеличение действующей опорной поверхности одновременно с защитой самой стали. При этом способе стоимость бетона на единицу объема значительно ниже, нежели при заливке на месте работы, вследствие легкости перемешивания и транспортировки бетона на заводе.

Применение этого типа фундаментов, составляющих одно целое со столбом, имеет много преимуществ. При таком способе не требуется операций перемешивания и заливки бетона на линии вдоль железнодорожного полотна. Кроме того расходование бетона находится под определенным наблюдением и бесхозяйственное его использование сводится к минимуму.

Работы по утрамбовке фундамента землей аналогичны работам по очистке земли, имеющим место в некоторых случаях. Однако относительно незначительная опорная поверхность на единицу длины, которую можно получить при такого типа фундаментах, в значительной степени ограничивает область их применения. В целях получения желаемого момента сопротивления, уравновешивающего опрокидывающий момент, приходится итти на большую глубину. При малой поверхности основания трудно получить соответствующие величины коэфициента устойчивости и давления на грунт. Для такого типа оснований прекрасно подходят местности, где выемку можно производить на необходимую глубину с помощью машины и где нагрузки относительно незначительны.

НТБ ДГУЖТ

В целях сохранения выгоды, доставляемой монолитностью фундамента и опоры и в то же время для достижения большей полезной опорной поверхности в некоторых случаях пользовались наружным цилиндром; такой цилиндр изготовлялся из чугунной трубы и надевался на столб. Промежуточное пространство для получения компактной массы тщательно утрамбовывалось щебнем и гравием.

Преимущество такой конструкции в том, что яма может быть выкопана и труба подготовлена задолго до фактической установки столба, причем опасность обвалов будет отсутствовать.

С точки зрения обеспечения связи между грунтом и столбом не представляется возможным считать, что наружный цилиндр будет служить постоянно, в виду того, что 18-калибровый лист оцинкованной стали имеет ограниченную продолжительность жизни в грунте. В этом случае, также как и при других фундаментах, отлитых заранее, следует обращать особое внимание на то, чтобы опорная площадь самого основания столба была достаточна для того, чтобы выдержать максимальную нагрузку. Для увеличения этой площади служат бетонные сваи.

Фундаменты, не составляющие одного целого с опорами. Несмотря на все преимущества фундаментных масс, составляющих с опорами одно целое, ограниченность получающихся размеров опорной поверхности является достаточным стимулом для применения фундаментов, возводимых в выемках независимо от столбов. Такой способ в особенности применим там, где благодаря особенностям почвы и большим нагрузкам необходим тяжелый фундамент. При типах фундаментов, заливка которых происходит на месте работ, в особенности большое значение имеет бетон. Стоимость бетона может быть очень высокой вследствие малой продуктивности работы на рабочих поездах.

Естественно, что главным элементом, определяющим стоимость бетона, является способ перемешивания бетона и его развозки. Перемешивание бетона во время пути довольно непродуктивный, хотя и распространенный, способ использования времени. Эта работа с таким же успехом может быть исполнена во время ожидания на подъездных и запасных путях; принимая это в соображение, наиболее эффективной будет система, при которой поезда, обслуживающие бетонные работы, разделяются на две части: одна для перемешивания бетона, а другая для его развозки по местам работ. Часть, занятая перемешиванием бетона, после начала работы может быть оставлена на ближайшем подъездном пути. Часть, занятая распределением бетона, может состоять из одной или двух цистерн для бетона с большой вместимостью, в которые готовый, перемешанный бетон передается с помощью конвейеров и жолобов из резервуаров, находящихся в поезде, предназначенном для изготовления и перемешивания бетона. Один или два вагона-цистерны с достаточно большими спускными отверстиями могут очень быстро заполнить ямы, причем их подача к местам работы осуществима легче, чем целого бетонного состава. Степень успешности такого способа зависит от надлежащей конструкции частей поезда и от налаженности работы для быстрой разгрузки. Вследствие большого числа людей, занятых бетонными работами, благодаря высокой арендной плате за подвижной состав и необходимости интенсивно использовать время на занятие путей следует пойти на любые расходы, обусловливающие максимальное улучшение оборудования для перемешивания бетона.

НТБ ДГУЖТ

	Фундаменты, составляющие одно целое с опорой		
Тип	Асфальтовое покрытие поверх стали	Предварительная заливка бетоном столбов	Предварительная бетонировка и труба поверх опоры
Выемка	Очень глубокая (Для получения опорной поверхности вследствие ограниченного диаметра столба)	Средней глубины	Защищена от обвалов
Стоимость	Высокая	Несколько высока благодаря глубине и узости выемки	—
Формы	Не применяются	Не применяются	Трубы
Детали	—	—	—
Стоимость	—	—	Высокая
Бетон	Не применяется	Тщательное перемешивание и точный контроль состава бетона	
Металлические части	Длинная подземная часть опоры	С р е д н я я	
Стоимость	Высокая	С р е д н я я	
Установка столбов	Легкая	Лишний вес, требуется особая осторожность благодаря применению бетонного фундамента	
Стоимость	Низкая	С р е д н я я	
Применение	Применяется при самых легких нагрузках в грунтах, легко поддающихся бурению	Применяется в тех случаях, когда нагрузка допускает применение фундамента бокового давления. Ограничиваются экономичностью глубоких ям	Обходятся дорого. Употребляются только в том случае, где ямы должны быть оставлены некоторое время открытыми

Примечание. Обычно издержки на бетон составляют главнейшую статью расхода в отношении количества расходуемого бетона, так и легкости его

НТБ ДНУЖТ

Таблица II

фундаментов

Фундаменты, не составляющие одного целого с опорой			
Заливка ям бетоном	Бетон с отверстием для опоры	Фундамент с конструкцией для удлинения столба	Фундамент с опорной конструкцией и анкерными болтами
—	—	—	—
Могут применяться в зависимости от почвенных условий либо фундаменты бокового давления, либо тяжести			
Самая дешевая			
Требуется опалубка			
—	Внутренняя опалубка для воронки	Фасонное железо	Фасонное и листовое железо
Низкая	Средняя	Средняя	Низкая
Перемешивание при неблагоприятных условиях на месте работ, состав количественно не контролируется			
Средняя	Средняя	Тяжелые части коробчатого железа и болты. Анкерные болты и опорная часть	
Средняя	Средняя	Высокая	Средняя
Тщательность вертикальной установки	Легкая	Легкая	Весьма легкая
Средняя	Низкая	Низкая	Очень низкая
Отсутствует наблюдение за перемешиванием бетона, что является недостатком	Способ дорогой вследствие сложности применения воронки и недостаточного контроля над расходованием бетона	Способ дорогой вследствие сложности и недостаточности надзора над расходованием бетона	Применяется в тех случаях, когда нагрузки и почва не позволяют предварительной бетонировки

на устройство фундаментов, так что прежде всего следует стремиться к экономии как перемешивания.

НТБ ДНУЖТ

Так как издержки на бетон относительно высоки сравнительно с издержками на выемку грунта, то следует употребить максимальные усилия на то, чтобы свести до минимума размеры ям, требуемых конструкцией фундамента. При этом может потребоваться несколько большая затрата труда на единицу вырытого грунта, так как при этом необходима особо тщательная работа; однако такой способ безусловно окупится, если принять в соображение, что 1 $м^3$ бетона стоит в два—три раза дороже 1 $м^3$ земляных работ по устройству выемок. Такой способ особенно применим к устройству фундаментов тяжести, потому что широкие ямы, которые обычно требуются для этого типа фундаментов, позволяют производить земляные работы с большей тщательностью. При фундаментах бокового давления, по теории, размер ям должен быть незначителен, но при невозможности на практике сохранить их очертания в пределах требуемых размеров вся предполагаемая экономия на объеме бетона может быть этим поглощена.

Укрепление столбов в фундаменте. При заливке фундамента укрепление в них опор является другой проблемой. Простейший способ—установить столб в надлежащем положении и залить его бетонной массой. Это обычный способ, практикующийся в Европе. Этот пособ имеет определенные преимущества, если столбы можно поднять на месте работы вручную после развозки их поездом по местам установки.

В яме, на соответствующей глубине, укладывается фундаментная плита, а столб поднимается с помощью шестов и канатов и поддерживается ими во время заливки. Таким способом при рациональной организации работ возможно поднимать большие столбы, например столбы двутаврового профиля до 25-го номера при 11-метровой их длине. При этом получается экономия, во-первых, потому, что для установки не пользуются подъемными кранами и рабочими поездами и, во-вторых, потому, что не получается сдвига закрепляющих приборов и форм.

Этот способ неприменим при установке столбов больших размеров (весом свыше 1 $т$). Если хотят обойтись без стыка в фундаменте, то в фундаменте может быть оставлена воронка и столб в нее опущен с помощью крана и после этого залит цементной массой. Это вызывает дополнительные расходы на двукратный процесс заливки и одновременно усложняет необходимостью установки внутренней формы. Другой способ заключается в заделке в бетон коробчатого железа или других фасонных железных частей, являющихся как бы естественным удлинением столба, с которыми этот последний соединяется потом с помощью болтов или заклепок. Швеллера и балки, необходимые для того, чтобы придать основанию максимум сопротивления, повышают стоимость подземной части фундамента. Чрезвычайно трудно установить опорные конструкции строго по вертикали, вследствие чего даже при очень незначительном угловом отклонении от вертикали, при короткой длине этой конструкции, таковое вызовет очень большое отклонение вершины опоры вследствие ее большой длины.

Другая возможность—это устройство опорной конструкции для мачт при помощи анкерных болтов (фиг. 42). Если соблюдена простота и использованы выгоды применения стандартных стальных деталей, стоимость такого основания может быть нормальной, даже при условии затраты значительного количества металла. Легкость установки при этой конструкции очевидна—анкерные болты вставляются в плиту, заложенную

НТБ ДГУЖТ

в бетон, опора опускается на болты и затем устанавливается вертикально с помощью клиньев и подкладок. Этот тип фундаментов полезен при больших мачтах вследствие невозможности их установки непосредственно в яму с заливкой бетоном. В случае, если появится необходимость вынуть столб обратно, описанный способ имеет определенное преимущество вследствие того, что столб может быть легко отделен от фундамента.

ОПОРЫ

Теория расчета конструкций. Опорные конструкции для воздушной распределительной сети должны быть прежде всего рассчитаны на общих основах строительной механики и сопротивления материалов. При простейших типах является достаточным применение формул элементар-

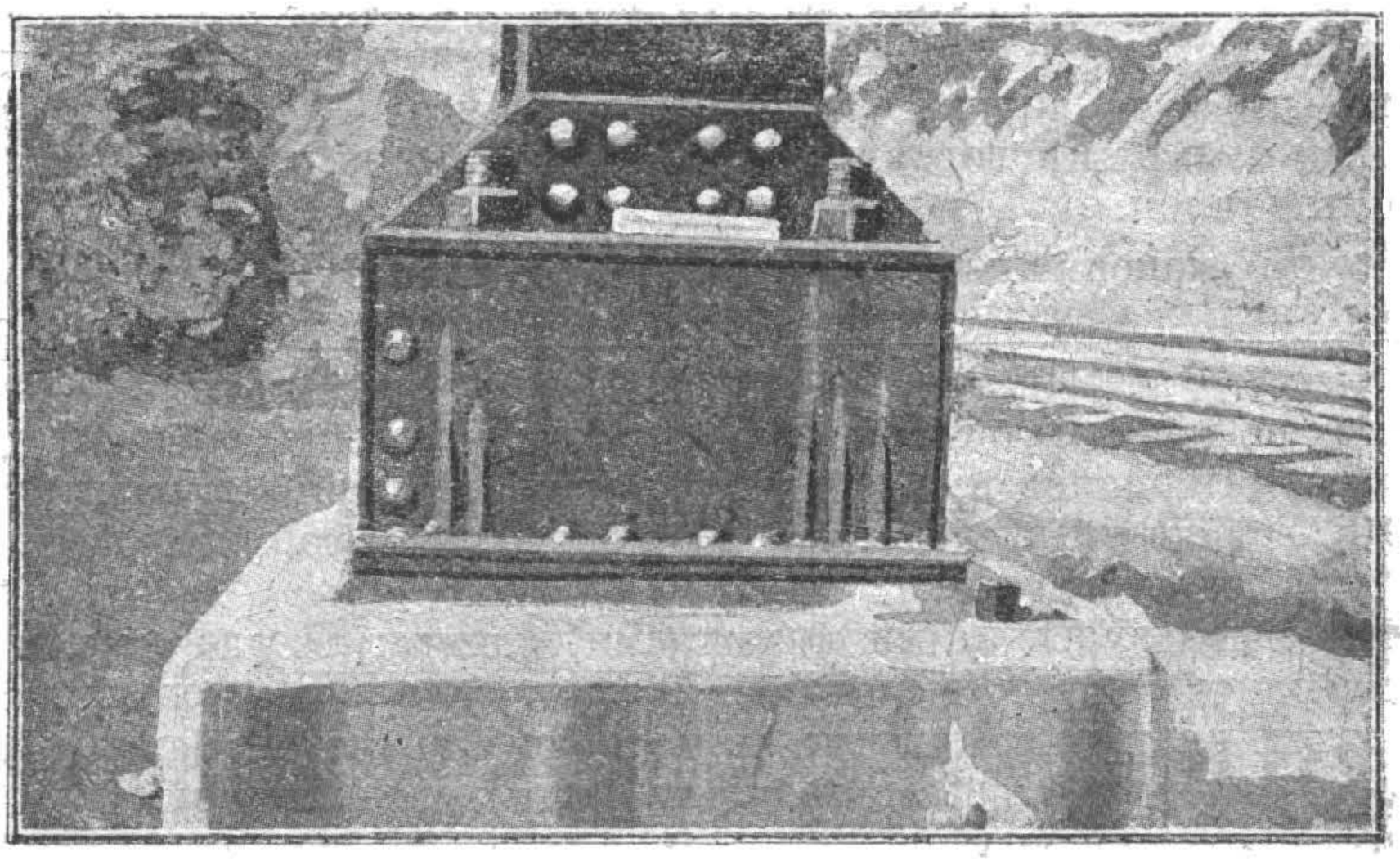


Рис. 42. Фундаменты с анкерными болтами.

ной статики. Нагрузки, которые действуют на опорную конструкцию, определяются для наиболее невыгодных условий.

При более сложных сооружениях, где невозможно с помощью простых вычислений разрешить вопрос о напряжениях, для изучения отношения между нагрузками и напряжениями можно пользоваться аппаратом Беггса. Для этой цели изготовляются небольшие целлулоидные или картонные модели различных конструкций; толщина частей пропорциональна квадратному корню из момента инерции относительно оси. Придавая какому-либо из элементов модели определенное перемещение, находят движение в направлении искомой реакции в точке приложения предполагаемой нагрузки. Тогда по теореме Максвелла о взаимности перемещений находятся и величины соответствующих реакций от приложения нагрузки.

Из ряда отсчетов составляются инфлюэнтные линии вдоль элементов сооружения и определяется изгибающий момент реакции путем суммирования всех сил, действующих в различных точках.

Размеры и материал различных элементов сооружений должны быть найдены, исходя из основных принципов сопротивления материалов.

НТБ ДГУЖТ

В элементе, подверженном действию изгибающего момента, как например в кронштейнах, консолях, или поперечных связях, максимальное напряжение, которое не должно превосходить допустимых пределов, определяется следующей простой формулой:

$$\text{максимальное напряжение } (кг \text{ на } см^2) = \frac{\text{максим. изгибающий момент } (кг \cdot см)}{\text{момент сопротивления } (см^3)}.$$

Для случая, где имеется сжатие (как например у мачты с центрально-расположенным проводом) и изгиб от действия нагрузки ветра, получаем следующее выражение:

$$\text{максимальное напряжение } (кг \text{ на } см^2) = \frac{\text{максим. изгибающий момент } (кг \cdot см)}{\text{момент сопротивления } (см^3)} + \frac{\text{сжатие } (кг)}{\text{площадь } (см^2)}.$$

Если имеем более сложный случай мачты с кронштейнами, поддерживающими провода, причем одновременно имеет место эксцентричная нагрузка и от веса проводов и от ветра, в уравнение должен быть введен добавочный член:

$$\text{максимальное напряжение } (кг \text{ на } см^2) = \frac{\text{максим. изгибающий момент от веса и нагрузки от ветра } (кг \cdot см)}{\text{момент сопротивления } (см^3)} + \frac{\text{сжатие } (кг)}{\text{площадь } (см^2)}.$$

Величины максимальных допускаемых напряжений изменяются для различных материалов и различных отношений длины к радиусу инерции. Эти величины выражаются эмпирическими формулами соответственно характеру нагрузки.

Однако, пользуясь этими формулами, следует всегда помнить, что принятые методы подсчета сложного сопротивления несовершенны и что ими пользуются лишь потому, что в настоящее время нет более совершенных представлений о действительных физико-механических процессах, при этом происходящих.

Деревянные опоры. Основными материалами, выгодными для сооружения опор, являются три: дерево, бетон и сталь (железо). Выбор того или иного материала является в значительной степени вопросом экономики, разрешаемым в соединении с технической применимостью этих материалов в данных условиях.

Деревянные столбы имеют ограниченные пределы применения, которые ставятся, как это видно из нижеследующей таблицы Американской железнодорожной технической ассоциации, низкими величинами допускаемых напряжений.

Допускаемые напряжения изгиба для стандартных деревянных конструкций (в *кг* на 1 *см*²)

	Нагрузка вертикальная, поперечная, под углом и постоянная	Продольная нагрузка
Белый дуб . . .	115	350
Западный кедр		
Каштан. . .		
Желтая сосна .	85	250
Восточный кедр		
Красное дерево .		

НТБ ДНУЖТ

Обычно употребляемые размеры столбов показаны в следующей таблице.

Длина окружности в *мм* на расстоянии 150 *мм* от нижнего отруба

Материал	Каштан		Восточный кедр		Западный кедр	
Класс	А	Б	А	Б	А	Б
Длина						
(30′) 9,14 *м* . .	1 000	910	1 000	910	940	860
(35′) 10,66 » . .	1 080	1 000	1 080	960	1 000	910
(40′) 12,19 » . .	1 125	1 080	1 180	1 080	1 080	960
(45′) 13,71 » . .	1 200	1 180	1 260	1 180	1 125	1 000
Длина окружности в верхнем отрубе						
Для всех размеров длины столба . .	610	560	610	560	710	630

Допускаемые сопротивления в случае продольного изгиба должны быть понижены умножением на коэфициент $\left(1 - \frac{\text{длина}}{60 \text{ диаметров}}\right)$.

В пределах, обусловливаемых величиной нагрузок, в некоторых районах деревянные опоры имеют определенные преимущества благодаря их низкой стоимости. Вопрос об удлинении срока службы столбов путем применения пропитки дерева креозотом должен разрешаться на основе экономических данных, т. е. на взаимоотношении между долговечностью службы и стоимостью пропитки. В части, посвященной фундаментам (см. выше), был показан общий метод такого подсчета. При этом однако чрезвычайно затруднительно исчислить фактическое удлинение срока службы, так как на это влияют почвенные и климатические условия,—порода дерева, процесс пропитки и качество работы, являющиеся трудно учитываемыми факторами.

Опоры из прокатного железа. Для опор воздушных линий применяются железо и сталь различных марок. Вообще Американская железнодорожная техническая ассоциация определила, что для этих сортов проката «напряжение не должно превышать 20 000 фунтов на кв. дюйм (1406 *кг/см²*) на растяжение и изгиб и что сжатие должно быть ограничено до (18 000—80 наименьших радиусов инерции сечения в дюймах) фунтов на кв. дюйм (1265 *кг/см²*) при продольном изгибе при двух закрепленных концах». При одном свободном конце длина, указанная в формуле, должна быть в два раза больше действительной длины. Американский Институт стальных сооружений [1] допускает напряжение только 18 000 ф. на кв. дюйм для наиболее напряженных волокон.

[1] American Institute of Steel Construction.

НТБ ДНУЖТ

Для продольного сжатия Институт рекомендует максимальное напряжение:

$$\frac{18{,}000}{1 + \dfrac{\text{длина}^2\ (\text{дюймы}^2)}{18{,}000 \times (\text{минимальный радиус инерции})^2\ (\text{дюймы}^2)}}$$

при максимальном отношении длины к радиусу инерции = 120.

Теоретически предельная величина l/r может быть увеличена до 150, хотя обычно при проектировании сооружений все еще берутся более низкие величины. Для колонн, где l/r больше, обычные формулы для подсчета стальных конструкций неприменимы и следует пользоваться формулами Эйлера, выведенными для длинных, тонких колонн вида:

$$\text{макс. напряжение} = \text{модулю упругости} \times \frac{\text{радиус инерции в квадр.}}{\text{длина в квадрате}} \times$$

$$\times \text{ постоянная величина} \times \frac{1}{\text{коэфициент запаса}}$$

При колонне, закрепленной с одного конца и совершенно свободным другим концом, постоянная величина равняется 2,5, а при обоих свободных концах постоянная равняется 10.

Простейшей формой проката является двутавровое сечение, где большая часть площади сечения удалена от оси на наибольшее расстояние что дает большой момент сопротивления относительно этой оси. Балк, с двутавровым сечением дешевле других форм, считая на единицу длины в виду ее меньшего веса. Гладкая поверхность прокатного железа удешевляет окрашивание. Полки дают легкий способ для сбалчивания или прикрепления частей фундамента к столбу и облегчают поднятие опор. Ниже приведены главнейшие данные для балок двутаврового сечения.

Таблица А

Высота		Вес 1 погон. м	Момент сопротивления относительно оси		Радиус инерции относительно оси		Сечение	Вес на 1 см² наибольшего момента сопротивления
			параллельной шейке	перпендикулярной шейке	параллельной шейке	перпендикулярной шейке		
дм	см	кг/м	см³	см³	см	см	см²	кг / 1 000 см³
14	35,6	125	688	2 144	8,9	15,2	158	0,059
		149	836	2 507	8,9	15,5	188	0,059
		183	1 049	3 114	9,1	15,7	232	0,059
		231	1 360	3 933	9,1	16,0	292	0,059
12	30,5	97	459	1 392	7,6	13,0	123	0,070
		118	574	1 688	7,6	13,2	148	0,070
		148	737	1 966	7,9	13,5	186	0,075
		168	836	2 425	7,9	13,5	213	0,069

НТБ ДНУЖТ

Высота		Вес 1 погон	Момент сопротивления относительно оси		Радиус инерции относительно оси		Сечение	Вес на 1 $см^3$ наибольшего момента сопротивления
			параллельной шейке	перпендикулярной шейке	параллельной шейке	перпендикулярной шейке		
дм	*см*	*кг/м*	$см^3$	$см^3$	*см*	*см*	$см^2$	*кг* / 1 000 $см^3$
12/10	30,5	95	377	1 327	6,3	13,0	120	0,072
	25,4	104	410	1 458	6,3	13,0	131	0,071
10	25,4	74	295	868	6,3	10,9	93	0,085
		90	361	1 082	6,3	11,2	114	0,083
		107	442	1 278	6,6	11,2	135	0,084
10/8	25,4	57	180	639	5,1	10,7	70	0,089
	20,3	71	229	819	5,1	10,9	88	0,087
8	20,3	48	147	442	5,1	8,6	59	0,109
		59	197	557	5,1	8,9	74	0,106
		72	246	688	5,3	8,9	92	0,104
8/6 $^1/_2$	20,3	51	131	475	4,1	8,6	65	0,107
	16,5							
6	15,2	30	66	213	3,8	6,6	37	0,141
		39	98	279	3,8	6,9	50	0,140
		50	131	361	4,1	8,9	63	0,138

Двутавровое сечение имеет весьма широкое применение даже в странах, где металл дорог, а труд дешев. В Соединенных Штатах жел. дороги Нью-Иорк—Нью-Хейвен и Хартфорд, Иллинойс—Сентраль, Лонг—Айленд, Вирджини и Северо-Западная употребляют его как стандарт. Пенсильванская железная дорога при позднейших работах по электрификации до Вильмингтона также достаточно широко применяла это сечение. В Европе двутавровое сечение применено для опор воздушных линий на железной дороге Париж—Орлеан, на Южных ж. д., швейцарскими федеральными ж. д., и австрийскими жел. дорогами.

Полые стальные опоры. Другой вид стальных опор составляют полые столбы. Сечение при этом таково, что сопротивление его во всех направлениях одинаково. Однако цена единицы веса для такого сечения очень высока. Окрашивать приходится только часть поверхности, так как только половина ее находится снаружи. Серьезный недостаток таких опор — затрудпительность устройства каких-либо креплений и трудность взлезания по ним.

Трубчатые мачты были применены на некоторых участках Северо-Западной жел. дороги, а в настоящее время таковые применяются Пенсильванской ж. д. (рис. 56); итальянские ж. д. применяют их почти исключительно. За последнее время форма их была изменена для увеличения

НТБ ДИУЖТ

Основные данные трубчатых столбов

Размер	Вес оболочки — кг на 1 пог. м	Момент сопротивлен. относит. оси ($см^3$)	Радиус инерции (в $см$)	Вес 1 пог. $м$ на 1 $см^3$ момента сопротивлен.
Шестидюймовые стандартные .	28,3	142,5	56	0,19
Особо тяжелые	42,5	196,6	56	0,22
Восьмидюймовые стандартные .	42,5	278,6	73	0,15
Особо тяжелые.	64,5	393,3	73	0,16
Десятидюймовые стандартные .	60,0	494,6	94	0,12
Особо тяжелые.	81,3	639,1	91	0,13
Двенадцатидюймовые стандартные	73,8	803,0	112	0,09
Особо тяжелые. . . .	97,3	885,0	110	0,11

момента сопротивления в направлении максимального усилия—перешли от круглой формы сечения к эллиптической (рис. 43).

Фасонные (тянутые) стальные опоры. Опоры фасонного прокатного сечения развились из плоского сечения; при этом стремились к наилучшему использованию площади сечения. Способ изготовления фасонных опор дешевле, нежели обычный способ составных конструкций такого же сечения. Сравнительно с мачтой простого прокатного сечения этот тип мачты окрашивать труднее. В приводимой ниже таблице помещены общие данные относительно этих мачт.

Размер		Вес ($кг$)	Момент сопротивления относительно оси		Радиус инерции относительно оси		Площадь ($см^2$)	Вес (в $кг$) на 1 $см^3$ наибольшего момента сопротивления
Дюймы	$мм$		параллельной шейке	перпендикулярной шейке при 7,5 $м$ от вершины ($см^3$)	параллельной шейке	перпендикулярной шейке при 7,5 $м$ от вершины ($см$)		
5	127	7,3	49,16	311	30,5	118	30,9	0,023
6	152	9,16	65,5	49,9	35,6	142	38,7	0,020
7	178	11,8	81,9	655	40,6	159	47,1	0,018

Составные конструкции. Оказалось, что самый экономический вид использования единицы веса для опор имеет место в составных металлических конструкциях. При этом применяются различные составные сечения, например пара швеллеров (рис. 47 и 51) или четыре уголка (рис. 57 и 58).

НТБ ДПУЖТ

При надлежащем применении металла в тех местах сечения, где он может принести максимальную пользу, получаются вполне хорошие конструкции. При малых размерах для случая таких же нагрузок, что и при применении металлических форм, о которых упоминалось ранее, употребление составных конструкций всецело зависит от относительных издержек на металл, на рабсилу для изготовления и сборки составных конструкций и для производства малярных работ.

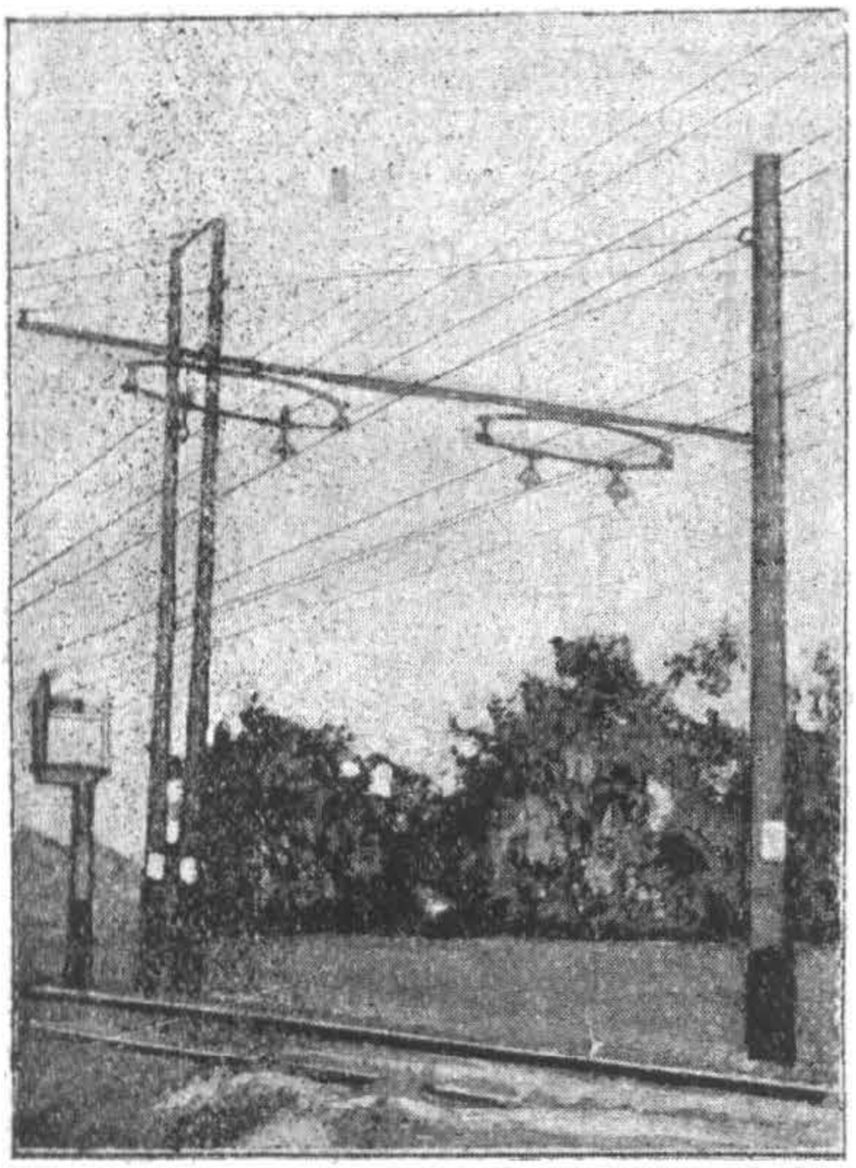


Рис. 43. Трубчатые мачты специальной формы на итальянских ж. д.

Вследствие того, что эти статьи расходов изменяются не одинаково, желательно применять в одном месте один тип, в другом — иной; таким образом вопрос о применении тех или иных типов опор в каждом случае должен разрешаться с точки зрения пригодности данного типа в данное время и в данном месте. При этом следует обращать внимание не только на первоначальные расходы, но также на издержки по окраске и содержанию в течение определенного эксплоатационного периода.

Жел.-бетонные опоры. Применение ж.-бетона для опор контактной сети не получило широкого распространения благодаря большому весу и большому количеству материала, требуемого для обеспечения необходимого сопротивления опор и вследствие непрочности самого бетона. Отдельные случаи применения имели место на одной ж. д. С. Штатов (рис. 44), на некоторых участках германских ж. д. (рис. 45) и на небольшом протяжении на швейцарских ж. д. В первом случае применены обыкновенные опоры из литого бетона состава 1 : $1^3/_4$: 2 с закладкой арматуры минимально на расстоянии в 50 *мм* от поверхности.

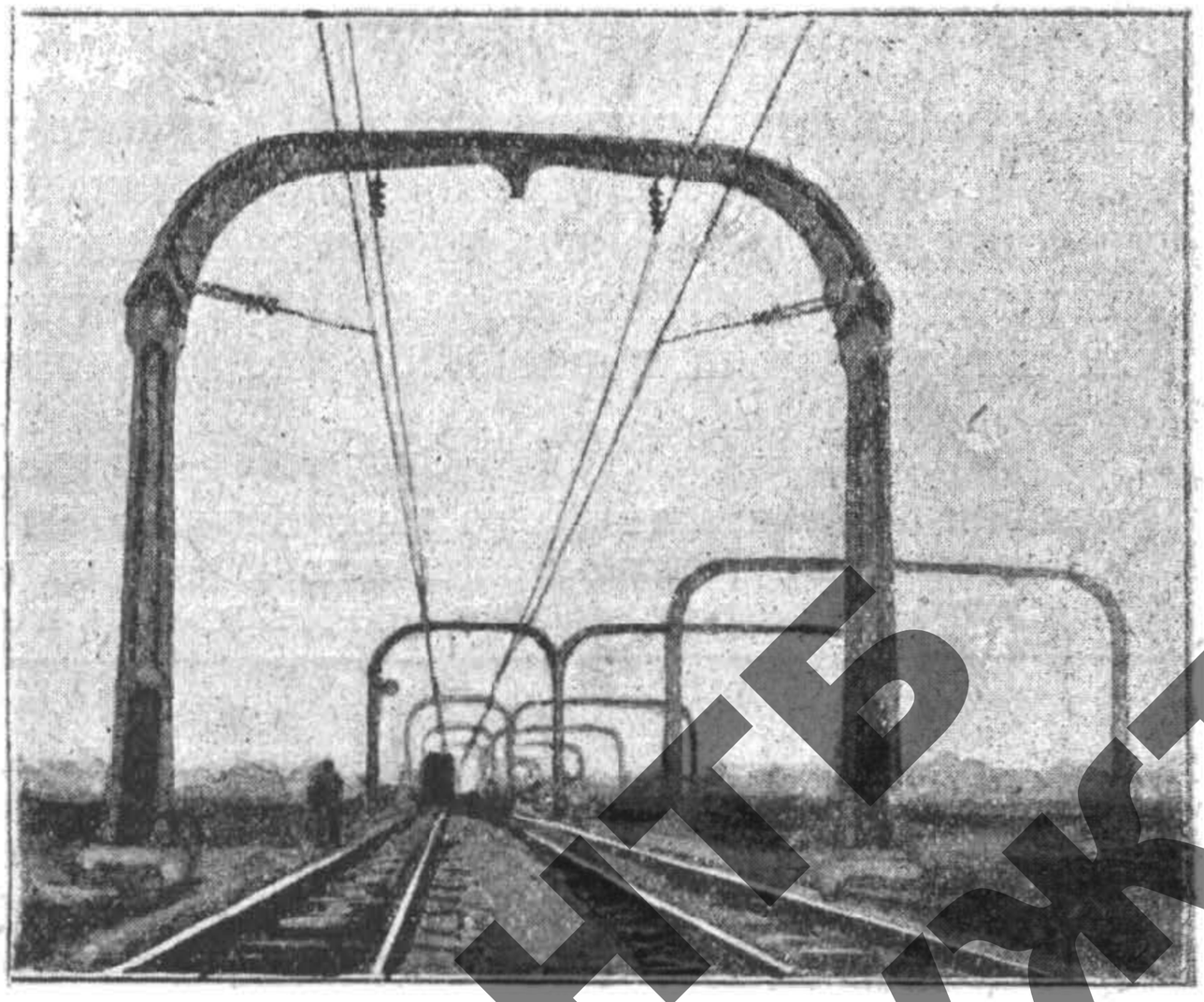


Рис. 44. Мачты из литого бетона в САСШ.

Затруднения встречаются при устройстве гибких креплений к столбу и поперечинам. Делать какие-нибудь выводы относительно продолжительности срока службы опор преждевременно, хотя в настоящее время уже наблюдается некоторая их изношенность.

В Германии применялся тип бетонных опор со спиральной арма-

НТБ ДНУЖТ

турой. Арматура собирается подобно составным железным опорам, вставляется в форму и заливается бетоном, который в результате применения центробежного способа приготовления получается чрезвычайно прочным. Работа таких опор еще слишком непродолжительна, чтобы могли выявиться признаки их разрушения. В С. Штатах применялись такие же опоры для различных сооружений помимо электрических ж. д. Общие данные относительно железобетонных опор приведены ниже.

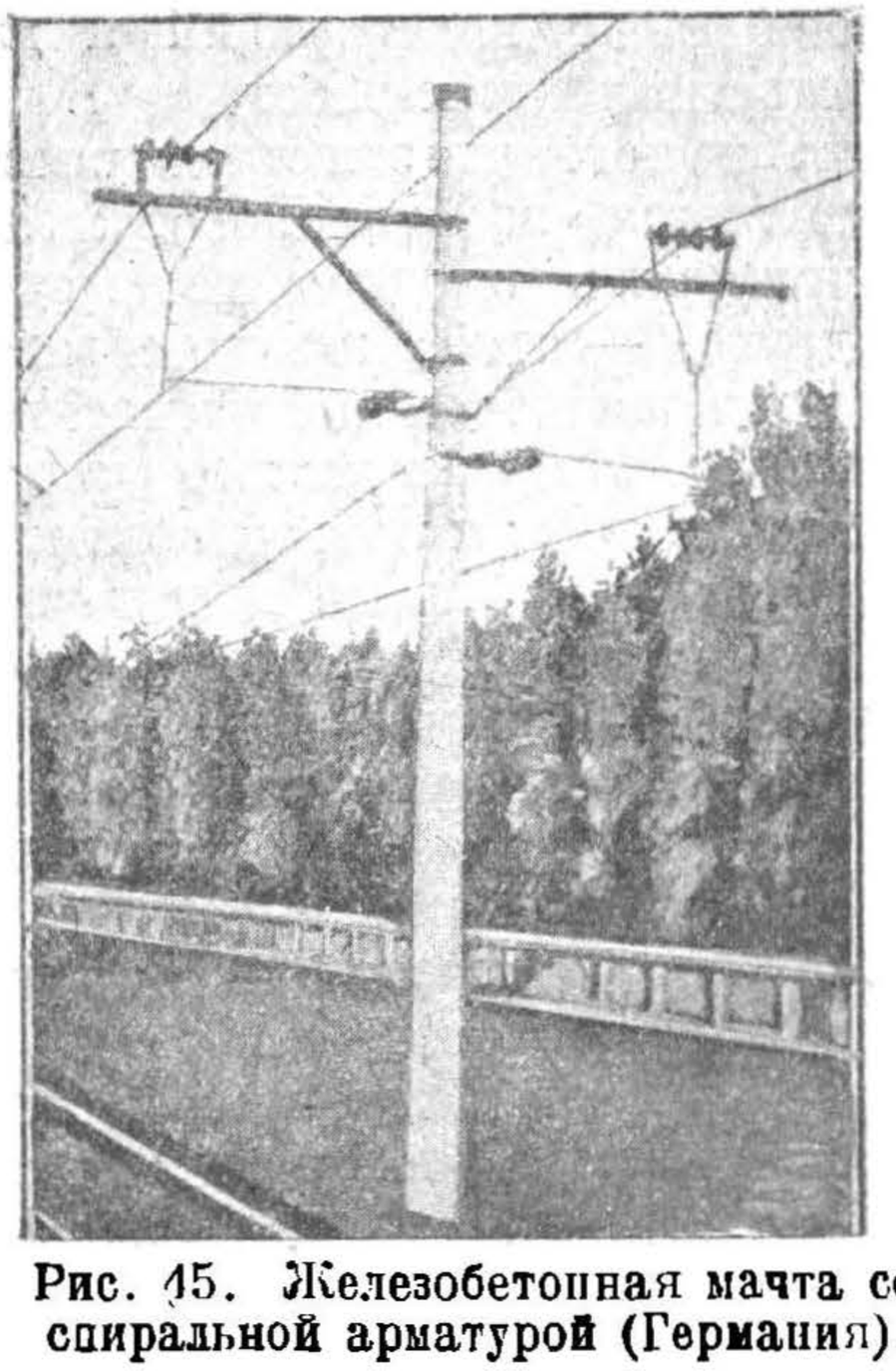


Рис. 45. Железобетонная мачта со спиральной арматурой (Германия).

Длина (в м)	Нормальная нагрузка (в кг)	В е с (в кг)
10.5	1 814	1 850
	1 360	1 496
	907	1 350
	680	1 200
	453	900
12,2	1 814	2 170
	1 360	1 880
	907	1 750
	680	1 550
	453	1 060
13,7	1 814	2 950
	1 360	2 300
	907	2 100
	680	1 880
	453	1 330

Общий экопомический анализ. С экономической точки зрения интересно произвести общее сравнение различных типов опор простейших конструкций, чтобы выявить некоторые условия их применения и показать методы подсчетов. Это исследование предполагает применение предельных нагрузок и напряжений, установленных Американской технической

Опоры без оттяжек.

Ближайший стандартный размер. Пролет 90 *м* при изгибающем моменте 5 500 *кг/м*, эквивалентном тяжению 650 *кг* на плече 8,5 *м*. При деревянных мачтах принимаются пролет в 45 *м* и половинные нагрузки.

Тип опор	Деревянные пропитанные	Полые железобетонные	Фасонные металлические	Мачты прокатного двутаврового сечения
Ближайший размер мачты и класс	Класс А длина 10 *м*	Класс 1 500 длина 10 *м*	150 *мм*, 38 *кг* на 1 пог. *м* длина 10 *м*	200 *мм* 48 *кг* на 1 пог. *м*, длина 10 *м*
Вес мачты (в кг)	Приблизительно 380	1 220	350	500

НТБ ДНУЖТ

Тип опор	Деревянные пропитанные	Полые железобетонные	Фасонные металлические	Мачты прокатного двутаврового сечения
Допустимое горизонтальное тяжение (в *кг*).	315	675	1:0	240
Стоимость мачты с доставкой франко станция ж. д. .	24 долл. (2)	60 долл.	28 долл.	29 долл.
Тип фундамента .	Обыкновенный грунт	Обыкновенный грунт	Литой бетон	Литой бетон
Стоимость сооружения фундамента и установки мачты.	24 долл. (2)	20 долл.	35 долл.	35 долл.
Общая стоимость установленной мачты.	48 долл.	80 долл.	63 долл.	64 долл.
Ежегодная оплата процентов и начисления, считая 6%. .	2,88 долл.	4,80 долл	3,78 долл.	3,84 долл.
Ежегодный ремонт . .	Не нужен	Не нужен	Окрашивание через каждые 5 лет (0,50 долл.)	Тоже (0,40 долл.)
Ежегодная амортизация. .	35-летний срок службы (1,92 долл.)	Незначительная	Незначительная, если окрашивание производится регулярно	
Общие годовые расходы .	4,80 долл.	4,80 долл.	4,80 долл.	4,24 долл.
Примечание . .	—	Затруднительность подъема и устройства креплений	Продольное сопротивление довольно низкое	—

железнодорожной ассоциацией. Приведены не только цифры действительной стоимости, но также провозная плата, стоимость фундаментов и расходы на ремонт. Все эти данные могут быть усмотрены из приводимой таблицы.

ОБЩЕЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ ЛИНИИ

Влияние общих правил по охране безопасности. Конструкция надземных опорных сооружений находится в тесной зависимости от железнодорожных правил в отношении охраны безопасности, наглядности и удобства ремонта. Некоторыми из них предусматривается установка жестких поперечин на всех опорах, устанавливаемых на многопутных линиях; в других требовалось механическое разделение линий в целях обеспечения работы одного пути в случае повреждения мачт на другом. Предлагалось конструирование мачт, выдерживающих полную одностороннюю нагрузку. В отношении конструкции поперечин имеются требования, чтобы они выдерживали полную нагрузку, включая сигнализационные устройства.

Опыт применения различных типов надземных сооружений за последние 20 лет дает указания на необходимость некоторых изменений. Очевидна нелепость требования устройства стальных частей с расчетом на установку сигнальных приспособлений на каждом пролете. Эксплоатация одинарных гибких поперечных конструкций на большинстве сортировочных станций и головных участков жел. дорог С. Штатов,

НТБ ДИИЖТ

протекавшая без каких-либо серьезных повреждений, показала, что и при этих сооружениях может быть обеспечена достаточная безопасность. Приостановка движения на всех путях вследствие аварии на одном из путей еще не является показательным фактором, потому что вообще само крушение связывает все движение больше, нежели повреждение распределительной сети.

Большие расходы на металл, в целях получения опоры, выдерживающей полную горизонтальную одностороннюю нагрузку, оказались ненужными благодаря благоприятным результатам, полученным от применения анкеровки проводов цепной подвески через интервалы приблизительно 900 *м*.

Система гибких поперечных конструкций оказалась удовлетворяющей требованию «видимости» сооружений лучше, нежели система жестких поперечин. В результате имеющихся сейчас накопленных эксплоатационных данных относительно опор соответствующие правила могут быть менее строгими.

Продольное тяжение. Комбинированная работа цепной подвески и поддерживающих конструкций интересна в связи с необходимостью устройства якорей (анкеровок) для уравновешения продольного тяжения в случае аварии. В основном вопрос сводится лишь к обрыву несущего троса, т. к. натяжение контактных проводов держится искусственно и практически падает до нуля при его обрыве. При таких повреждениях могут иметь место самые разнообразные случаи. Если точки опоры подвижны, то они могут передвигаться и укорачивать пролет. Если несущий трос прикрепляется к опорным точкам свободно, он может соскользнуть с них и удлиниться. Тогда, по мере того как точки опоры движутся, их сопротивление тяжению увеличивается до установления равновесия с понизившимся натяжением троса.

Случай подвижных точек подвеса может быть представлен типичным примером подвески на изоляторах на поперечном тросе, который при неуравновешенной нагрузке допускает горизонтальное перемещение до 0,9 *м*.

Если принять, что первая точка подвески передвигается на 1,0 *м*, а смежная с ней остается неподвижной, то вообще пролет должен укоротиться на 1,0 *м*., причем длина несущего троса оставалась бы постоянной. Изменение в натяжении цепной подвески обычного типа при пролете в 75 *м* и двух контактных проводах при нагрузке от льда следующее:

$$\text{Длина несущего троса} = 75 + \frac{75^3 \times 8{,}16^2}{24 \times 1{,}500^2} = 75{,}52\ м. \text{ (нормальное условие)}$$

$$\text{Длина несущего троса } = 75{,}52\ м\ = 74 + \frac{74^3 \times 8{,}16^2}{24 \times \text{натяжение}} \text{ при обрыве}$$

Результирующее аварийное тяжение=862 *кг*.

Однако на практике различие тяжения между первым и вторым пролетом в результате разрыва на первом компенсируется движением второй точки подвески, которая снова удлиняет первый пролет и укорачивает второй. Это действие неуравновешенной нагрузки распространяется на большое число пролетов в зависимости от величины тяжения, которое было допущено при монтаже. Действительное уменьшение нагрузки в первом пролете не очень велико вследствие общей гибкости и подвиж-

НТБ ДГУКТ

ности конструкции. При более жесткой подвеске эффект разрыва не передался бы такому же большому числу пролетов, но в то же самое время укорачивание было бы значительно меньше.

Действительное преимущество этой подвижности состоит не столько в уменьшении тяжения, сколько в том, что опорные конструкции могут сами передвигаться так, что перегрузка отдельных пролетов компенсируется их укорачиванием. Например при системе опорных конструкций с кронштейнами (консолями) мачта может повернуться, причем кронштейн принимает положение, отвечающее условиям нагрузки (рис. 46). Или в случае системы с поперечным тросом несущий продольный трос одного пролета может передать нагрузку другим пролетам и разгрузить оттяжки, которые нормально не выдержали бы односторонней продольной нагрузки.

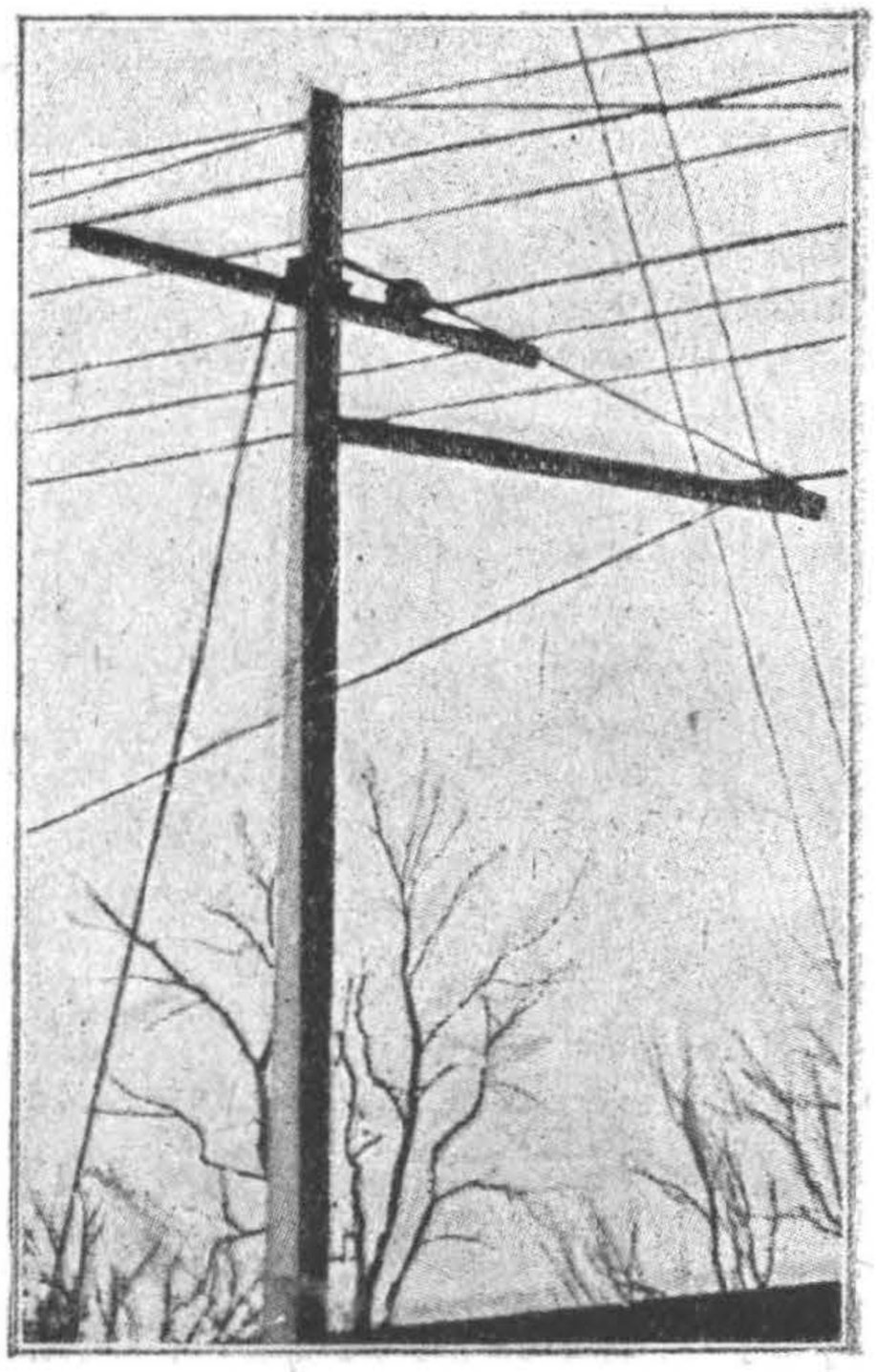


Рис. 46. Мачта двутаврового сечения

У зажимов несущего троса необходимо устраивать особые приспособления, позволяющие ослаблять его натяжение, если последнее превысило известный предел. Таким образом в случае повреждения несущий трос скользит в зажиме, если продольная нагрузка свыше допускаемой, и таким образом увеличивает провес и уменьшает натяжение. В приведенном выше примере при скольжении на 1,5 *м* первоначальное натяжение в 1,500 *кг* уменьшилось бы до следующей величины

$$\text{Нормальная длина} = 75 + \frac{75^3 \times 8{,}16^2}{24 \times 1{,}500^2} = 75{,}52.$$

$$\text{Увеличенная длина} = 77{,}02 = 75 + \frac{75^3 \times 8{,}16^2}{24 \times \text{уменьшен. тяжение}^2}.$$

Результирующее тяжение = 763 *кг*.

Здесь опять-таки понижение натяжения в первом пролете немедленно передается на соседний пролет вследствие скольжения подвески у второй опоры и далее до тех пор, пока неуравновешенное тяжение не будет воспринято клеммой на какой-нибудь опоре.

Таким образом нормальное продольное сопротивление опорного сооружения не должно отвечать максимальной односторонней нагрузке пролета, потому что благодаря подвижности системы ненормальная нагрузка снижается. При этом можно устраивать также дешевые продольные анкера, которые воспринимают неуравновешенную нагрузку несущего троса и та-

НТБ ДИИТ

ким образом ограничивают влияние обрыва. Дальнейшее увеличение гибкости в самих опорах может обусловить такое их отклонение, которое создало бы достаточное уменьшение тяжения, чтобы выдержать последнее.

Устройства, применяемые на однопутных участках ж. д. Рассматривая различные системы опор для различных условий, можно сказать, что вопрос всего проще решается на однопутных участках. Экономичность сооружения обусловливается применением лишь одного ряда мачт, т. п. самоподдерживающих, либо с оттяжкой. Сама цепная

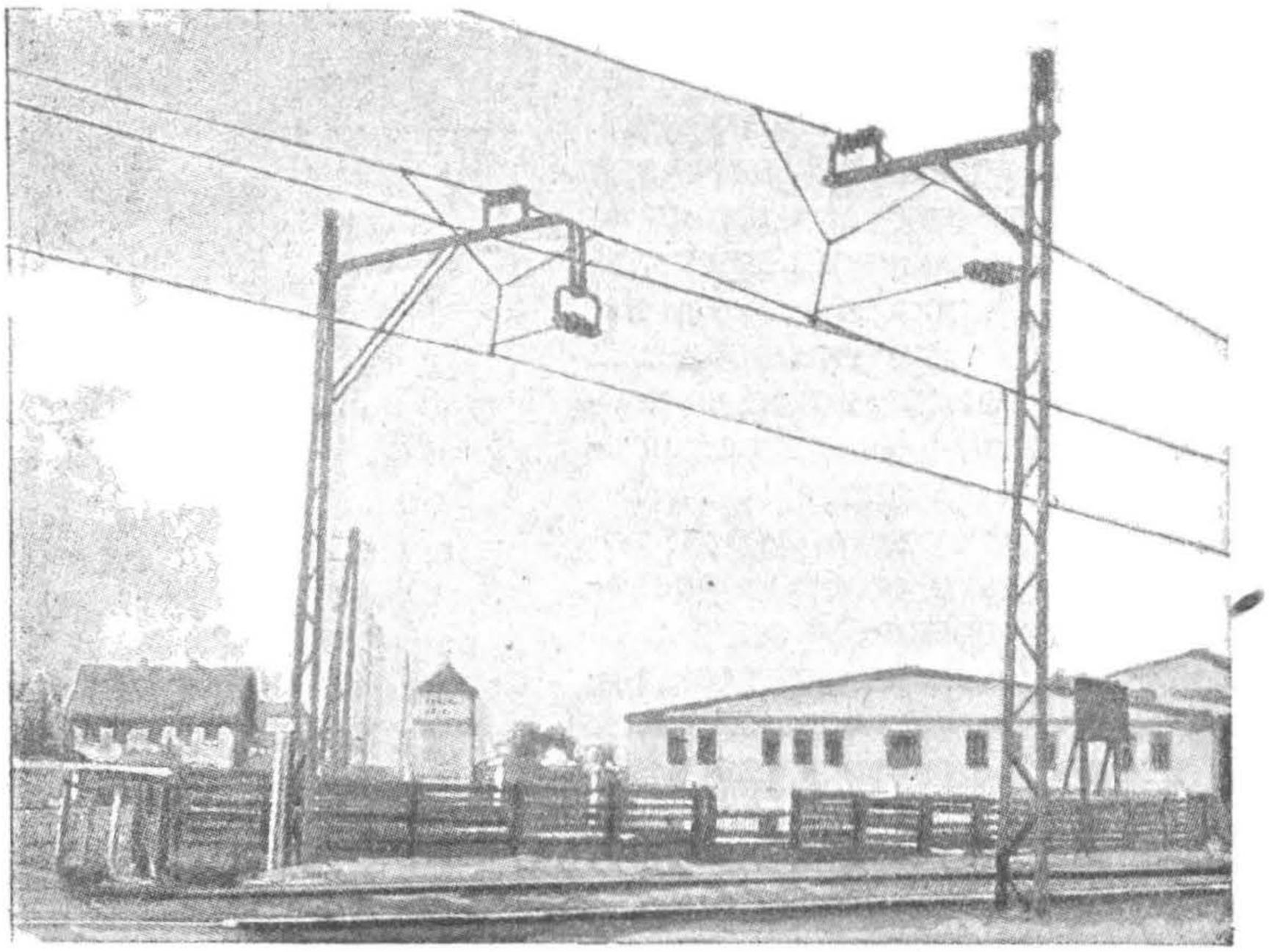


Рис. 47. Полное разделение путевых опор на двухпутных участках в Германии.

подвеска поддерживается с помощью кронштейнов или консолей. Для того, чтобы мачта не была слишком высокой, кронштейн может быть укреплен снизу с помощью укосины (рис. 47), употребление которых предпочтительнее оттяжек (рис. 46). Пользуясь изогнутой консолью с тягой, можно удовлетворить как требованиям эстетики, так и небольшой высоты мачты. Относительное достоинство такого устройства может быть иллюстрировано в общих чертах таблицей, приведенной на стр. 126.

В тех случаях, когда питающие фидера должны быть подвешены на тех же самых мачтах, пониженное благодаря уменьшению высоты мачт расположение проводов (вследствие замены оттяжек подкосами) может в достаточной степени уменьшить изгибающий момент, что даст возможность применения мачт более легкого веса. Там, где мачты находятся на кривой с внешней ее стороны, эти преимущества менее очевидны вследствие небольшой длины консоли.

Вопрос о том, следует ли применять самоподдерживающий тип мачт или мачты с оттяжками, является другим интересным объектом для экономических исследований.

НТБ ДНУЖТ

Устройства, применяемые на двухпутных линиях ж. д. Для осуществления конструкции опорных сооружений для воздушной контактной линии на двухпутных участках имеется довольно боль шое число различных возможностей. Наиболее простой способ **это**

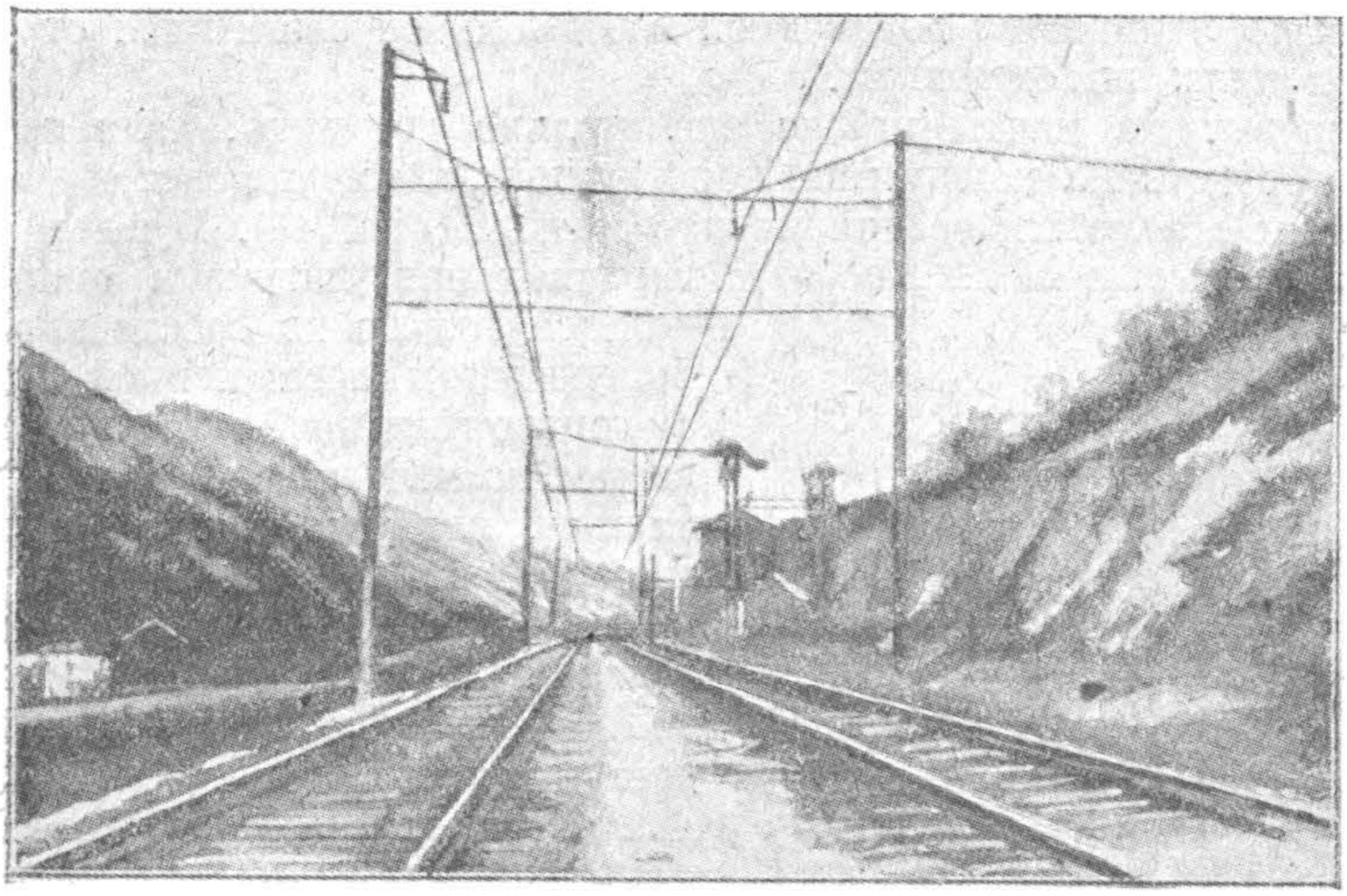


Рис. 18. Поперечный трос на двухпутных участках в САСШ.

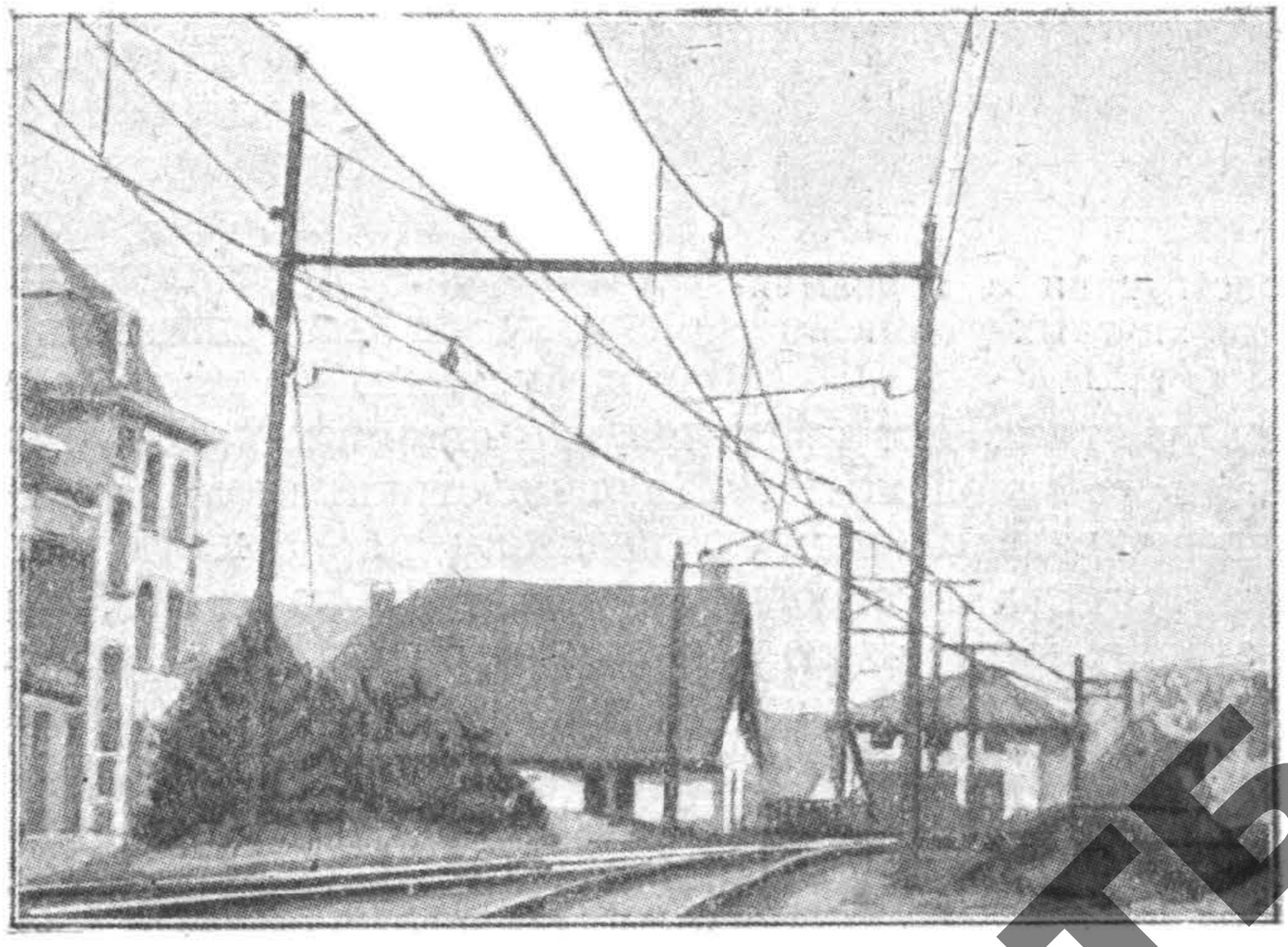


Рис. 49. Соединенные опоры для цепной подвески на штыревых изоляторах.

удвоение числа опор однопутных участков, т. е. применение двух независимых и несвязанных механически рядов опор.

Другой способ состоит в соединении двух мачт гибкой поперечиной (поперечным тросом), поддерживающей цепную подвеску (рис. 48).

НТБ ДНУЖТ

В этом случае поперечная конструкция является относительно дешевой (около 10 долл.), но при этом мачты подвержены чрезмерным боковым тяжениям, вызывающим необходимость устройства надежных оттяжек. Поперечные сечения мачт должны быть достаточными для того, чтобы опоры выдерживали нагрузку от продольного изгиба, величина которой увеличивается добавочной вертикальной слагающей от усилий, направленных по оттяжкам.

Нагрузку на мачты можно значительно понизить, если затратить больше средств на поперечные конструкции, применив систему жестких поперечин с жестким соединением с мачтой (рис. 49). В таком случае вертикальная нагрузка опор составляется только из собственного веса поперечин и веса цепной подвески, а горизонтальное тяжение, передаваемое на мачты в поперечном направлении, является лишь результатом тяжения на кривых и нагрузки от ветра. При жестком соединении мачт и поперечных конструкций изгибающий момент может быть снят с фундаментов и поперечное сечение мачты может соответствовать моменту малой величины, обусловливаемому плечом между поперечиной и фидерами или подкосом мачты. Для расчета такой конструкции с промежуточным элементом требуется применение прибора Беггса. При такой конструкции получается большая экономия на размерах фундаментов, так как они должны только распределять на грунт вертикальную нагрузку и воспринимать срезывающие усилия. Во многих случаях на двухпутных участках был применен тип опорных конструкций с двумя кронштейнами на одной мачте. Такая конструкция с мачтой на междопутьи, поддерживающей цепную подвеску на обоих путях (рис. 50), чрезвычайно выгодна в отношении экономии на стали, фундаментах, а также благодаря отсутствию боковых оттяжек. Когда мачта находится вне путей, то изгибающий момент, действующий на нее, весьма значителен (рис. 43). При такой конструкции необходимы оттяжки и кроме того мачта воспринимает большую нагрузку от продольного изгиба.

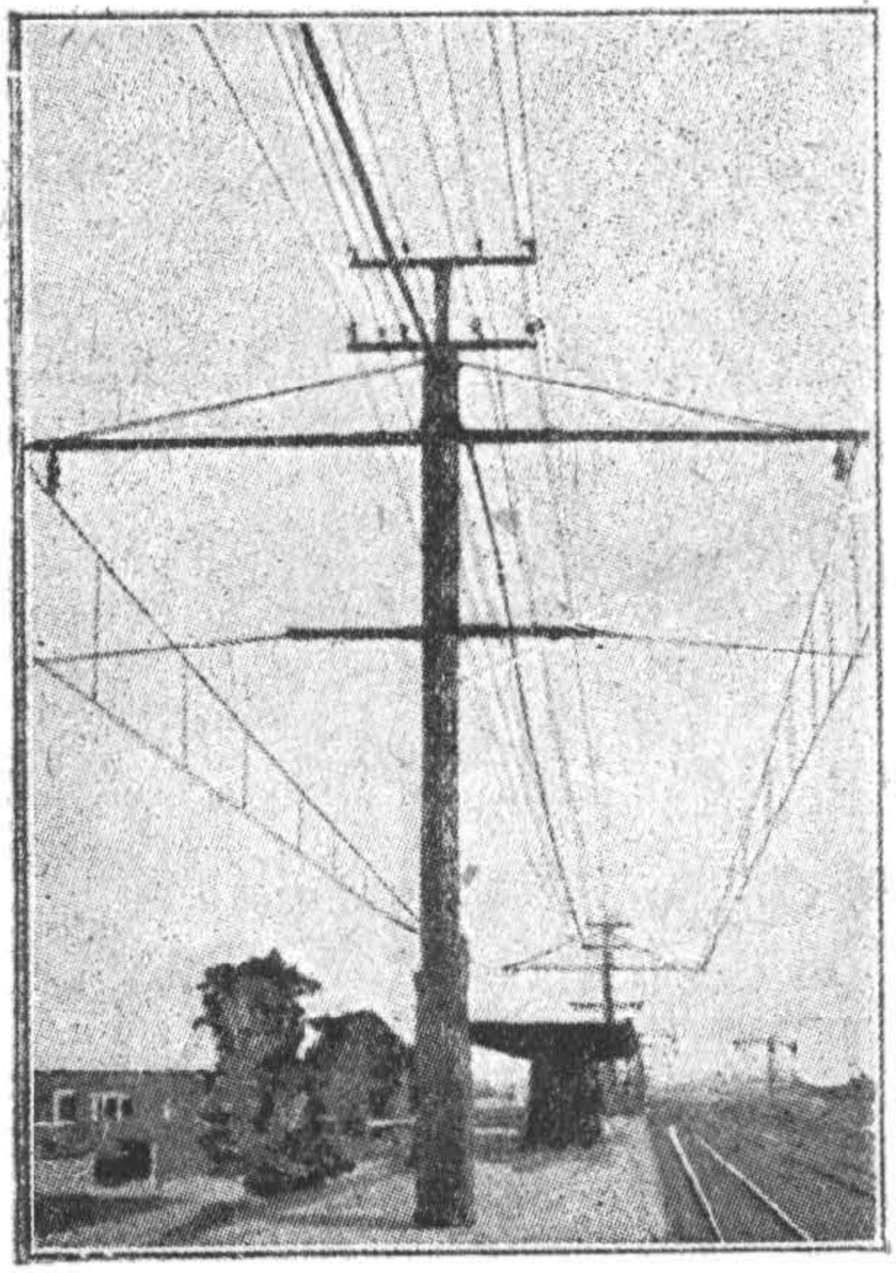


Рис. 50. Конструкции с кронштейнами для двухпутных участков.

При сравнении различных типов опорных сооружений приходится учитывать многие факторы. Горизонтальное продольное сопротивление конструкции с кронштейнами или консолями, очевидно, очень невелико. Это горизонтальное продольное сопротивление максимально при конструкциях с двумя оттяжками и с гибкой поперечиной в виде троса (рис. 48). При этом не только велико действительное сопротивление, но и гибкость устройства дает возможность уменьшения нагрузки от действия цепной подвески, что оказывается тоже весьма выгодным. При конструкции с жесткими поперечинами благодаря отсутствию оттяжек сопротивление

ДТУЖТ

Таблица сравнительной стоимости различных типов кронштейнов

Контактная линия на опорах двутаврового сечения, установленных на расстоянии 3 400 *мм* от оси ж.-д. пути

Горизонтальный кронштейн		Горизонтальный кронштейн		Изогнутый кронштейн	
Верхняя оттяжка	долл.	Нижняя укосина	долл.	Верхняя оттяжка	долл.
3 600 *мм* кронштейн .	8,60	3 600 *мм* кронштейн .	8,60	4 500 *мм* кронштейн .	10,75
Тяга $^3/_4''\times$3 600 *мм* и $^3/_4''$ гайка с угольником и шайбой. . .	1,20	Укосина 1 800 *мм* .	4,50	Тяга $^3/_4''\times$3 600 *мм* .	—
$^3/_4''$ хомут-зажим. .	1,35	$^3/_4''$ болты и гарнитура для укосин	1,50	$^3/_4''$ гайка, угольник с шайбой .	1,20
$^3/_4''$ болты и гарнитура для крепления кронштейна на мачте. .	1,50	$^3/_4''$ болты и гарнитура для кронштейнов	1,50	860 *мм* хомут-зажим .	0,35
				$^3/_4''$ болты и гарнитура для кронштейна.	1 50
Дополнительная высота мачты:					
200 *мм* мачта, высотой 1,2 *м* .	4,16				
(250 *мм* мачта) .	(5,20)				
Итого 200 *мм* мачта	15,81		16,10		13,90
250 *мм*	16,85		16,10		13,90

НТБ ДНУЖТ

опор уменьшается, и вся нагрузка передается поперечине через клеммы для цепной подвески, которые в свою очередь могут быть устроены таким образом, чтобы обеспечить скольжение для снятия части нагрузки при обрыве на соседнем пролете. Были сделаны также попытки увеличить

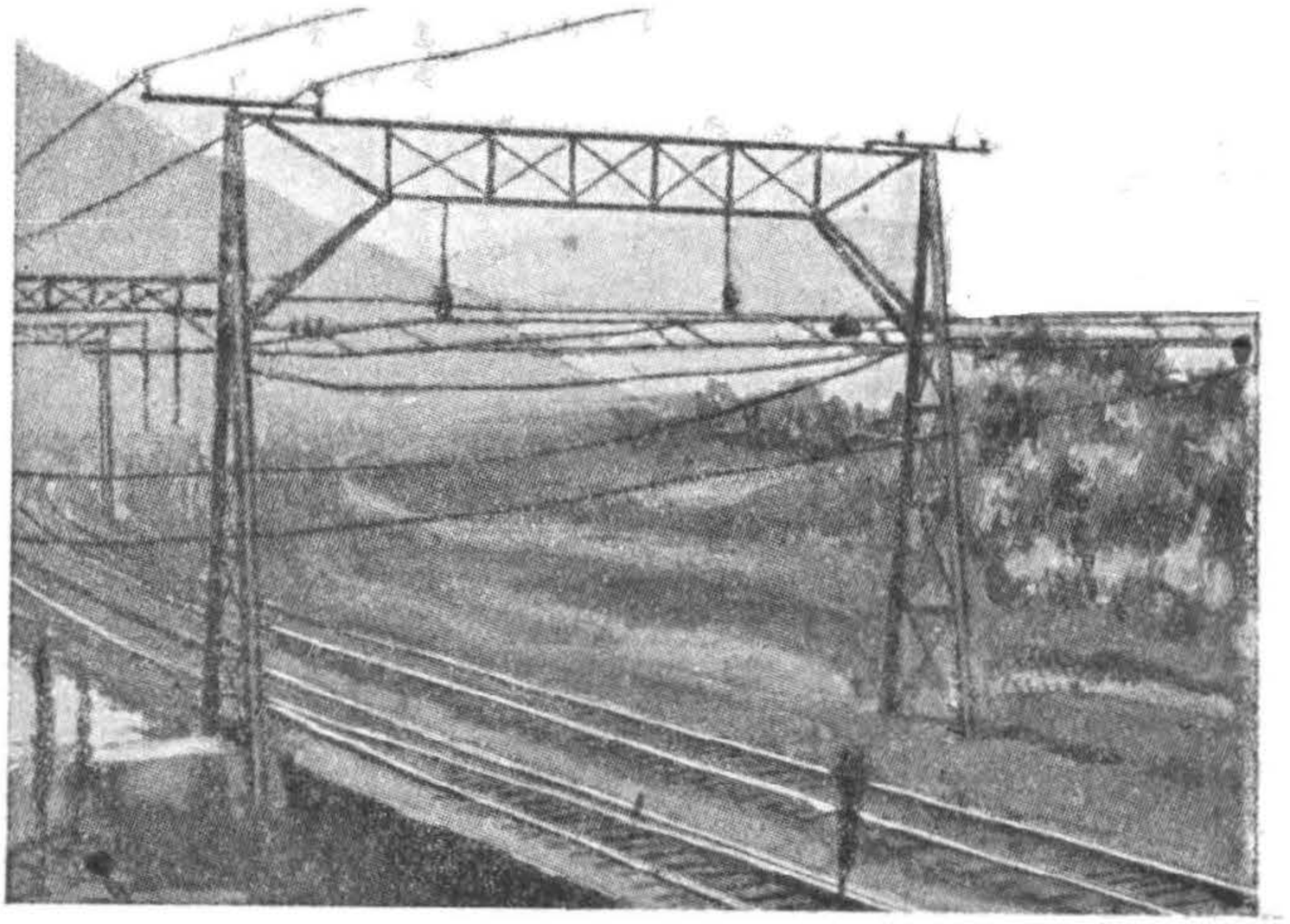


Рис. 51. Опоры с увеличенным продольным сопротивлением.

продольное сопротивление мачт при конструкции с жесткими поперечинами, применяя А-образную форму (рис. 51), или поворачивая в направлении оси путей ось максимального сопротивления мачты, причем вместе с тем укладывалась и более тяжелая поперечина.

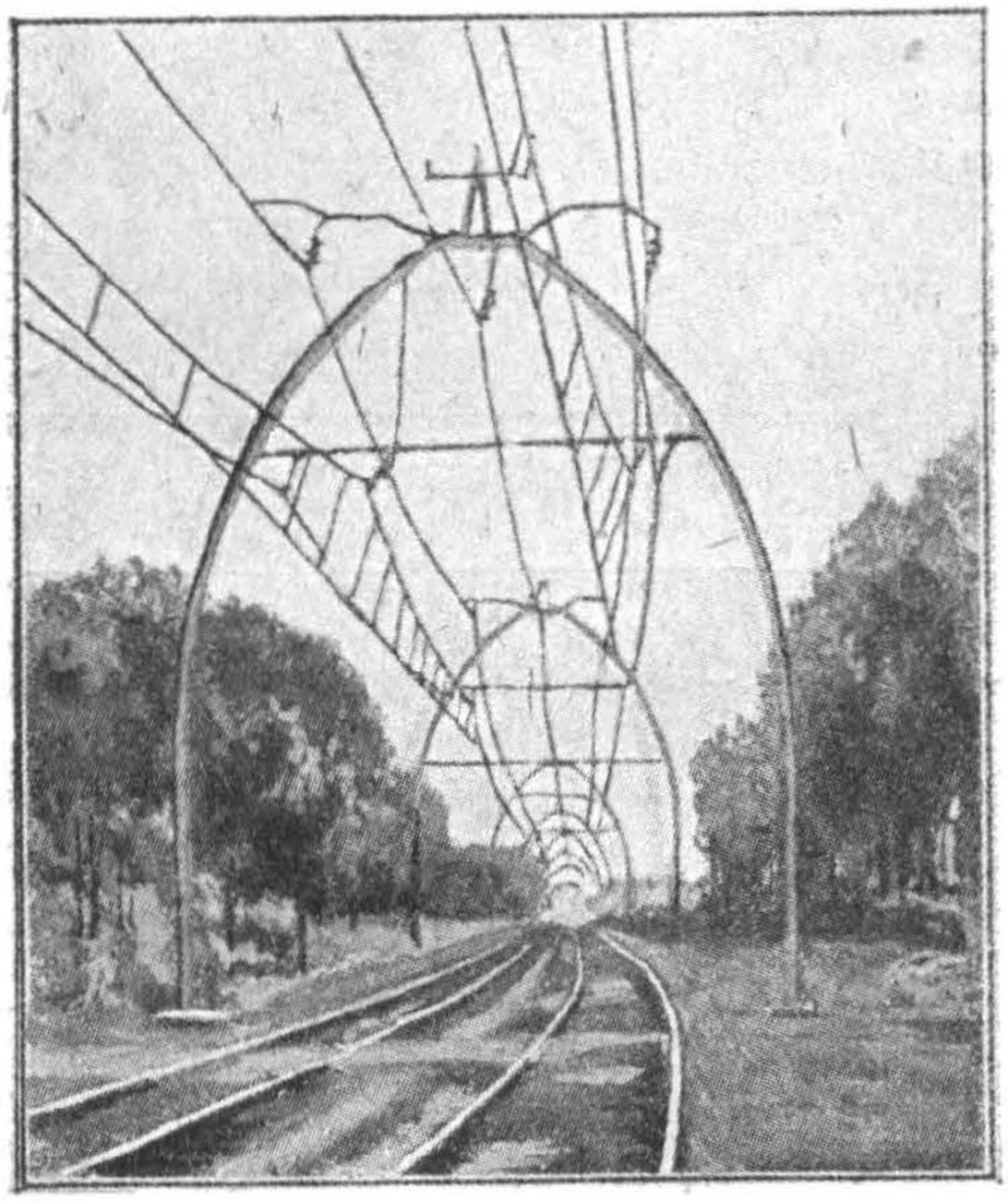


Рис. 52. Новая конструкция мачт из прокатного железа на двухпутных участках во Франции.

Современная практика считает достаточной безопасность сооружения промежуточных опор при расчете последних на восприятие веса контактной системы, давления ветра и добавочного тяжения на кривых. На расстоянии примерно 900 *м* вдоль путей устраиваются якоря (анкера) либо при помощи оттяжек, либо с помощью специальных анкерных мостиков.

При цепной подвеске с постоянным тяжением эти анкерные мостики с успехом могут применяться в качестве опор для приспособлений, воспринимающих натяжение проводов. Для обычного типа сооружения максимальная

ДНТБ

экономичность и надежность конструкции получается при применении ординарной поперечной балки двутаврового сечения. На рис. 52 изображена новая система опор из прокатного железа.

Устройства, применяемые на многопутных линиях. Определяющим фактором для конструкции опор на многопутных участках

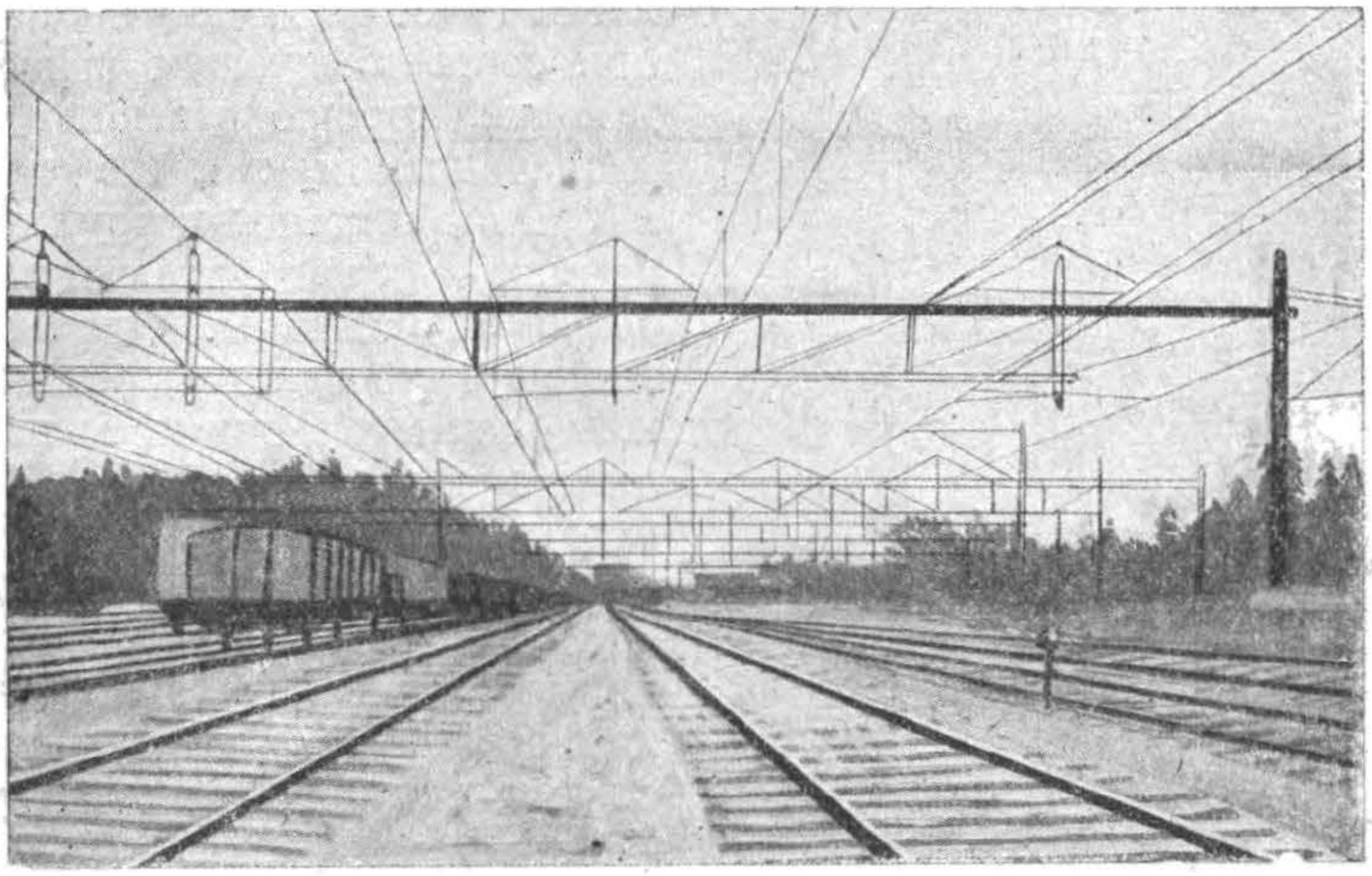


Рис. 53. Поперечные конструкции на сортировочных станциях в Швеции.

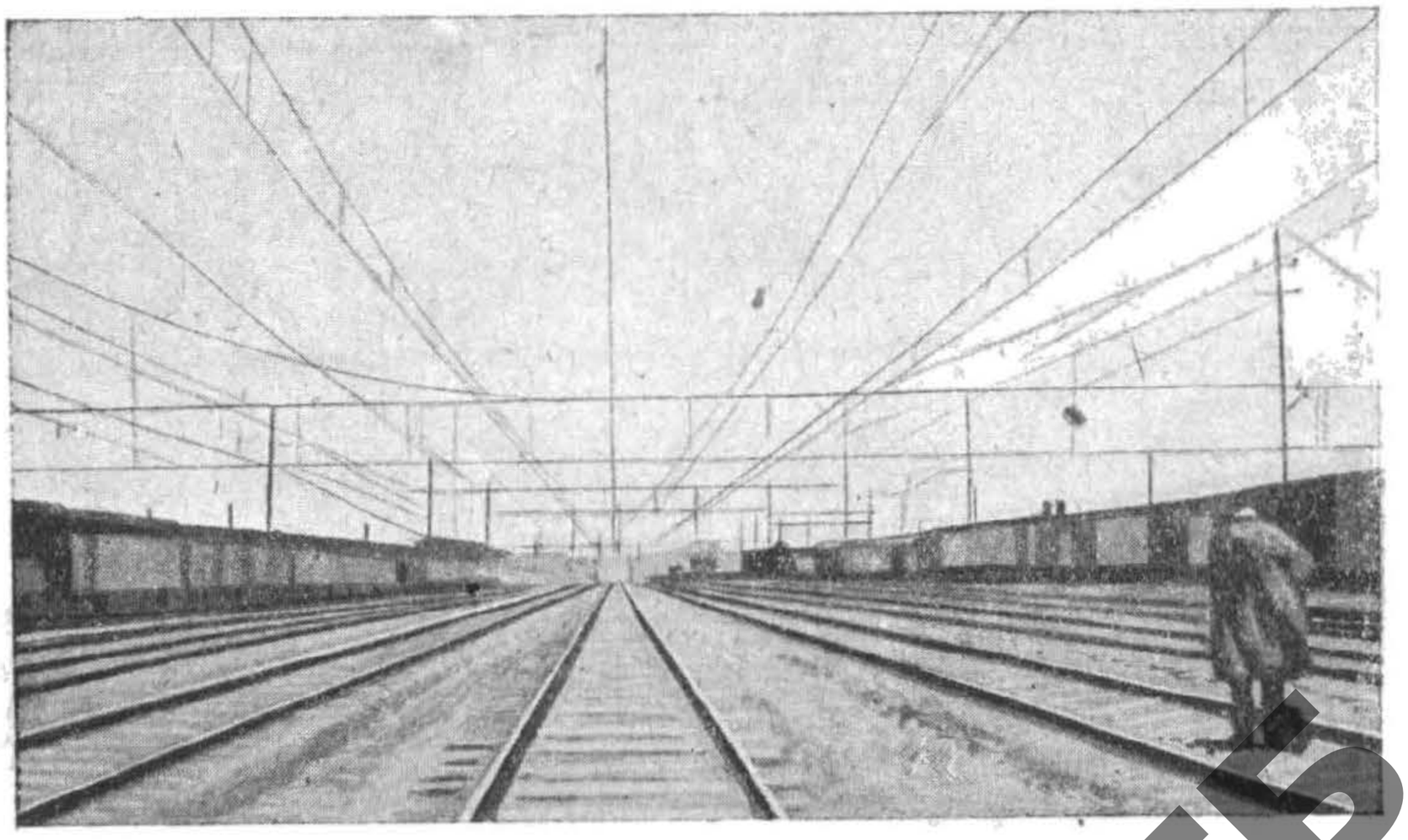


Рис. 54. Поперечные тросы на сортировочной станции в САСШ.

является характер эксплоатации этих участков. Для сортировочных станций конструкция может быть относительно легкой, во-первых, потому, что сама контактная сеть легче и, во-вторых, потому, что работа здесь не имеет такой первостепенной важности. На магистральных линиях обычно необходим более тяжелый тип сооружений вследствие большей тяжести проводов контактной сети, необходимой для обеспечения ее высокой проводимости.

НТБ ДГУЖТ

Лишь в немногих случаях все еще применяются жесткие поперечины (рис. 53).

В большинстве случаев преобладает система, обеспечивающая высокую степень прочности опор. Почти повсюду применяются гибкие поперечины из троса благодаря их простоте, низкой стоимости и легкости (рис. 54). Опыт показал, что при соответствующем надзоре они так же хорошо отвечают своему назначению и так же надежны, как и массивная конструкция. При нормальных нагрузках они обычно более экономичны. Однако недостаток места для поперечных оттяжек опорных мачт часто не позволяет применять систему поперечного троса, где может быть нормально она и была бы желательной. На рис. 54 показан типичный пример устройства на сортировочной станции с фиксирующего троса под напряжением. На рис. 69 изображена аналогичная система сооружения, но с заземленным фиксирующим тросом. Преимущества последней системы сооружения заключаются в большей безопасности, поскольку изолированные тросы здесь заменены заземленными.

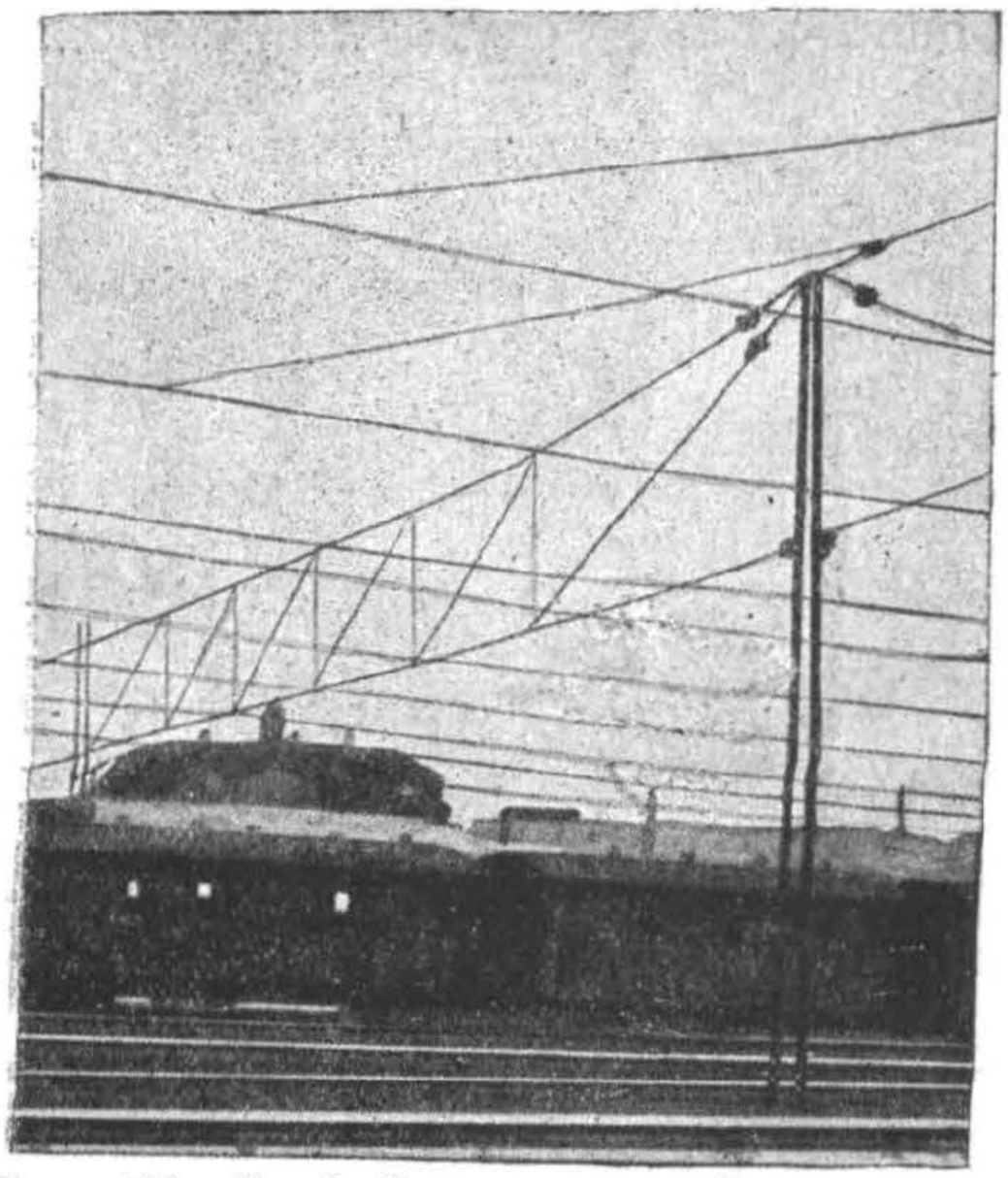


Рис. 55. Особый проволочный трос на сортировочных станциях швейцарск. ж. д.

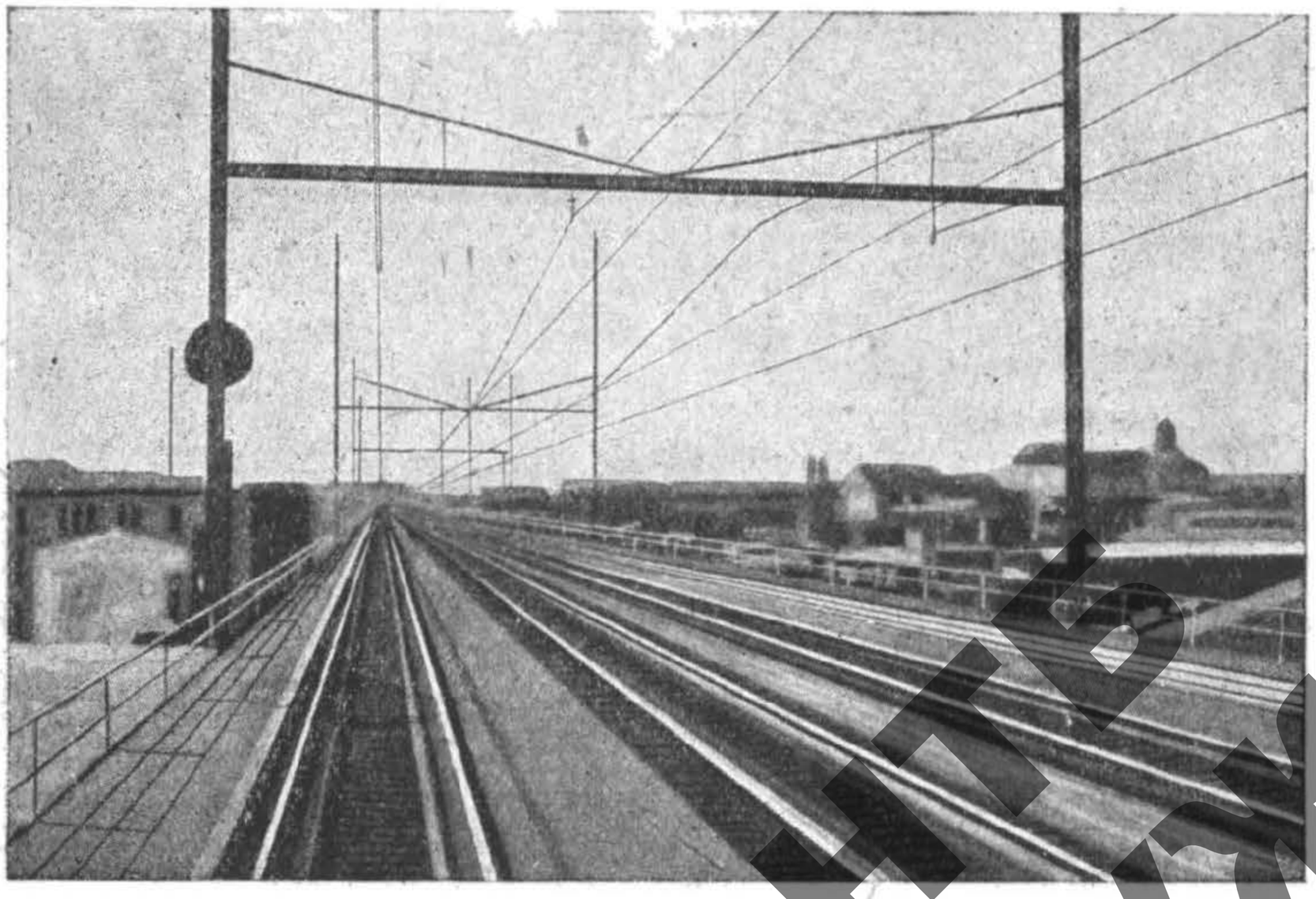


Рис 56. Двутавровые поперечины с дополнительными тяжами в САСШ.

В Швейцарии была спроектирована новая конструкция поперечной подвески с расчетом, чтобы высота мачты была небольшой (рис. 55).

ПРОЕКТ ДИПЛОМ

Вес контактных проводов передается поперечному тросу, находящемуся на уровне контактных проводов, особыми трубчатыми элементами. Этот нижний трос может также применяться для фиксации контактного провода в боковом направлении. Такая система функционировала на

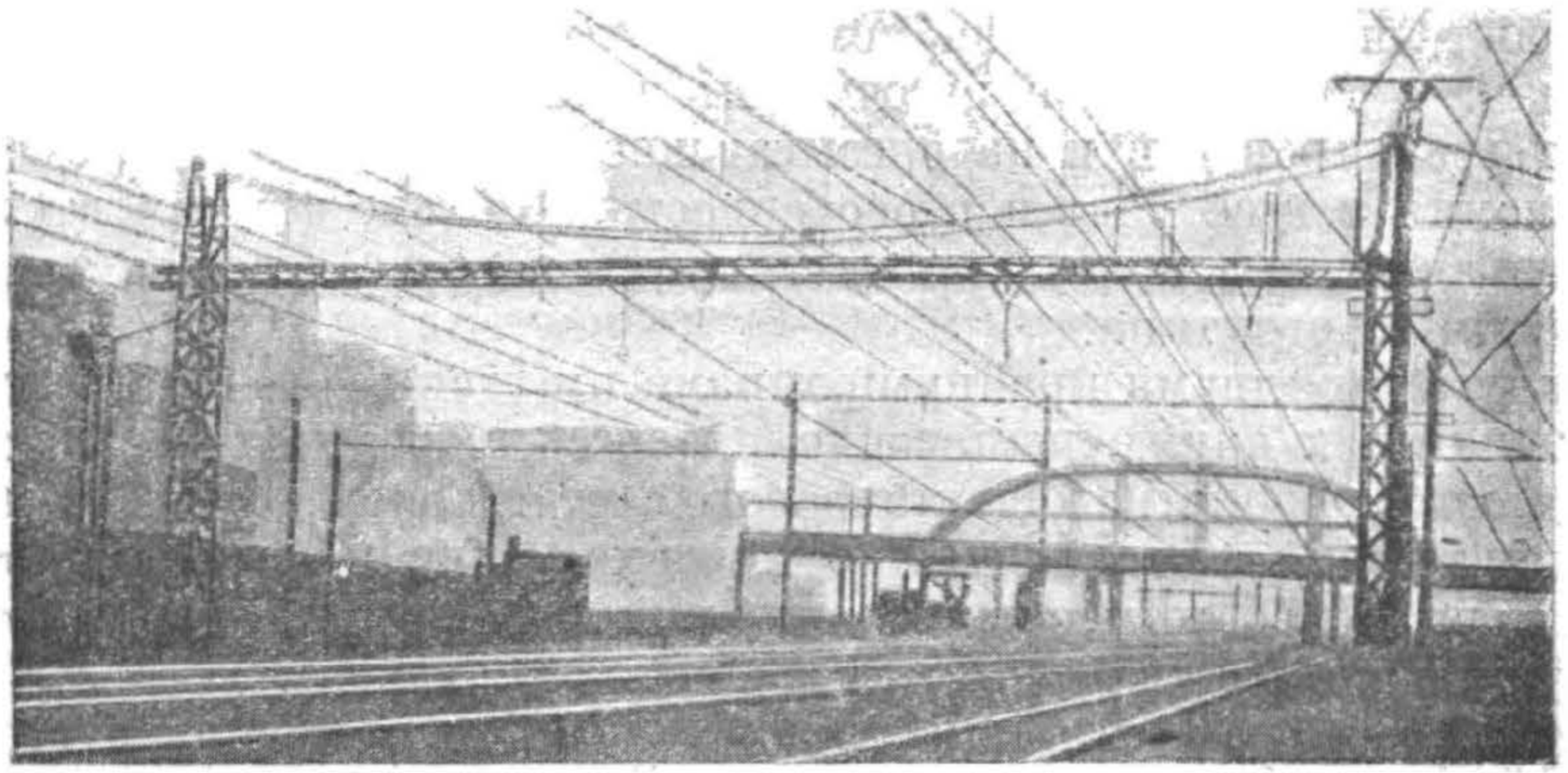


Рис. 57. Цепной мостик во Франции.

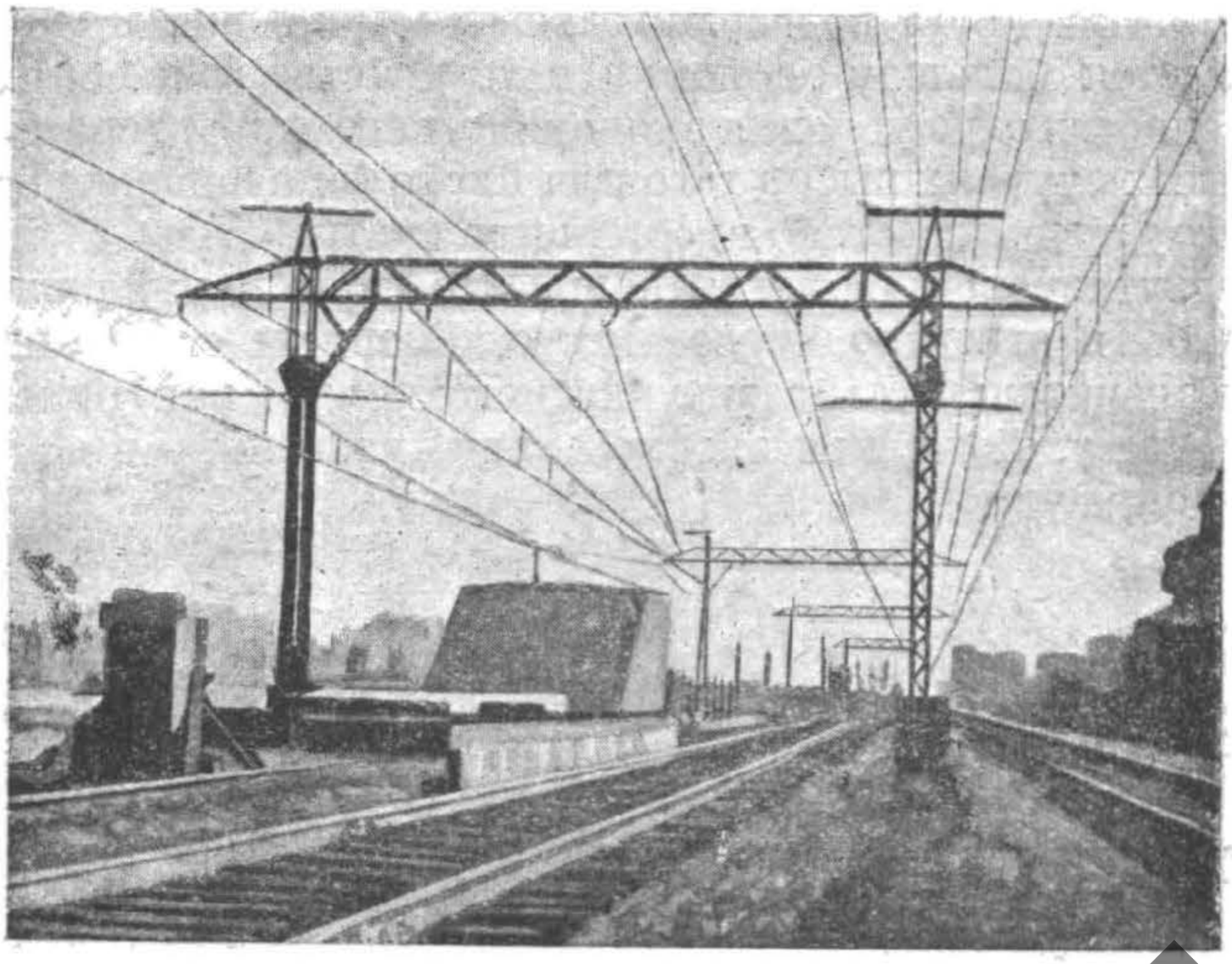


Рис. 58. Поперечная конструкция с консолями для внешних путей.

одной сортировочной станции в течение двух лет, причем было лишь два случая аварии и оба в результате схода с рельс. В одном из этих случаев, несмотря на то, что мачта была повреждена, работа сети все же не прерывалась.

Сооружение жесткой поперечной конструкции имеет большое значение при ограниченности свободной площади. Имеется большое разнообразие в системах этих конструкций, выбор которых зависит от таких факторов экономики, как вес и цена железа, число затраченных рабочих часов и их оплата, а также стоимость фундаментов.

НТБ ДНУЖТ

У одного из крайних типов этой системы мы видим поперечины, соединяющиеся с мачтами при помощи шарниров; здесь требуется большое количество стали для мачт и наиболее глубокие фундаменты.

При такой конструкции мачта и фундамент рассчитаны на то, чтобы выдержать полный изгибающий момент цепной подвески. В другой крайней системе поперечные балки имеют жесткие соединения с мачтой и воспринимают лишь изгибающий момент от веса проводов полностью; размеры мачт и фундаментов рассчитаны лишь на продольный изгиб, момент от веса проводов и на срезывающие усилия.

Экономия в весе мачт и в особенности в объеме фундаментов в этом случае значительна и заслуживает тщательного исследования пределов применения этого типа.

Между этими двумя крайними типами имеется много промежуточных, представляющих также достаточно интереса. Имело место применение балки простого прокатного двутаврового сечения для жесткой поперечины с дополнительным креплением ее сверху или снизу (рис. 56). Это дает большую простоту сооружения, при которой облегчается окраска и требуются незначительные первоначальные затраты.

На одной из франнузских жел. дор. с успехом применялся новый тип сооружения в виде цепного моста, совмещающий легкость поперечного троса с жесткостью массивной конструкции (рис. 57). В тех случаях, где опорные мачты могут быть установлены между путями, наружные путевые контактные линии могут поддерживаться выступающими кронштейнами; этим достигается большая экономия в устройстве (рис. 58).

Хотя специфические условия экономического характера обусловливали в различных случаях выбор того или иного типа поперечных конструкций, все же преимущества простейшего устройства с применением троса или двутавровой балки таковы, что при нормальных условиях им должно быть отведено первое место. Главным основанием к этому является незначительность затрачиваемого труда как при их изготовлении и монтаже, так и при эксплоатации, поскольку в частности дело касается их окраски.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА VII

ВОЗДУШНАЯ КОНТАКТНАЯ СЕТЬ

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ЦЕПНОЙ ПОДВЕСКИ

Основой для изучения теории подвешенного провода или системы нескольких проводов является уравнение цепной линии в общей или же упрощенной его форме. Для правильного понимания применяемых упрощений и видоизменений общей теории необходимо предварительное знакомство с основными ее положениями.

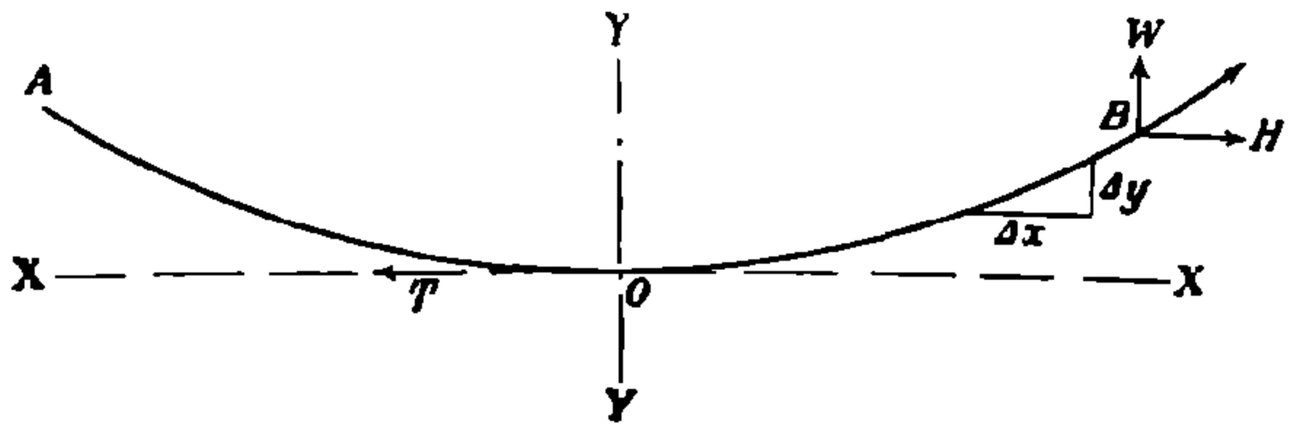


Рис. 59. Исследование цепной линии.

Уравнение цепной линии. Уравнение цепной линии выводится из условий равновесия гибкой нити, свободно подвешенной в двух точках и находящейся под действием равномерной нагрузки w на единицу длины нити. На участок нити между точками O и B действуют следующие силы: усилие в точке O, направленное по горизонтали и касательное к нити в этой точке (рис. 59), усилие в точке B, также направленное по касательной в этой точке, и наконец сумма элементарных сил тяжести, направленных по вертикали и действующих по всей длине участка OB. Эта сумма равна

$$\sum_{0}^{B} w \Delta l.$$

Построим по этим силам силовой полигон. Из подобия полученного треугольника и треугольника приращений с катетами Δx и Δy от действия бесконечно малой силы имеем уравнение:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\sum_{0}^{B} w dl}{H} = \frac{\sum_{0}^{B} w \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{H} = \frac{\sum_{0}^{B} w \sqrt{1 + \frac{\Delta y^2}{\Delta x^2}}\, \Delta x}{H}. \quad (1)$$

Переходя к пределу при Δx, стремящемся к нулю, получим:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\int_0^B w \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}\, dx}{H} \quad (2)$$

НТБ ДНУЖТ

Дифференцируя, имеем:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{w\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}}{H}. \tag{3}$$

Это последнее равенство может быть представлено в виде:

$$\frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} = \frac{w}{H} \tag{4}$$

И затем проинтегрировано по формуле:

$$\int \frac{dz}{\sqrt{1+z^2}} = \ln\left(z+\sqrt{1+z^2}\right)+C.$$

При $x=0$ и постоянная интегрирования $C=0$.

Интегрируя обе части уравнения (4), имеем;

$$\ln\left[\frac{dy}{dx}+\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}\right] = \frac{w}{H}x. \tag{5}$$

И после потенцирования

$$\frac{dy}{dx}+\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = e^{\left(\frac{wx}{H}\right)} \tag{6}$$

или

$$\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = e^{\left(\frac{wx}{H}\right)}-\frac{dy}{dx} \tag{7}$$

Возводя обе части уравнения (7) в квадрат, получим:

$$1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = e^{\left(\frac{2wx}{H}\right)}-2e^{\left(\frac{wx}{H}\right)}\frac{dy}{dx}-\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \tag{8}$$

В результате сокращений и преобразований имеем:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{e^{\left(\frac{2wx}{H}\right)}-1}{2e^{\left(\frac{wx}{H}\right)}} \tag{9}$$

или

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2}\left[e^{\left(\frac{xw}{H}\right)}-e^{-\left(\frac{xw}{H}\right)}\right]. \tag{10}$$

Снова интегрируя, имеем:

$$y = \frac{H}{2w}\left[e^{\left(\frac{xw}{H}\right)}+e^{\left(-\frac{xw}{H}\right)}\right]-\frac{H}{w} = \frac{H}{w}\cosh\left(\frac{x}{\frac{H}{w}}\right)-\frac{H}{w} \tag{11}$$

НТБ ДНУЖТ

Последнее равенство и представляет собой уравнение цепной линии.

Чтобы получить уравнение, выражающее длину цепной линии, следует воспользоваться зависимостью между сторонами треугольника элементарных перемещений, выразив длину цепной линии в функции x. Таким образом:

$$\frac{dl}{dx} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \tag{12}$$

Подставляя из уравнения (10), имеем:

$$\frac{dl}{dx} = \sqrt{1 + \frac{1}{4}\left| e^{\left(\frac{2xw}{H}\right)} + 2 + e^{\left(-\frac{2xw}{H}\right)} \right|} \tag{13}$$

и упрощая, получаем:

$$\frac{dl}{dx} \sqrt{\frac{1}{4}\left[e^{\left(\frac{2xw}{H}\right)} + 2 + e^{\left(-\frac{2xw}{H}\right)} \right]} \tag{14}$$

или

$$\frac{dl}{dx} \frac{1}{2}\left[e^{\frac{wx}{H}} + e^{\left(-\frac{xw}{H}\right)} \right], \tag{15}$$

дающее нам другое основное уравнение, которое в свою очередь также подвергаем интегрированию. При $x = 0$, $l = 0$ и постоянная интегрирования равна 0.

$$l = \frac{H}{2w}\left[e^{\left(\frac{xw}{H}\right)} - e^{\left(-\frac{xw}{H}\right)} \right] = \frac{H}{w} \sin h\left(\frac{x}{\frac{H}{w}}\right) \tag{16}$$

Разлагая уравнения (11) и (16), представляющие собой показательные или гиперболические функции, в бесконечный ряд, получаем:

$$y = \frac{H}{w}\left(1 + \frac{x^2w^2}{2H^2} + \frac{x^4w^4}{24H^4} + \right) - \frac{H}{w} = \frac{x^2w}{2H} + \frac{x^4w^3}{24H^3} + \tag{17}$$

$$l = \frac{H}{w}\left(\frac{xw}{H} + \frac{1}{6}\frac{x^3w^3}{H^3} + \frac{x^5w^5}{120H^5} + \right) = x + \frac{x^3w^2}{6H^2} + \frac{x^5w^4}{120H^4} + \ldots \tag{18}$$

Упрощенное уравнение цепной линии. На практике системы простой или хордовой цепной подвески проводов для железной дороги дают весьма незначительные величины для стрелы провеса по отношению к общей длине пролета. Точно так же нагрузка, приходящаяся на единицу длины провода, так мала по сравнению с величиной его натяжения, что можно, без заметного нарушения точности выведенных выше основных формул, пользоваться упрощенными уравнениями цепной линии. Для получения таких упрощенных уравнений, вместо усилий натяжения провода в точках подвеса, можно подставить величину натяжения в низшей точке цепной линии—H. Нижеследующий пример доказывает, как мало влияет такая замена на точность расчета. Возьмем пролет в 100 *м*, два медных проводника 4/0 (107 *мм*^{2}) и поддерживающий трос диаметром 14 *мм*. Суммарная вертикальная нагрузка на половине

НТБ ДГУЖТ

длины пролета при этом будет примерно 142 *кг* при величине тяжения порядка 1 300 *кг*. Для этого случая горизонтальная слагающая составляла бы около 1 290 *кг*, т. е. ошибка равнялась 0,5%.

Другое упрощение может быть получено в результате того, что в общем уравнении (17) для величины стрелы провеса цепной линии все члены ряда, за исключением первого, а в уравнении (18) длины цепной линии все члены, за исключением двух первых, представляют весьма малые величины, которыми можно пренебречь без существенного нарушения точности расчетов. Для нашего примера имеем

$$y = \frac{50^2 \quad 2{,}84}{2 \quad 1{,}300} + \frac{50^4 \quad 2{,}84}{24 \quad 1{,}300^3} + \ldots = 2{,}7 + 0{,}003.$$

Второе слагаемое правой части этого уравнения менее 0,1% первого слагаемого и потому им можно пренебречь, равно как и всеми последующими членами ряда. Аналогично получаем выражение и для длины пролета:

$$l = 50 + \frac{50^3 \quad 2{,}84}{6 \quad 1{,}300^2} + \frac{50^5 \quad 2{,}84}{120 \quad 1{,}300^4} + \qquad = 50 + 0{,}008 + 0{,}00005.$$

В этом равенстве третье слагаемое составляет лишь 0,5% второго слагаемого и им естественно можно пренебречь, равно как и всеми последующими членами ряда.

В результате получаем следующие основные формулы:

$$y = \frac{x^2 w}{2T}$$

или для x=половине длины пролета стрелка провеса

$$f = \frac{a^2 w}{8T}. \tag{19}$$

$$l = x + \frac{x^2 w^2}{6T^2}, \tag{20}$$

или для $x = \frac{a}{}$

$$l = a + \frac{8}{3} \frac{f^2}{a} \tag{21}$$

Интересно отметить, что эти упрощенные формулы представляют собой уравнения параболической кривой. Таким образом эту форму параболической кривой принимает гибкая нить в случае равномерного распределения нагрузки вдоль всей длины ее горизонтальной проекции. Такое распределение нагрузки является типичным для горизонтального положения контактного провода, поддерживаемого на тросе. Поэтому выведенные с достаточной степенью точности приближенные формулы для этого случая вполне применимы.

Вертикальные перемещения цепной подвески под влиянием изменений температуры. Выведенные выше формулы применимы к определенной конструкции подвески при наличии известных жестких условий. На практике же приходится считаться с целым рядом привходящих обстоятельств и в первую очередь с изменениями температуры, влияющими на длину провода из-за линейного расширения металла провод-

НТБ ДИЖТ

шка. Это изменение длины может быть выражено, с одной стороны, в виде общей формулы для величины удлинения под влиянием повышения температуры, а с другой стороны, также формулой, дающей зависимость изменения длины и изменения натяжения.

Первое уравнение может быть выражено так:

изменение длины=коэф-ту расш. × измен. темп. × нач. длину, (22)

а второе:

$$\text{изменение длины} = \frac{\text{изменение натяжения} \times \text{первоначальную длину}}{\text{модуль упругости} \times \text{площадь попереч. сечения}}. \quad (23)$$

Увеличение длины, обусловливаемое повышением температуры, частично компенсируется упругим сокращением длины, вызываемым уменьшением натяжения, сопровождающим температурное удлинение. Результирующее изменение длины может быть выражено следующим образом

$$l_1 - l_0 = \left[\alpha \cdot (t_1 - t_0) - \frac{T_0 - T_1}{E \cdot q}\right] l_0. \quad (24)$$

Это изменение длины можно приравнять разности длин, получающихся из формулы вида (20) соответственно разным температурам:

$$l_0 \left[\alpha (t_1 - t_0) - \frac{T_0 - T_1}{E \cdot q}\right] = \frac{a^3 w^2}{24} \left(\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_0^2}\right) \quad (25)$$

или после преобразования:

$$(t_1 - t_0) = \frac{a\, w^2}{24 l_0 a} \left[\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_0^2}\right] + \frac{T_0 - T_1}{E \cdot q \cdot a}. \quad (26)$$

Так как отношение $\frac{s}{l_0}$ весьма близко к единице, мы можем написать:

$$(t_1 - t_0) = \frac{a^2 w^2}{24 T} \left[\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_0^2}\right] + \frac{T_0 - T_1}{E \cdot q \cdot a}. \quad (27)$$

Задаваясь пролетом a, нагрузкой w и натяжением T_0, мы можем выразить при помощи этого уравнения натяжение провода как функцию изменения температуры. Величины соответствующих стрел провеса можно получать в функции натяжения провода, пользуясь уравнением (19).

Вертикальное перемещение системы цепной подвески под действием изменения веса. Первоначальная расчетная величина нагрузки на единицу длины провода может значительно меняться в результате отложения на проводе льда. Стрела провеса провода и натяжение его при этом в свою очередь изменяются тоже. Такое изменение может быть вычислено путем приравнивания изменения длины провода, обусловленного его упругим удлинением, согласно уравнению (23), разности между длинами провода, выражаемыми уравнениями (20) для начального и конечного состояний. Упрощая, получаем:

$$\frac{(T_1 - T_0) l_0}{E \cdot q} = \frac{a}{24} \left[\frac{w_1^2}{T_1^2} - \frac{w_0^2}{T_0^2}\right]. \quad (28)$$

В этом случае, так же как и выше, удобно, задаваясь значениями T_0, a, w_0, w_1 и l_0, находить соответствующие друг другу значения нагрузки на провод и его натяжения, выражая графически зависимость

НТБ ДНУЖТ

между ними. После нахождения величин натяжений легко при помощи уравнения (19) находить соответствующие величины стрелы провеса.

Горизонтальные перемещения цепной подвески под действием ветра. Другой меняющейся величиной нагрузки в теории цепной подвески является величина горизонтального давления силы ветра на провода. Простейший случай, когда провод свободно подвешен в двух точках и имеется равномерное горизонтальное давление ветра, легко поддается расчету. На рис. 60 дан поперечный профиль свободно подвешенного в точках O и O' провода, провисающего при нормальных условиях до точки A. Пусть точка B будет новым положением, которое займет провод под действием силы давления ветра, равной на единице длины—p. Взяв моменты относительно точки подвеса, получим следующие пары сил, действующие на единицу длины провода: 1) вес провода w с плечом BC и 2) давление ветра p с плечом OC. Величина плеча OC может быть выражена как стрела провеса $\times \cos a$ или провес $\times \frac{w}{\sqrt{w^2+p^2}}$. Поскольку вес единицы длины провода и давление ветра на отдельных участках будут равны между собой, величина угла отклонения также будет одинаковой для всех участков и прямую OB можно рассматривать как проекцию на плоскость чертежа отклонения под действием ветра. Максимум отклонения будет иметь место в точке максимального провеса. Таким образом величина горизонтального смещения может быть выражена так:

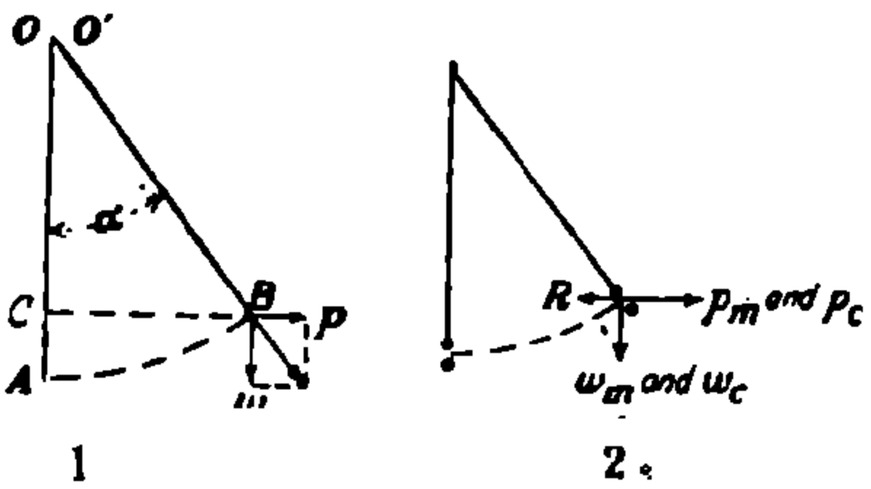


Рис. 60. Отклонение провода под действием ветра.

1. Отклонение ординарного провода под действием ветра. 2. Отклонение цепной подвески под действием ветра.

$$\text{отклонен. под дейст. ветра} = \frac{\text{давлен. ветра на ед. длины} \times \text{провес}}{\sqrt{(\text{давл. ветра})^2+(\text{вес един. длины})^2}} \quad (29)$$

В случае наличия второго горизонтального провода или же подвешивания проводов к поддерживающему тросу помощью подвесок задача осложняется. Пренебрегая давлением ветра на вертикальные подвески (струны), можно дать достаточно точное приближенное решение. На любом участке системы (рис. 60) приложены силы тяжести w_m и силы ветра p_m, действующие на поддерживающий трос, аналогично разобранному простейшему случаю. Соответственно силы p_c и w_c действуют на контактный провод. В дополнение к этим силам имеется еще горизонтальное растягивающее усилие, воспринимаемое клеммой на подвеске у опоры. В виду этого можно и в этом случае применить ур-ие цепной линии

$$R = \frac{8 \text{ отклонен.} \times \text{натяж. конт. провода}}{\text{пролет}^2}. \quad (30)$$

Взяв моменты для сечения в средине пролета относительно поддерживающего троса для того, чтобы исключить силы реакции от натяжения самого троса, получаем:

$$(p_m + p_c) \text{ провес} = (w_m + w_c) \text{ отклонение} + \frac{8 \text{ отклонен.} \times \text{натяж. конт. пров.} \times \text{провес}}{\text{пролет}^2}. \quad (31)$$

НТБ ДНУЖТ

Здесь предполагается, что угол отклонения от давления ветра невелик и что провес провода может быть принят без большой погрешности за плечо для силы давления ветра. Кроме того предполагается, что в средине пролета расстояние между несущим тросом и контактным проводом настолько невелико, что провес троса можно рассматривать как одно и то же плечо, на котором приложены силы давления как на самый трос, так и на контактный провод.

Преобразовывая, получаем:

$$\text{отклонение} = \frac{(p_m + p_c)\ \text{провес}}{(w_m + w_c) + \dfrac{8\ \text{натяж. конт. провода} \times \text{провес}}{\text{пролет}^2}} = \quad (32)$$

$$= -\frac{(p_m + p_c)\ (\text{пролет})^2}{8\left[\dfrac{(w_m + w_c)\ (\text{пролет})^2}{8\ \text{провес}} + \text{натяж. конт. провода}\right]} \quad (33)$$

Так как:

$$\frac{(w_m + w_c)\ (\text{пролет})^2}{8\ \text{провес}} = \text{натяжению несущего троса,}$$

получаем:

$$\text{отклонение} = \frac{\text{сумм. давление ветра на единицу длины} \times (\text{пролет})^2}{8\ (\text{натяжен. подд. троса} + \text{контакт. пров.})} = \quad (34)$$

$$= \frac{\text{сумм. давление ветра на единицу длины} \times (\text{пролет})^2}{8\ \text{суммарное натяжение}}. \quad (35)$$

Горизонтальные перемещения цепной подвески под действием оттяжек. Другой силой, вызывающей горизонтальное отклонение системы, будет реакция (известная как «тяжение на кривой») оттяжек, применяемых в целях получения конформного полигона контактного провода на кривых. В плане оттяжки придают подвесной системе вид ряда последовательных хорд (рис. 61). Дуга закругления APB разбивается цепной подвеской на две хорды AP и BP с оттяжками в точках A, P и B. Беря точку P, строим для нее силовую диаграмму, учитывая натяжения в направлении обеих хорд и реакции оттяжки. Поскольку система находится в состоянии равновесия, вертикальные (по отношению к чертежу) слагающие натяжения равны и противоположны по направлению реакции оттяжки. Эти слагающие будут соответственно равны $T_A \sin\alpha$ и $T_B \sin\alpha$. Поскольку из условия равновесия горизонтальные слагающие натяжений должны быть равны между собой и углы с горизонталью, образуемые самими силами натяжений, также равны, будут равны и сами силы натяжения. Таким образом сумма вертикальных слагающих будет $2T\sin\alpha$ и равна реакции оттяжки C. По рис. 61 имеем, что угол α равняется углу $СОД$, где $ОД$ будет перпендикуляром, делящим хорду BP пополам. $\sin СОД$, равный $\frac{РД}{ОР}$, в свою очередь равен $\frac{S/2}{R}$, где S длина хорды, а R радиус кривизны кривой. Таким образом основное уравнение для расчета оттяжек представится в следующем виде:

$$C = 2T\sin\alpha = 2T\frac{\frac{S}{2}}{R} = \frac{TS}{R} \quad (36)$$

НТБ ДНУЖТ

Суммарная величина реакции оттяжки при нескольких проводах будет равна сумме реакции от оттяжек отдельных проводов, или же может быть подсчитана по общей величине натяжения. Располагая оттяжки соответственным образом, можно добиться такого расположения цепной подвески, что провод будет одновременно служить касательной к внутренней кривой и хордой к наружной (рис. 62). Весьма существенным при этом будет вопрос максимально возможной длины хорды и максимального отклонения провода от оси пути. Пусть концентрические дуги AA и BB отстоят на $^1/_2\ b$ от средней линии. $^1/_2\ b$ будет изображать также и максимальное допускаемое отклонение провода в ту или другую сторону от оси пути.

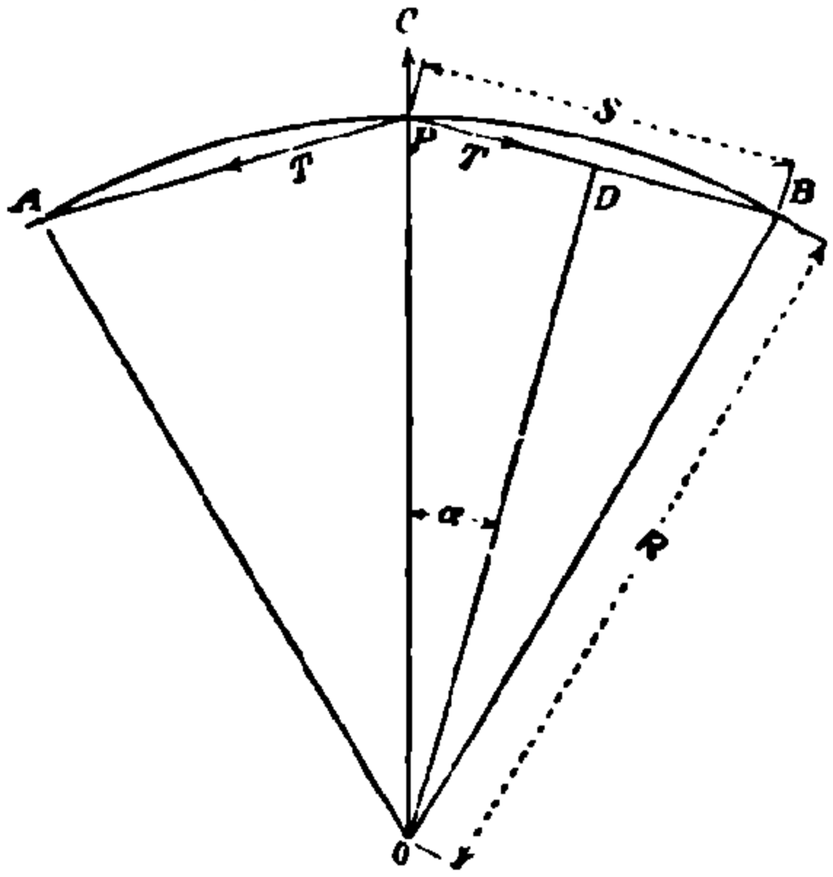


Рис. 61. Оттяжки на кривых для образования хорд

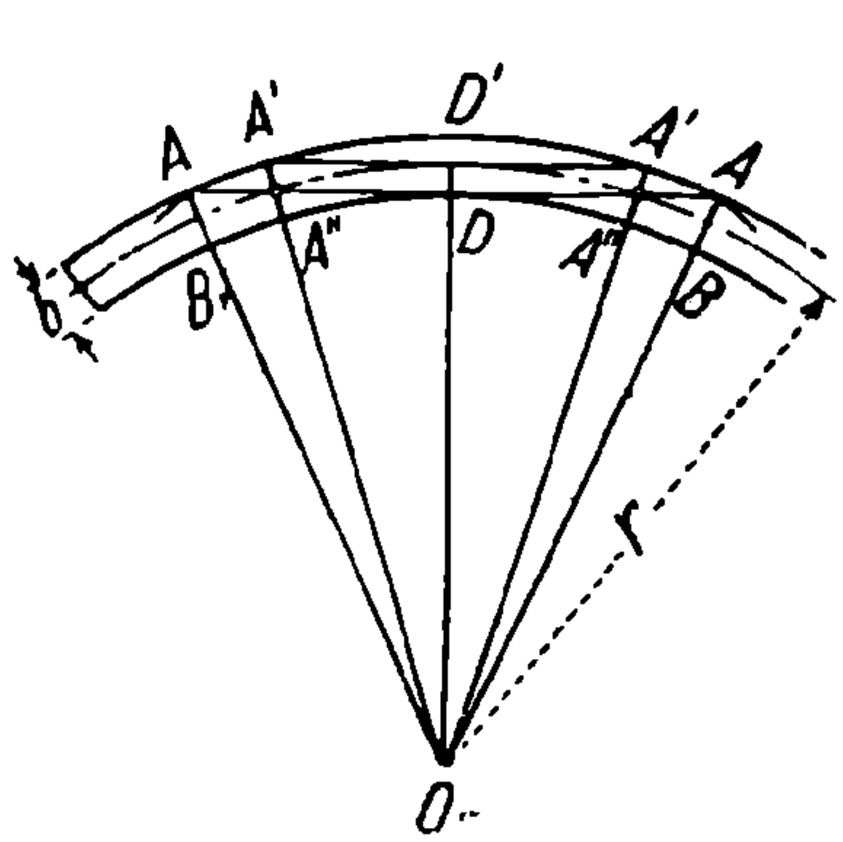


Рис. 62. Максимальная величина хорды на кривой при заданном отклонении.

Длина хорды $\overline{AA}$, касательной к внутренней окружности и пересекающей внешнюю окружность, определится точками пересечения:

$$\left(\frac{1}{2}\,AA\right)^2+\left(r-\frac{1}{2}\,b\right)^2=\left(r+\frac{1}{2}\,b\right)^2 \qquad (37)$$

или упрощая

$$\left(\frac{1}{2}\,AA\right)^2=2\cdot b. \qquad (38)$$

$$AA=\sqrt{8\cdot b} \qquad (39)$$

Если нужно определить длину касательной к кривой радиуса, то, пользуясь теми же обозначениями, получим:

$$\left(r+\frac{1}{2}\,b\right)^2=r^2+A'D'^2 \quad \text{или} \quad A'D'=\sqrt{\frac{1}{4}\,b^2+rb} \qquad (40)$$

Пренебрегая слагаемым $^1/_2\ b$, поскольку b весьма невелико по сравнению с величиной r, получим:

$A'D'=\sqrt{rb}$ — макс. расстояние между кривыми пути радиуса (41)

НТБ ДНУЖТ

В случае двух смежных обратных кривых без прямого участка между ними наиболее длинный пролет пересечет среднюю линию пути и будет касательным к обеим внутренним кривым полотна.

На основе геометрических соотношений имеем:

$$A''D = \sqrt{r^2 - \left(r - \frac{1}{2}b\right)^2} = \sqrt{rb - \frac{1}{4}b^2} \cong \sqrt{rb}. \qquad (42)$$

$$AD = \sqrt{\left(r + \frac{1}{2}b\right)^2 - \left(r - \frac{1}{2}b\right)^2} = \sqrt{2rb} = 1{,}41\sqrt{rb}. \qquad (43)$$

Вся длина в соответствии с этим будет равняться

$$2{,}828\sqrt{rb}. \qquad (44)$$

Образование косой подвески на кривых из системы коротких хорд. Стремление направить воздушный провод на кривых по оси пути, используя для этой цели в качестве оттяжек не специальные столбы с изоляторами и арматурой, а струны между тросом и контактным проводом, явилось результатом экономических требований, направленных к тому, чтобы сделать расстояния между точками оттяжки большими, чем это допускается выше рассмотренной системой хорд—касательных. Идеальным решением задачи был бы контактный провод, идущий на постоянной высоте над полотном дороги и точно следующий за его направлением. В этом случае при равных расстояниях между струнами мы имели бы в нижнем поясе струн одинаковые величины нагрузок в вертикальной плоскости. В случаях, когда вертикальные слагающие реакций струн, воспринимающие нагрузку от веса контактного провода, будут неодинаковыми, отдельные струны будут воспринимать значительно большую часть нагрузки, и такая подвеска неравномерно поднимет контактный провод. В горизонтальной же плоскости горизонтальные усилия, прилагаемые к нижней части струн, должны быть такими, чтобы было обеспечено направление контактного провода по оси пути. Кривые железнодорожной линии разбиваются обычно по дугам круга, вследствие чего усилие, которое необходимо приложить к струне для ее горизонтального смещения может быть определено по несколько видоизмененной формуле (36) следующим образом:

$$\text{горизонтальное усилие} = \frac{\text{натяжение контактного провода} \times \text{расстояние между струнами}}{\text{радиус кривой провода}} \qquad (45)$$

Для данного радиуса кривизны, в предположении радиального направления оттяжек, горизонтальные усилия будут одинаковыми для всех струн, если расстояния между ними тоже будут равными. Если оттяжные струны будут вполне гибкими, направления этих одинаковых результирующих усилий будут совпадать с направлением самих подвесок. Таким образом, поскольку у всех струн одинаковы горизонтальные и вертикальные составляющие, угол наклона их будет также одинаковым. Приняв с некоторым приближением, что вес струн будет одинаковым, вследствие одинаковой конструкции арматуры (причем в средине пролета применены тяжелые жесткие подвески, а по

139

ДГТБ

концам его—легкие, гибкие, для избежания «жестких точек»), можем считать, что горизонтальные и вертикальные силы в верхней части струн будут одинаковы.

При анализе распределения усилий в горизонтальной плоскости несущий трос предполагается в качестве невесомой нити, находящейся в одной плоскости с контактным проводом и имеющей оттяжки в точках, соответствующих фиксаторам контактного провода. Эти оттяжки на тросе заставляют его следовать направлению кривой, образуя ряд хорд. Усилия в этих оттяжках выясняют условия работы верхней части струн и могут быть выражены следующим образом:

$$\text{Горизонтальное усилие} = \frac{\text{натяжение троса} \times \text{расстояние между струнами}}{\text{радиус кривой несущего троса}}. \quad (46)$$

Если горизонтальные усилия в тросе и горизонтальные усилия в проводнике равны и обе системы связаны посредством струн, вся система будет находиться в равновесии. Из уравнений (45 и 46) имеем:

$$\frac{\text{натяжение контактного провода}}{\text{радиус кривизны контактного провода}} = \frac{\text{натяжение троса}}{\text{радиус кривизны троса}}. \quad (47)$$

Кривая невесомого троса будет представлять часть окружности; радиус ее будет относиться к радиусу контактного провода, как натяжение троса относится к натяжению провода.

Сопоставляя распределение вертикальных и горизонтальных сил, действующих на систему, можем сказать, что если в горизонтальной плоскости положение провода находится по способу, указанному выше, то длина струны определяется в предположении, что угол направления сдается отношением веса и натяжения, в свою очередь зависящих от веса и натяжения проводов системы. Это отношение дает величину тангенса угла, синус коего, после умножения его на горизонтальное расстояние между двумя круговыми кривыми, дает истинную длину струны.

На практике, при длинных пролетах, струны не могут быть выполнены так, чтобы они на одном конце были радиальны по отношению к поддерживающему тросу, а другим концом радиальны к контактному проводу. Поэтому приходится рассматривать обе симметричные системы как соединенные струнами, не радиальными по отношению к обеим кривым, а направленными параллельно самой короткой из струн. Г. Ф. Броун дал анализ этого в «Трудах» Американского института инженеров электриков [1] и вывел на основе геометрических соотношений нижеследующие основные формулы, приняв систему уравновешенной в горизонтальной плоскости и предположив проводники невесомыми:

$$\text{отклонение контактного провода} = \frac{\text{тяжение от кривой в струне} \times \text{пролет}}{2 \times \text{тяжение контактного провода}}, \quad (48)$$

$$\text{отклонение несущего тросса} = \frac{\text{тяжение от кривой в струне} \times \text{пролет}}{2 \times \text{тяжение несущего троса}}, \quad (49)$$

[1] AIEE Transactions.

НТБ ДНУЖТ

откуда получаем:

$$\frac{\text{отклонение контактного провода}}{\text{отклонение несущего троса}} = \frac{\text{натяжение несущего троса}}{\text{натяжение контактного провода}}. \quad (50)$$

Формула (50) аналогична формуле (47) за исключением того, что определяет скорее величину отклонения, чем самую форму кривой. При пользовании формулой (50) необходимы дальнейшие преобразования, чтобы применить ее к выяснению действительных очертаний, которые примут горизонтальные проекции несущего троса и контактного провода.

Необходимо преобразование обеих основных формул для того, чтобы можно было включить в них значение вертикальной проекции струн несущего троса. Окончательные длины струн должны получиться в результате сопоставления величин отклонения несущего троса как в горизонтальной плоскости, так и вертикальной. Подобный расчет, связанный с учетом последовательного местоположения отдельных струн, начиная от средины пролета, подробно изложен в том же указанном выше выпуске «Трудов» АИИЭ. Поскольку вертикальная проекция несущего троса является цепной линией, горизонтальная проекция контактного провода, являясь как бы подобием этой кривой, не будет являться в точности дугой круга. Однако отдельные отрезки кривой между горизонтальными оттяжками цепной подвески на закруглениях пути относительно весьма невелики, и поэтому форма такой кривой для практики достаточно хорошо соответствует закруглению железнодорожного полотна, выполняемому по дуге круга.

Можно доказать, что в одном частном случае, при определенных отношениях натяжений несущего троса и контактного провода к их весам, получается одинаковый угол наклона подвесок. Р. М. Иорстэд в «Трудах»[1] Американского института инженеров-электриков, 1927 г., доказывает, что это отношение будет иметь вид:

$$\frac{\text{натяжение несущего троса}}{\text{натяжение контактного провода}} = \frac{\text{вес несущего троса}}{\text{вес контактного провода}}$$

и что кривые, получающиеся в результате соблюдения этого условия как для троса, так и для контактного провода, будут параболами. Если из экономических соображений не представляется желательным фиксировать зависимость между весом и натяжением контактного провода и несущего троса, углы наклона струн могут в некоторых точках пролета быть различными, в зависимости от соотношений между натяжениями провода и троса. Это дает значительную свободу в выборе материала несущего троса, его размеров и назначении величин натяжений для достижения наиболее дешевой комбинации контактных проводов и несущих тросов воздушной системы в связи с давлением токоснимателя.

Кинетическая теория контактной сети. При изучении теории подвешенного на постоянной высоте над полотном железнодорожного пути провода и притом точно следующего его направлению возникают кроме рассмотренных еще и другие проблемы, а именно: успешная работа токоприемника и долговечность службы всей системы. Эти вопросы зависят

---

[1] AIEE Proceedings. (Ред.)

НТБ ДИЖТ

в большей степени от динамики, чем от статики всей системы, и подлежат особому рассмотрению.

Съем тока с контактного провода при помощи подвижного приспособления, укрепленного на электровозе или моторном вагоне, осуществляется с помощью специального контакта, обладающего малым сопротивлением и располагаемого между подвижным и неподвижным элементами системы. Поскольку оба элемента подвижны один относительно другого, контакт может быть осуществлен исключительно помощью давления одной поверхности на другую.

Это поверхностное или контактное давление определяется различными факторами. Во-первых, имеется направленное вверх давление токосъемателя, обусловленное действием пружин или особого пневматического устройства. При этом явлении играют роль сопротивления в шарнирах токоприемника, а также инерция движущихся частей. При достаточно медленных перемещениях токоприемника вверх и вниз давление воздуха или пружин будет доминирующим фактором, определяющим нажим на контактный провод. При быстрых же перемещениях картина резко меняется под влиянием действия сил инерции движущихся частей. Более подробно эти явления рассмотрены ниже в особой главе о токоприемниках.

В равной степени величина давления в контакте зависит и от давления воздушной контактной системы, направленного вниз или, точнее, от величины реакции воздушной системы, направленной обратно давлению токоприемника. Здесь, точно так же, при медленном движении токоприемника общий вес и величина стрелы провеса воздушного провода являются доминирующими факторами; при больших же скоростях преобладающее влияние сил инерции, возникающих в контактном проводе, будет значительно осложнять все явление. Остановимся несколько подробнее на различных обстоятельствах, влияющих на реактивное давление воздушной системы.

В условиях медленного движения поезда направленное вверх давление токоприемника стремится к равенству ее противоположно направленной реакции воздушной контактной сети, направленной вниз. В случае ординарного контактного провода токоприемник приподнимает провод на высоту, обусловленную, с одной стороны, давлением токоприемника, а с другой—весом провода. Вместо первоначальной формы одной цепной линии провод образует теперь две цепные линии. Токоприемник при этом становится как бы дополнительной точкой подвеса. В случаях, когда токоприемник находится вблизи точки подвеса или же под ней, часть или же все давление токоприемника передается на подвесную клемму. При жесткой конструкции струн токоприемник не приподнимает в этой точке провода, так как жесткость крепления достаточна для восприятия направленного вверх давления. В случае гибкой конструкции крепления будет иметь место приподнимание провода в точке, где реакция подвески окажется равной давлению токоприемника.

Рассматривая эту реакцию проводов с количественной точки зрения, можем сказать, что подъем проводника для создания реакции достаточной величины пропорционален давлению, но, что пропорциональность эта не будет постоянной на всей длине пролета, начиная от его средины и кончая точкой опоры. Можно также добавить, что подъем, необходимый

НТБ ДГУЖТ

для создания определенной реакции, увеличивается с увеличением стрелы провеса или уменьшения натяжения провода.

Поскольку дело идет о съеме тока, особый интерес приобретает изменение высоты уровня контактного провода, влияющего на постоянство реакции воздушной системы, которое вызывается совершенно постоянным давлением токоприемника на провода. Первый должен следовать за уровнем воздушного провода, имеющего например стрелу провеса в середине пролета, равную 150 *мм*, а под жесткой точкой подвеса равную 0. Это изменение высоты токоприемника должно происходить за время, пока он пройдет половину длины пролета. Способность токоприемника следовать этому изменению определяется характеристикой его собственного подъема и опускания. Соответствующее этому свойство контактного провода м. б. названо характеристикой «отклонения» (deflection—distance). Фактором, связывающим обе характеристики воедино, будет скорость движения токоприемника, в результате чего вопрос сводится опять к величинам подъема и опускания, соответствующих величинам отклонений. Рассчитывать на точное следование токоприемника всем изменениям высоты уровня контактного провода можно лишь в том случае, когда характеристика способности его к быстрому собственному перемещению будет не ниже таковой же способности провода.

Этим объясняется, отчасти, непригодность простой подвески одиночного контактного провода, непосредственно подвешенного к опорам, для скорых поездов, снабженных пантографами. Оказывается, что при больших скоростях и принимаемых по экономическим соображениям пролетах контактного провода, характеристика перемещений последнего обусловливает его значительно большую быстроту подъема и опускания, чем пантографа. В результате пантограф не успевает следовать с неизменной величиной давления за проводом, а моментами даже совсем отстает от него.

Для цепной подвески характеристика перемещений провода значительно усложняется. При наличии жестких струн перемещение контактного провода вверх происходит на участке между двумя струнами, так как для провода последние играют роль точек опоры. Вес несущего троса в значительной мере обусловливает неподвижность этих опорных точек, создаваемых жесткими струнами, а также и величину абсолютного перемещения контактного провода. Натяжение контактного провода, точно так же как и в вышерассмотренном случае непосредственно подвешенного провода, сильно влияет на его вертикальное перемещение. Из-за малой длины пролета приходится учитывать и жесткость самого контактного провода. Опыт одной железнодорожной линии подтвердил правильность всех этих положений. При двойном несущем тросе, а следовательно при особенно неподвижных поддерживающих точках, создаваемых струнами, и ординарном контактном проводе 4/0 (107 *мм*^{2}) вертикальное перемещение провода в пролете между струнами происходило все же значительно быстрее, чем перемещение пантографа. В результате пантограф не мог следовать синхронно за изменениями положения провода. Так как перемещение провода вниз происходило быстрее перемещения пантографа, то пантограф отбрасывало от провода. Избыточное усилие от реакции контактного провода сообщало пантографу ускорение, направленное вниз, вследствие чего уже по окончании

НТБ ДИИТ

вертикального перемещения провода вниз пантограф продолжал еще двигаться в том же направлении вследствие инерции. Следует отметить, что обычной причиной плохих условий контакта между проводом и пантографом является как-раз неучет характеристик собственных перемещений того и другого. Движение контактного провода вверх является результатом подъема его пантографом, и поэтому не может опережать его движения. Исключением будет лишь повышение высоты уровня провода при выходе из туннеля или моста с низкими пролетным строением. В вышеприведенном случае замена контактного провода с 4/0 (107 *мм*^{2}) на 6/0 (120 *мм*^{2}) дала удовлетворительный результат благодаря увеличению жесткости самого провода и увеличению тяжения. Оказалось, что в этом случае характеристика собственного перемещения провода уже соответствовала оставшейся неизменной характеристике перемещения пантографа. Аналогичным образом добавочная подвеска к контактному проводу 4/0 еще одного провода 4/0 также улучшила его характеристику, благодаря тем же причинам увеличения тяжения и жесткости.

Поскольку вертикальное смещение провода между струнами в значительной степени зависит от жесткости положения самих струн, можно величину этого смещения уменьшить путем придания точкам подвеса эластичности введением вспомогательного троса, точки крепления к которому контактного провода располагаются между струнами. Такая конструкция подвески контактного провода более гибка из-за меньшего натяжения и меньшего веса вспомогательного троса или провода по сравнению с главным несущим тросом. Вспомогательный трос может способствовать и жесткости самого контактного провода, если только он будет жестко соединен с ним через короткие промежутки. Этим способом можно также достигнуть уменьшения перемещения провода. Оба способа присоединений при помощи вспомогательного троса показаны на рис. 63.

Есть еще один способ уменьшить жесткость струн и тем самым уменьшить прогиб провода относительно точек подвеса, а именно делать самые подвески гибкими, осуществляя их петлей, гибким проводом или другим гибким соединением. Благодаря этому давление на токоприемник в точках подвеса контактного провода не будет зависеть от веса несущего троса. Для данной величины давления пантографа реакция провода поэтому будет примерно одинакова по всей его длине. Токоприемник воспринимает лишь часть веса контактного провода, равную величине давления первого.

Величина смещения контактного провода между точками подвеса должна поддерживаться в известных пределах, обусловленных характеристикой токоприемника и скоростью движения поезда. Непосредственно подвешенный к опорам ординарный контактный провод дает хорошие результаты даже при больших скоростях движения при условии применения роликового токоприемника на штанге (троллея), имеющего малую инерцию и весьма быстрое опускание и поднятие всего механизма. Непосредственное подвешивание провода, но с видоизмененным устройством крепления струн, также дало при больших скоростях движения хорошие эксплоатационные результаты на государственных железных дорогах Италии, где был применен токоприемник в виде скользящей дуги (бугеля). Другая, несколько видоизмененная система непосредственной подвески была с успехом применена на железной дороге Париж—

НТБ ДИУЖТ

Орлеан и на швейцарских государственных дорогах для целей маневровой работы.

Система цепной подвески с жесткими струнами и специальным устройством для ограничения перемещения провода в пролете между двумя струнами и ординарным пантографом успешно применяется в САСШ и других странах при больших скоростях движения.

Опыт некоторых дорог, где скорость движения не превышает 50—60 *км* в час, доказал, что условия контакта будут хорошими для пантографа независимо от натяжения провода и жесткости струн. Эксплоатационные данные некоторых среднеевропейских дорог показывают, что применение пантографа с вспомогательной дугой, обладающего малой инерцией, при ординарном проводе и гибких струнах дает хорошие условия для снимания тока и при высоких скоростях движения. Вспомогательный трос оказался впоследствии излишним, несмотря на то, что ранее он применялся на протяжении многих километров пути. Некоторые другие европейские дороги однако сохранили вспомогательные тросы в целях использования их токопроводимости.

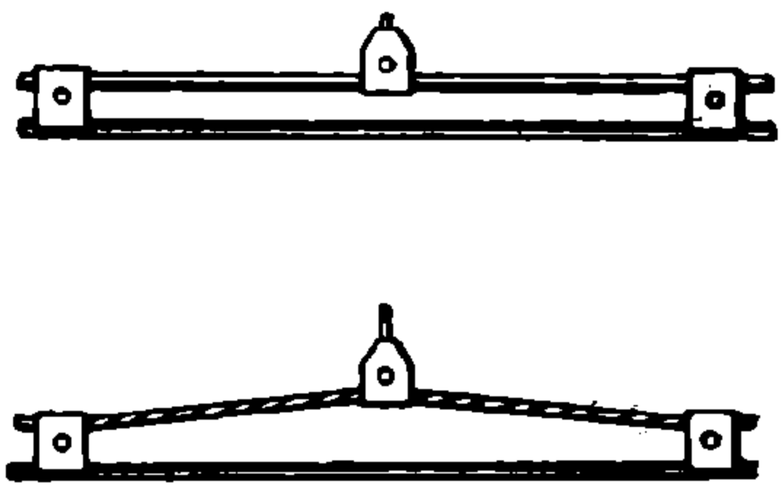


Рис. 63. Конструкции вспомогательного троса (жесткая и гибкая).

Вертикальное перемещение провода между струнами можно сохранять в допускаемых пределах большим натяжением самого контактного провода, собственной его жесткостью и применением подвижных точек опоры. Это достигается применением вспомогательного троса или же гибкими струнами. Практически все европейские линии пользуются гибкими струнами той или иной конструкции. Особенно существенным это бывает при больших расстояниях между струнами. Кроме того все эти дороги применяют автоматические компенсационные устройства для натяжки контактного провода, благодаря чему натяжка не может чрезмерно ослабнуть в жаркую погоду, или наоборот, не превзойдет пределов упругости при низкой температуре. В САСШ на линиях с движением скорых поездов применяются как жесткие, так и гибкие вспомогательные провода. Иногда применяется двойной контактный провод, подвешенный на петлеобразных подвесках. На некоторых участках с успехом пользуются ординарным контактным проводом 6/0 (120 *мм*²). В жаркую погоду из-за крайне слабого натяжения выявились некоторые неудобства пользования гибким вспомогательным тросом, дающим чрезмерно большую стрелу провеса между точками подвеса. Жесткий вспомогательный трос не дает таких неудобств, так как благодаря его жесткости и наличию дополнительного натяжения перемещение контактного провода не превосходит допустимых пределов. Этим частично объясняется, что американские железные дороги не считают необходимым применение автоматических натяжных приспособлений в своих контактных системах.

Последним вопросом, относящимся к вертикальному перемещению провода, будет зависимость между давлением токоприемника на провод и величиной перемещения последнего. Как указывалось выше, перемещение это пропорционально давлению и поэтому является весьма важным следить за соответствием характеристик собственных перемещений

НТБ ДГУЖТ

провода и токоприемника. Поскольку оба фактора взаимодействуют друг с другом, необходимо к разрешению проблемы подходить, начиная с первоисточника, обусловливающего эти явления, т. е. токоприемника. В связи с этим можно указать, что при небольших давлениях в контакте,—что постоянно применяется в европейских странах на ж.-д. линиях с распределительными сетями высокого напряжения,—с успехом применяется одинарный контактный провод с гибкими струнами.

Общее вертикальное перемещение всей цепной системы. В дополнение к перемещению контактного провода, имеющему место на участке между двумя точками подвеса, при проходе поезда наблюдается общее вертикальное перемещение всей подвешенной системы, так как токоприемник частично разгружает несущий трос. Абсолютное изменение высоты уровня контактного провода, т. е. изменение по отношению к уровню ж.-д. полотна, зависит в большей степени от вертикального перемещения троса, чем от обратного прогиба контактного провода на участках между точками подвеса, но так как перемещения троса происходят по всей длине пролета между опорами, они обычно не выходят из пределов, допускаемых характеристикой перемещений токосъемника.

Рис. 64. Смещения троса и контактного провода

Проделанные испытания дают отчетливое представление о характере этих общих перемещений цепной системы (рис. 64).

Общее смещение системы приблизительно прямо пропорционально давлению токосъемника, стреле провеса и длине пролета и обратно пропорционально весу подвешенных проводов и натяжению несущего троса. Смещение системы будет максимальным в средине пролета. При жестких струнах оно приближается возле опорных точек к нулю. При гибких струнах подъемная сила токоприемника совершенно не передается на трос и перемещение в точках подвеса происходит лишь под действием одного только контактного провода. На рис. 64 показан этот случай для петлеобразной подвески. Величина смещения троса, происходящего из-за разгрузки его токоприемником при движении последнего вдоль провода, также показана на рис. 64. Дополнительное вертикальное перемещение контактного провода, происходящее сверх вызываемого тросом, явствует из двух верхних кривых диаграммы. Точно также диаграмма показывает и относительную величину подъема.

НТБ ДИУЖТ

обусловливаемого разгрузкой троса, и величину подъема непосредственно самого контактного провода.

В тех случаях, когда точки опоры несущего троса дают ему возможность продольного перемещения, один из пролетов разгружается, воздействуя тем самым на соседний пролет и понижая на нем уровень контактного провода. Это объясняется тем, что при системе с подвижными точками подвеса натяжение стремится остаться постоянным по всей длине и в случае уменьшения нагрузки. При отклонении струн от вертикального положения они воспринимают часть натяжения смежного пролета. Подобное перемещение опор несколько уменьшает длину смежных пролетов, увеличивая на них стрелу провеса и понижая уровень контактного провода.

В случае косой подвески на кривых, отклонение у опор, даже при жестких струнах, может быть довольно значительным из-за недостаточности величины вертикальной реакции струн. Однако оно никогда не достигает такой величины смещения как в средине пролета, так как в этом случае подъем под влиянием разгрузки троса места не имеет.

Практика показала, что общее смещение системы не оказывает значительного влияния на работу по токосниманию. Опыты на одной дороге, где вес цепной подвески составлял 2 *кг* на погонный метр и давление пантографа равнялось 8 *кг*, дали следующие величины вертикального контактного смещения провода: в опорных точках 25 *мм*, на длине 1/4 пролета—60 *мм* и в средине пролета—75 *мм*. Поскольку последний максимум смещения достигался по прохождении пантографом пути в 50 *м*, изменение высоты уровня не является чрезмерно быстрым.

Опыты с более тяжелой цепной подвеской с гибким вспомогательным проводом общим весом в 4,5 *кг* на 1 пог. *м* и с такой же, как и в первом случае, величиной давления пантографа, показали смещение у опор в 25 *мм*, а в средине пролета 60 *мм*. При положении пантографа в средине смежного пролета понижение контактного провода на данном пролете равнялось 13 *мм*. Оба наблюдения производились при скоростях 60 *км* в час.

Метода регулирования величины общего смещения цепной системы еще не существует. Во всяком случае общее перемещение системы не оказывает особо вредного влияния на условия токоснимания.

Влияние удара на контактный провод. Одним из наиболее неприятных явлений в воздушных сетях является ударное действие, испытываемое системой при прохождении токосъемника через так называемые жесткие точки (hard spot) контактного провода.

Явление удара обусловливается повидимому тем обстоятельством, что контактный провод имеет на большей части своей длины некоторую постоянную величину инерции. В некоторых же точках, где к проводу приложен дополнительный вес фиксаторов и держателей, величина инерции мгновено возрастает. Когда при прохождении токосъемника под контактным проводом величина инерции последнего внезапно меняется, получается явление удара между контактным проводом и токосъемником. Рассматривая такой удар с точки зрения динамики, можно приближенно приравнять его к косому удару и таким образом выяснить принципиальный характер самого явления. Считая оба элемента вполне упругими, что вероятно и будет довольно близким к истине, поскольку по-

НТБ ДПУКТ

верхность обоих элементов испытывает весьма незначительные деформации, будем иметь, что вся энергия удара возвращается обратно. В соответствии с общепринятой теорией самое явление удара может быть разделено на два момента: первый, когда подвергнувшиеся удару тела сжимаются; к концу этого момента импульс силы давления достигает своего максимума. Вторым моментом явления будет отдача энергии. Для нас представляют интерес только вертикальные слагающие скоростей, так как лишь они принимают участие в эффекте удара. До момента удара имеет постоянство давления токосъемателя и постоянство реакции контактного провода. Первый момент явления удара (сжатие) наступает, когда величина реакции провода внезапно увеличивается из-за увеличения его инерции. Импульс силы давления доходит до максимума и затем, в течение периода отдачи, освобождается некоторая кинетическая энергия, распределяющаяся на оба элемента обратно пропорционально их массам. Чем больше будет масса контактного провода, тем больше будет величина силы, отбрасывающей токоприемник книзу. Равным образом, чем больше будет сумма обеих масс при ударе, тем больше будет общая величина энергии при отдаче. Благодаря тому, что токосниматель перемещается в горизонтальном направлении, имеется возможность удостовериться в существовании упомянутых двух моментов, сопровождающих явление удара.

Опыты показали, что набегающая часть провода под фиксатором имеет следы значительного износа, что указывает на явление сжатия при ударе. Сбегающая же часть его обгорает, так как в этот момент токоприемник, уже воспринявший кинетическую энергию удара, отходит от места, где произошел удар. Киносъемка прохождения токоприемника под соединением доказала, что башмак пантографа действительно отходит от сбегающей части соединения в результате описанного здесь явления.

Приведенное объяснение явления удара между контактным проводом и токоприемником—может быть несколько грубое—указывает нам, какими средствами это явление можно предотвратить. Очевидно, необходимо стремиться к уменьшению инерции как движущихся частей токоприемника, так и «жестких точек» контактного провода. Для этого нужно облегчить вес держателей, фиксаторов и различных связей, обеспечивая тем самым минимум инерционных воздействий со стороны контактного провода на токосниматель.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ

Устройство воздушной распределительной сети должно удовлетворять всем электрическим и механическим требованиям, в полной мере используя для этого эксплоатационный опыт уже электрифицированных железнодорожных линий. Использование эксплоатационного опыта является наиболее трудной задачей, так как при огромном разнообразии экономических и эксплоатационных условий, имеющихся на отдельных дорогах, нелегко дать правильную оценку той или иной системе. Однако совершенно бесспорно, что проектирование должно иметь в виду как обеспечение непрерывности работы, так и надлежащую экономичность устройств. Вопрос долговечности и непрерывности работы является особенно важным. Накопленный практический материал относительно происходящих аварий дает возможность предупреждения соответствую-

НТБ ДГУЖТ

щих дефектов, выявления слабых или опасных мест и средств к их устранению.

Изоляторы. Одной из наиболее существенных деталей воздушной сети являются изоляторы. Повреждение изолятора может совершенно нарушить движение на данном участке. Важное значение изоляторов общепризнано и иногда даже чрезмерно преувеличивается. В САСШ для расчета изоляторов обычно принимается трех-или четырехкратная степень надежности. Изоляторы, которые нормально применяются на линиях электропередач в 33 000 или даже 44 000 V, в воздушных железнодорожных сетях используются для напряжения в 11000 V.

В Европе первоначально были распространены конструкции с двойной, независимой друг от друга системой изоляции между проводами и опорами (рис. 65). При неблагоприятных условиях эксплоатации (например, дым и копоть) диэлектрические качества изоляторов ухудшаются, и в этих случаях требуется еще большая степень надежности, чем обычно. Кроме того необходимо считаться с тем, что благодаря специфическим особенностям тяговых сетей, смена изоляторов сопряжена на них с значительно большими затруднениями, чем на обычных линиях электропередач.

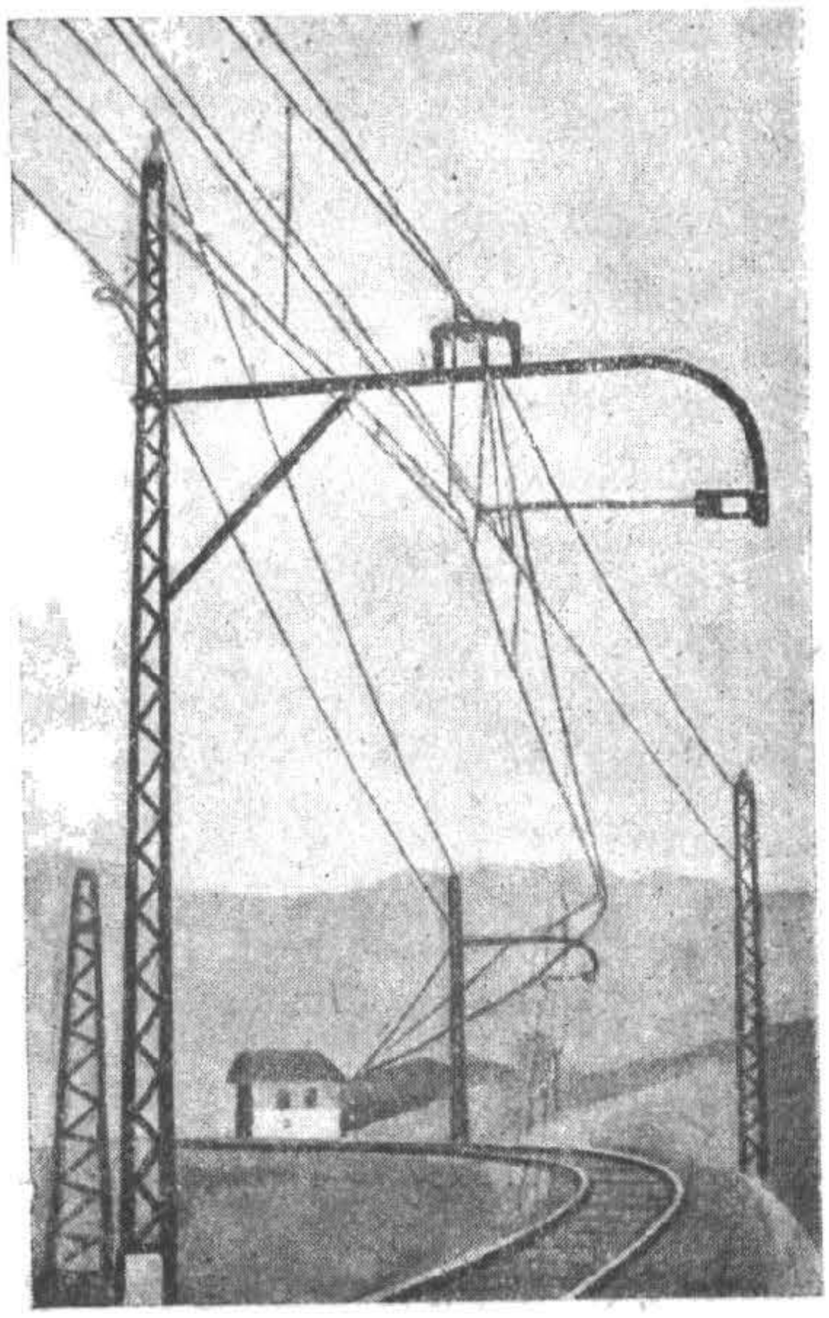


Рис. 65. Старая европейская конструкция изолятора, состоящего из двух отдельных частей.

Европейская практика спустя некоторое время пришла к заключению, что двойная система изоляторов является необходимой лишь в тех случаях, когда нужно считаться с влиянием паровозного дыма. При всех прочих условиях могут быть приняты как стандарт ординарные изоляторы. В Америке же, где практически на всех электрифицированных дорогах применяется и паровая тяга, требования к изоляторам до сего времени не понижены. С этой точки зрения различие в условиях эксплоатации линий с чисто электрической тягой и с комбинированной электрической и паровой тягой учтено нормами Американской ассоциации электрифицированных железных дорог (AREA). Благодаря заземлению одного полюса тяговых сетей сухое разрядное напряжение изоляторов для линий электрической тяги требуется на 80% больше, чем для изоляторов обычных линий электропередач, даже и в случае отсутствия паровой тяги. На линиях с одновременной паровой тягой это напряжение должно превышать нормальное на 180%. В нижеследующей сводке приведены современные данные о технических условиях на изоляторы для различных эксплоатационных условий.

Железная дорога А (САСШ). Для подвески на жесткой поперечной конструкции 11 kV, гирлянды из трех элементов подвесных изоляторов диаметром 250 *мм*; мокрое разрядное напряжение 130 kV, сухое—175 kV.

НТБ ДГУЖТ

Максимальная механическая нагрузка – 4000 *кг*. Для анкеровки проводов 11 000 V—гирлянды из трех элементов подвесных изоляторов особой прочности диаметром 250 *мм*; мокрое разрядное напряжение—130 kV, сухое 210 kV. Максимальная нагрузка—13 500 *кг*. Для фидеров на кронштейнах: штыревые изоляторы на 45 kV, диаметром 260 *мм*. Мокрое разрядное напряжение —90 kV, сухое—160 kV; максимальная изгибающая нагрузка 1 300 *кг*.

Железная дорога Б (САСШ). Для подвески на жесткой поперечной конструкции 11 kV: нормальные ординарные гирлянды из трех подвесных изоляторов диаметром в 250 *мм*. Мокрое разрядное напряжение –

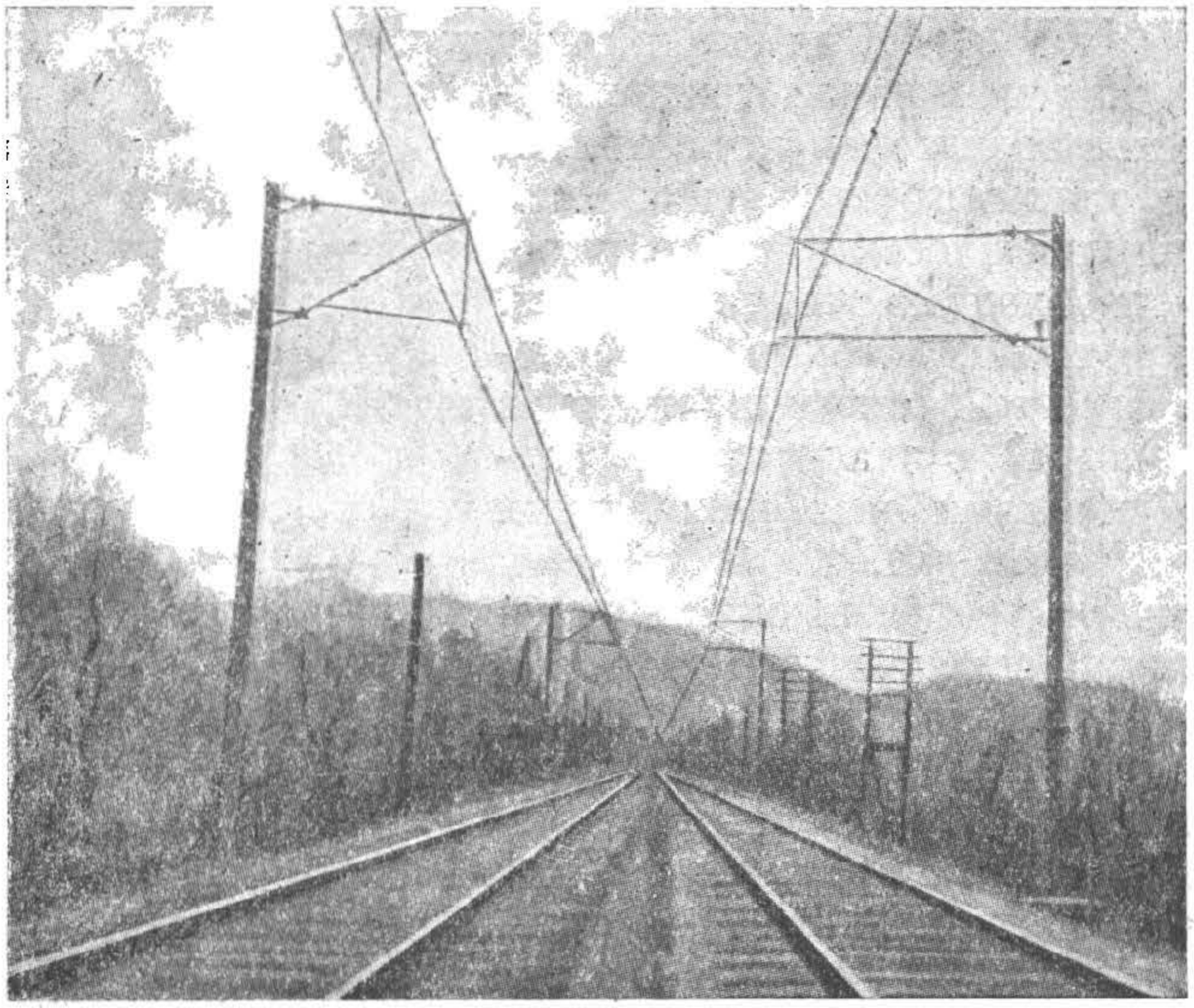


Рис. 66. Боковое расположение изоляторов; магистральная линия в Австрии.

110 kV, сухое 250 kV. Средняя максимальная механическая нагрузка 5 000 *кг*. Для анкеровки проводов 11 kV-гирлянды из трех подвесных изоляторов диаметром 250 *мм*. 130 kV, мокрое разрядное напряжение и 210 kV, сухое. Средняя допускаемая нагрузка 9 000 и 13 500 *кг*.

Железная дорога В (Германия). Для подвески на консолях 15 kV: одиночные подвесные изоляторы диаметром 50 *мм* (рис. 69), 54 kV мокрое разрядное напряжение и 108 kV—сухое. Допускаемая механическая нагрузка 7 500 *кг*. Ж.-д. линия обслуживается также и паровой тягой. Двойные моторные вогоны. Для анкеровки 15 kV: аналогичные изоляторы, располагаемые как натяжные, горизонтально. Мокрое разрядное напряжение—72 kV, сухое 108 kV.

Железная дорога Г (Австрия). Для всех условий работы изоляторов 15 kV: ординарные изоляторы 225 *мм* диаметром (рис. 66). Мокрое разрядное напряжение 53 kV, сухое 85 kV. Допускаемая максимальная механическая нагрузка в среднем 7000 *кг*.

Железная дорога Д (Швейцария). Для подвески на консолях 15 kV. Штыревые изоляторы диаметром 175 *мм* (рис. 71). Мокрое раз-

НТБ ДНУЖТ

рядное напряжение 55 kV, сухое – 90 kV. Для анкеровки 15 kV: Двойные гирлянды подвесных изоляторов диаметром 210 *мм*. Мокрое разрядное напряжение – 40 kV, сухое 75 kV.

Выбор типа изоляторов удовлетворительного качества заключается не только в выработке соответствующих технических условий, но также в проверке и подтверждении свойств изоляторов путем достаточно длительных испытаний в условиях практики. Опыт показал, что из-за неспособности изолятора противостоять резким изменениям температуры, имеющим место например при сильном дожде, выпадающем внезапно в жаркий солнечный день, в сети часто происходят различные аварии. Был предпринят ряд опытов для выяснения процессов, происходящих в материале изолятора при подобных условиях. Испытание, производимое согласно правилам Американского института инженеров-электриков, является весьма характерным в этом смысле и заключается в 10-кратном повторении процедуры, состоящей из двух последовательных погружений изолятора в ванну при 75° Ц и при 5° Ц с промежутком времени между ними не более 5 секунд. После 5 и 10 процедур производится испытание на сухое разрядное напряжение. Наряду с электрическими наблюдаются также и случаи механических повреждений изоляторов.

Заводские испытания изоляторов, производимые более или менее установившимися способами, имеют, правда, своей целью предупредить возможность повреждений, но в действительности такие испытания оказываются неудовлетворительными из-за своего несоответствия реальным условиям работы изоляторов на линии. Например прочность изолятора должна оставаться независимой при колебаниях температуры. Бывают случаи, когда вещества, связывающие фарфор изолятора с железным штырем или арматурой, теряют свои качества под действием высокой температуры. Часто встречаются аварии из-за расширения цементной массы вследствие впитывания ею влаги или замерзания влажного цемента. Причиной порчи изоляторов бывает также неодинаковость коэфициентов расширения фарфора и металла. Предупредить все такие аварии возможно лишь тщательными лабораторными испытаниями изоляторов, в условиях, искусственно приближенных к действительным, нарастяжение, сжатие, кручение, высокую и низкую температуру и дождь. Оборудование для подобных испытаний изготовить весьма нетрудно, используя современную аппаратуру для электрического нагрева и охлаждения.

Типы и расположение изоляторов. Местоположение изолятора не менее существенно для надежности его работы, чем его механические и электрические свойства. Весьма желательно иметь конструкцию кронштейнов, позволяющую располагать изоляторы таким образом, чтобы они не находились над осью железнодорожного пути (рис. 66). Такое расположение изоляторов предохраняет от перекрытий, вызываемых отложениями сажи и ионизацией воздуха от действия паровозного дыма. В туннелях и местах, где расстояния между габаритами подвижного состава и изоляторами малы, надежность их крепления особо важна в целях сопротивления возникающим воздушным вихрям (рис. 67).

Изоляторы, служащие для продольного секционирования воздушного провода, необходимо располагать, по возможности, не в непосредственной близости от места присоединения питательного провода в целях предупреждения порчи изолятора вольтовой дугой, возникающей в месте разрыва цепи. Осуществление такой конструкции довольно затруднительно

НТБ ДИЭКТ

если эти изоляторы крепятся на кронштейнах в более высоком уровне или если для этой цели не предусмотрены роговые или иные искровые промежутки (рис. 68).

Изоляторы, служащие для поперечного секционирования, обычно располагаются вдали от оси жел.-дор. пути, что предохраняет их от дыма и пара. Эти изоляторы обычно не находятся под напряжением, потому что отдельные секции проводов разделены или находятся под одинаковым напряжением.

Необходимо предусмотреть защиту линии от птиц и мелких животных. Особенно важно это при применении изоляторов, укрепляемых к консолям и кронштейнам мачт. Часть изолятора, соприкасающаяся с токонесущим проводом, должна быть удалена на достаточное расстояние от самого столба, кронштейна или каких-либо других связей, чтобы птица, севшая на изолятор, не могла, расправляя крылья, заземлить через себя провода. Применяемая с этой целью колючая проволока не всегда помогает, так как птица замечает колючки лишь в тот момент, когда она уже совсем готова сесть на изолятор; расправляя крылья для взлета, она и производит заземление. В тех местностях, где заземления, производимые птицами, особенно часты, применяют способ крепления изолятора на удлиненных штырях.

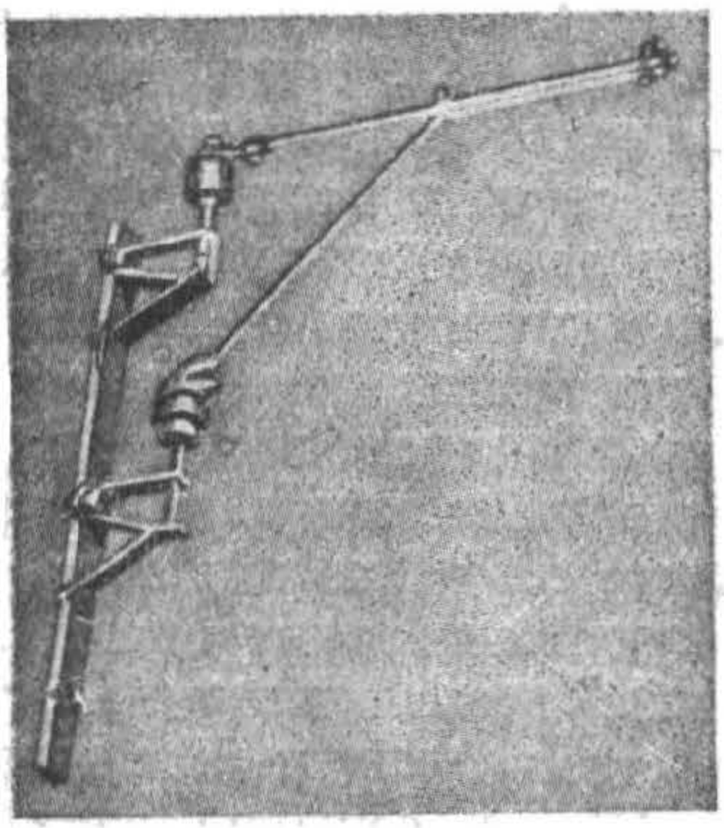


Рис. 67. Боковое расположение изоляторов; тупнель на одной из линий в Швеции.

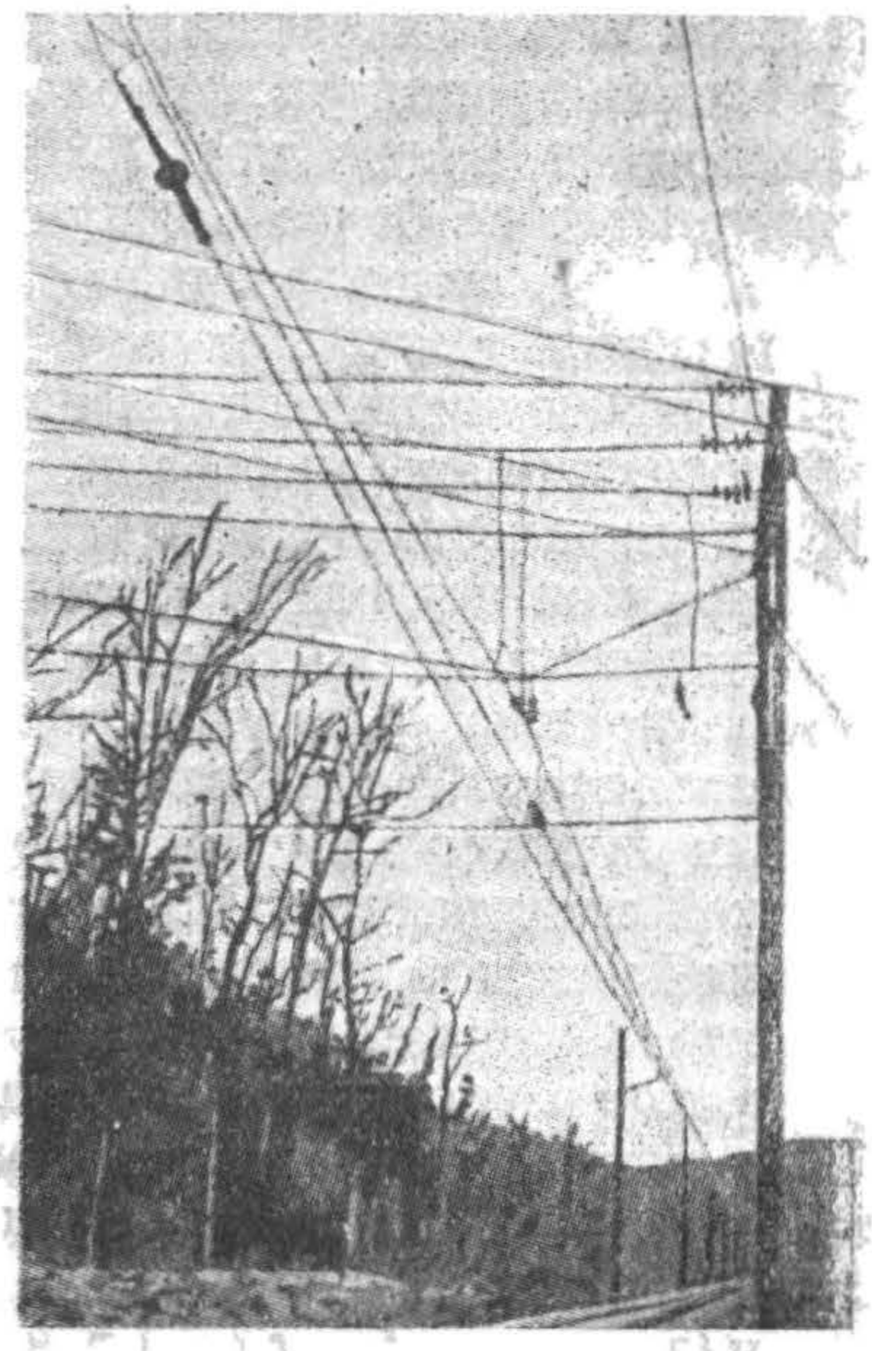


Рис. 68. Местоположение изолятора для продольного секционирования в стороне от секционного выключателя во избежание действия на него вольтовой дуги.

Тип самого изолятора также имеет влияние на успешность его эксплоатации, так как характер напряжений в изоляторе меняется в зависимости от его конструкции. При подвесных изоляторах благодаря наличию гибких соединений их между отдельными элементами скручивающие напряжения отсутствуют. Но, с другой стороны, изоляционные и цементирующие вещества замазки подвергаются срезу и растяжению, что невыгодно с точки зрения величин допускаемых на гирлянду нагрузок. При применении конструкций штыревых изоляторов возникают главным образом скручивающие усилия,

ДГТУ

причем замазка и изоляция подвергаются сжатию. Все это требует увеличения размеров изолятора и увеличивает их стоимость. При подвесном типе, где провод подвешивается на нескольких изоляторах, электрическое повреждение одной или даже двух единиц не выводит из строя подвески и дает возможность произвести своевременный, без перерыва токоснабжения от аварии, ремонт.

Материал для изготовления изоляторов бывает весьма разнообразен. Обычно применяется фарфор. В некоторых случаях пользуются особым образом пропитанным деревом, но этот способ неудовлетворителен, так как дерево легко горит, обугливается и быстро разрушается под действием дыма и сырости. Весьма трудно добиться надежной пропитки дерева; обычно бывает так, что одна партия пропитанных изоляторов оказывается удачной, другая же плохой. В результате деревом при вы-

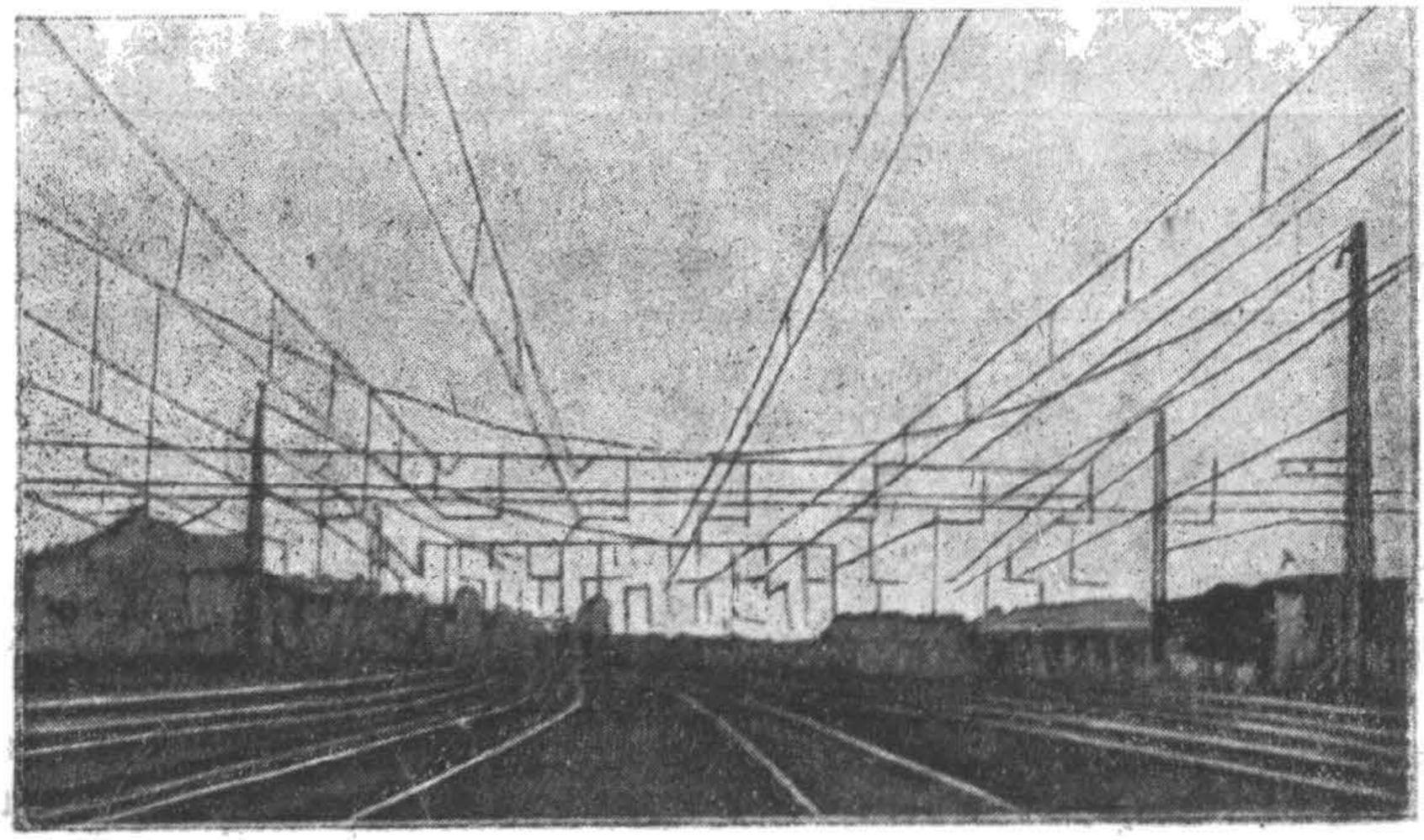


Рис. 69. Сортировочная станция в Германии; заземленные конструкции поперечных тросов.

соких напряжениях почти не пользуются, за исключением случаев, где доминируют требования легкого веса и малых размеров. В Германии начинают получать большое распространение изоляторы из стеатитовой магнезии благодаря их хорошей сопротивляемости температурным влияниям вольтовой дуги и высокому сопротивлению на растяжение. Имеется еще и другой материал- «пирекс», применяемый довольно широко. Он немногим дороже фарфора, но его способность противостоять температурным воздействиям значительно выше. Прозрачность «пирекса» дает возможность легко обнаружить трещины в материале изолятора, если только поверхность его не слишком загрязнена или закопчена. Небезынтересно отметить, что применение фарфора настолько укоренилось в электро-технической практике, что всякий другой материал, заменяющий фарфор и даже не уступающий ему в отношении своих качеств, находит себе применение лишь в отдельных случаях.

Другим очевидным средством для уменьшения случаев аварий на линии из-за повреждения изоляторов является уменьшение общего числа применяемых изоляторов. Избавиться от лишнего изолятора на линии— значит избавиться от одного лишнего пункта, где вообще может произойти авария. Всякая конструкция подвески проводов, дающая возможность

НТБ ДГУЖТ

уменьшить количество необходимых изоляторов, является хорошим средством против возможности аварий (рис. 70). Однако этот принцип недостаточ о широко осознан практикой и многие конструкции выполнены без учета этого очевидного положения.

Механические напряжения. Механические напряжения, возникающие в проводах воздушной сети, влияют на надежность ее эксплоатации не в меньшей степени, чем качество ее изоляции. В некоторых случаях вопрос механических напряжений даже более важен, как например при цепной подвеске, когда несколько линий проводов подвешиваются на одной гибкой поперечине, состоящей из троса. С этой точки зрения степень надежности, принимаемая при расчетах проводов и несущих тросов, имеет весьма важное значение и обусловливает собой успешность эксплоатации линии. Нижеследующая таблица дает характерные цифры для различных жел. дорог.

Несущий трос

Страна	Максимальная расчетная нагрузка (в *кг*)[1]	Степень надежности	Разрывное усилие (в *кг*)	Материал
САСШ	3 500	4,7	16 000	Сталь
САСШ . .	5 600	2,5	14 000	Кадмиевая бронза
Швейцария	600	6,0	3 600	Сталь
Германия	1 600	2,0	3 200	»
Франция	2 100	3,5	7 200	»

При применении черных металлов необходимо принимать больший коэфициент надежности, учитывая уменьшение допускаемого напряжения вследствие коррозии. Особенно существенно это в случаях применения стали на участках линии, подверженных влиянию дыма и влаги. При применении специальных проводов, не подвергающихся коррозии, степень надежности может быть понижена.

Для контактного провода приходится учитывать еще и другой фактор, а именно: требование сильной натяжки провода в целях сохранения его более или менее постоянного и равномерного уровня. Необходимо обратить особое внимание на предел упругой деформации провода, так как, если он будет при низких температурах превзойден, то, вследствие остающихся удлинений, при более высоких температурах будет иметь место чрезмерно большой провес. На следующей таблице[1] приведены нормальные нагрузки для контактного провода.

Контактный провод

Страна	Максимальная расчетная нагрузка (в *кг*)	Разрывное усилие (в *кг*)	Материал
САСШ	1 700	5 000	Бронза
САСШ . .	1 600	3 700	Бронза или медь
Швейцария.	600	3 400	Медь
Германия	1 000	3 600	»
Франция . .	900	3 800	»

[1] Пояснений относительно размеров сечения автором не дано.

НТБ ДИИЖТ

Для поперечной подвески принимаются более высокие степени надежности. Так например в Германии и Австрии пользуются двумя кабелями, из коих каждый в отдельности рассчитывается на воспринятие всей нагрузки с нормальной степенью надежности, что дает в результате общую степень надежности, равную 6—8.

Технические условия на материалы. Качество применяемых материалов играет столь же важную роль для надежности работы системы, как расчетная степень надежности. Производятся специальные испытания материалов в целях определения допускаемых напряжений на разрыв и др., а также и для определения крепости и долговечности защитного слоя провода, работающего в ненормальных условиях (копоть и сырость). Приводим типовые технические условия для несущего троса:

«Провод должен состоят из . . . жил. . . . . стали при минимальном разрывном напряжении в . . . . фунтов на кв. дюйм. Каждая жила должна иметь . . . . дюйма в диаметре с допускаемым пределом отклонения от этого диаметра в 2%. Сечение каждой жилы, должно иметь . . кв. дюйма; общий диаметр троса должен быть дюймов.

Каждая жила должна выдержать испытание, заключающееся в навертывании ее пятью оборотами на стержень, с диаметром, равным диаметру жилы, и в скручивании жилы вдоль ее оси на 180° без появления трещин и каких-либо повреждений как самой проволоки, так и защитного слоя». После этого проволоку подвергают действию влаги или дыма в специальном приборе в продолжении 12 месяцев и она не должна иметь каких-либо следов разрушения.

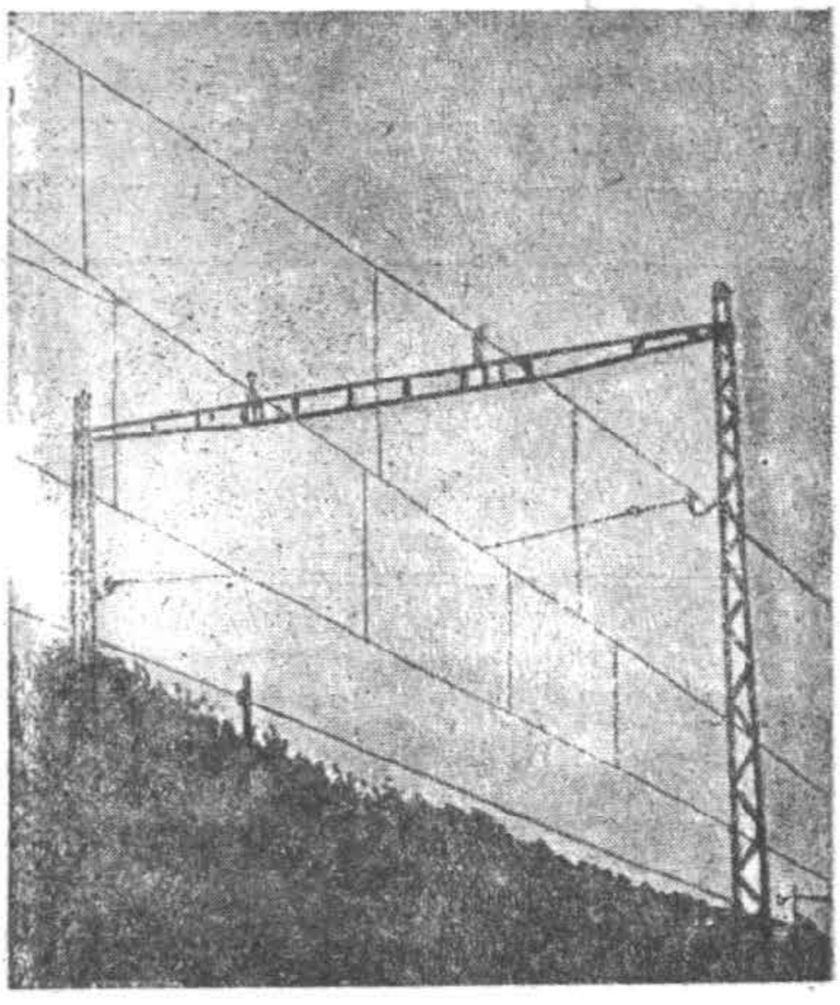


Рис. 70. Швейцарские ж. д. Конструкция с минимальным количеством штыревых изоляторов

Если провод гальванизирован, он должен быть подвергнут по крайней мере шестикратной одноминутной промывке в водном растворе медного купороса и пятикратной промывке в воде без каких-либо следов осаждения меди. Гальванизированная поверхность должна быть гладкая.

В случае освинцованного провода последний промывается 6 раз в 20% растворе серной кислоты при 50° Ц; при этом с поверхности провода не должен выделяться газ.

Представители железной дороги имеют право инспектировать в любое время процесс изготовления кабеля.

«Провод наматывается в бухты кусками длиной по. . . . футов. Намотка должна производиться правильным рядами без пересечений. На каждой бухте должны быть указаны вес тары, общая длина и вес провода, спецификация провода, фамилия фабриканта, дата изготовления и отправки, а также номер заказа. Должен быть обеспечен удобный доступ к обоим концам провода на длине в . . дюймов так, чтобы не требовалось разматывать катушку и можно было удобно сплести данный провод с другим».

НТБ ДГУЖТ

В связи с тем, что материалом для контактного провода служат различные металлы, желательно иметь определенное мерило для их способности сопротивления износу от трения контактным башмаком. В соответствии с практикой такой крупной фирмы, как Американская телеграфная и телефонная компания, можно рекомендовать испытания на износ, дающие в течение нескольких месяцев результат, соответствующий 20—30-годичной работе в нормальных условиях.

Нагрузки на провода. Величины нагрузок на воздушные провода в большинстве стран нормализованы. На большинстве железных дорог САСШ приняты нормы Американской ассоциации электрических железных дорог (AREA). На некоторых дорогах приняты другие стандарты, разработанные совместно с техническими и правительственными организациями данной страны. Типовые нормы для величин расчетных нагрузок для случая цепной подвески показаны в следующей таблице

Страна	Минимальная температура	Максимальная нагрузка от ветра (в *кг* на 1 $м^2$)	Максимальная нагрузка от льда. Толщина слоя (в *мм*)
A. САСШ. } Американская ассоциация электрических ж. д.	— 18° Ц	39	13
B. САСШ. }	— 9°	48	6
C. САСШ. }	0°	73	нет
Франция	— 20°	73	
Швейцария	— 20°	73	
Германия	— 20°	73	10

Напряжения в струнах и держателях воздушного провода. Определить нагрузку на эти элементы воздушной системы довольно трудно, потому что эти нагрузки обусловливают собой не только простое растяжение, но различные сложные напряжения деталей. Обычно детали эти проектируются конструктивно, вследствие чего весьма важно использовать данные, уже проверенные опытом. Так например на струны падает сравнительно небольшая удельная нагрузка и поэтому достаточно было бы очень небольшого их числа для поддержания провода. При гибкой их конструкции они не подвергаются никаким другим напряжениям, кроме растяжения, обусловленного весом контактного провода; струна из многожильного медного провода сечением 10 $мм^2$ по данным одной железной дороги может поддерживать провод 4/0 (107 $мм^2$) на длине 12 *м*. При жесткой их конструкции в них появляются сжимающие напряжения в моменты прохождения под ними пантографа, следствием чего может явиться изгиб подвески. Точно также при некоторых жестких конструкциях возможны большие скручивающие усилия в месте крепления контактного провода при боковых его перемещениях под действием ветра или при продольных перемещениях под действием колебаний температуры. Если подвеска слишком слаба для

НТБ ДГУЖТ

восприняти я подобных нагрузок, она будет повреждена, даже будучи значительно массивнее гибкой подвески для той же нагрузки. В случае применения материалов, подвергающихся порче, струны должны быть сконструированы с большим запасом с учетом будущего ослабления их от действия коррозии при продолжительной службе. Таким образом м. б., вполне оправданным применение для одной и той же нагрузки в одном случае гибкого бронзового многожильного провода, диаметром в 3 *мм*, а в другом случае бронзового стержня в 10 *мм*, и наконец в третьем случае 13 *мм* стального троса.

Конструирование различных деталей, поддерживающих воздушный провод, несложно с точки зрения растягивающих напряжений, учет же скручивающих усилий является весьма трудным.

Размеры клемм следует выбирать с хорошим запасом для того, чтобы обеспечить достаточно надежную связь их с проводом. При петлевых подвесках возможно применение более легких конструкций.

Приспособления, устроенные по принципу заклинивания, должны конструироваться с большим запасом, учитывая внутренние напряжения, вызываемые предварительным натягом клина. Точно также болты для зажимов, поддерживающих провод силой трения, должны быть рассчитаны с большой степенью надежности.

В результате изложенного можно притти к заключению, что наилучшей конструкцией для воздушного провода будет такая, где детали подвергаются только простым напряжениям растяжения или сжатия, и при степени надежности, обеспечивающей удовлетворительную эксплоатацию. Кроме того при такой конструкции возможно наилучшее использование материала и минимум расходов на последний.

Обгорание проводов. Вопросы изоляции и механических напряжений воздушной системы были уже нами рассмотрены. Необходимо указать еще на один источник повреждений воздушных линий, а именно на обгорание провода и креплений его. Опыт показывает, что в случае образования вольтовой дуги выделяется количество тепла, достаточное для расплавления близ расположенных деталей системы и выведения их тем самым из строя. При явлении вольтовой дуги необходимо принять в расчет температуру плавления металлов, массу этих металлов, а также и температуру самой дуги. Температура плавления детали зависит от состава металлического сплава, из коего она сделана. Следует отметить, что нержавеющие бронзовые и медные сплавы имеют более низкую температуру плавления и должны быть поэтому особенно тщательно предохранены от действия вольтовой дуги. Количество металла, использованное для изготовления детали, мы можем изменять в соответствующих пределах, предупреждая тем самым возможность подобного повреждения. Так например объем металлического держателя на изоляторе, который поддерживает несущий трос, может быть взят весьма значительным для лучшего отвода тепла и для одновременного удаления поддерживающего троса на достаточное расстояние. Разумеется, самое крепление должно быть расположено так, чтобы при расширении или сжатии его не был поврежден самый изолятор (рис. 71).

В связи с необходимостью предохранения системы от обгорания роль фидерных выключателей является весьма ответственной, так как их конструкция обусловливает собой как время действия вольтовой дуги, так и время, в течение которого ток после начала появления дуги будет

НТБ ДПУ

протекать в цепи. С усовершенствованием быстродействующих выключателей как для постоянного, так и для переменного тока техника достигла больших успехов в ослаблении разрушительного эффекта вольтовой дуги: в соответствии с этим оказалось возможным сократить расходы на предохранительные устройства против непосредственного действия последней. В особенности существенно это в системах с несущим тросом из цветного металла, имеющего низкую температуру плавления. Эксплоатационная практика в отношении стального несущего троса, применяемого на линиях, питаемых через быстродействующие выключатели, показала, что такие тросы не подвержены серьезным повреждениям от вольтовой дуги. При аналогичных условиях на линиях, питаемых через обыкновенные автоматические выключатели, имеют место пережоги троса, вызывающие в свою очередь различные механические повреждения.

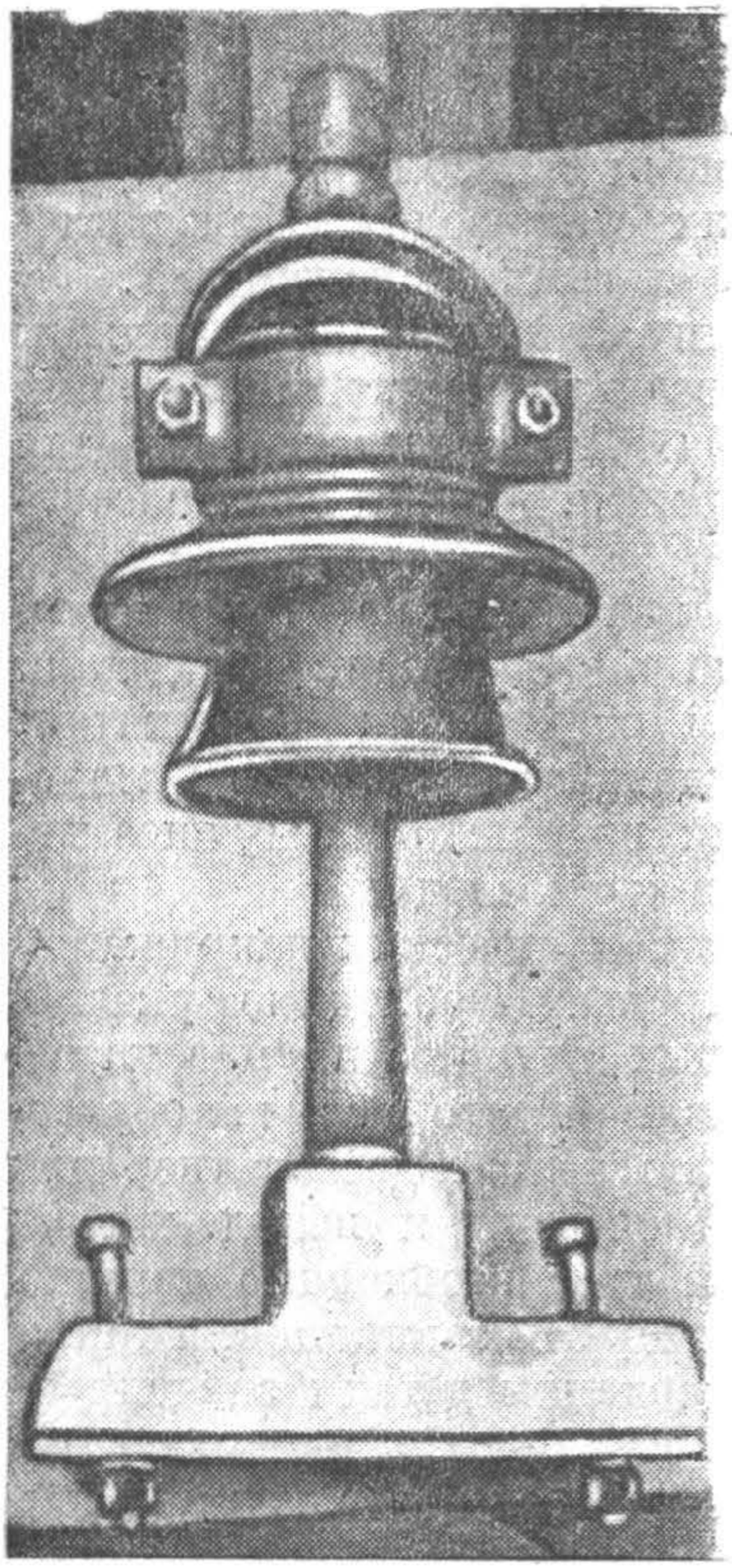


Рис. 71. Конструкция штыревого изолятора с удлиненным штырем и держателем без фарфора для фиксатора.

Ветровые фиксаторы. Значительное число повреждений воздушной системы должно быть отнесено на счет схода токоснимателя с провода, что происходит из-за отклонения от правильного положения воздушных проводов или самого токоснимателя, или же по тем и другим причинам одновременно. Преимущественный интерес представляет для нас отклонение проводов. Обычной причиной, часто недооцениваемой, является ветер. Расчет допустимой величины пролета был уже приведен в предшествующей главе; следует добавить, что самым существенным элементом этого расчета является правильность определения усилий от давления ветра, которые могут иметь место в различных частях линии. Скорость ветра, значительно превышающая расчетную, часто наблюдается на открыто расположенных местах, приморских участках, горных плато и степях. Для осторожного конструктора, желающего предусмотреть возможные аварии из-за перегрузок от давления ветра, опыт линейного персонала может дать ценный материал в этой области.

Простейшим способом борьбы с отклонениями воздушного провода под действием ветра от нормального положения является более частая постановка столбов и жесткая система креплений посредством фиксаторов на каждом столбе (рис. 47).

Часто в тех случаях, где первоначальный пролет оказался чрезмерно большим, или где из экономических соображений его желают сохранить таковым, применяются специальные промежуточные столбы, предохраняющие воздушный провод от горизонтальных смещений в средине про-

НТБ ДНУЖТ

лета (рис. 72). Другим решением вопроса будет подвеска дополнительного продольного заземленного троса, к которому в нескольких точках крепится воздушный провод (рис. 73).

Отрицательной чертой этих приспособлений является необходимость в дополнительном проводе, изоляторах и конструкциях по сравнению с нормальными опорами. Была сделана попытка осуществить такую систему цепной подвески, которая могла бы сама по себе препятствовать боковым перемещениям провода. Достигается это отклонением несущего троса с одной стороны пути на другую и одновременным смещением контактного провода к противоположной стороне. Это дает постоянное наклонное положение цепной системы; горизонтальные усилия контактного провода передаются через струны к тросу и раскладываются на горизонтальные составляющие. Сложность такой системы делает достоинства ее довольно сомнительными, в особенности потому, что на каждой опоре так или иначе приходится ставить фиксаторы.

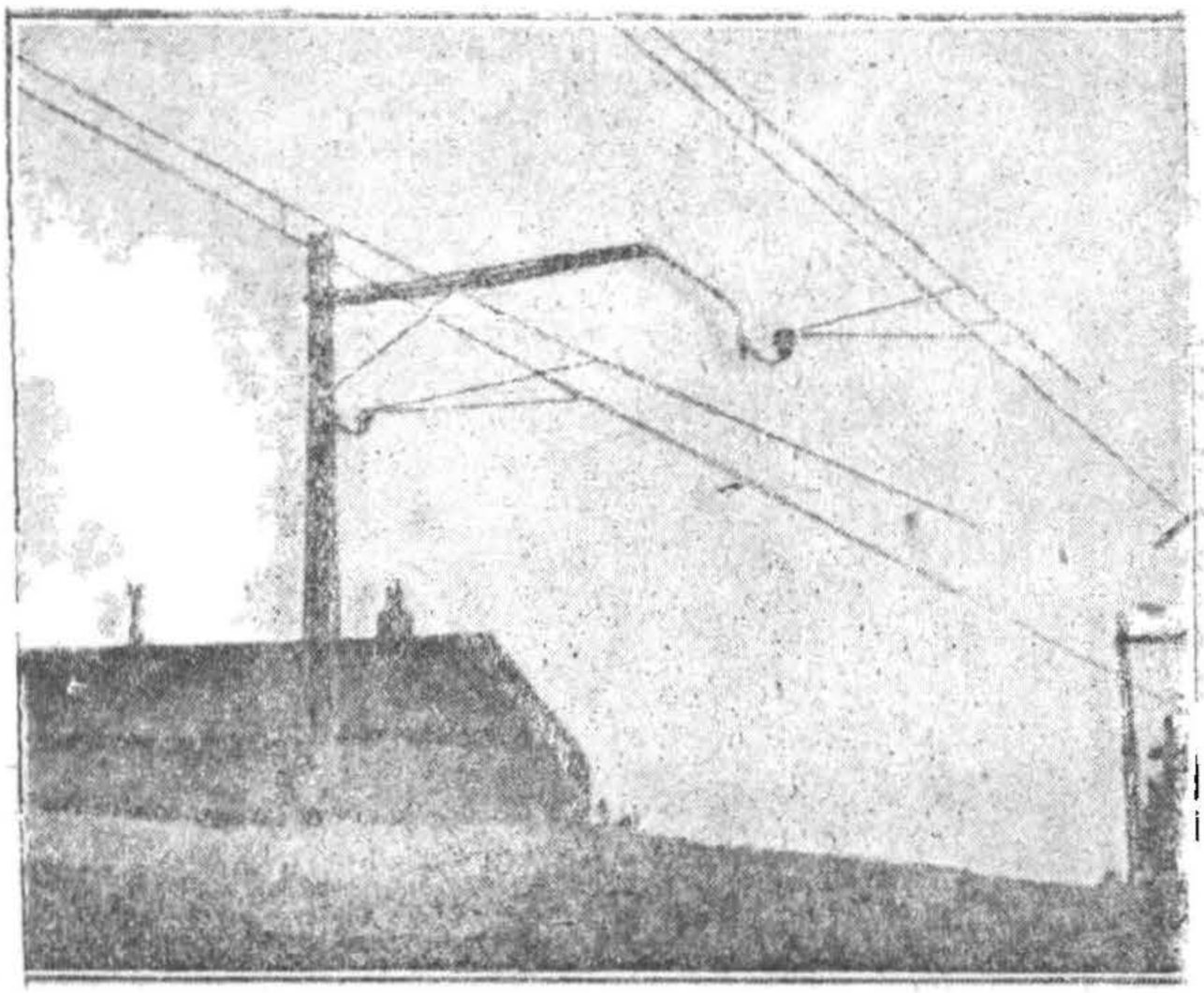


Рис. 72. Специальная опора для фиксатора.

Усилия от давления ветра, передающиеся на контактный провод или же на контактный и вспомогательный провода на длине в 75 *м*, равняются 75—250 *кг* при скорости ветра 30 *м* в секунду. Такая нагрузка не является чрезмерной в тех случаях, когда в качестве фиксирующих приспособлений употребляются стержни сплошного или трубчатого сечения, работающие на растяжение; при работе же их на сжатие требуется более тщательный подсчет.

На практике имели место случаи изгиба солидных жестких стержней под действием нагрузки от давления ветра. При проектировании подобных связей необходимо избегать по возможности образования на контактном проводе так называемых «жестких точек», весьма дурно влияющих на работу токоприемных устройств. Желательно передать возможно большую часть веса фиксатора на неподвижно закрепленный конец. Можно также передать часть веса и на несущий трос, однако трос будет воспринимать его лишь до определенного уровня, при подъеме же контактного провода пантографом выше этого уровня трос будет снова нагружен.

Устройство цепной подвески на кривых. При правильной конструкции цепной подвески проекция воздушного провода должна совпадать с осью рельсового пути, при значительных же колебаниях температуры косая цепная подвеска на кривых не дает возможности обеспечить правильную работу провода и пантографа. В таких случаях приходится прибегать к так называемой системе касательных и хорд

НТБ ДИИТ

с соответствующими величинами длин пролетов. Другим осложнением при кривых малого радиуса и очень низких температурах будет уменьшение угла наклона между струнами и горизонталью, вследствие чего возможны повреждения арматуры и оттяжек пантографами.

Некоторые указания по монтажу сети. Правильное положение пантографа в значительной степени зависит от состояния полотна и весьма сильно влияет на работу всей линии. Если на кривой имеется повышение одного рельса над другим на 25 *мм*, пантограф отклонится уже на 125 *мм*. Эту величину следует признать весьма значительной, если учесть, что в целях увеличения длины хорд рабочего провода обычно используется вся рабочая длина лыжи пантографа. Влияние состояния полотна на снимание тока вообще выявлено недостаточно, так как все аварии обычно приписывают пантографам или же неправильностям в положении контактного провода. В случаях осадки полотна, или наоборот выпучивания, положение сильно осложняется. Многие ж.-д. компании пускают по линии через определенные промежутки времени в целях контроля за состоянием полотна особый поезд со специально сконструированным пантографом. Другой, более простой метод контроля заключается в применении зеркального прибора и рейки с делениями. Эти приборы удобны для пользования как бригадой, обслуживающей воздушные провода, так и линейным персоналом службы пути.

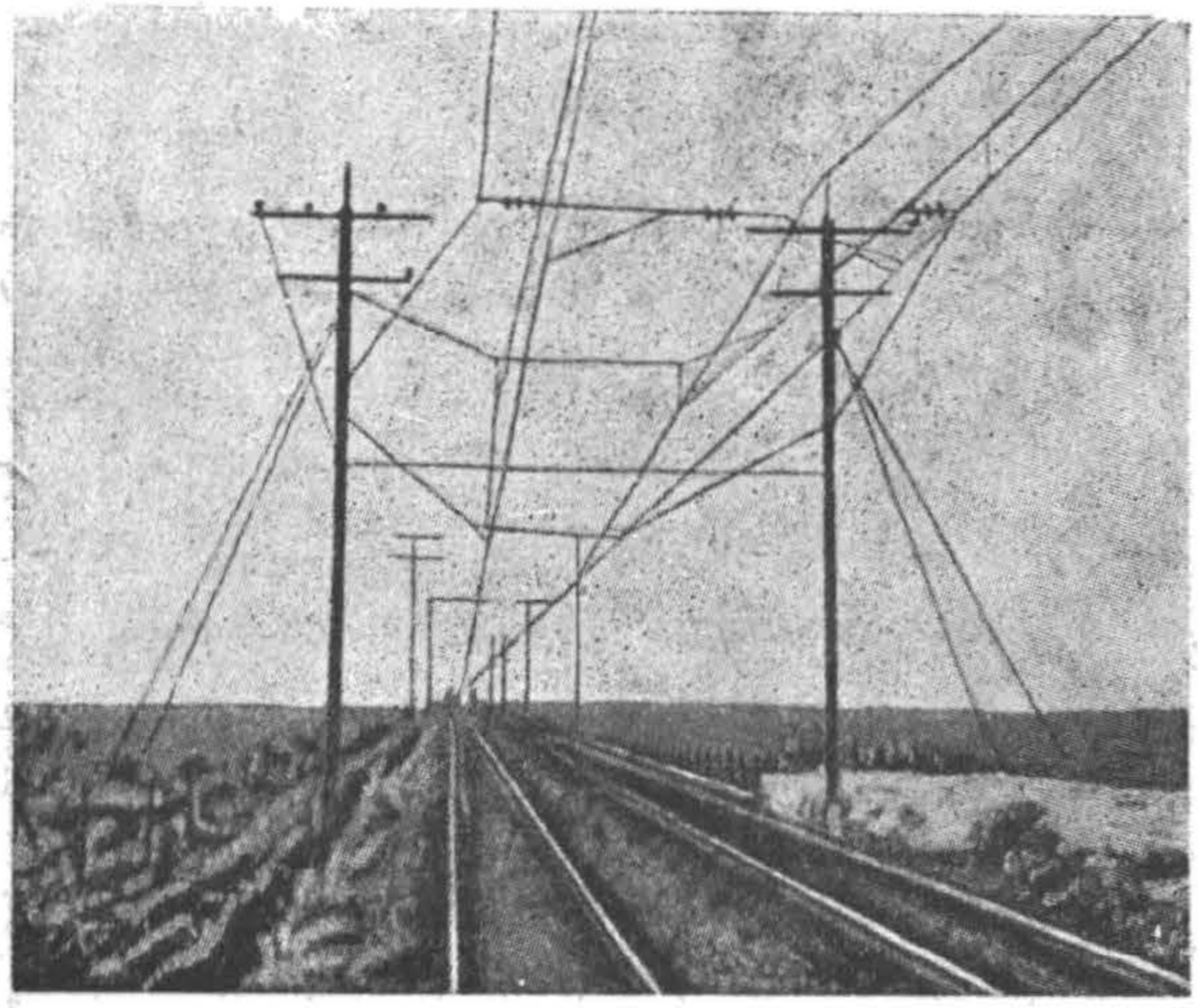


Рис. 73. Продольный пролет с промежуточной поперечной фиксацией.

Пересечения и стыки двух контактных проводов (например возле секционных выключателей) являются тем местом, где пантографы отклоняются от своего правильного положения; действительно, проходя под контактным проводом, пантограф приподнимает его; если же другой провод примыкает или касается основного проводника, он приподнимается несколько слабее и рога пантографа могут задеть за него. Существует специальная конструкция подвески, так называемый «дефлектор», при которой оба контактных провода должны приподниматься одновременно. Однако иногда части самого дефлектора служат причиной тех же неприятных явлений, которые наблюдаются при неравномерном подъеме проводов. Необходимость в применении подобных выравнивающих приспособлений в значительной степени зависит от величины подъема проводов в точках пересечений контактных проводов. При наличии легкой цепной системы и большого давления от пантографа вертикальные перемещения в средине пролета будут весьма значительны и безусловно оправдают применение дефлекторного устройства (рис. 74). Вблизи точек подвеса у опор от-

ДПУЖТ

клонение проводов относительно невелико и применение предохранительных средств будет излишне. При тяжелой цепной системе отклонения будут не столь велики, даже в средине пролета, и в этом случае возможна работа и без выравнивающих приспособлений. При легкой цепной подвеске и небольшом давлении пантографа вопрос не представляется особенно важным (рис. 75). Решающим фактором является величина превышения одного провода над другим в том месте, где пантограф или башмак бугеля только что коснулся стыка обоих контактных проводов.

Примыкающий провод не должен быть много ниже верхней части башмака пантографа, так как в противном случае он может задевать за рога и не будет удерживаться ими на башмаке пантографа. Конструкция

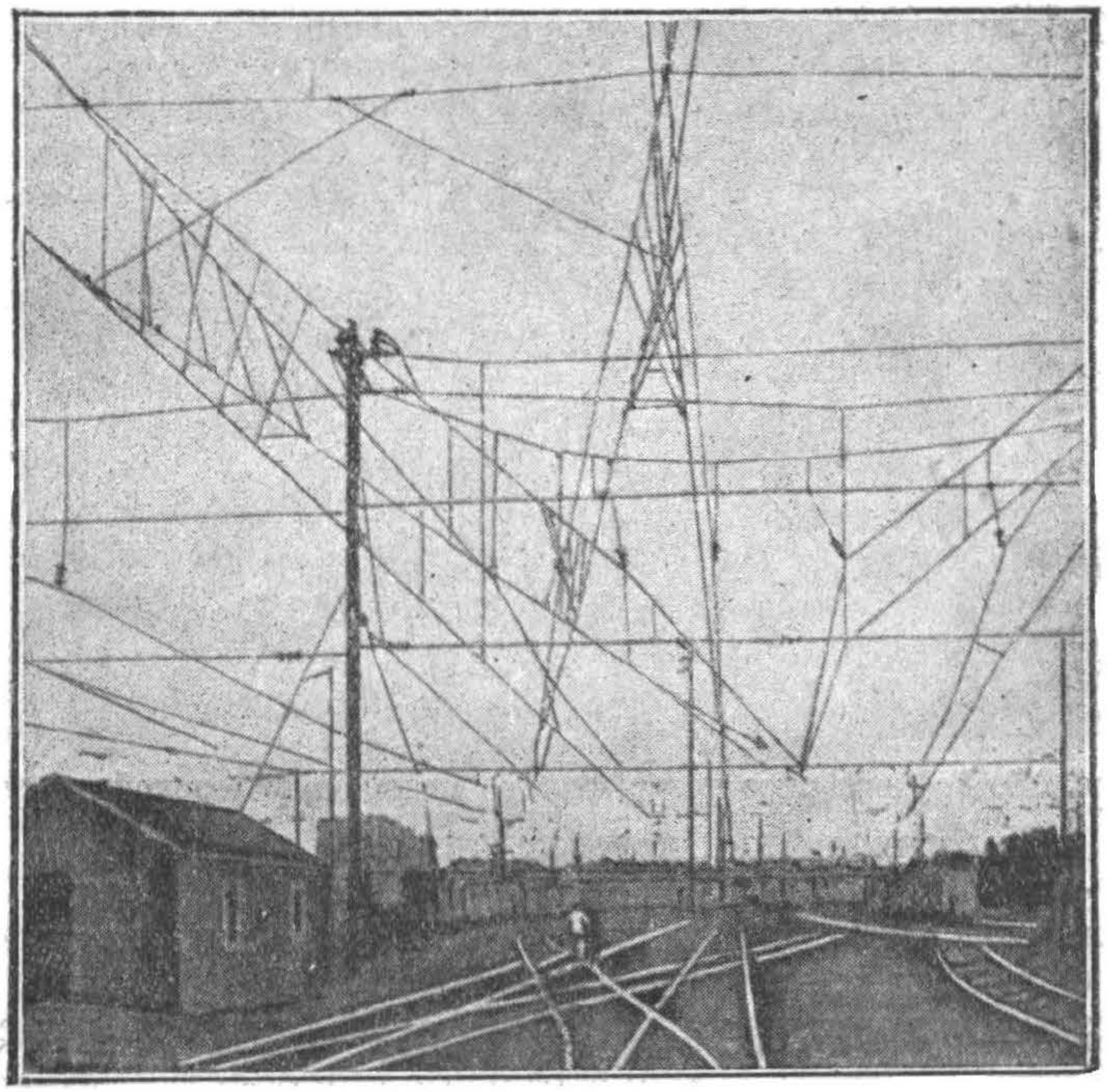


Рис. 74. Американское дефлекторное устройство тяжелого типа.

самого рога также играет важную роль, так как рог является самой низшей точкой и обусловливает величину допускаемого вертикального перемещения провода. В конструкциях пантографа, имеющих вместо рогов удлиненные книзу концы башмаков, опасность попадания провода под лыжу устраняется и значительно уменьшается вероятность схода провода с пантографа.

Меры для уменьшения провеса контактного провода. Ранее уже указывалось, что удовлетворительная эксплоатация воздушной сети в сильной степени зависит от тех пределов, которыми ограничены местные перемещения контактного провода.

Конструкторы разрешают эту задачу различными методами. Так например в Европе принято поддерживать величину натяжения контактного провода постоянной и независимой от температурных влияний; для этих целей применяются особые компенсирующие приспособления в виде

НТБ ДНУЖТ

грузов, прикрепляемых к проводу на анкерных опорах. В целях уравновешивания усилий, направленных в противоположные стороны, и для облегчения тем самым опорных конструкций на одной швейцарской дороге применен весьма остроумный метод (рис. 77). Изображенное приспособление работает достаточно равномерно даже при обледенелых проводах, так как при образовании льда температура обычно понижается, что вызывает сокращение длины провода, приводящее в свою очередь весь механизм в движение. При повышении температуры лед или трескается вследствие удлинения провода или же стаивает. Сложность и дороговизна подобного устройства, в осо-

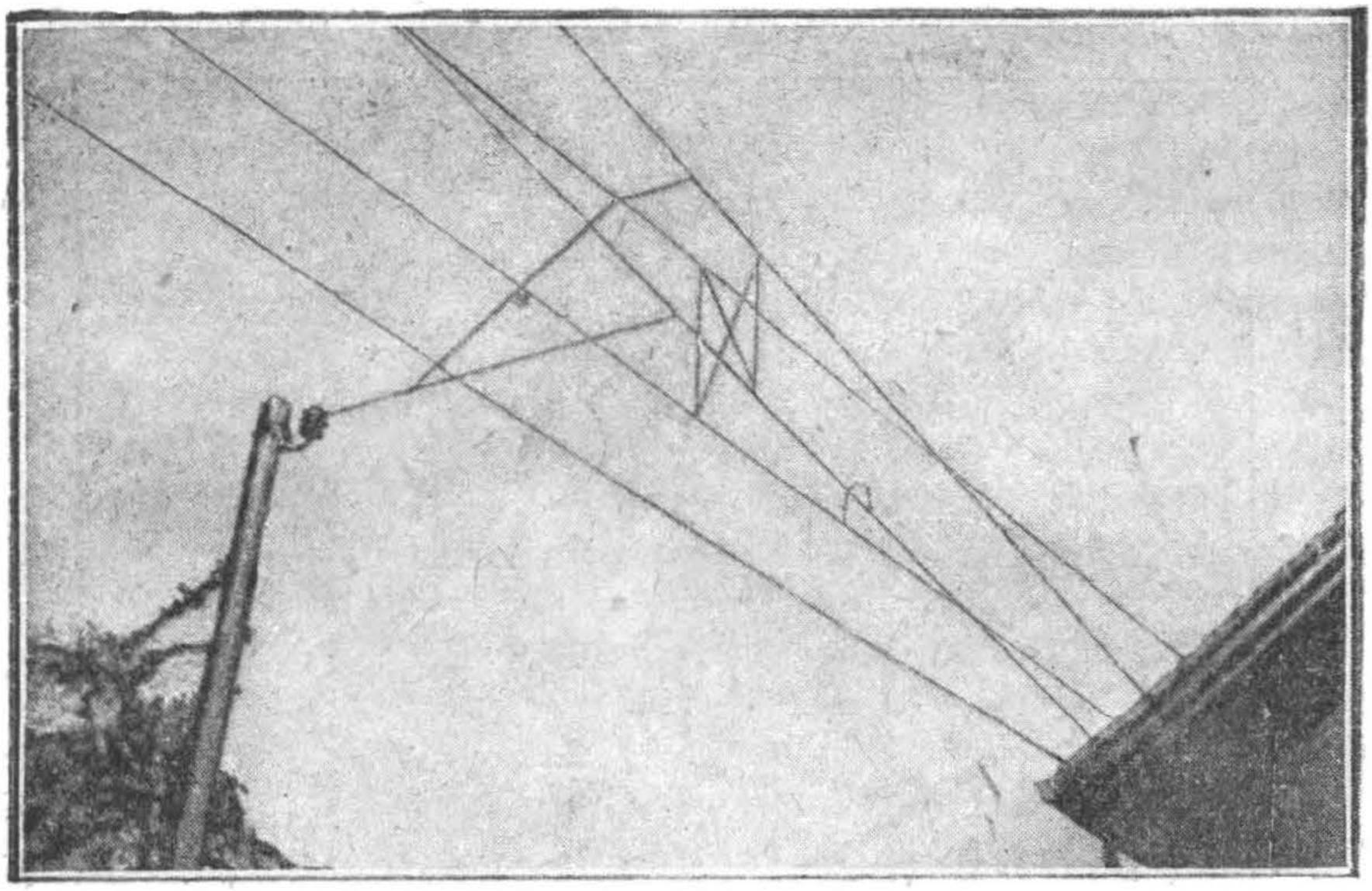


Рис. 75. Дефлекторное устройство на одной швейцарской дороге.

бенности на многоколейных дорогах, ложится бременем на стоимость всего сооружения. Однако, хорошие условия токоснимания и ограничение величины провеса контактного провода в допускаемых пределех другими способами достигнуты быть не могут. По сравнению с воздушными сетями без применения автоматической натяжки провода следует сказать, что количество дополнительного металла, затрачиваемого на конструкцию опорных мачт для автоматических компенсаторов, не будет особенно велико, потому что анкерные мачты устанавливаются примерно на таких же интервалах, что и опоры для подвески уравновешивающих грузов, имеющие аналогичную конструкцию. Кроме самих грузов для автоматической натяжки необходимы дополнительные изоляторы, блоки и различная арматура. Все это в общем усложняет конструкцию и ее обслуживание. Так как величина изменения провеса контактного провода пропорциональна не только изменениям натяжения, а и расстоянию между точками подвеса, то величина провеса может быть также ограничена соответственным увеличением числа струн.

Меры по предохранению воздушного провода от других проводов. Фидера и линии передачи, а также другие провода, проходя над

[1] Замечание автора, что автоматическая компенсация проводов усложняет обслуживание, неточно, так как она сама по себе не требует практически почти никакого ухода и ремонта. (Прим. ред.).

НТБ ДИЖТ

воздушным проводом, являются источником серьезных аварий в случае их повреждения. Какие бы жесткие требования не предъявлялись к конструкции вышепролегающих проводов, всегда возможны случаи разрыва, повреждения их молнией и прочие непредвиденные случайности. Эти аварии не представляют более серьезной опасности, чем обыкновенные повреждения воздушного провода, кроме случаев перехода через несколько контактных линий, когда при аварии выбывают из строя 2, 3, 4 и более линий, что ведет к полному нарушению движения. Поэтому не следует останавливаться ни перед какими расходами по предохранению воздушной линии магистрального пути при пересечениях ее другими проводами. Воздушные провода на пересечениях необходимо заменять подземным кабелем или же помещать их в соответствующем металлическом каркасе, чтобы они никоим образом не могли упасть на воздушный провод. Такие меры обычно практикуются при пересечениях контактной линии посторонними проводами, но их часто забывают при пересечениях с собственными фидерами и линиями передачи.

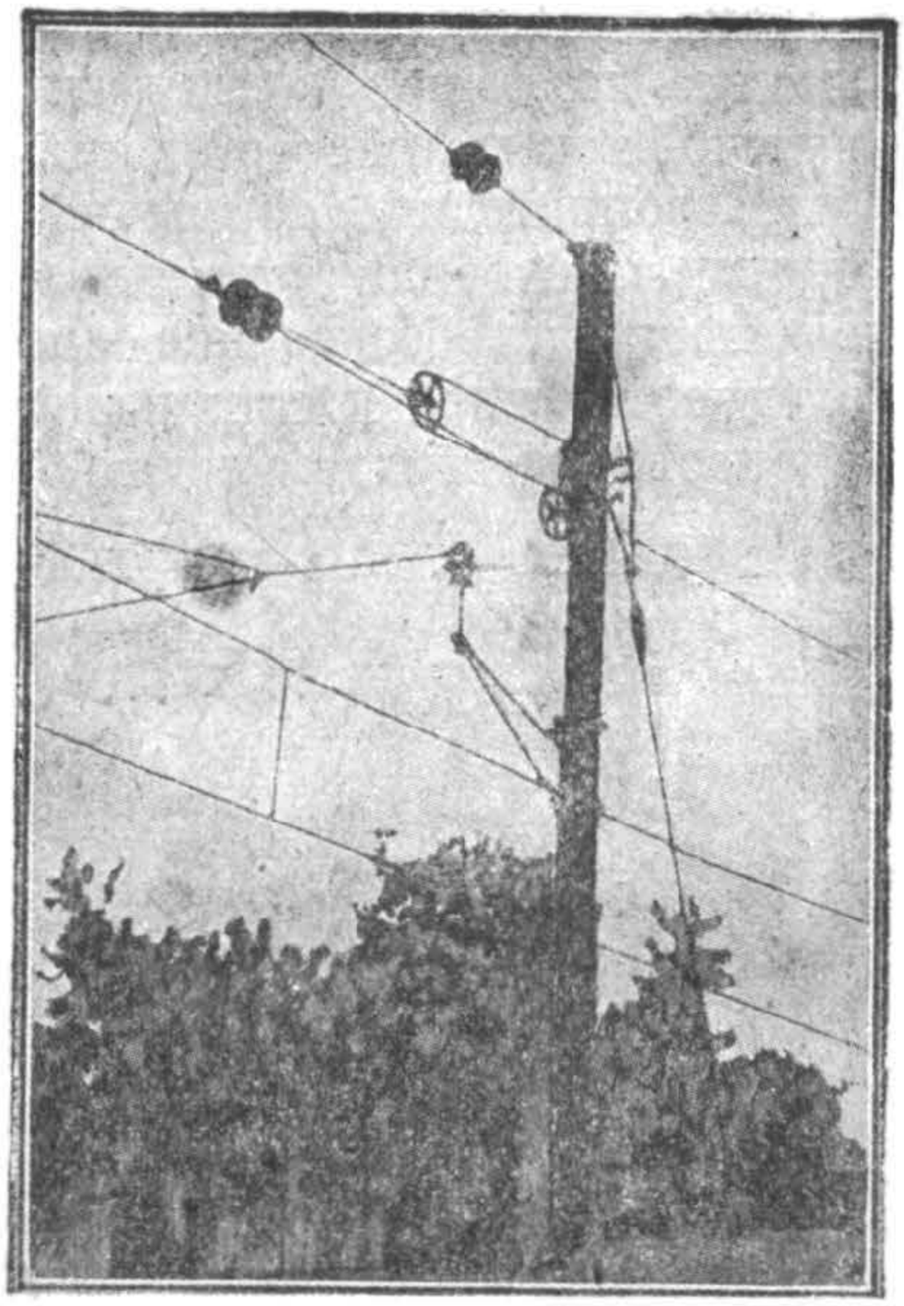


Рис. 76. Автоматическое устройство для натяжения контактного провода.

Обычно весьма трудно бывает избегнуть пересечений, как например в таких случаях, когда подстанция, расположенная по одну сторону путей, питает четыре контактных линии. Более детальное ознакомление показывает, что опасность от пересечения заключается в возможности падения оборвавшегося провода на контактную линию, что легко может произойти при длинном пересекающем пролете (рис. 78). Применение дополнительных промежуточных опор, а также замена в таких местах провода трубами может эту опасность предотвратить. Целесообразно также применение кабеля, укладываемого на особой контрукции-мостике (рис. 79). В случаях пересечения рабочего провода с фидерами, идущими от подстанций,

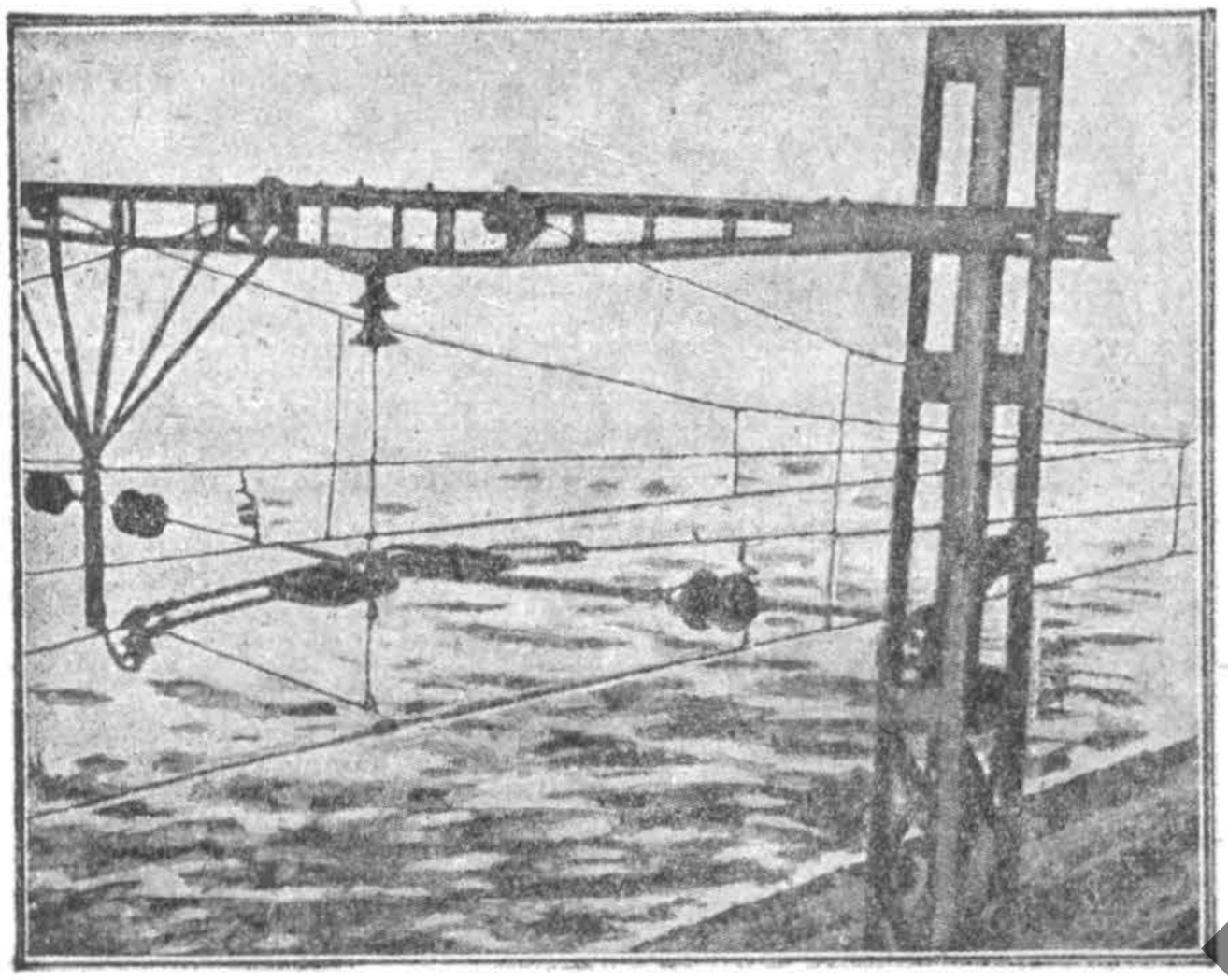


Рис. 77. Автоматическое приспособление двойного действия для натяжки провода; швейцарские ж. д.

ДНУКТ

может быть с незначительными дополнительными затратами использована в качестве опорной конструкции жесткая поперечина, нормально применяемая в местах присоединения фидеров к рабочему проводу. Для одноколейной линии вообще нет нужды в подобном устройстве, так как вполне возможно вести фидер параллельно линии непосредственно до нужной точки присоединения его к воздушному проводу.

Мероприятия, обеспечивающие безопасность персонала поездных бригад. Разобрав различные элементы устройства воздушных сетей, влияющие на обеспечение основного требования—бесперебойности работы, следует перейти к следующему весьма важному пункту—условию безопасности обслуживающего персонала при эксплоатации и ремонте.

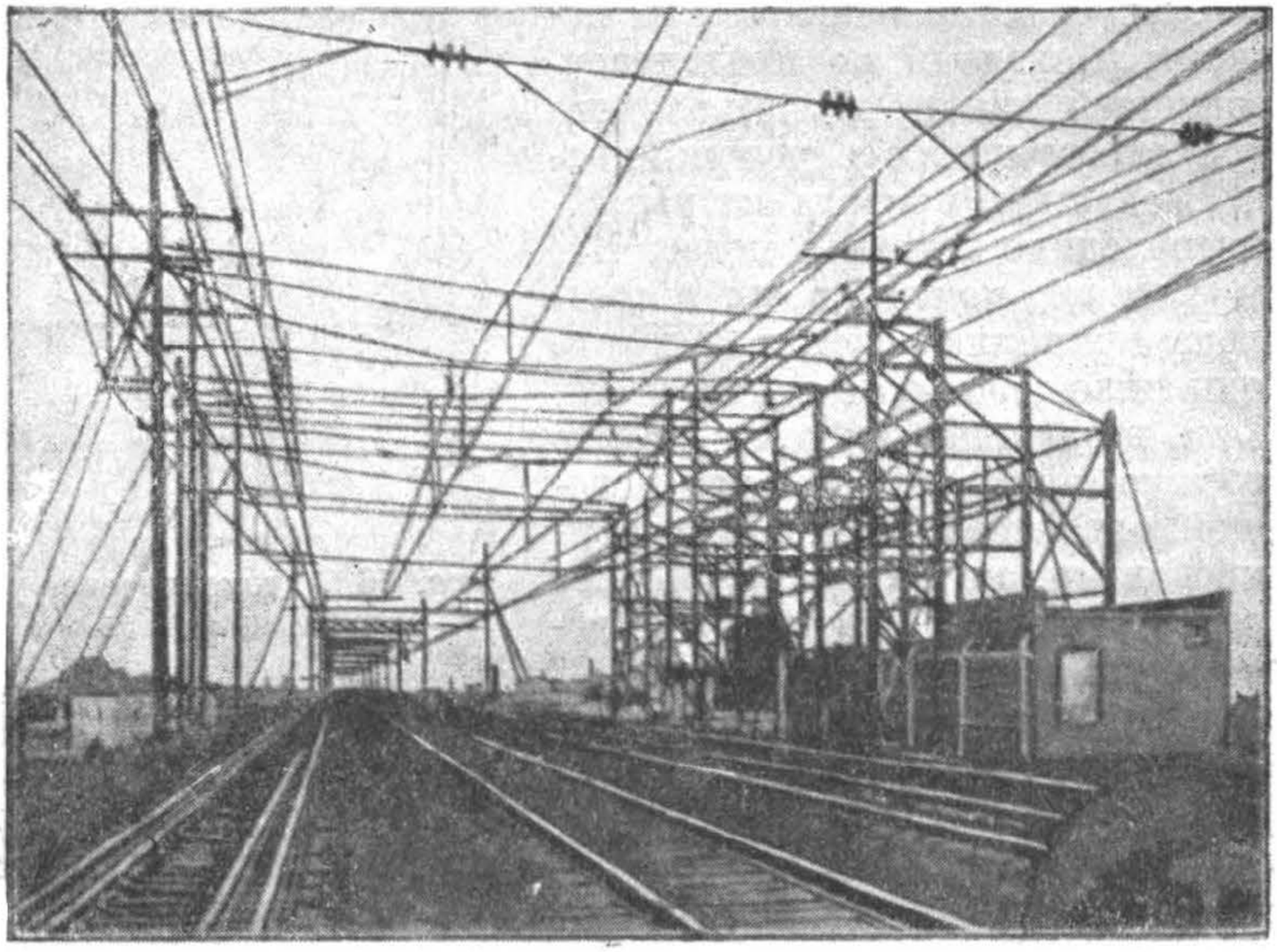


Рис. 78. Голые фидерные провода на пересечениях с цепной подвеской.

Особенно важно предохранение от прикосновения к проводам, находящимся под напряжением, людей, работающих на крыше электровоза или моторного вагона. Нормальной высотой от уровня рельс, считающейся безопасной для поездного персонала, в САСШ обычно принимается 6,7 *м* (22′), а там, где это является возможным, даже 7,3 *м* (24′). Высоты эти зависят от характерных особенностей пути. Так например в городских и пригородных районах, при частых туннелях и путепроводах, построенных, обычно, в соответствии с габаритными размерами паровозов, по экономическим соображениям является совершенно невозможным повсеместное соблюдение высоты в 6,7 *м*. На многих участках не представляется возможным пойти на те большие затраты, которые связаны с повышением только путепроводов. Даже при новых сооружениях не всегда удается убедить городские самоуправления, несущие часть общих дополнительных расходов, пойти на повышение путепроводов с 4,9 *м* до 6,7 *м*. Предохранение персонала от поражения током в значительной мере зависит и от степени его обученности. Поэтому

НТБИЖТ

нежелательно устраивать отдельные особые безопасные участки, где можно было бы совершенно свободно влезать на вагоны, так как это приводит лишь к опасной путанице для рабочих, нетвердо усвоивших правила техники безопасности. Из-за неизбежности наличия участков пути с пониженным уровнем контактных проводов желательно категорическое запрещение персоналу взбираться на крыши электровозов и вагонов.

Предохранить от опасности монтеров более трудно, потому что им по необходимости приходится работать на крыше, например при проверке

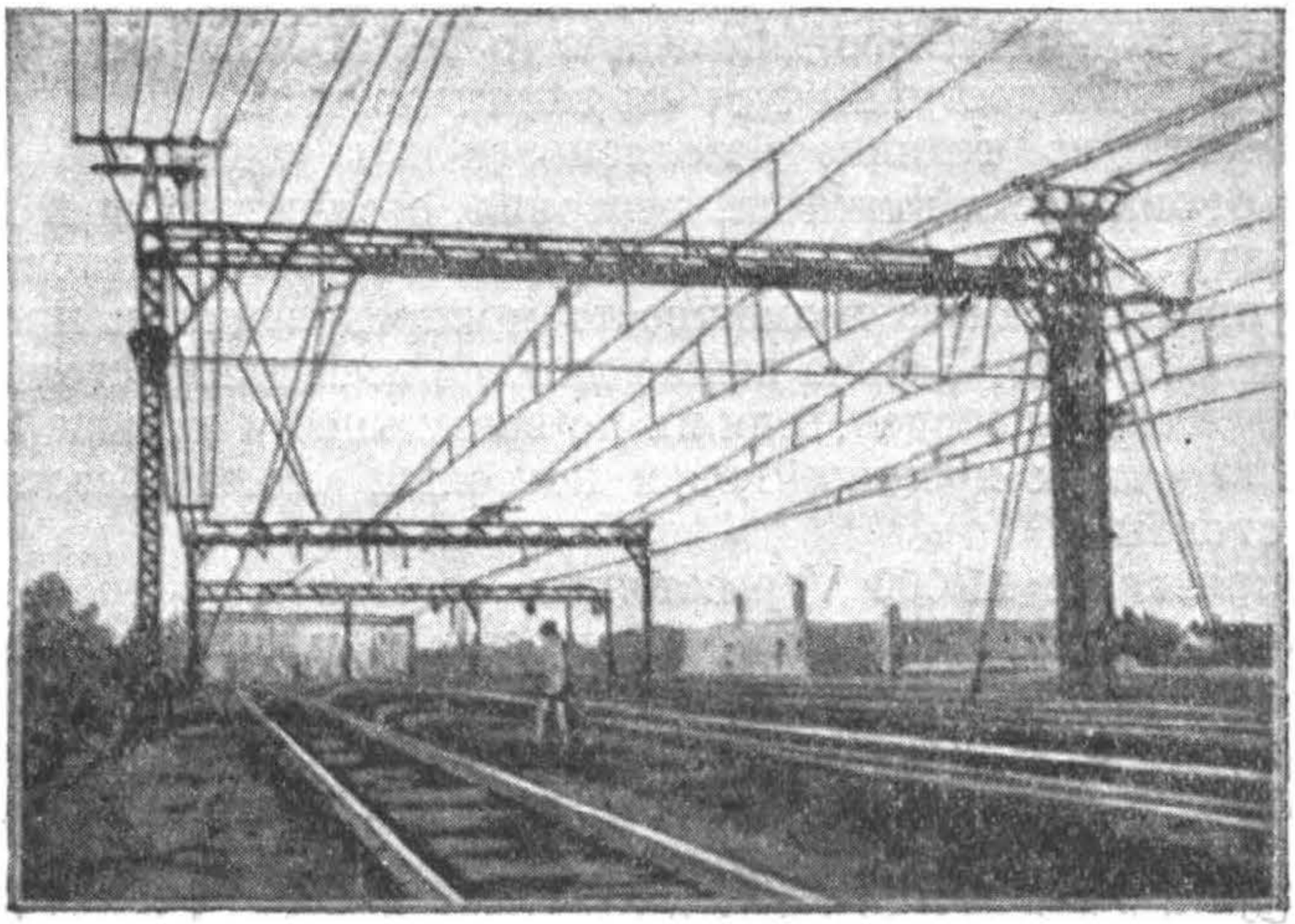


Рис. 79. Фидеры, заключенные в специальные ограждения в местах пересечения с воздушными проводами.

пантографов. Если доступ на крышу электровоза происходит с помощью складной лестницы, то возможно сблокировать ее раздвижку с выключателями, питающими данный участок сети. Если доступ на крышу происходит по ступенькам или лестнице электровоза, то также возможно устройство аналогичного предохранения. Складные лестницы снабжают иногда механическим или пневматическим устройством, заземляющим пантограф. В результате лестница не может быть использована, пока хотя бы один пантограф будет в рабочем положении и незаземлен. Одна жел. дорога сконструировала лестницу, которую нельзя установить, не выпустив предварительно воздуха из воздухопровода к пантографу и тем самым не опустив его. Такие конструкции имеют тот недостаток, что они все же дают возможность кому-либо из поездной бригады взобраться на крышу электровоза на участке, где высота провода будет пониженной. Заземление приподнятого до рабочего положения пантографа будет более надежно обеспечивать от поражения током даже и при наличии контакта между пантографом и воздушным проводом. Основным принципом всех мероприятий по технике безопасности, предохраняющим от возможности прикосновения к воздушным проводам, должна быть установка на физическую невозможность совершить такое действие, которое было бы опасно для субъекта, а не применение всевозможных над-

НТБ ДИИТ

писей и советов, отнюдь не исключающих возможности ошибок, связанных с опасностью для жизни.

Безопасность пешеходов. Мероприятия, аналогичные описанным, должны быть осуществлены и в целях предохранения пешеходов от возможности прикосновения к воздушным проводам. Для этого необходимы тщательные и надежные ограждения на путепроводах, препятствующие людям свешиваться сверху над проводами или трогать их какими-либо предметами. Опоры должны быть сконструированы так, чтобы влезание на них было затруднено и осуществимо только для монтеров, снабженных специальными приспособлениями. Этому требованию вполне удовлетворяют мачты из прокатного металла, в то время как мачты решетчатой конструкции легко доступны для влезания по ним.

Мероприятия по технике безопасности для линейного персонала. Обеспечить от опасности линейный персонал, обслуживающий и ремонтирующий воздушные провода, является довольно затруднительной задачей. Предупредить самую возможность прикосновения к проводам совершенно невозможно. Весьма важно дать по всей длине столба достаточное удаление его от проводов, ведя их по возможности дальше путем применения поперечных кронштейнов и консолей, чтобы обезопасить влезание на столбы.

При напряжении 11 000 V расстояние от столба до провода должно составлять 750 или даже 900 *мм*. Штыревые изоляторы, располагаемые по низу поперечных мостиков, представляют также значительную опасность в тех случаях, когда линия имеет больше двух путей. Работу на таких участках следует производить с помощью лестниц или вагонов с вышками, а не со столбов.

При проектировании фидерных и распределительных сетей основными исходными моментами должны быть легкость обслуживания линии и безопасность персонала. Поскольку дело касается безопасности, весьма желательно иметь возможность выключения тока во всех направлениях с какой-нибудь одной стороны мачты. Система и логический порядок в расположении проводов, фидеров и их ответвлений имеют исключительно важное значение, так как уменьшают вероятность несчастных случаев от ошибок при выключении. При беспорядочном расположении проводов люди часто путают провода, находящиеся под током, с выключенными, что ведет к увеличению несчастных случаев. Необходимо обращать внимание на расположение оттяжек цепной системы на закруглениях пути, на различные пересечения проводов, тупиковые и поперечные провода, избегая близости друг к другу проводов различных путей и участков. Работа на проводах одного из путей, если соседняя линия находится под током, делается в этих случаях весьма опасной. На кривых система хорд может быть заменена наклонным расположением цепной подвески; ответвления могут быть сделаны с оттяжками в соответствии с характером расположения путей.

Требования со стороны техники безопасности по отношению к конструкции воздушной системы могут быть резюмированы следующими двумя положениями: 1) соблюдение достаточных расстояний между проводами и местом, где может при работе находиться линейный монтер; 2) необходимо ясно и точно определять границы между участками, которые необходимо выключать при работе, и соседними участками, остающимися под током. В случае полного соблюдения всех этих принци-

НТБ ДИИЖТ

пов, инструктирование персонала в отношении правил техники безопасности будет иметь под собой прочную базу.

Конструктивные особенности и стоимость воздушных сетей. Вслед за обязательным условием бесперебойности снабжения энергией и безопасности обслуживающего персонала к конструкции воздушной системы предъявляется требование экономии в отношении капиталовложений и эксплоатационных расходов.

Вопрос подобной экономии крайне серьезен, так как первоначальные затраты на устройство воздушной системы составляют 20-25% всех расходов на электрификацию железной дороги. Первоначально считалось достижением сконструировать воздушную систему, обусловливающую лишь удовлетворительные технические условия эксплоатации; в дальнейшем же, с накоплением необходимого опыта и подробным изучением вопроса, оказалось возможным предъявить к исполнению и ряд экономических требований.

Самый тип конструкции контактной системы распадается на две основные группы, в зависимости от применения для распределительной сети тока высокого или же низкого напряжения. Кроме того тип конструкции зависит и от системы токоснимателя, потому что при слишком малой собственном весе цепной подвески инертный пантограф вызывал бы чрезмерные вертикальные перемещения проводов. Вопрос относительных достоинств различных видов токоснимателей рассмотрен в одной из последующих глав, здесь же приводятся лишь указания об их влиянии на стоимость сооружений. Нижеследующие таблицы дают действиельные величины стоимости различного рода материалов, требующихся для устройства воздушной контактной сети, причем все эти цифры относятся примерно к одному и тому же периоду времени.

ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

1. Тяжелая цепная подвеска с жестким промежуточным проводом. Паровая тяга на линии применяется мало. Расстояние между точками подвеса 3 *м*. Эквивалентное сечение меди 300 000 с.-м. (серкьюлер милс) = 152 *мм*^{2}.

На пролет 75 *м*

75 *м* стального несущего троса 9/16″ исключительной крепости	0,07	17,50
25 штук оцинкованных стальных стержней-подвесок с резьбой на концах	0,22	5,50
25 » » клемм для несущего троса.	0,11	2,75
25 » клемм с болтами для контактного провода	0,11	2,75
75 *м* медного контактного твердотянутого провода 4/0 (107 *мм*^{2})	0,11	27,50
25 штук промежуточных клемм с стальными болтами	0,17	3,75
75 *м* бронзового контактного провода 4/0 (107 *мм*^{2})	0,15	37,50
		97,05

На *км* 1 300 долл.

2. Тяжелая цепная подвеска с жестким промежуточным проводом. Местность сырая. Паровая тяга применяется. Расстояние между точками подвеса 3 *м*. Эквивалентное сечение меди 340 000 с.-м. = 175 *мм*^{2}.

НТБ ДНУЖТ

На пролет 75 *м*

75 *м* бронзового несущего троса 5/8″ большой прочности	**0,24**	**60,00**
25 *м* бронзовых стержней-подвесок 5/16″ не нарезанных	**0,40**	**10,00**
25 штук бронзовых клемм для несущего троса	**0,21**	**5,25**
25 штук клем с болтами для контактного провода (бронза) . . .	**0,19**	**4,75**
75 *м* твердотянутого контактного медного провода 4/0 (107 *мм*²)	**0,11**	**25,50**
25 штук промежуточных зажимов с бронзовыми болтами .	**0,24**	**6,00**
75 *м* бронзового провода 4/0 (107 *мм*²)	**0,15**	**37,50**
		151,00

На *км* 2 050 долл.

3. Легкая цепная подвеска без промежуточных проводов, с гибкими подвесками-струнами, пригодными для больших скоростей движения поездов. Расстояние между точками подъеса 10,5 *м*. Эквивалентное сечение меди—410 000 с.-м.=208 *мм*². Конструкция из материалов, не подвергающихся коррозии.

На пролет 75 *м*

75 *м* медного поддерживающего троса 1/2″	**0,10**	**25,00**
17 штук бронзовых многожильных струн 1/0 (53 *мм*²). Средняя длина 0,6 *м*.	**0,08**	**1,36**
17 штук бронзовых клемм для несущего троса .	**0,21**	**3,57**
18 » » » и болтов для провода	**0,19**	**3,23**
75 *м* твердотянутого медного контактного провода 4/0 (107 *мм*²)	**0,11**	**27,50**
		60,66

На *км* 800 долл.

4. Легкая цепная подвеска без промежуточных проводов. Гибкие струны и высокая электропроводимость необязательны. Применение для случая редкого пользования паровой тягой. Расстояние между струнами—9 *м*. Эквивалентное сечение меди 212 000 с.-м. =107 *мм*².

На пролет 75 *м*

75 *м* особо прочного стального несущего троса 3/8″	**0,03**	**7,50**
8 штук многожильных бронзовых подвесок 1/0 (53 *мм*²) в среднем длиной по 450 *мм*.	**0,08**	**0,64**
8 штук клемм для несущего троса	**0,21**	**1,68**
8 » зажимов и болтов	**0,19**	**1,52**
75 *м* медного твердотянутого контактного провода 4/0 (107 *мм*²)	**0,11**	**27,50**
		38,84

На *км* 510 долл.

5. Весьма легкая воздушная сеть для сортировочных станций с небольшими пролетами; простая подвеска с анкеровкой и дефлекторами при входах. Короткие пролеты.

Эквивалентное сечение меди 212 000 с.-м. =107 *мм*². Конструкция из материала, не подвергающегося коррозии.

На пролет 45 *м*

45 *м* медного твердотянутого контактного провода 4/0	**0,11**	**16,50**
25 *м* многожильного бронзового провода 1/0 (53 *мм*²)	**0,08**	**6,40**
2 штуки клемм с болтами для контактного провода	**0,21**	**0,42**
		23,32

НТБ ДНУЖТ

Конструкция отдельных деталей различных элементов цепной подвески представляет значительный интерес; в особенности это относится к выбору материала несущего троса. В распоряжении конструктора имеются медь, бронза, сталь и алюминий. Преимуществами стали являются высокое допускаемое напряжение материала, его дешевизна и сравнительно большая устойчивость против действия высокой температуры, имеющей иногда место при образовании дуги. С другой стороны, коррозия стали заставляет вводить в расчет увеличенный коэфициент надежности, чтобы обеспечить работу системы на достаточно продолжительное время. Наконец с точки зрения электропроводности, вес стали используется непродуктивно. Напротив различные сорта бронз, обладая прочностью, довольно близкой к прочности стали, подобно меди, не подвергаются коррозии и имеют 15—60% проводимости последней. На коррозию бронзы впрочем следует обратить тщательное внимание, так как оказалось, что при некоторых атмосферных условиях бронза подвергается коррозии, даже в большей степени, чем сталь. Бронза весьма дорога, стоимость ее превышает стоимость меди. Сравнительно невысокая температура плавления бронзы приводит к частым авариям на линии по причине пережога проводов и деталей вольтовой дугой. Этот недостаток может быть ликвидирован применением быстродействующих выключателей. В применении к несущему тросу из числа металлов, не подвергающихся коррозии, чистая медь является наиболее дешевым и наилучшим по электропроводимости материалом, причем провес медного троса будет достаточно большим, соответственно пониженной величине допускаемого напряжения для этого металла. Благодаря ничтожной коррозии степень надежности при расчете может быть принята более низкая, чем для стали. Наконец имеются различные металлические сплавы, пригодные в качестве материала для проводов, однако все они нуждаются в практической проверке их способности противостоять неблагоприятным условиям, создаваемым в отношении воздушной системы применением паровой тяги. Алюминий в комбинации со сталью также был испробован, однако он не дал результатов достаточно благоприятных, чтобы сделать его применение особо желательным.

Сравнение стоимости различных конструкций несущего троса, в применении к некоторой отвлеченной цепной подвеске с пролетом в 75 *м* нормальными нагрузками и определенной величиной электропроводности, приведено в следующей таблице.

	Материал несущего троса		
	Сталь	Медь	Бронза
А. Несущий трос			
1. Запас прочности	4	3	3
2. Стрела провеса	1 600 *мм*	2 600 *мм*	2 000 *мм*
Максимальное тяжение (лед толщ. в 12 *мм*; ветер 36 *кг/м²*) в *кг*	2 900	1 200	1 750
3. Размер троса.	1/2"	3/0 (85 *мм²*)	4/0 (107 *мм²*)
4. Эквивалентное сечение по электропроводности.	—	85 *мм²*	50 *мм²*
5. Стоимость (в долл.).	15,00	20,00	37,50

НТБ ДНУЖТ

	Сталь	Медь	Бронза
Б. Струны			
1. Длина струны (*мм*)	800	1 325	10 25
2. Стоимость струн в долл. [броиз. провод 1/0 (53 *мм*²)]	3,75	6,00	4,70
В. Контактный провод			
1. Контактн. провод (медь)	2×3/0 (2×85 *мм*²)	1×3/0 (85 *мм*²)	1×4/0 (107 *мм*²)
2. Эквивалентное сечение по электропроводности	170 *мм*²	85 *мм*²	107 *мм*²
3. Стоимость контактного провода (в долл.)	40,00	20,00	25,00
Г. Мачты			
1. Дополнит. высота мачты (*мм*)	—	10 50	450
2. Высота мачты (*м*)	9,0	10,0	9,5
3. Изгибающий момент (*кг-м*)	4 500	3 100	3 350
4. Разм. двутавр. балки мачты	№ 20	№ 15	№ 15
5. Вес мачты (в *кг* на 1 пог. *м*)	47,5	39,0	44,5
6. Стоимость мачты (в долл.)	25,50	23,90	25,10
Общая стоимость	84,25	69,80	92,30
Общее эквивалентное сечение по электропроводности	170 *мм*²	170 *мм*²	157 *мм*²
Суммарная стоимость (в долл. на 1 *км*)	1 060	920	1 220

Конструкция струн, соединений и креплений. Конструкцию струн как жестких (стержни), так и гибких (трос), необходимо осуществлять, исходя из соображений одинаковой долговечности их со всей воздушной системой, так как это важно для возможности одновременной замены всех деталей при ремонте. Поскольку фактором, опеределяющим долговечность подвесок, является коррозия, их следует выполнять из таких материалов и придавать им такие размеры, чтобы они были так же долговечны, как контактный провод и несущий трос. Обычным материалом для контактного провода служит медь или бронза, поэтому логичным будет применение и для струн тех же самых материалов, независимо от их цены. Большая часть расходов по замене струн составляется из расходов на рабсилу, а не из стоимости материалов, что делает весьма целесообразным производство этой замены одновременно для всей системы. В силу уже одного этого обстоятельства следует употреблять в качестве материала для струн держателей медь или бронзу, хотя бы они и были дороже.

Способы сращивания несущего троса весьма существенны, так как от них зависит механическая прочность всей воздушной системы. Различные механические зажимные соединения применяются весьма широко и с большим успехом. Петля с тремя-четырьмя оборотами и ординарным зажимом дает весьма удовлетворительное соединение, недорогое как в отношении затраты рабочего времени, так и материала. На принципе соединения с помощью клина осуществлены весьма остроумные конструкции, удобные для сборки и вполне надежные, при условии

НТБ ДПУКТ

гочного их изготовления и выбора надлежащего материала для стенок, на которые передается давление от клина.

В САСШ широко применяется сращивание с помощью заливки расплавленным металлом в особом патроне.

При применении стального троса температура расплавленного цинка или другого, употребляемого для этой цели металла, не производит отжига и поэтому не ослабляет троса. Этот способ не требует каких-либо специальных мероприятий. Сама операция представляет известную опасность при производстве ее в дождливую или снежную погоду, когда сырость, попадающая в патрон, может вызвать взрыв во время заливки его расплавленным цинком. При бронзовом несущем тросе заливка в патрон расплавленного металла делается довольно сложной и точной операцией, требующей применения дорогих термометров и тщательного наблюдения за температурой во избежание возможного отжига жил троса. С точки зрения эксплоатации такой способ неудовлетворителен, так как ремонтная бригада при аварийной работе не станет пользоваться термометрами и принимать меры по регулировке температуры. В некоторых случаях, даже не при авариях, а при монтаже линии, были недоразумения при применении этого способа сращивания для медного несущего троса из-за трудности контролировать должное качество работы персонала. Относительные достоинства описанных методов сращивания всецело зависят от простоты отдельных употребляемых деталей и удобств их сборки. Сравнительная стоимость в долл. отдельных видов соединений представлена в нижеследующей таблице.

А. Петлевое сращивание для бронзового троса 9/16″:

Два ушка 5/8″ по 0,15	0,30
Шесть соединений 5/8″ по 0,64	3,84
	4,14
Зарплата (4 рабочих по 15 минут).	0,80
Стоимость соединения	4,94

Б. Сращивание стального троса 9/16″ расплавленным цинком в патроне:

Один открытый кованый патрон 5/8″, оцинкованный	1,82
Один закрытый кованый патрон 5/8″, оцинкованный	1,30
2 *кг* цинка по 0,30. .	0,60
	3,72
Зарплата (4 рабочих по 15 минут)	0,80
Расходы по разогреву тигля .	0.50
Стоимость соединения	5,02

В. Сращивание бронзового поддерживающего троса 9/16″ заливкой расплавленного цинка в патроне:

Один специальный соединительный патрон для бронзового троса	11,50
2 *кг* цинка по 0,30 . .	0,60
	12,10
Зарплата (4 человека по 20 минут).	1.06
Расходы по разогреву тигля и регулировке температуры.	2,00
Стоимость соединения	15,15

НТБ ДНУЖТ

Первоначально в высоковольтных распределительных сетях в качестве материала для контактного провода применяли сталь, так как считали, что ее твердость и крепость имеют большее значение, чем невыгодность от слабой электропроводности. Весьма скоро однако убедились в быстром износе стального контактного провода из-за сильного дугообразования и связанной с ним коррозии, а также большого трения при скольжении по стальному проводу стального же башмака пантографа. В результате стальные контактные провода начали заменять проводами из других материалов. Так как при пользовании пантографом со стальным башмаком для контактного провода требуется твердый материал, то для этой цели были испробованы различные сорта бронз. Этот материал дал более удовлетворительный результат, хотя в условиях сильного движения по прошествии нескольких лет и бронза подвергалась известному износу. На линиях с медными проводами и с башмаками пантографов, снабженными контактной накладкой из медной полосы, износа практически почти не имеется. Такой же результат наблюдается и при применении алюминиевых башмаков.

Проблема выбора соответствующего металла для контактного провода тесно связана с применяемой конструкцией башмака пантографа. Так как изготовление электровозов и пантографов производится одной организацией, а сооружение и эксплоатация воздушных линий другой, и так как управление службой подвижного состава обычно не сосредоточено в тех же руках, что и управление воздушной сетью—проблема эта в большинстве случаев не бывает разрешена правильно с точки зрения экономики и техники всей системы в целом.

Практика эксплоатации различных железных дорог всего мира показала, что успешное снимание тока как постоянного, так и переменного требует величины давления на пантографе порядка 9—16 *кг* при наличии медных накладок на башмаках. Эти накладки мягче стали и износ контактного провода при их применении сильно уменьшается. Опыты, произведенные на одной линии, питаемой переменным током, показали, что применение алюминиевого башмака при давлении 4—6 *кг* и небольшой силе тока, дает отличные результаты: износ контактного провода весьма мал, даже при густом движении на линии. Более детально вопрос этот рассмотрен в главе, трактующей о различных типах токоприемников здесь необходимо лишь подчеркнуть связь между выбором конструкции пантографа и материалом провода.

В результате приходим к заключению, что пользование медным контактным проводом вполне возможно и будет сопровождаться весьма незначительным износом его, если для башмаков пантографов будут применены мягкие сплавы, а давления при контакте будут соответственно невелики. Экономия, получаемая на стоимости воздушной линии, будет при этом весьма значительной. Первоначальная стоимость контактного провода может быть снижена благодаря замене бронзы медью на 33%, электропроводность же от этого увеличивается примерно на 150%. Нормальный бронзовый проводник 4/0 (107 $мм^2$) стоит 50 центов за метр, в то же время стоимость 4/0 медного проводника будет лишь 30 центов за метр. В общем итоге это составляет экономию на стоимости материалов в 800 долл. на 1 *км* пути при одновременном увеличении электропроводности линии.

Экономия от эксплоатации мягких, не изнашивающих провода, баш-

НТБ ДНУЖТ

маков пантографа тоже весьма значительна, в особенности на участках с густым движением. Срок службы контактного провода возрастает с 8 лет до 12 и иногда до 16 лет, что дает для магистральной линии экономию в 300 долл. на 1 *км* пути на каждые 8 или 12 лет работы, так как оплата рабочей силы и содержания специального рабочего поезда, необходимого при ночных работах, вызываемых густотой дневного движения, весьма велика.

О конструкции подвесных изоляторов воздушной системы упоминалось уже ранее в связи с рассмотрением вопросов эксплоатации и ремонта. Большая стоимость изоляторов делает этот вопрос весьма существенным. Здесь, как и прежде, вес цепной подвески играет решающую роль, потому что путем комбинирования величин электропроводности воздушного провода и несущего троса можно добиться понижения нагрузки от собственного веса и ветра до таких пределов, где достаточно надежным окажется применение штыревых изоляторов. С этим связано также и укорочение пролета, что делает применение штыревых изоляторов для линий на деревянных столбах весьма желательным.

Нижеследующие данные дают зависимость между стоимостью подвесных и штырев х изоляторов.

А. Гирлянда из подвесных изоляторов для воздушной линии с рабочим напряжением в 11 000 V (испытательное напряжение 45 000 V):

1 болт с ушком 3/4'' для опоры	0,30 долл.
1 промежуточная клемма.	0,50
3 подвесных изолятора	6,15
1 деталь для крепления изолятора	0,50
1 зажим для несущего троса.	2,00
Увеличение высоты мачты по сравнению с мачтой под штыревые изоляторы на 1,0 *м* по цене 2,79 за *м*.	2,76
	12,24

Б. Штыревой изолятор для воздушной линии с рабочим напряжением 11 000 V (испытательное напряжение 45 000 V):

Один изолятор со штырем	3,25
Один изолированный зажим для несущего троса	1,00
	4,25

Изоляторы для таких устройств, как фиксаторы и жесткие поперечные конструкции, также желательно применять штыревые по соображениям их дешевизны. В этих случаях возможность применения штыревых изоляторов будет более широкой, так как при этом механические усилия не будут превышать допускаемых пределов, за исключением лишь изоляторов на кривых весьма малого радиуса. Для примера укажем, что нагрузка от давления ветра при скорости ветра 30 *км* в час на контактный провод 4/0 (107 *мм*^{2}), окруженный слоем льда толщиной в 12 *мм*, для двух половин 75-метрового пролета составляет, примерно, 225 *кг*. Эта нагрузка соответствует для штыревого изолятора степени надежности, равной 6. Сравнительные стоимости установок, оборудованных подвесными и штыревыми изоляторами, сведены в следующие таблицы.

ГПБИ ДГУКТ

А. Фиксатор или оттяжка на усилие до 500 *кг* с изолятором штыревого типа. Рабочее напряжение 11 000 V. Испытательное напряжение 45 000 V.

	Две колеи	Одна колея
Один штыревой изолятор со штырем	—	3,25 долл.
Один стальной стержень 5/8″ длиной в 2,8 *м*	—	1,07
Два зажима для провода	—	0,12
Один угольник 75×75×10 *мм* длиной в 1,2 *м*	—	1,36
Два болта 3/4″×225 *мм* для крепления	—	0,44
Один зажим изолированный специальный	—	1,00
	14,48	7,24
Зарплата	3,20	1,60
Всего.	17,60	8,84

Б. Фиксатор или оттяжка до 1300 *кг* с подвесными изоляторами. Рабочее напряжение 11 000 V. Испытательное напряжение 45 000 V.

	Две колеи	Одна колея
9 комплектов по три изолятора с арматурой	27,45	—
Два ушка для провода с жесткими подвесками и болтами	4,00	—
Одна винтовая стяжная муфта 3/4″	1,50	
Два угольника для крепления к мачте	1,36	—
Шесть штук болтов $1^1/_2$″×$^3/_4$″ для угольников	0,42	—
4 стопора.	0,96	—
25 футов бронзового многожильного провода 3/8″ по 0,09 долл . .	0,75	—
8 штук бронзовых соединений 1/2″ по 0,50	4,00	—
4 ушка 3/8″	0,20	—
	40,64	20,32
Зарплата	4,80	2,40
Итого	45,44	22,72

НТБ ДГУЖТ

B. То же без двойной изоляции (с 2 комплектами изоляторов)

	Две колеи	Одна колея
Материал	38,63	20,32
Зарплата	3,85	2,40
Всего	42,48	22,27

F. Оттяжка для одноколейного пути с изогнутой консолью на усилие до 1 300 *кг*

1 комплект из трех изоляторов с арматурой.	9,15
1 стержень для консоли	2,90
2 ушка 3/8″	0,06
3 метра бронзового многожильного провода 3/8″ по 0,3 долл	0,90
4 бронзовых соединения 1/2″ по 0,50 долл . .	2,00
2 промежуточных бронзовых зажима по 0,07 долл.	0,14
Одна промежуточная прокладка . . .	0,14
Один угольник для крепления к мачте	0,68
2 стопора	0,48
2 болта $1^1/_2'' \times {}^3/_4''$	0,14
	16,59
Зарплата.	2,40
Всего.	18,99

Этими примерами стоимости подвеса контактного провода, несущего троса и изоляторов, связанными с проблемами обеспечения бесперебойной эксплоатации и безопасности обслуживающего персонала, пассажиров и пешеходов, достаточно хорошо иллюстрируются различные элементы, влияющие на экономику всей воздушной системы. Для каждого рода службы имеются свои особые, выявленные практикой требования, могущие обеспечить удовлетворительную эксплоатацию. В пределах, удовлетворяющих этим требованиям, можно применять самые разнообразные материалы, используя их различными способами. Таким образом, соответственно ограничиваясь требованиями к конструкции, определяемой именно данным родом службы, максимально используя материал и учитывая все вопросы первоначальных затрат, эксплоатационных расходов и стоимости ликвидации возможных аварий, можно достигнуть рациональной экономии в стоимости всего сооружения в целом.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА VIII

РЕЛЬСЫ В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА

В любой системе распределения тока рельсы играют роль одного, а в некоторых случаях и обоих проводников. Использование их в целях электрификации не представляет серьезных технических трудностей, стоимость же приспособления для этой цели существующих рельсовых путей составляет весьма незначительную долю общих расходов по электрификации линии.

Электрическое сопротивление рельсов. Во всех случаях, даже когда рельсы служат проводником, выбор сорта стали диктуется в значительно большей мере механическими требованиями, чем электрическими. Получение достаточной электропроводности не представляет трудностей, так как сечение самого рельса весьма велико. Сопротивление рельса обычного типа превышает в 10—12 раз сопротивление медного проводника равного сечения, но несмотря на это, площадь сечения двух рельсов весом 45 *кг* на 1 пог. *м* такова, что их сопротивление меньше сопротивления 10 медных воздушных проводников 4/0 (107 *мм*^{2}).

В тех случаях, когда рельс используется исключительно как проводник, как например в системах с третьим рельсом, состав применяемого металла является весьма важным, так как желательно обеспечение необходимой проводимости при минимуме веса затрачиваемого металла и при одновременном удовлетворении необходимым требованиям прочности. В обыкновенной прокатной стали углерод и марганец увеличивают сопротивление. Вместо обычных 0,4—0,5% содержания углерода в нормальных рельсах, для третьего рельса это содержание бывает равным лишь 0,1%. Точно так же содержание марганца снижается с 0,7% для нормальных рельсов до 0,3—0,5% для третьего рельса.

При таком составе стали сопротивление ее лишь в 7—8 раз больше сопротивления меди, тогда как для нормальной рельсовой стали оно больше его в 10—12 раз.

Решающим фактором в выборе стали с максимальной электропроводностью являются экономичность и механическая прочность. Фактор экономичности выражается стоимостью 1 *кг* наиболее дешевой стали, отнесенной на единицу электропроводности.

Механические требования сводятся к необходимости: 1) иметь достаточного размера площадь для контакта, чтобы плотность тока на поверхности токоснимания не превышала допустимой, 2) достаточной жесткости профиля во избежание прогиба между опорными изоляторами и 3) достаточных размеров площади сечения для того, чтобы при коррозии металла величина полезного сечения р зко не уменьшилась.

При переменном токе к омическому сопротивлению рельса необходимо, для получения величины его полного электрического сопротивления, прибавить (геометрически) реактивность рельсовой цепи. Величина

ДНУЖКТ

полного сопротивления таким образом обусловливается потерями в железе на гистерезис и токи Фуко, поверхностным эффектом (скин-эффект) и индуктивностью от взаимодействия воздушной ир ельсовой электрических цепей. Вследствие этого полное сопротивление рельса является функцией его материала, величины его наружной поверхности, местоположения рельса и его собственной внутренней самоиндукции. Частота тока точно так же влияет на величину полного сопротивления цепи. Отношение величины полного сопротивления рельсовой цепи при переменном токе какой-либо частоты к сопротивлению той же цепи при постоянном токе примерно пропорционально корню квадратному из частоты.

При 25 периодах полное сопротивление в цепи рельса, при нормальном его типе и расположении, в 6-8 раз; а при 60 периодах в 13 раз больше сопротивления постоянному току. Факт увеличения полного сопротивления в функции от частоты является серьезным препятствием к применению обычного (в САСП) 60-периодного тока в распределительных цепях жел. дорог.

Стыковые соединения рельсов. Вопрос надлежащей электропроводности рельсовых стыков может быть разрешен различными способами. На некоторых однофазных высоковольтных ж.-д. линиях, как например Стокгольм—Гетеборг в Швеции, а также на большинстве германских линий, проводимость стыковых накладок считается достаточной для передачи сравнительно слабых токов, имеющих действие при высоких напряжениях. Однако для сигнальных цепей, где требуется равномерная и очень хорошая проводимость рельса, такая система непригодна.

В обычной практике для электрического соединения рельсов в стыках применяется медный проводник, значительно меньшего сечения, чем самый рельс, но имеющий примерно одинаковую с ним проводимость. Ранее, прежде чем сварка получила повсеместное распространение, медный соединительный проводник крепился к рельсам чисто механическим способом. Проводники снабжались наконечниками в форме пустотелого пальца, плотно входящего в отверстие в полке рельса. Сборка заключалась в очистке отверстия в рельсе разверткой, вставке в него соединителя и запрессовке, с другой стороны рельса, в этот пустотелый палец специального конического штыря. Раздающийся палец давал плотное соединение и хороший контакт рельса с медным проводником. Описанные соединения могут иметь сравнительно небольшую длину, и в этом случае они располагаются под стыковой накладкой, или они могут быть расположены с обеих сторон стыка, и в этом случае они должны иметь большую длину. Таким образом имеются два вида соединений. Выбор соединения короткого типа, спрятанного под накладкой, или же длинного, располагаемого по обеим сторонам стыка, зависит всецело от сравнительной величины дополнительной стоимости длинного соединения по сравнению с добавочными расходами на монтаж и надзор за коротким соединением.

Сравнительные стоимости таких соединений даны в таблице на стр. 179.

С применением сварки появились новые возможности создать хорошую электроповодность в стыках рельсов.

Можно сваривать стыки самих рельсов или приваривать накладки к рельсам. Однако этот способ неприменим, когда на участке имеет место и паровая тяга, так как в этом случае требуется большая эластичность рель-

НТБ ДНУЖТ

Статьи расхода / Сечение и длина	2/0 (67 мм²) 625 мм	250 000 с.-м. = 126 мм² 950 мм	№ 1 = 42 мм² 800 мм	№ 1 = 42 мм² 900 мм	400 000 = 203 мм² с.-м. 425 мм
		(в долларах)			
1. Материал и накладные расходы	0,76	1,50	—	—	—
2. Работа	0,87	0,45	—	—	—
3. Остальные расходы .	0.08	—	—	—	—
Полная стоимость .	1,71	1,95	1,77	2,00	2,16

сового пути. Можно приваривать непосредственно к рельсам и концы медных соединений. При применении третьего рельса его механические свойства не играют первенствующей роли, и поэтому не следует опасаться ослабления его от нагревания при сварке. В отношении же главных

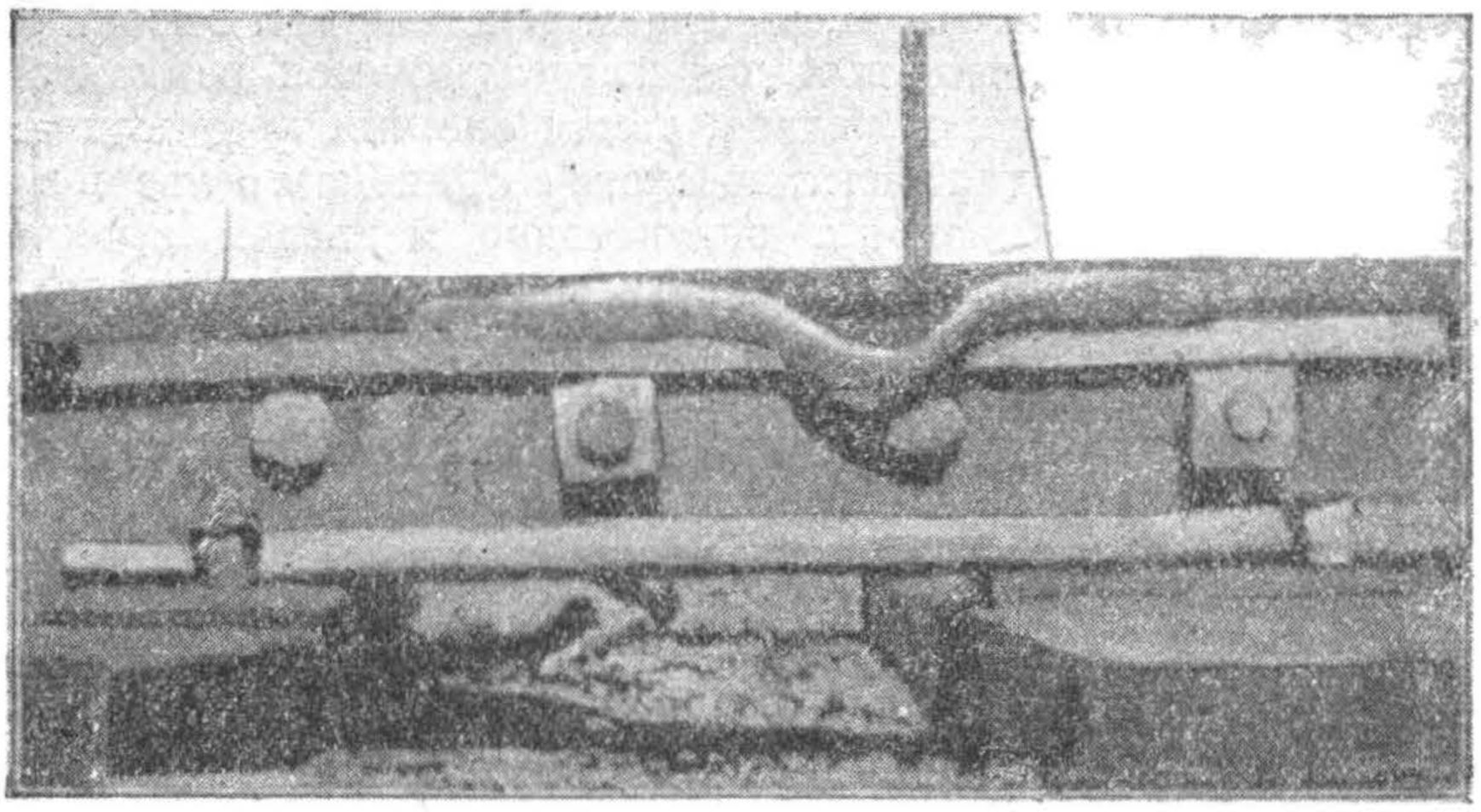


Рис. 80. Сварные стыковые соединения с изгибом для эластичности.

рельсов такая опасность не исключена. Однако, все увеличивающееся распространение непосредственной приварки медных соединений к нормальным рельсам служит лучшим доказательством успешности этого способа. Необходимо отметить, что приварка соединений к полке и подошве рельса оказалась не вполне удачной, равно как и применение сварки при рельсах из марганцевой стали вообще. Иногда практикуется приварка соединений к накладке и рельсу с обеих сторон стыка, что требует двух соединителей и сварки в четырех местах (рис. 82).

Применение сварки дает возможность сделать проводник более коротким, вполне доступным для ремонта и осмотра без предварительного снятия стыковых накладок. При применении соединителей иногда наблюдаются поломки отдельных жил проводника из-за усталости мате-

ГПБ ДНУКТ

риала, вызываемой вибрациями в стыках. Этих поломок можно избежать, выгибая привариваемый проводник петлей (рис. 81), или же слегка сгибая его, как показано на рис. 80. Предохранением от поломок может служить также и броня на проводнике возле мест приварки. Стоимость ходовых типов сварных соединений такова:

	Ацетиленовая сварка 107 *мм*² длина 175 *мм*	Медная пайка 250 000 с.-м. (127 *мм*²) длина 380 *мм*
	(в долл.)	
Материал с накладными расходами на шт.	0,70	—
Работа на шт	0,38	—
Итого на шт	1,03	1,30

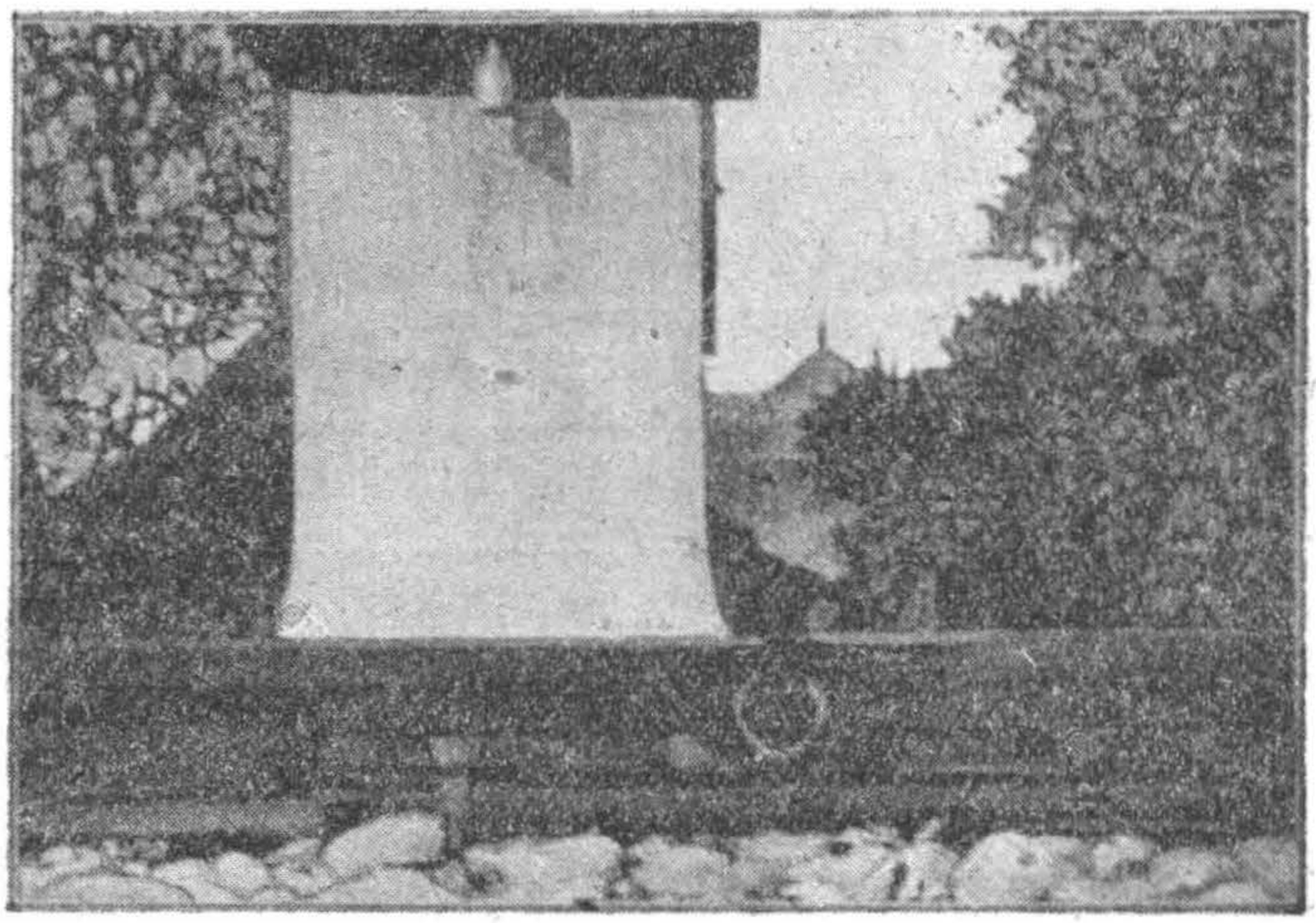


Рис. 81. Сварные стыковые соединения, изогнутые петлеобразно.

Приварка соединений производится тремя различными способами. Автогенная сварка, требующая кислородных и ацетиленовых баллонов, иланг и горелок, особенно распространена в САСШ на железных дорогах с паровой тягой. Электросварка применяется на электрических дорогах в тех случаях, когда напряжение распределительной сети невысоко и дает возможность просто и надежно применять при сварке мотор-генератор или реостат. В Европе электрическая сварка предпочитается автогенной, даже на высоковольтных *магистральных линиях*. *Третьим* способом является сварка помощью припоя, получившая широкое распространение при электрификации однойиз американских ж.-д. линий. Успешные результаты при сварочных работах в сильной степени зависят от

НТБ ДГУЖТ

искусства рабочих. Подбор персонала и хороший надзор за работой имеют поэтому особо важное значение.

В некоторых случаях делались попытки обойтись без соединений, используя проводимость стыковых накладок. В Берлине на электрифицированной пригородной жел. дороге концы рельсов и стыковых накладок были оцинкованы пульверизационным способом для того, чтобы создать между рельсами и накладкой поверхностный контакт с малым переходным сопротивлением. Сопротивление такого стыка эквивалентно сопротивлению рельса 35 *кг* на 1 погонный *м* длиной 0, 92 *м*. Соответствующее медное соединение имело сопротивление эквивалентное 1,37 *м* такого же рельса. Оцинковывание контактов оказалось выгодным лишь при новых рельсах, когда нанесение слоя цинка производилось в заводской

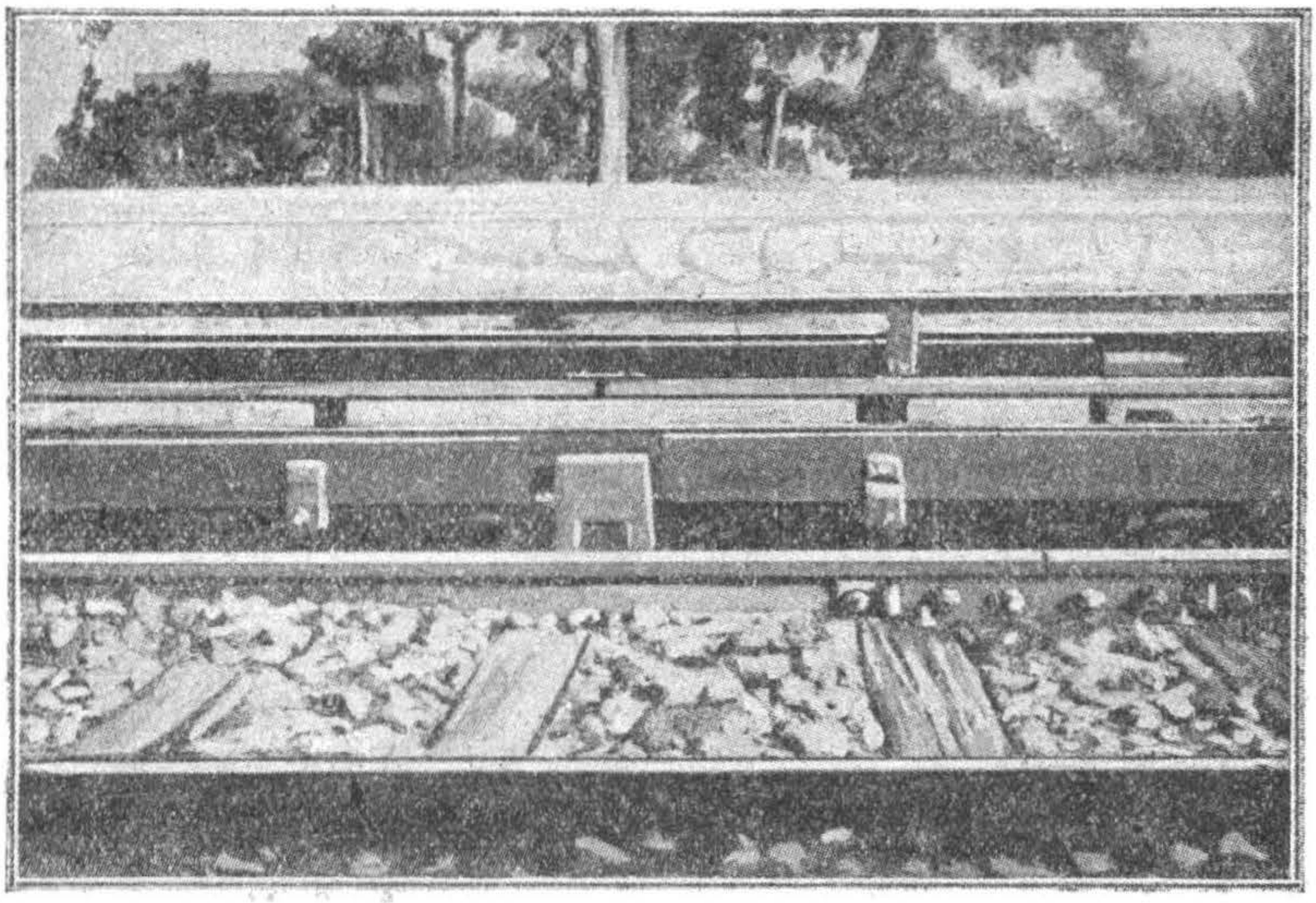


Рис. 82. Третий рельс с верхней контактной поверхностью для напряжения 1508 V.

обстановке. Оцинковывание непосредственно на линии оказалось дороже применения сварных соединений из-за громоздкости и тяжести оборудования для оцинковки.

Выбор сечения соединений зависит от двух факторов: общего допускаемого сопротивления в рельсовой цепи и силы тока, проходящего по рельсу. Полное сопротивление в рельсовой цепи определяется суммой сопротивлений рельсов и соединений принятого типа, учитывая наличие параллельной связи между отдельными рельсовыми путями. Это сопротивление необходимо проверить потом по падению напряжения, допускаемому условиями работы электромоторов, и необходимостью воспрепятствовать возникновению явлений электролиза. Сила проходящего по рельсам тока обусловливает нагревание соединений. Теплопроводность и теплоотдача соединений являются трудно определимыми факторами, так как они зависят от целого ряда причин: длины, способа присоединения, расположения и т. д.

НТБ ДНУЖТ

Проверка состояния соединений возможна простым наружным осмотром. При открытых, не спрятанных под накладками, соединениях нетрудно обнаружить поломку или кражу их, действительная же величина сопротивления соединений может быть определена лишь путем специальных испытаний.

При распределительных системах постоянного тока сила тока, протекающего по рельсу, обусловливает определенное падение напряжения в соединении, которое легко может быть приведено к падению напряжения на определенной длине рельса. Это даст удобный для сравнения стандартный способ выражения сопротивления соединения в единицах длины рельса. При распределительных системах переменного тока для измерения падения напряжения между какими-либо двумя точками необходимо питать систему извне постоянным током. Падение напряжения может быть непосредственно измерено помощью милливольтметра или мостика. Питая систему постоянным током и поддерживая его силу неизменной, можно с помощью милливольтметра получать отсчеты прямо в омах, а не в эквивалентных длинах рельсов.

Третий рельс. Назначением третьего рельса является одновременное создание хорошей изоляции между вторым полюсом и землей и хорошего контакта для передачи тока электродвигателю. Основанием для укладки третьего рельса служат обычно удлиненные шпалы. Такие шпалы кладутся через каждые 5 или 6 шпал главного пути. Обычно третий рельс осуществляется с верхним контактом и укладывается на изоляторах, служащих одновременно и опорами (рис. 82). Эти изоляторы имеют особые направляющие, которые фиксируют положение рельса в поперечном направлении, но дают ему возможность свободного перемещения в продольном направлении при расширении или сокращении под действием температуры. Система третьего рельса с контактом снизу требует специальных кронштейнов для поддержки рельсов сверху. Изоляторы должны быть особой формы с выемкой для рельса. Этот способ крепления дороже, чем при рельсе с верхним контактом. Конструкция с нижним контактом однако значительно лучше предохранена от образования на контактной поверхности слоя льда или обледенелого снега. В САСШ имеются две крупные установки, применившие систему третьего рельса с нижним контактом (рис. 83). В Берлине недавно электрифицирована по такому методу длинная жел.-дор. линия с питанием при напряжении 800 V.

Доступность положения третьего рельса и близость его к обратному рельсу представляет некоторую опасность для людей. Это обстоятельство требует защитной изоляции рельса. Необходимо считаться с возможностью поражения электрическим током, и особенно с ожогами рабочих от случайных соприкосновений с третьим рельсом посредством рабочего инструмента. Вероятность несчастных случаев и стоимость устройства необходимых ограждений зависят от разных причин. Надежность устройства проходов вдоль путей, количество переходов через пути и прочие обстоятельства должны быть приняты в расчет, равно как и ответственность перед пассажирами, вынужденными в случае какой-либо аварии перейти третий рельс. В Англии, на одной из крупнейших линий с напряжением в 600 V, незащищенная конструкция третьего рельса не вызывает решительно никаких неприятностей. Дорожные рабочие без труда были приучены к необходимой осторожности и аккуратному обращению с инструментом, случаи хождения по путям не имеют места; что же касает-

НТБ ДИИТ

ся пассажиров, то последние привыкли больше надеяться на собственную осторожность, чем доверяться различным предохранительным устройствам.

В САСШ в этом отношении имеется несколько иное положение и некоторые предохранительные устройства являются необходимыми. При конструкции рельса с верхним контактом над ним устраивается защита из деревянной доски, прикрепляемой на кронштейнах к шпалам. В некоторых случаях ставится также и доска сбоку, с наружной стороны рельса (рис. 83). В конструкциях с нижним контактом доски крепятся непосредственно к рельсу и прикрывают его сверху и с боков. Для предохранения от быстрой порчи употребляются пропитанные доски.

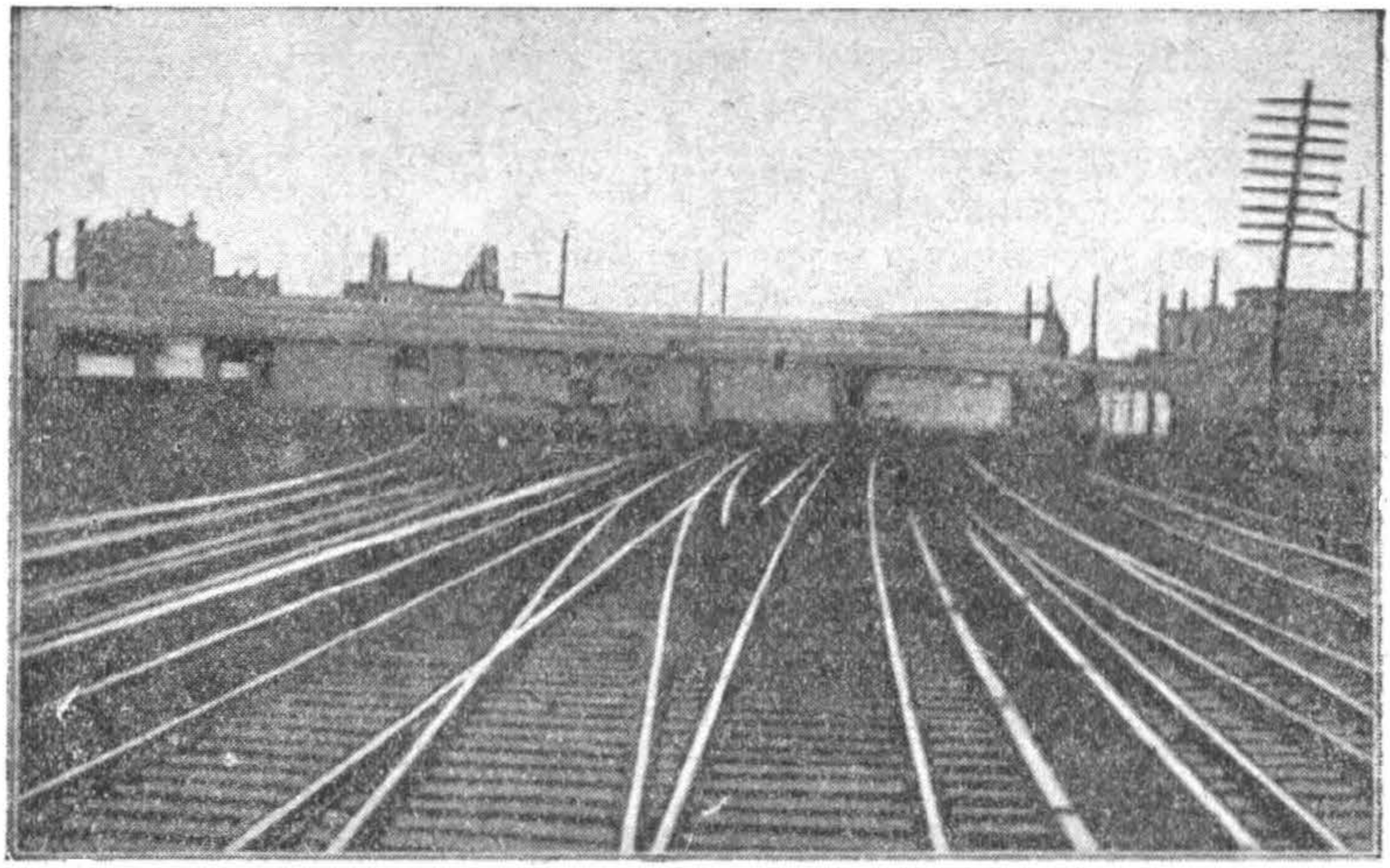


Рис. 83. Система третьего рельса с нижней контактной поверхностью. Напряжение 600 V.

В САСШ расстояния между третьим рельсом и ходовым рельсом стандартизованы. По вертикали уровень контактной поверхности третьего рельса возвышается на 70 *мм* ($2^3/_4''$) над головкой ходового рельса при конструкции с верхним контактом и на 89 *мм* ($3^1/_2''$) при нижнем контакте. Расстояние же по горизонтали колеблется от 660 до 772 *мм* (26 до $30^1/_2''$) для разных конструкций с верхним контактом, а для третьего рельса с нижним контактом составляет 718 *мм* ($28^1/_4''$).

Третий рельс должен быть также укреплен и в продольном направлении, однако таким образом, чтобы была обеспечена возможность температурных удлинений и сокращений. Питание различных участков третьего рельса производится при помощи кабельных фидеров, проложенных под землей. Фидера выводятся на поверхность через особые, хорошо изолированные, кабельные воронки, предохраняющие кабель от доступа влаги. Большое количество пересечений и стрелок, имеющихся на головных участках и на сортировочных станциях железных дорог, делают ситему секционного питания сложной и довольно дорогой.

На головных участках, при большом количестве стрелок и пересечений, обеспечить непрерывный контакт между электровозом и третьим

ГПБ ДНЭКТ

рельсом не представляется возможным и, поэтому в таких местах приходится пользоваться вспомогательным воздушным контактом (рис. 84). Аналогичные устройства необходимы и там, где третий рельс может помешать разгрузочным операциям. На протяженных головных участках длина вспомогательной воздушной контактной линии составляет лишь около 1% от общей длины всей линии. На менее значительных головных участках и при пользовании воздушной проводкой также и на примежуточных станциях этот процент повышается до 10.

Нормальным напряжением, применяемым в системах с третьим рельсом, является 600—650 V. Верхний предел допускаемого напряжения, с точки зрения безопасности эксплоатации и минимальной утечки

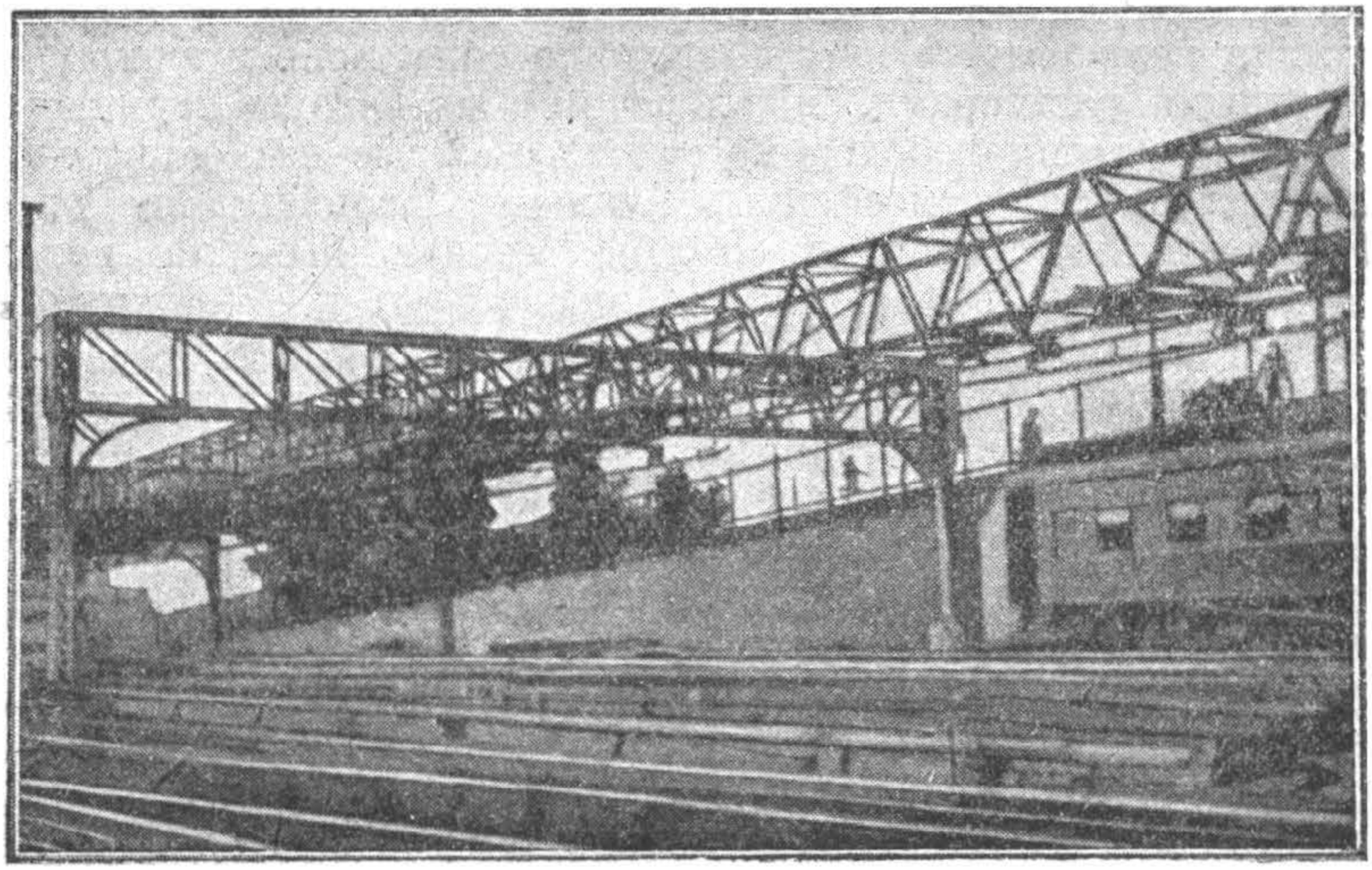


Рис. 84. Вспомогательный воздушный рельс на пересечениях.

тока, в общем окончательно не установлен. Некоторые пригородные линии пользуются током с напряжением в 1 200 V, но расход энергии на них относительно невелик. Берлинская электрифицированная ж. д. питается током с напряжением в 800 V. Во Франции оказалось удовлетворительным в применении к одной магистральной линии напряжение в 1 500 V. В Англии высказывалось мнение в пользу признания напряжения в 1 500 V стандартным для систем с третьим рельсом. Необходимо подчеркнуть, что наличие квалифицированного персонала и других благоприятных причин играет важнейшую роль в выборе предела допускаемого напряжения, совершенно различного для отдельных конкретных случаев.

Эксплоатация систем распределения с третьим рельсом. Характерные особенности эксплоатации систем с третьим рельсом лучше всего уясняются из нижеследующего перечня, классифицирующего наиболее характерные аварии и повреждения:

а) неисправные или поломанные кронштейны и крепления.

б) неисправные или поломанные предохранительные доски и их крепления.

НТБ ДГУЖТ

в) Неисправные кабельные подводы.
г) Неисправные стыковые соединения.
д) Неисправные изоляторы.
е) Неисправные или перегоревшие соединительные кабели, муфты, выключатели, распределительные коробки и пр.
ж) Поврежденный или опрокинутый третий рельс.
з) Нарушенный размер сечения третьего рельса.
и) Вода или земля на рельсах.
к) Повреждение третьего рельса пожаром или из-за неисправности жел.-дор. полотна.
л) Повреждение третьего рельса из-за крушений или несчастных случаев.
м) Аварии из-за перегрузок и коротких замыканий в цепи.

Изоляция подвергается иногда механическим повреждениям или же порче соляными растворами, вытекающими из вагонов-ледников. Предохранительные доски необходимо менять каждые несколько лет из-за порчи их от действия атмосферных влияний. Пропитывание креозотом значительно удлиняет срок их службы. Точная выверка положения третьего рельса имет весьма важное значение и требует тщательного ухода за состоянием путей и подводящих кабелей.

В дурную погоду, когда на рельсах образуется наледь, необходимо принимать меры к очистке контактной поверхности. Это достигается тем, что по линии пропускают через короткие промежутки времени электровозы или моторные вагоны, что не допускает образования на третьем рельсе толстого слоя снега или льда. Раствор соли также хорошо способствует таянию льда, но при этом необходима особая осторожность, так как соль может испортить изоляцию. На некотрых европейских линиях в горных участках, где обледенение рельс бывает весьма часто, применяются специальные узкие наклонные скребки для очистки рельсов давлением до 200 *кг*. Такая очистка оказывается успешной даже в местностях с самым суровым климатом.

Сравнительная стоимость сооружения и эксплоатации различных ж.-д. линий с третьим рельсом приведена в следующей главе при рассмотрении вопроса экономики различных распределительных систем.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА IX

ЭКОНОМИКА ЭКСПЛОАТАЦИИ И СООРУЖЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Капитальные затраты. При сооружении подстанций и питательных и распределительных сетей, снабжающих энергией электровозы и моторные вагоны, вопрос капитальных затрат имеет несравнимо более серьезное значение, чем величина эксплоатационных расходов. Определить размеры этих капитальных затрат для различных систем электрификации было бы крайне интересно. Однако при всяком таком сопоставлении следует помнить, что точное сравнение между собой отдельных установок не представляется возможным из-за различия цен на материалы и рабочую силу, эксплоатационных условий, характера жел.-дор. линий и других переменных факторов. Сравнение стоимости аналогичных установок на различных линиях важно для установления пределов колебаний капитальных затрат, меняющихся в зависимости от этих переменных факторов. Тем не менее, как уже указывалось ранее, характер сооружения, с точки зрения самого устройства, сильно влияет на его стоимость, и поэтому в большинстве случаев весьма трудно бывает установить, что именно следует отнести за счет данного устройства и что за счет вышеуказанных переменных факторов.

Нижеследующие таблицы дают в ориентировочных цифрах как самые величины капитальных затрат на устройство подстанций и распределительных сетей некоторых новейших установок, так и показывают разницу в их стоимости и характер распределения расходов по отдельным статьям.

Очер. №№ сметы	Описание установки	Пригородная линия. Напряжение 600 V. Система с третьим рельсом. Длина путей 78 *км*. Длина линии 35 *км*	Грузовая линия в горной местности. Напряжение 11 000 V. Воздушная сеть. Длина путей 364 *км*. Длина линии 214 *км*	Пригородная линия. Напряжение 1 500 V. Воздушная сеть. Длина путей 61 *км*
	Питательная и распределительная сеть			
31	Питательная система	70 000 долл.	300 000 долл.	—
32	Распределительная система.	840 000 (10 600 на 1 *км* пути)	1 400 000 (3 750 на 1 *км* пути)	2 000 000 (9 400 на 1 *км* пути)
33	Столбы и крепления.	20 000	1 800 000 (5 000 на 1 *км* пути)	900 000 (4 350 на 1 *км* пути)

НТБ ДНУЖТ

	Тип подстанции	Вращающиеся преобразователи 10 000 kVA Закрытая установка	Открытые трансформаторные подстанции 97 000 kVA	Закрытые подстанции 36 000 kVA
30	Строительная часть подстанции	160 000	250 000	—
46	Оборудование.	550 000 (71 на kW)	1 200 000 (15 на kVA)	—

Подробное распределение первоначальных расходов по отдельным статьям, как контактная система, подстанции, секционирование и т. п., показано в следующих таблицах.

Таблица первоначальной стоимости воздушной распределительной системы в долл. (1924—1927 гг.)

1. Цепная подвеска			
Описание	Бронзовый несущий трос 5/8″; медный вспомогательный провод 4/0 (107 *мм*²), бронзовый контактный провод 4/0 с бронзовыми струнами. Двухколейная магистраль	Стальной несущий трос 9/16″ вспомогательный провод 4/0; бронзовый контактный провод 4/0 со стальными струнами. Одноколейный главный путь	Стальной поддержив. трос 9/16″, с одним или двумя медными вспомогательными проводами 2/0 (67 *мм*²) бронзов. контактн. провод 3/0 (85 *мм*²) со стальн. струнами, две колеи
Стоимость на 1 *км* пути, включая изоляторы, фиксаторы и пр.	5 600	4 600	3 100
2. Опорные конструкции			
Описание	Гибкие поперечины. Опорные мачты двутаврового сечения на 4 фидера и один заземленный провод	Мачты двутаврового сечения с кронштейнами на одну колею, частично гибкие поперечины и жесткие конструкции. 4 фидера и заземленный провод	Жесткие поперечные конструкции на мачтах двутаврового сечения; 2 провода линии передачи и 1 сигнальный провод. Сигнальные мостики, столбы с оттяжками
Стоимость на 1 *км* пути	8 000	5 000	7 000
3. Рельсовые стыковые соединения	—		
Описание		Одно потайное соединие на каждом стыке сеч. 2/0, длина 625 *мм*	Одно потайное соединение на каждом стыке сеч. 1/0, длина 200 *мм*
Стоимость на 1 *км* пути	560	390	400
Стоимость 1 соединения	—	1,71	1,86
Полная стоимость на 1 *км* пути	14 160	9 790	10 500

НТБ ДНУЖТ

Таблица стоимости распределительной сети с третьим рельсом (цены 1924—1927 гг. в долл.)

	Магистральная линия	Магистральная линия	Магистральная линия	Сортировочная станция	Разные подъездные пути
Длина (в *км*) . . .	75	25	78	4,8	4,8
Вес и тип третьего рельса . .	74,25 *кг/м* с верхним контактом	35,5 *кг/м* с нижним контактом	74,25 *кг/м* с верхним контактгм	34,5 *кг/м* с верхним контактом	34,5 *кг/м* с нижним контактом
Стоимость шпал (на 1 *км*).	1 450	725	1 400	1 000	570
1 пропитанная шпала (за шт.) . . .	3,40	3,00	—	3,50	3,00
1 непропитанная шпала (за шт.) . . .	2,70	2,30	—	—	2,30
%% пропитанных шпал	45	96	—	100	32
Третий рельс, с монтажом и пр. (на 1 *км*)	7 500	4 100	6 500	4 000	4 100
Соединительные проводники, каналы и пр. (на 1 *км*). .	102 *мм²* 900	507 *мм²* 400	1 900 —	2 150 —	— —
за штуку . . .	214	85	—	210	—
Выключатели (на 1 *км*). .	(4 500 А) 80	(2 000 А) 60	— —	—	— —
каждый.	140	198	300	—	—
Рельсовые стыковые соединения .	2 шт. 127 *мм²* дл. 400 *мм*, сварка припоем	2 шт. 203 *мм²* дл. 430 *мм*, соединение пулькой	2 шт. 127 *мм²* дл. 350 *мм*, автогенная сварка	1 или 2× ×127 *мм²* 400 *мм*, сварка припоем	2 шт. 203 *мм²* дл. 430 *мм*, соединение пулькой
(на 1 *км*) .	530	870	250	450	520
Каждое соединение.	2,60	4,30	—	—	4,30 рельс 4,00 стрел.
Поперечные рельсовые соединения .	(253 *мм²*) 65	(253 *мм²*) 260	—	—	—
(на 1 *км*) . .	11	6	—	—	—
Всего (на 1 *км*). .	10 471 **	6 161 **	10 650 **	5 450 * 7 600 **	5 190 *

* Исключая соединительные проводники.
** Включая

НТБ ДНУЖТ

Таблица стоимости устройства подстанций на 1 уст. kW.

Цены 1924–1926 гг. в долл. Постоянный ток 650 V

№	Наименование статей		Ручное управление		Управление автоматическое и дистанционное	
			Вращающиеся преобразователи			
			Единицы по 2 000 kW	1 500 kW	2 000 kW	1 000 kW
1	Умформеры	.	15,80	15,00	16,20	–
2	Трансформаторы	.	8,40	9,10	8,50	–
3	Распределительное устройство	.	9,40	10,30	23,10	–
4	Кабели и провода	.	5,30	6,60	8,00	–
5	Автоматическое управление	.		–	2,00	1,70
	Стоимость оборудования (на 1 kW)	.	39,30	41,00	56,80	53,30
	Здания	.	10,90	10,70	17,40	15,60

НТБ ДНУЖТ

Стоимость подстанций однофазного тока

(цены 1925—1928 гг)

	Наименование статей расхода	Открытый тип		
		Два трансформатора по 5 000 kVA 88,44/22,11 kV		
		Два 400 амперных двухполюсных масляных выключателя 95 kV		Один автотрансформатор 3 000 kVA 22,11 kV 400 амперные однополюсные масляные выключатели 25 kV, дистанционное управление
		Три 600 ампер. однополюсных 25 kV маслян. выключателя. Три вспомогательных трансформатора	Четыре 660 амп. однополюсных 25 kV масляных выключателя. Два вспомогательных трансформатора	
1	Земляные и бетонные работы	14 000	10 400	
2	Металлические конструкции.	5 900	6 300	
3	Здание	900	800	
4	Прочее устройство	2 300	2 300	
	Полная стоимость строительных работ.	23 100	19 800	
1	Трансформаторы. . .	32 000	32 000	6 100
2	Маслянники комплектно . . .	36 100	35 300	
3	Собирательные шины, изоляторы и пр.	11 000	10 800	
4	Дист. управление	—	—	3 500
	Итого:	102 200	97 900	45 200
	Стоимость на 1 kVA	10	10	15

НТБ ДНУЖТ

Стоимость сенционирующих постов

Тип зданий	Бетонное	Кирпичное	Кирпичное
Размеры.	2,1×1,5×2.7	5,5×2,7×2,7	1,5×1,5×3,0
Стоимость каждого здания.	720	1 370	660
Тип выключателя. .	4 000 А; зависящий от напряжения	4 000 А;	2 000 А; зависящ. от тока
Фидерные кабели и аппаратура на каждый выключатель	1 080	870	1 690
Автоматическое управление на один выключатель. .	—	290	—

Коэфициент полезного действия подстанций и распределительных сетей. Потери энергии при передаче ее от подстанции до тяговых электродвигателей сильно влияют на экономику электрифицированной железной дороги, поскольку стоимость энергии составляет в процентном отношении одну из важнейших статей эксплоатационных расходов. Эти потери являются функцией столь разнообразных причин, что установить какие-либо общие положения для различных систем не представляется возможным. Значительно легче произвести сравнение отдельных элементов системы передачи энергии в различных установках.

Так например можно сравнить между собой коэфициент полезного действия умформеров или трансформаторов для различных ж.-д. линий или участков одной линии, имея график распределения нагрузки по времени. Что же касается потерь в распределительных сетях, то сравнение их между собой будет труднее, так как помимо величин нагрузок и распределения их по времени, необходимо принимать в расчет также и расстояние до точек потребления энергии.

Во многих случаях необходимых данных для определения общего коэфициента полезного действия установки не имеется: некоторые железные дороги не имеют необходимых измерительных приборов на своих централях; в других случаях подстанции питают не только тяговые электродвигатели, но отпускают энергию и другим потребителям. В тех случаях, когда имеет место рекуперация энергии, потери в сетях поддаются учету с еще большими трудностями, так как определение отношения количества вырабатываемой энергии к расходуемой крайне осложняется дополнительным питанием сети рекуперированной энергией.

Величины потерь на подстанциях в значительной степени зависят от того, будет ли энергия преобразовываться посредством умформеров или же трансформаторов. При простом трансформировании переменного тока с напряжения питательной сети на напряжение распределительной сети, потери будут иметь место только в самих трансформаторах. Процент этих потерь для большинства установок колечлется между 3—5. В тех случаях, когда производится более сложное преобразование энергии, а именно: переменный ток превращается в постоянный посредством вра-

НТБ ДГУЖТ

щающихся преобразователей потери достигают 10—30% в зависимости от графика нагрузки по часам суток. Применение ртутных выпрямителей снижают эти потери до 5—15%.

В распределительных сетях величины потерь пропорциональны сопротивлению цепи и квадрату силы тока. Сопротивление зависит от размеров сечения контактного провода или третьего рельса. Величины этого сопротивления связаны с допускаемым падением напряжения в сети до клемм электродвигателей для самых неблагоприятных условий эксплоатации. Необходимо учитывать стоимость затрат на понижение сопротивления проводников в сравнении со стоимостью энергии, теряемой в этом сопротивлении. При данной величине сопротивления сила тока, протекающего в распределительной сети, пропорциональна напряжению в сети, потери же в распределительной сети обратно пропорциональны квадрату напряжения и прямо пропорциональны сопротивлению. Таким образом при низком напряжении должны быть произведены значительно большие затраты на увеличение сечения меди для того, чтобы потери были не больше, чем при высоком напряжении. При равных же сечениях проводов потери при низком напряжении будут значительно выше.

Стоимость потерь при преобразовании энергии и распределении ее может быть подсчитана на основе стоимости последней как для покупной, так и для производимой на собственной станции. Стоимость потерь составляет 10—30% всей стоимости энергии, которая в свою очередь составляет 30—45% всех эксплоатационных расходов электрифицированных железных дорог.

Эксплоатационные расходы по передаче, преобразованию и распределению электрической энергии. Одной из статей эксплоатационных расходов является содержание питательных и распределительных сетей. Величина этих расходов по отдельным годам может значительно изменяться из-за нерегулярности ремонтных работ. Так например в продолжении какого-либо одного года может сразу понадобиться смена большого числа деревянных столбов. В первоначальные периоды эксплоатации эти расходы бывают иногда выше нормы, так как оказывается необходимым делать некоторые добавления или изменения в первоначально запроектированном устройстве в соответствии с требованиями практики. Из этих соображений необходимо при изучении вопроса о величине эксплоатационных расходов рассматривать только такие установки, где уже окончательно выявилась их установившаяся величина.

Изучая этот вопрос, необходимо также принять во внимание большое количество меняющихся факторов. Наиболее существенным из них является частота движения, обусловливающая величину потребления энергии на 1 *км* линии и влияющая таким образом на ответственность надзора за сетью. При быстоходном движении предъявляются повышенные требования к токоснимателям и тщательной проводке воздушной сети или третьего рельса. Тип распределительной сети,—будь то третий рельс или воздушная сеть высокого или низкого напряжения,—влияет на ее стоимость. Система организации ремонтных бригад, зависящая от принятых норм ремонта и эксплоатации, климатических условий, различие в стоимости материалов и рабочей силы в различных районах, также являются неопределенными факторами при исчислении величины расходов.

При калькуляции стоимости содержания распределительных сетей за единицу обычно принято принимать расходы по содержанию,

НТБ ДГТУ

падающие на 1 *км* линии. Хотя эта цифра и не даст каких-либо указаний о величине входящих в нее вышеупомянутых переменных факторов, но, имея указания о частоте движения и количестве потребляемой энергии, можно однако сделать те или иные заключения. Непосредственное сравнение подобных цифр невозможно, так как из-за наличия других переменных факторов влияние одной частоты движения не является решающим. Величины расходов по содержанию 1 *км* пути представляются в следующем виде.

Средний годовой расход на 1 *км* пути	Постоянный ток 600 V. Система с третьим рельсом	Переменный ток 11 000 V. Воздушная сеть		Постоянный ток 3 000 V. Воздушная сеть	
	(в долларах)				
Содержание и ремонт рельсовых соединений и контактной системы	450	330	420	400	290	90
Содержание и ремонт линий передачи	200	70	—	110	10	
Эксплоатационные расходы по подстанциям	—	370	—	60	30	120
Итого	—	770	680	570	330	210
Средняя частота движения. (Число поездо-*км* в год на 1 *км* магистрали)	13 000	21 000	11 000	—	—	2 700
Средняя величина потребления энергии в тысячах киловатт-часов на 1 *км* длины магистрали	475	350	210	170	370	85

Цифры по данным 1924—1925 гг.

Анализ таблицы показывает, что величина расходов на контактную систему является функцией как частоты движения и количества потребляемой энергии, так и эффективности ремонта и надзора, состояния рынка труда и прочих обстоятельств. Различие же контактных систем с третьим рельсом и с воздушным проводом не является существенным по сравнению с прочими факторами. Величина ремонтных эксплоатационных расходов на подстанциях при постоянном токе определяется количеством энергии в киловатт-часах, затрачиваемых на 1 *км* магистрального пути.

Надежность работы подстанций, линий передачи и распределительных сетей. Надежность работы сетей и подстанций представляет особый интерес, так как эти последние являются дополнительными элементами, присущими лишь электрической тяге при сравнении ее с паровой. Этот вопрос должен рассматриваться совместно с вопросом надежности электровозов и моторных вагонов с тем, чтобы можно было иметь общую характеристику надежности электрической тяги в целом.

С точки зрения службы движения характеризовать надежность системы тяги интересно количеством опозданий поездов и при том не только их абсолютным числом, но и с указанием причин опозданий, как-то: дефекты в подвижном составе, линиях передачи, подстанциях, распределительных сетях и т. д. Различие в условиях эксплоатации, составе персонала, климате и методах статистики, а также разнообразие систем и типов устройства не позволяют делать точного сравнения между от-

НТБ ДГУЖТ

дельными жел. дорогами, однако относительная оценка этих данных будет весьма показательна.

На большинстве электрифицированных железных дорог с большим движением число поездо-километров, приходящееся на минуту опоздания колеблется между 1000 и 100 поездо-*км*, охватывая в качестве причин все элементы системы, начиная от электростанции и кончая тяговым оборудованием. Перебои, происходящие по вине источника энергии, сравнительно редки, но вызывают более длительные опоздания, чем различные частные неполадки. В общем, их влияние сравнительно невелико. Опоздания по другим причинам делятся на две группы: аварии в сетях и трансформаторах и аварии в тяговом оборудовании. Длительность перерывов движения, вызываемых причинами как первой, так и второй группы примерно одинакова. Помимо приведенных общих замечаний дать более детальную характеристику надежности электрической тяги на основе данных об опозданиях поездов не представляется возможным.

С точки зрения уяснения различных причин, вызывающих опоздания или перебои в движении поездов на данном участке, интересные данные могут быть почерпнуты из более подробного знакомства с отчетностью. Однако и здесь точные сравнения невозможны из-за специфических условий эксплоатации. Так, например, очень часто вообще не представлялось возможным определить причину аварии. Наиболее легко выявляются те аварии, результатом которых является опоздание поездов, являющееся хотя вполне конкретным показателем, но все же недостаточно точным мерилом сравнения. Следует помнить, что аварии, вызывающие эти опоздания, в свою очередь зависят в сильнейшей степени от частоты и прочих особенностей движения на участке. Другое, вполне возможное определение аварии, как невыполнение своих функций данным элементом системы, также неудовлетворительно. Возможны случаи, когда эти элементы будут повреждены, но это обстоятельство не будет обнаружено, так как нарушение движения не будет иметь места. Например какая-нибудь деталь подвески воздушной системы может быть сломана, но это повреждение будет обнаружено лишь через несколько месяцев при инспекторском осмотре, а иногда и совсем пропущено из-за слабости надзора. На некоторых дорогах всякая досрочная замена дефектной детали, которая в настоящий момент еще в состоянии продолжать работу, регистрируется как повреждение. Ясно, что при этом различные методы инспектирования не дают возможности делать точные сравнения между линиями или даже отдельными участками одной и той же дороги.

Методы классификации этих аварий и их причин сильно отличаются на различных дорогах, препятствуя тем самым сравнению. Стандартизация в этом направлении была бы большим шагом вперед. В основном аварии в отдельных элементах системы сводятся к повреждению изоляторов, дефектам материалов и приведению в негодность различных болтовых и заклепочных соединений, а также к перегреву, электролизу, коротким замыканиям, вызываемым молнией, птицами, животными и т. д. Часто трудно бывает решить, какая именно причина или комбинация их вызвали неполадку. Так например повреждение изолятора может произойти из-за его недоброкачественности или же из-за короткого замыкания, произведенного птицей, так как не всегда имеются признаки, позволяющие вынести определенное решение. В силу этих соображений

НТБ ДГУЖТ

необходима классификация аварий по элементам системы, а затем и по причинам, вызвавшим нарушение работы. Для системы с воздушной проводкой может быть предложена следующая система классификации:

1. Изоляторы несущего троса:

а) птицы,
б) молния,
в) дефект материала,
г) паровозы,
д) арматура,
е) дождь или лед,
ж) прочее.

2. Несущий трос:

а) обрыв,
б) пережог,
в) низкая температура,
г) лед,
д) прочее.

3. Контактный провод:

а) обрыв,
б) пережог,
в) неправильное положение,
г) низкая температура,
д) лед,
е) прочие причины.

4. Подвески (струны):

а) поломка, обрыв
б) неплотность соединения с держателем,
в) пережог,
г) прочее.

Подобная классификация сразу указывает, в каком элементе системы и какая авария произошла, после чего выясняются причины повреждения, которые не всегда бывают вполне очевидными.

Для некоторых элементов желательно иметь более подробные данные об их работе. Так например желательно иметь сравнительную статистику повреждений изоляторов различных типов. Точно также для сравнения долговечности различных сортов провода желательно иметь статистические данные об износе контактных проводов. Не менее ценна для различного рода сравнений статистика работы выключателей, реле и т. п. оборудования.

Изучение различного вида эксплоатационных данных приводит к интересным выводам. Характерной особенностью является огромное количество разновидностей повреждений однородного оборудования при различных внешних условиях, как это показывает нижеследующая таблица.

Среднее годовое (за пять лет) количество повреждений, происшедших по внешним причинам на трех участках воздушной распределительной сети равной длины

	Участки		
	A	*B*	*C*
1. Молния	17	4	1
2. Ветер	3	1	3
3. Низкая температура	1	—	—
4. Снег и гололед	1	—	—
5. Оползни, загромождения пути	3	3	12
6. Крушения и работа ремонтных поездов	1	1	2
7. Неисправность пути	—	—	2
8. Тяговая сила	1	2	1
9. Прочие внешние причины	2	3	2

НТБ ДНУЖТ

Неравномерность распределения повреждений на различных участках по их причинному признаку показывает всю трудность сравнений в тех случаях, когда нет абсолютной идентичности в условиях эксплоатации и типе сравниваемых сооружений.

Другой характерной чертой анализа повреждений является относительно небольшое количество аварий, происходящих по вине подстанции. Большинство аварий имеет место в контактной воздушной системе. Они происходят главным образом из-за неудовлетворительной выверки и монтажа воздушного провода, из-за поломок или пережога контактного или вспомогательного проводов, неисправности секционных выключателей и дефектов в изоляторах. Дефекты с несущим тросом редки. Неполадки из-за фиксирующих проволок, фиксаторов и вспомогательных проводов встречаются чаще. Среди всевозможных типов изоляторов наилучшие результаты повидимому дают штыревые изоляторы, даже и в тех случаях, когда они служат опорами для несущего троса или фиксаторов. Подвесные изоляторы работают удовлетворительно, служа опорами для несущего троса. Жесткие опорные изоляторы с крупными фарфоровыми частями и тяжелыми держателями нежелательны из-за большого количества поломок и неполадок с ними, равно как нежелательны натяжные изоляторы из дерева.

В группе «разные причины» особо следует отметить аварии, происходящие из-за обрывов проводов, пересекающих контактную линию, которые вызывают обычно большое число продолжительных нарушений движения.

Характерным примером распределения опозданий по группам в процентном отношении в зависимости от дефектов в распределительной системе является следующая таблица.

Место аварии	Продолжительность их по времени (в %)	Число случаев опозданий (в %
Линейные изоляторы	2	16
Обрывы якорей (анкер. проводов)	4	13
Другие аварии в сети.	54	41
Аварии оборудования подстанций и секционных постов.	4	7
Прочие аварии (внешние причины).	36	23
	100	100

На другой дороге это чение было несколько иным:

	Количество опозданий (в %%)
Линейные изоляторы.	23
Обрывы якорей (анкерн. проводов).	—
Другие аварии в сети	25
Аварии оборудования	5
Прочие аварии (внешние причины).	47
	100

НТБ ДНУЖТ

Следует отметить, что число повреждений изоляторов, обусловливающих опоздания, велико, но продолжительность этих опозданий относительно мала, тогда как прочие аварии в сетях влекут за собой как большое число опозданий, так и большую продолжительность их. Что же касается аварий на подстанциях, то опоздания, вызываемые ими, и редки и непродолжительны.

Произведенный по изложенной системе анализ случаев нарушений движения указывает на преобладающее влияние внешних причин.

Причина	%%		
Дефекты источников тяги.	22	Внешние причины.	45%
Молния . . .	3		
Птицы и животные.	3		
Недосмотр обслуживающего персонала	6		
Соединение с посторонними проводами.	11		
Изоляторы. .	6	Внутренние причины.	26%
Цепная подвеска.	6		
Оборудование (подстанции и секционные посты).	2		
Прочие неклассифицированные причины	12		
Неизвестные причины. . .	20	Разные причины.	29%
Эксперименты и испытания	9		

На другой дороге процент повреждений по группе внешних причин колебался между 60 и 75 в течение ряда лет, на третьей—от 50 до 70%. В данном случае под внешними причинами аварий подразумеваются такие, которые не зависят от распределительной системы как таковой, но являются результатом действия случайных явлений, перечисленных в таблице.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА X

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТЯГОВЫХ СЕТЕЙ НА ПОСТОРОННИЕ ЛИНИИ И ЭЛЕКТРОЛИЗ

ЛИНИИ СВЯЗИ

Изучение вопросов взаимодействия электрических полей железнодорожных и телефонно-телеграфных линий началось со времени первых крупных работ по электрификации жел. дорог. Еще до 1910 г. были проведены большие исследования этого вопроса на жел. дороге Нью-Иорк—Нью-Хэйвен и Хартфорд, а также на итальянских государственных железных дорогах. С тех пор в различных странах изучение этого вопроса продолжается как железнодорожными компаниями, как и телефонными и телеграфными обществами. Методы изучения вопросов электрического взаимодействия линий весьма разнообразны и зависят от многих обстоятельств. В одних случаях число телеграфных и телефонных линий, проходящих в поле взаимодействия с железнодорожной электрической сетью, столь невелико, что большой надобности в координировании их работы не имеется. В других случаях, как например в больших городах, проблема координирования работы всех сетей весьма значительна. Точно также неодинаковый характер требований, предъявляемых к работе телефонных и телеграфных сетей, обусловливает затруднительность общего решения вопроса. Во многих странах юридические и правительственные нормы таковы, что вся тяжесть обеспечения нормальной работы возлагается либо на одну, либо на другую заинтересованную сторону. Иногда, вследствие интересов промышленности и государства, создается такая конъюнктура, что телефонные или телеграфные общества могут диктовать свои условия железнодорожным компаниям, иногда же наоборот. Таким образом решение этих вопросов зависит не только от одной технической стороны, но и от разнообразных организационных причин.

Электростатическое поле. Физические явления, возникающие между железнодорожными электрическими линиями и телефонными или телеграфными линиями, можно подразделить на две группы: зависящие от электрического и от электроманитного поля. Электростатическое взамодействие между двумя электрическими цепями зависит от величины разности потенциалов между ними, а также и от присутствия в данном поле других проводников, в свою очередь влияющих на потенциал поля.

Напряжение, индуктируемое в постороннем проводнике по отношению к земле, есть функция расстояния между обеими цепями, диэлектрической постоянной среды, отделяющей их друг от друга, высоты подвески проводов и формы самих проводников. В действительности посторонний проводник не висит в пространстве, а подвешен на изоляторах, дающих некоторую утечку тока через землю, влияющую на величину индуктируемого напряжения. Различные емкостные явления в постороннем проводнике по отношению к земле, отличные от явлений, обусловленных местоположением самого провода, также влияют на индукцию. Эти явле-

НТБ ДГУЖТ

ния могут вызываться деревьями, зданиями, ответвлениями, заземленными проводами и пр. Благодаря наличию большого числа неопределимых факторов точно установить величину напряжения, наводимого вследствие электростатической индукции весьма затруднительно.

Электромагнитное поле. Электромагнитное взаимодействие двух цепей зависит от общих законов для магнитных цепей. Между двумя цепями возникает взаимная индукция, зависящая от сцепленных с ними магнитных потоков.

Магнитный поток является функцией расстояния между цепями, расстояния между проводниками в каждой цепи, магнитной проницаемости промежуточной среды и длины цепей. Величину взаимной индукции можно точно определить для катушек и параллельных металлических проводников, но из-за неопределенности фактического местоположения в жел.-дор. электрических сетях цепи обратного тока, равно как и различных других факторов, подойти к точному разрешению этого вопроса весьма трудно.

Величина напряжения, индуктированного в цепи связи, имеющей взаимную индукцию с ж. д. цепью, может быть выражена в общей форме следующим образом:

«Напряжение, индуктированное в телеграфной или телефонной цепи, равняется величине коэфициента взаимной индукции обеих цепей, умноженной на скорость изменения тока в проводах жел.-дор. цепи».

Таким образом индуктированное напряжение является функцией коэфициента взаимной индукции и быстроты изменения тока, имеющей место в нормальных условиях, или же возникающей при случайных или преходящих обстоятельствах.

Путем подразделения явлений электромагнитной индукции на происходящие между воздушным проводом и рельсом, а также между воздушным проводом и землей, может быть произведен интересный анализ влияния на эту индукцию различных факторов.

Величина коэфициента взаимной индукции между двумя проводами равной длины l с расстоянием между ними s выражается следующим образом:

$$\text{Взаимная индукция (генри)} = 2l \cdot \ln\left[\frac{2l}{s} - 1\right] 10^{-4}.$$

В этом уравнении длина проводников l по отношению к расстоянию между ними s велика. Индуктированное напряжение [1] для синусоидального изменения первичного тока может быть выражено как:

напряжение $= 2\pi \times$ частота (число периодов в секунду) $\times$ коэфициент взаимной индукции,

или:

напряжение $= \omega \times$ коэфициент взаимной индукции.

Весь ток, проходящий по воздушному проводу, возвращается двумя путями: или по рельсам, или через землю. Сила тока, проходящая по рельсам, может быть выражена в функции взаимной индукции воздушной и рельсовой цепей и полного сопротивления цепи рельса:

$$\text{Сила тока в цепи рельса} = \text{суммарной силе тока} \times \times \frac{\text{взаимная индукция провода и рельса } (j\omega M)}{\text{полн. сопр. рельсовой цепи } (R + j\omega L)}.$$

[1] На 1Л.

НТБ ДНУЖТ

Сила же тока, возвращающегося через землю, будет равняться суммарной силе тока $\times \left[1 - \frac{(j\omega M)}{(R + j\omega L)}\right]$.

Величина индуктированного напряжения точно так же определяется помощью комбинирования приведенных формул. Индукционные явления могут быть подразделены на две группы, а именно:

1) вызываемые током, проходящим по рельсам и соответствующим ему компонентом тока, идущего по воздушному проводу;

2) током, проходящим по земле, и соответствующим ему компонентом тока, текущего по воздушному проводу.

Рассматривая первую группу, мы получим величину результирующего наведенного напряжения в виде разности напряжений: 1) индуктированного током, протекающим в воздушном проводе и соответствующим току, протекающему по рельсам, и 2) индуктированного током, протекающим по рельсам.

$$2\omega l \ \ln\left(\frac{2l}{s_1} - 1\right) \cdot 10^{-4} \times \text{сила тока в рельсах} -$$

$$- 2\omega l \ \ln\left(\frac{2l}{s_2} - 1\right) \ 10^{-4} \times \text{сила тока в рельсах},$$

где s_1 и s_2 растояния между телефонной линией с одной стороны и воздушной и рельсовой цепью с другой стороны.

Результирующее напряжение будет:

$$2\omega l \cdot \ln \frac{s_2}{s_1} \ 10^{-4} \cdot \frac{j\omega M}{R + j\omega L} \times \text{суммарная сила тока},$$

где $j\omega M$ — реактивное сопр. взаимной индукции цепи воздушный провод — рельс, $R + j\omega L$ — полное сопр. рельсовой цепи.

Для второй группы индукционных явлений, обусловливаемых компонентами тока, проходящего через землю, можно сделать в формулах соответствующую подстановку постоянных величин:

$$2\omega l \cdot \ln\left(\frac{2l}{s_1} - 1\right) \cdot 10^{-4} \times \text{ток, проходящий чере зземлю} -$$

$$- 2\omega l \cdot \text{const} \times \text{ток, проходящий через землю.}$$

Результирующее напряжение будет:

$$2\omega l \cdot \ln\left(\frac{2l}{s_1} - \text{const}\right) \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 - \frac{j\omega M}{R + j\omega L}\right) \times \text{общая сила тока.}$$

Теоретическое обоснование уменьшения влияний. С теоретической точки зрения возможен ряд мер для уменьшения индуктируемых напряжений. Напряжение, наводимое вследствие электростатической индукции, можно понизить путем удаления цепей телеграфной и телефонной связи железнодорожной электрической линии, путем изменения распределения градиента потенциала с помощью заземляющих проводов, путем каблирования линий или созданием специальных обратных полей. Напряжение, возникающее в результате электромагнитной индук-

НТБ ДНУЖТ

ции, может быть элиминировано лучше всего действием обратного тока, протекающего по рельсам или специальному обратному проводу.

Увеличение взаимной индукции между воздушным и обратным проводами и уменьшение полного сопротивления обратного провода линий способствует требуемому результату. Практически это достигается применением бустерных трансформаторов, автотрансформаторов и приближением обратных проводов к воздушной цепи для целей увеличения величины взаимной индукции и применением обратных фидеров и стыковых соединений для уменьшения величины полного сопротивления обратной цепи.

Первой мерой естественно является уменьшение величины полного сопротивления рельсовой цепи и уже затем следует прибегать к взаимному удалению тяговых и телефонных и телеграфных линий, причем прямые и обратные провода как у первых, так и у вторых по возможности должны быть сближены, а провода связи сверх того подвергнуты транспозиции. Поскольку дело идет об электрических железнодорожных линиях, требование минимального изменения силы тока указывает на необходимость применения низких частот, отсутствия гармоник, предупреждения чрезмерно резких изменений силы тока при размыкании цепей, а также ограничения силы и продолжительности токов короткого замыкания.

Практические мероприятия по защите линий связи. В Америке, на первой крупной электрифицированной магистральной дороге с питанием однофазным током, совсем не было принято каких-либо мер к ослаблению электростатических и электромагнитных полей, обусловливаемых током, обтекающим ж.-д. электрические линии. При этом посторонние телефонные и телеграфные линии были вынесены за полосу отвода железной дороги. Были сделаны попытки сбалансировать электромагнитное поле путем прокладки параллельно телефонным и телеграфным проводам особого провода, обтекаемого током противоположного направления и индуктируемым в последовательно включенных в цепь трансформаторах. Другие обмотки трансформаторов были включены в цепь телефонной или телеграфной линии, вследствие чего в нейтрализующем проводе возникал ток обратного направления. Эксплоатация такого способа была непродолжительной, так как телеграфные и телефонные линии были вынесены на значительное расстояние от железной дороги. В подземном кабеле, удаленном на 600 *м* от железноддорожной линии, индуктировалось при нормальных условиях напряжение в 170 V при длине параллельного пробега линий—30 *км*. В воздушной линии длиной 2,5 *км*, удаленной на расстояние в 30 *м* от ж.-д. полотна, наведенное напряжение составляло 130 V. На другой линии с расстоянием 6 *км* от жел. дороги индуктированное напряжение равнялось 40 V

При проекте развития электрификации данной жел. дороги были проделаны расчеты, которые показали, что индуктируемые в некоторых телефонных и телеграфных сетях напряжения могут достигнуть 1000—1500 V. Подробное изучение вопроса взаимодействия сетей привело к системе трехпроводной распределительной сети, показанной на рис. 85. Такая конструкция имела троякое назначение. Во-первых, опыты показали, что значительная часть обратного тока не идет по рельсам, а проходит через землю. Применение повышенного напряжения по сравнению с прежним для распределительной системы создало таким образом лишнюю побудительную причину для канализации обратного тока в третьем проводе, а не в земле. Во-вторых, прокладка на высоте

НТБ ДПУКТ

существующего воздушного провода другого провода того же напряжения, но обратного знака, обусловливала уравновешивание электростатического эффекта. В-третьих, расположение обратного провода в близком соседстве с воздушным питательным проводом влекло создание электромагнитного поля, примерно равного по силе и противоположного по знаку полю рабочего воздушного провода, которое таким образом тоже уравновешивалось. Отсасывающий фидерный третий провод был взят для напряжения в 11 000 V по отношению к земле и 22 000 V к воздушному проводу. Путем особого включения в питательных точках величина напряжения между фидером и землей имела положительное значение в тот момент, когда напряжение между рабочим проводом и третьим проводом было отрицательным, и обратно. Часто расположенные автотрансформаторы имели целью связать фидер, землю и воздушный провод и создать путь для перехода обратного тока от рельс к фидеру. Таким образом обратный ток имеет возможность проходить через землю исключительно на участках между автотрансформаторами. Установка такого оборудования была произведена по соглашению между железнодорожной и телефонно-телеграфной кампаниями, причем $^1/_3$ дополнительных

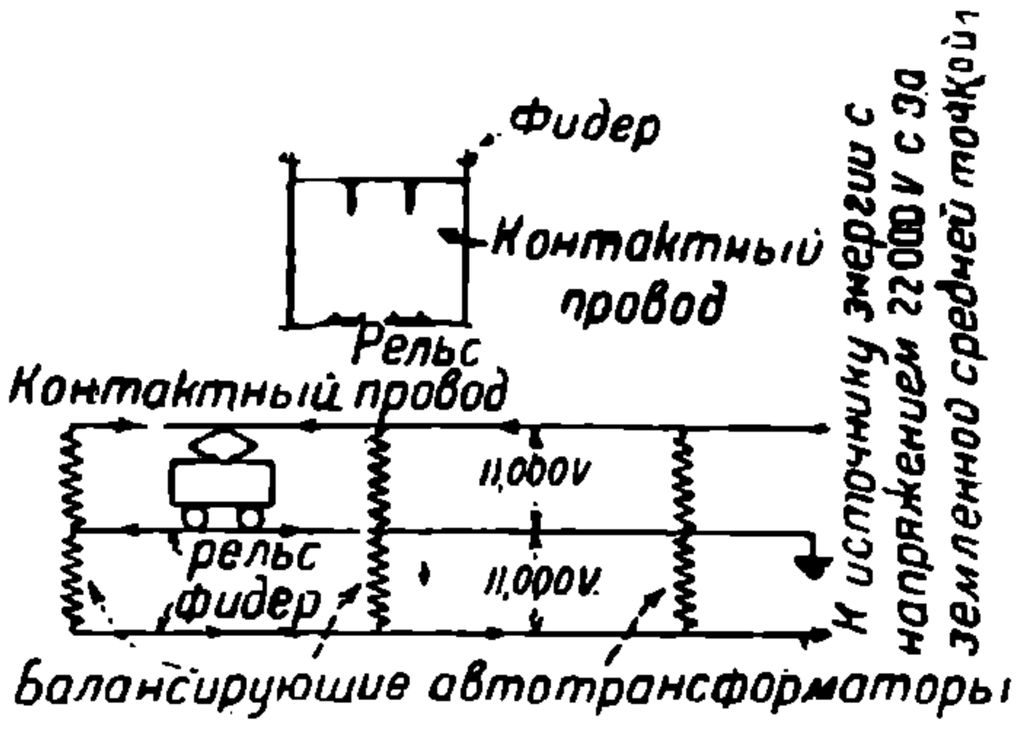


Рис. 85. Трехпроводная распределительная система.

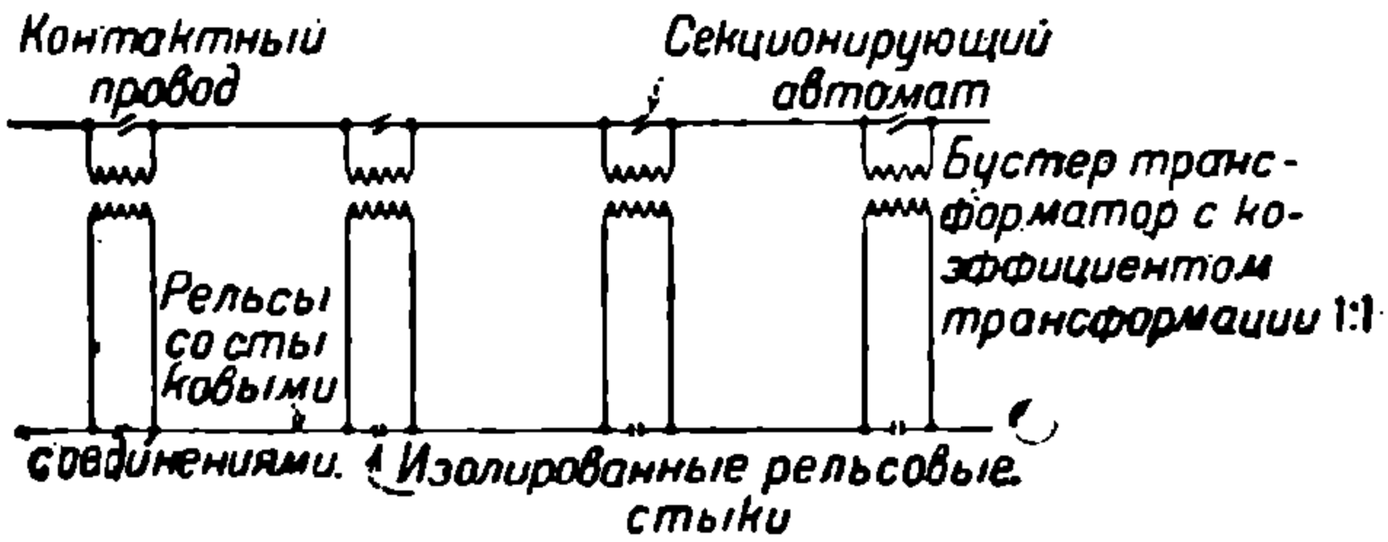


Рис. 86. Распределительная система с бустерными трансформаторами.

расходов, по сравнению с нормальным оборудованием распределительной сети, была покрыта телефонно-телеграфным о-вом. Одновременно железная дорога обязалась произвести за свой счет все другие необходимые мероприятия по защите телефонных и телеграфных сетей, могущие потребоваться при дальнейшем расширении железной дороги.

На практике описанное устройство оказалось удовлетворительным во всех отношениях. В линиях связи индуктировалось обычно напряжение лишь в 15 V и в наиболее неблагоприятных условиях—150 V. Эксплоатация собственных железнодорожных телефонных и телеграфных кабельных линий, лежащих не далее, чем в 6 *м* от электрических тяговых

НТБ ДГТУ

цепей, протекала при применении отсасывающих фидеров вполне удовлетворительно.

При эксплоатации одноколейной подъездной линии длиной в 13 *км* с одинарным воздушным проводом и рельсами в качестве обратных проводов имели место значительные осложнения. В местных телеграфных и телефонных линиях индуктировались напряжения порядка 500 V, а в магистральных линиях связи—1000 V. Изучение вопроса показало, что наихудшие условия для работы линий связи имеют место в моменты коротких замыканий, и что наиболее существенной частью любого устройства, понижающего индуктируемое напряжение, будет приспособление, ограничивающее силу и длительность токов короткого замыкания. Кроме того оказалось полезным канализировать максимально большую силу тока в рельсах или в особом обратном проводе. В конце концов было применено устройство, состоящее из реактора, установленного в питательном пункте, и быстродействующего выключателя. Качество стыковых рельсовых соединений было улучшено, и кроме того были установлены бустерные трансформаторы для рельсовой цепи, имевшие целью компенсацию падения напряжения в рельсах.

С точки зрения обеспечения интересов телефонной и телеграфной связи эти мероприятия оказались вполне достаточными. С точки же зрения самой железнодорожной кампании условия эксплоатации оказались не вполне удовлетворительными, в виду опасности, создаваемой высоким потенциалом в рельсах. В случае поломки рельсового соединителя или какого-либо другого дефекта, нарушающего нормальную электропроводимость, оказывалось возможным появление опасного падения напряжения между двумя концами рельс.

При электрификации другой подъездной, более позднего устройства, ветви длиной 37 *км* был проведен целый ряд мероприятий для координирования совместной работы электрических сетей ж.-д. тяги и связи. Трехпроводная система, успешно примененная на магистральной линии, была распространена и на подъездную ветвь. В пункте питания подъездной ветви от главной магистрали были установлены реакторы. Также были установлены специальный быстродействующий выключатель новой конструкции, выключающий цепь тока чрезмерной силы в течение времени одного периода и два автотрансформатора, соединяющие воздушный провод, землю и отсасывающие фидеры.

Посторонние телефонные линии были отведены от соседства с железной дорогой, и воздушные провода заменены кабелем. Провода собственной железнодорожной связи, пом щавшиеся в полосе отчуждения дороги, были сохранены воздушными, но в их цепь включены были отсасывающие дроссельные катушки. Нигде по всей длине подъезного пути воздушная линия собственной железнодорожной связи не отходила от первого далее, чем на 8 *м*, и при наличии вышеуказанной реконструкции работа линий связи протекала вполне исправно.

Вопрос совместной работы сетей электрической тяги и связи был также со всех сторон изучен на одной шведской линии. В виду особо высоких требований, предъявленных к качеству работы связи, при электрификации ж.-д. магистрали (15 периодов, 16 000 V) возникла серьезная проблема обеспечения нормальной эксплоатации воздушных телефонных и телеграфных линий, идущих параллельно железнодорожному пути. Предварительные опыты показали, что в обычных условиях в воз-

НТБ ДИИТ

душных линиях связи, находящихся на расстоянии в среднем 15 *м* от полотна, индуктировалось напряжение около 8 V на 100 A и на 1 *км* пути. Эти опыты показали, что лишь небольшая часть обратного тока проходит по рельсам и что подобное положение всеми мерами следует исправить. Необходимо было также компенсировать обнаруженное вредное влияние и электростатической индукции.

Для ослабления вредного влияния поля железнодорожной сети применены были мероприятия двух родов. Во-первых, были установлены бустерные трансформаторы, обмотки коих включались последовательно одна с рельсами, а другая с воздушным проводом. Эти трансформаторы ставились на расстоянии 1,3 *км* один от другого и давали достаточное напряжение в рельсовой цепи, чтобы заставить обратный ток проходить по последней. Отношение витков обмоток трансформаторов было 1 1.

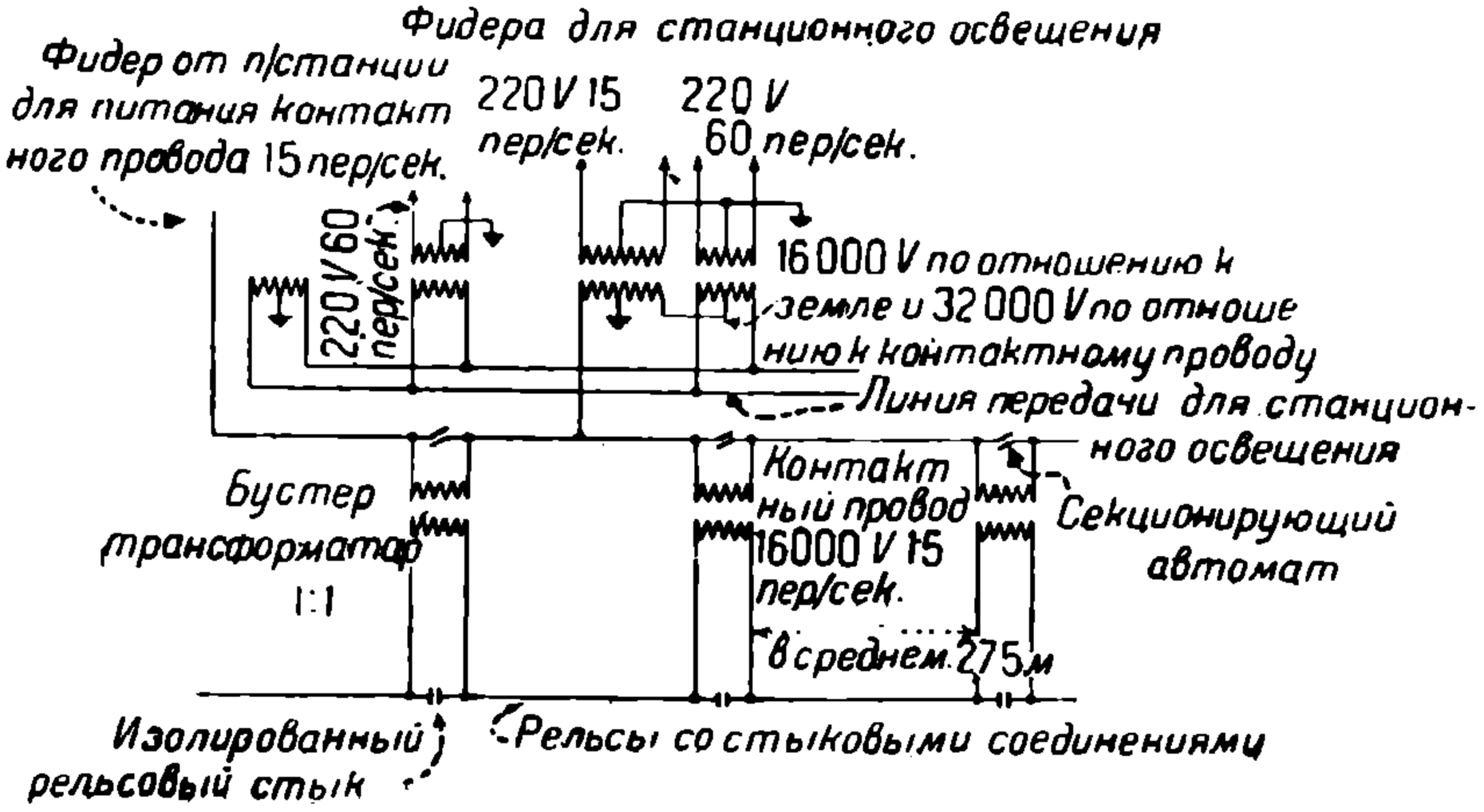


Рис. 87. Распределительная система с бустерными трансформаторами и компенсационным проводом.

На клеммах вторичной обмотки напряжение составляло 380 V при силе тока в 1 500 A в первичной обмотке. При нормальных условиях намагничивающий ток был невысок и равен 0,2% нормальной силы тока в трансформаторе. Рельсы были соединены стыковыми соединителями 50 *мм*². Во-вторых, с целью нейтрализации электростатического поля, была использована соседняя линия передачи энергии. Линия эта, напряжением 10 000 V при 60 периодах, была предназначена для передачи энергии для целей освещения станционных помещений жел. дороги. Средние точки обмоток высокого напряжения трансформаторов этой осветительной сети были соединены через автотрансформатор с 16 000 V 15-периодной железнодорожной тяговой линией в целях индуктирования в осветительной высоковольтной линии напряжения, обратного по знаку напряжению железнодорожной линии с потенциалом в 16 000 V по отношению к земле (рис. 87). Это напряжение, обратное по знаку и равное по величине напряжению в воздушном проводе железнодорожной линии, уравновешивало электростатическое поле последнего.

НТБ ДГУЖТ

Поскольку дело касалось работы линий связи, все описанное устройство оказалось вполне удовлетворительным. Напряжение, вызываемое электромагнитной индукцией, уменьшилось с 8 V на каждые 100 A и на 1 *км* (без применения бустерных трансформаторов) до $^1/_2$ V (с бустерными трансформаторами). Однако с точки зрения самой железной дороги применение бустерных трансформаторов имело свои отрицательные стороны. Для правильной работы бустертрансформаторного устройства необходимо известное падение напряжения вдоль рельсовой цепи для того, чтобы обратный ток шел по рельсам. При повреждениях стыковых соединений напряжение между двумя концами смежных рельсов может достигнуть опасных размеров для жизни обслуживающего персонала. Кроме того описанная система требует применения стыковых соединений, которые вообще необязательны с точки зрения одной электрической тяги. Надзор за изолированными рельсовыми соединениями представляет значительные затруднения. Эксплоатация осветительной линии бывает тоже иногда затруднительной по причине чрезмерной высоты потенциала, что имеет место при некоторых ненормальных условиях тяговой нагрузки.

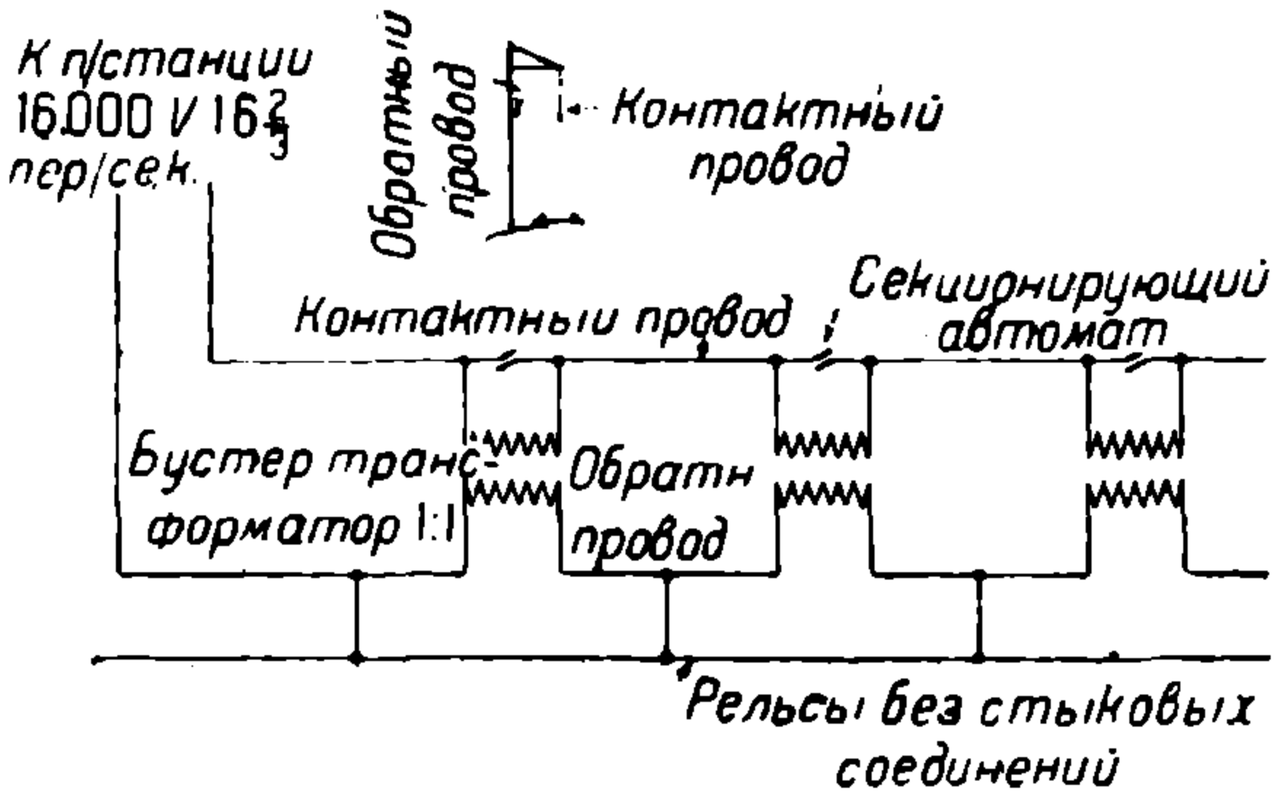


Рис. 88. Распределительная система с бустерными трансформаторами и обратным проводом.

При повреждении изолятора на одном проводе цепи напряжение другого провода увеличивается на 16 000 V благодаря соединению средней точки трансформатора с отрицательным проводом воздушной тяговой цепи.

При электрификации другой, более новой линии были применены иные меры. На тех же мачтах, что и воздушный рабочий провод, был расположен обратный провод, который обтекался током благодаря включению бустер-трансформаторов. Обмотки бустер-трансформаторов были соединены последовательно с рабочим и обратным проводами, но не с рельсами, в связи с чем удалось избежать неприятных явлений, связанных с предыдущим способом. Рельсовая цепь была присоединена к обратному проводу в средних точках между отдельными бустерными трансформаторами (рис. 88). Стыковые соединения совсем не были применены. Бустерные трансформаторы были рассчитаны на то, чтобы давать напряжение 570 V во вторичной обмотке при силе тока 2 200 A в первичной. Особенно трудно было добиться столь же удовлетворительной работы трансформаторов при коротких замыканиях, как и при работе в нормальных условиях. Опыты с различным местоположением обратного провода показали, что особенно важным является положение его в вертикальной плоскости, где оно должно соответствовать высоте воздушного провода, в горизонтальной же плоскости обратный провод должен быть по возможности ближе к рабочему.

НТБ ДИЖТ

Нижеследующая таблица указывает на эффективность такого устройства в смысле компенсации магнитных полей путем параллельного расположения рабочего и обратного проводов, имеющих противоположно направленные электромагнитные поля.

Индуктируемые напряжения в V на 100 A на 1 *км*

Тип телефонных или телеграфных проводов	Примерное расстояние (в *м*)	С бустером	Без бустера, но с обратным проводом	Без бустера и без обратного провода
Воздушная линия	1 300	нет	1,5	3,0
	900	0,10V	—	—
	400	нет	2,0	4,0
	1,5	0,15	—	7,5
	1,5	0,45	—	—
Кабельная линия	8 000	—	—	1,0
	6 000	0,02	—	—
	6 000	0,03	—	—

При электрификации данной линии все телеграфные и телефонные линии были каблированы, причем железнодорожные линии были уложены вдоль самого полотна, все прочие вдоль близлежащих шоссейных дорог. Железная дорога приняла на свой счет $^2/_3$ всех расходов по переноске телеграфных и телефонных линий.

В Швейцарии первые работы по электрификации правительственных железных дорог совсем не предусматривали каких-либо специальных приспособлений для ослабления электромагнитных полей, возникающих от протекания тока в тяговой сети. Однако при прохождении через длинный туннель пришлось из-за крайней близости линий тяги и связи на этом участке изолировать участок первой от всей остальной линии для того, чтобы различные ненормальные электрические явления, происходящие на других участках тяговой линии, не могли вызывать соответствующего электромагнитного действия на линии связи в пределах туннельного участка.

В более поздних устройствах были применены различные методы ослабления электромагнитных полей, вызываемых протеканием тока по тяговым проводам. Сначала применялись стыковые соединения и обратный провод с бустерами, включенными последовательно с последним. Комбинирование бустеров и обратного провода позволяло уменьшить действие электромагнитного поля на 94%. В случае применения одного только обратного провода индуктированное напряжение уменьшалось на 25%. В дальнейшем была применена трехпроводная распределительная система с автотрансформаторами через каждые 8 *км*. В определенный момент времени рельсовая цепь обладала нулевым потенциалом, рабочий провод имел положительный потенциал в 16 000 V, а третий провод—отрицательный потенциал в 15 000 V. Такое устройство давало возможность снизить величины индуктируемых напряжений на 96%. Неодинаковость этих величин объясняется неодинаковым характером нагрузки разных ж.-д. линий, что не дает возможности сделать точные сравнения для отдельных случаев. Железнодорожные линии связи были выполнены воздушным проводом со средним расстоянием от тяговых

НТБ ДГТУ

проводов в 7,5 *м*. Работа их протекала тоже вполне удовлетворительно, причем измерения величины индуктируемых напряжений дали значения порядка 0,2 V на 100 A на 1 *км* пути.

С дальнейшим развитием электрификации все попытки ослабления электромагнитного поля тяговых линий делались путем секционирования и изолирования друг от друга отдельных участков контактной сети, питаемых отдельными фидерами, а также путем ослабления силы и сферы действия индуктивного влияния. При электрификации жел. дорог все воздушные телефонные или телеграфные линии, имеющие длинные сближения с первыми, переделывались на кабельные. При этом собственные жел.-дорожные линии связи закапывались в землю в пределах отчуждения, а правительственные линии прокладывались вдоль соответствующих шоссейных дорог, в известном отдалении от электрифицированных участков жел. дорог. За счет электрификации относили $^2/_3$ расходов по переносу посторонних линий связи и 70% стоимости каблирования линий связи самой железной дороги. Эта цифра была уменьшена в дальнейшем до 50%. Остальная стоимость перевода жел.-дорожных линий связи относилась на счет усовершенствования средств связи.

В Германии, на более старых электрифицированных линиях, делались опыты применения бустер-трансформаторов в целях ослабления электромагнитного поля тяговых сетей. Вскоре однако убедились, что наиболее подходящим объектом для ослабления эффекта, производимого электромагнитным полем, является не сам источник возникновения этого поля, где приходится оперировать с токами большой силы, а то устройство, где токи индуктируются и имеют несравненно меньшие значения. В соответствии с этой точкой зрения все бремя расходов по защите линий связи от действия тяговых токов возлагается на телефонные и телеграфные общества.

Возникает также вопрос о желательности применения железной дорогой рельсовых стыковых соединений в целях ослабления электромагнитного поля. С точки зрения экономики и эффективности работы распределительной системы эти соединения не являются необходимыми, за исключением тех случаев, когда использование рельс в качестве проводников для сигнального тока делает применение этих соединителей обязательным. Поскольку дело идет об эффекте, производимом индукцией на линии связи, применение соединений снижает величину индуктированного напряжения лишь на 40%, что не оправдывает применения соединений. Устройство распределительной системы проектируется так, что различные участки линии питаются отдельными, сравнительно малого сечения, фидерами, так что токи короткого замыкания оказываются небольшими, чем и ограничивается величина электромагнитного поля даже при ненормальном режиме.

В Австрии были испытаны две различные системы тяговых цепей в целях выяснения влияния их индукционного действия на телеграфные и телефонные линии. На магистральной линии были применены только стыковые рельсовые соединения. На подъездной ветви была испытана система соединения обратного провода со столбами без применения рельсовых соединителей. Воздушные жел.-дорожные линии связи были заменены кабельными и оставлены в пределах полосы отчуждения. Оказалось, что индуктированные напряжения снизились вследствие

НТБ ДГУКТ

применения соединений на 30% и на 15% вследствие применения обратного провода. Заземление кабеля дало также снижение индуктированного напряжения на 25%, при этом абсолютная величина индуктированного напряжения в оболочке кабеля была порядка 7 *V* на 100 A и на 1 *км*.

На одной, более современной, американской электрифицированной линии первоначально применено было оборудование с бустерными трансформаторами с последовательным включением одной обмотки в рельсовую цепь, а другой—в цепь воздушного провода. Среднее расстояние между трансформаторами составляло на одном участке 2 *км*, а на другой около 1 *км*. Трансформаторы были рассчитаны на нормальную мощность в 100 kVA и допускали перегрузку в течение $2^1/_2$ минут до 400 kVA. Распределительная система не имела специальных приспособлений для ослабления электромагнитного поля тяговой сети.

В процессе эксплоатации оказалось возможным увеличить расстояния между траснформаторами, благодаря чему число их уменьшилось с первоначально установленных 24 штук до 14. При дальнейшем расширении электрификации данной дороги оказалось возможным совершенно отказаться от применения бустерных трансформаторов, так как эксплоатация системы в целом была вполне удовлетворительна и не нарушала работы посторонних линий связи.

При электрификации другой жел.-дорожной линии в САСШ пригородный участок был оборудован бустерными трансформаторами, последовательно включенными в рельсовую цепь. Трансформаторы эти были рассчитаны на продолжительную нагрузку в 80 kVA и допускали перегрузку в течение одной минуты до 600 kVA. Расстояние между трансформаторами составляло в среднем 1,5 *км*. При нормальных условиях эти бустерные трансформаторы снижали индуктируемое напряжение на 80%, при коротких же замыканиях пиковые значения наводимых напряжений оказались более высокими, чем при работе без трансформаторов. При коротких замыканиях магнитные цепи трансформаторов оказывались насыщенными, благодаря чему кривые тока сильно искажались. В результате изменения формы кривой первичные толчки силы тока были более резкими по сравнению с нормальной синусоидой, что и влекло за собой значительное увеличение индуктированного напряжения.

Из первоначального количества 34 установленных трансформаторов 29 были изъяты из употребления. При дальнейшем расширении электрификация не сопровождалась применением каких-либо предохранительных приспособлений, как в контактной цепи, так и фидерах в целях ослабления явлений электромагнитной индукции. Предусмотрены были лишь быстродействующие выключатели на фидерах, которые должны были ослабить эффект от повышения индуктируемых напряжений во время коротких замыканий. Этим достигалось уменьшение количества энергии, передаваемой линиям связи, из-за мгновенного характера явления короткого замыкания.

Две новые американские электрифицированные линии применили трехпроводную распределительную систему, как наиболее хорошо предохраняющую от явлений, связанных с электромагнитной индукцией. В одном случае напряжение между третьим проводом и рельсами вдвое выше напряжения между воздушным проводом и рельсами, в противоположность применявшемуся в более ранних устройствах одинаковому

НТБ ДПУКТ

напряжению в обоих случаях. Подобный вариант имеет преимущество в виде уменьшения расходов на медь и дает более эффективную работу распределительной системы. Однако величина силы тока в третьем проводе ниже половинной силы тока в воздушном проводе, вследствие чего электромагнитное поле последнего действием третьего провода не компенсируется. Схема подобного устройства показана на рис. 29. Подобная же трехпроводная распределительная система с видоизменением устройством высоковольтного фидера предположена еще для одной электрифицируемой линии, причем в этом случае также предположено применение быстродействующих выключателей.

Вопрос возможности уничтожения действия электромагнитного поля тяговых цепей на линии связи может быть резюмирован следующим образом: обратный ток следует канализировать в проводе, по возможности близко расположенном к рабочему проводу, с одновременным применением бустер-трансформаторов, включаемых в цепь рабочего и обратного проводов, или же автотрансформаторов, включаемых в трехпроводную распределительную систему. Электростатическое поле может быть нейтрализовано отрицательным по отношению к воздушному проводу потенциалом третьего провода, приключаемого к рельсовой и воздушной цепям через автотрансформатор. Бустерные трансформаторы должны быть сконструированы с учетом восприятия токов короткого замыкания без искажения формы кривой вторичной силы тока и должны быть приключены так, чтобы падение потенциала в рельсах не концентрировалось в одном пункте. Быстродействующие выключатели с успехом применяются для уменьшения величин индуктируемых напряжений в моменты коротких замыканий благодаря уменьшению общего количества передаваемой в этот момент энергии.

Применение ртутных выпрямителей явилось новым источником образования электрических полей, нарушающих нормальную работу линий связи. Этот метод выпрямления тока вызывает появление гармоник повышенной частоты в цепи выпрямленного тока и искажает форму кривой переменного тока в питающих цепях.

Изучение этой разновидности вредного влияния индукции показало с очевидностью, что наиболее простым способом уничтожения действия гармоник повышенной частоты будет поглощение этих гармоник непосредственно в источниках питания и преграждение им доступа в распределительную сеть. С этой целью на стороне постоянного тока выпрямителя устанавливается реактор с комплектом резонансных шунтов, имеющих назначение поглощать все вредные гармоники. Во всех случаях применения подобной схемы вредное действие цепей постоянного тока уменьшались до практически неощутимых пределов.

Применение быстродействующих выключателей в цепях постоянного тока обусловило возможность быстрого изменения величины силы тока в момент короткого, что тоже может вызвать весьма высокие напряжения в линиях связи. В целях предохранения от этого линий связи необходимо соблюдение некоторых пределов быстроты действия этих выключателей. Однако само уменьшение времени действия такого высокого напряжения в линиях связи уменьшает действенность этого вредного эффекта.

Влияние индукции тяговых сетей на линии связи весьма разнообразно и зависит от специфических условий эксплоатации и характера

НТБ ДГУЖТ

предъявляемых к работе линий связи требований. Действие индукции на телефонные линии выражается в чрезмерном шуме, мещающем ясной слышимости, перерыве разговоров из-за заземлений линий, происходящих при работе приборов, защищающих эти линии от перенапряжений, в ложных звонках, намагничивании катушек и порче их изоляции вплоть до сожжения, акустических толчках, общем шоке и пр. В телеграфных линиях прохождение в цепи посторонних токов мешает в известной степени обыкновенной передаче по системе Морзе и значительно сильнее нарушает ускоренное многократное телеграфирование.

В Америке вредные токи, циркулирующие в цепях связи, улавливаются специальными поглощающими катушками, отводящими ток от любого провода в землю. Было применено также секционирование линий связи помощью нескольких катушек, разделяющих линии на отдельные участки. Замена воздушной проводки кабельной также оказалась полезной. Применение особых проводников для телефонных звонков уменьшает число ложных вызовов. Хотя возможность перегораний и других электрических повреждений линии не исключена, сведений о такого рода случаях среди материалов, характеризующих работу линий связи, не имеется.

В Европе имели место аналогичные же осложнения; в борьбе с ними пользуются кроме описанных еще некоторыми и другими средствами. Применение кабелей вместо воздушных проводов распространено еще в большей степени, чем в Америке. В целях ослабления влияния электромагнитных полей на проводник был изучен вопрос максимального экранирующего использования брони. Были получены вполне удовлетворительные результаты от помещения проводника в железной трубе или от ограждения предохранительными металлическими листами. В кабельной линии связи, идущей параллельно однофазной тяговой линии 15 000 V со средним расстоянием между обеими линиями в 9 *м*, максимальное индуктированное напряжение в нормальных условиях было около 100 V при общей длине проводников в 40 *км*. В другом случае в линии связи, расположенной в полосе отчуждения железной дороги на длине около 100 *км*, максимальное индуктированное напряжение составляло 190 V. Как в первом, так и во втором случае жел. дорога не применяла стыковых рельсовых соединений. Никаких мер к нейтрализации электромагнитных полей также предпринято не было. В среднеевропейских странах среди телефонных и телеграфных обществ имеется тенденция бороться с нарушением правильной работы линии связи из-за действия на них электромагнитных полей собственными средствами, т. е. переносом линий на известное расстояние от железной дороги, а также их каблированием. В общем результаты этих мероприятий по-видимому удовлетворительны и качество работы линий связи весьма высоко.

Правовые нормы, регулирующие взаимоотношения между телефонными, телеграфными и железнодорожными о-вами. С проблемой координирования работы линий тяги и связи суды САСШ сталкиваются весьма часто. Первый случай имел место при электрификации одной линии однофазного тока в 1912 г. в связи с нарушением в результате этого интересов соседней железной дороги, выразившемся в расстройстве нормальной работы ее телефонных и телеграфных линий. Это дело было разрешено в пользу электрифицируемой железной дороги

НТБ ДИЭКТ

на том основании, что последняя использовала свои законные права в смысле развития транспортных возможностей и соблюла при этом все существующие технические усовершенствования, а потому и не ответственна за ущерб, не являющийся результатом злого умысла.

В следующий раз аналогичное столкновение произошло в 1926 г. между магистральной железнодорожной линией и телефонной компанией, требовавшей запрещения эксплоатировать на однофазном токе участок дороги, рядом с которым телефонные линии этой компании пролегали и имели длинный параллельный пробег с жел. дорогой. Телефонная компания стремилась добиться такого запрещения в судебном порядке, однако ходатайство было отклонено, и теперь дело ожидает разбора в новой инстанции. Представители телефонной компании пытались доказать, что железная дорога не сделала всего возможного для нейтрализования электромагнитных полей, возникающих вследствие эксплоатации электрифицированного участка, и что поэтому телефонная связь стала ненадежной и неудовлетворительной. Железная дорога, наоборот, доказывала, что ею применены все последние технические достижения в области электрической тяги, могущие уничтожить действие электромагнитных полей, однако в пределах, не нарушающих надежной и экономичной работы самой железной дороги.

В общем взаимоотношения железных дорог и телефонных компаний обычно остаются довольно дружелюбными. Общепризнанной является точка зрения, требующая налаживания работы сетей при условии минимальной величины расходов на производство технически необходимых удовлетворительных мероприятий и распределения этих расходов между заинтересованными сторонами поровну. Первая часть этого положения достаточно ясно сформулирована в инструкции, изданной Калифорнийской телефонной компанией:

«...принцип минимальной стоимости: если имеется два и более практических способа устранить или ослабить вредное влияние, должен быть принят способ, требующий минимальных расходов, независимо от того в устройствах которой из заинтересованных сторон потребует он переделок».

ЭЛЕКТРОЛИЗ

Предполагается, что обратный ток железнодорожной распределительной системы должен передаваться по рельсам, прикрепленным к шпалам, лежащим на железнодорожном балласте. Электропроводность креплений и шпал, а также электропроводность грунта, близлежащих труб, металлических предметов и кабелей создает другой, параллельный рельсам, путь для обратного тока. Распределение обратного тока между рельсами и прочими путями происходит согласно закону Кирхгофа о разветвленных цепях и зависит от величины сопротивлений этих цепей. Но неопределенность величин этих сопротивлений в данном случае не дает возможности предсказать характер распределения токов. Ток, протекающий через землю, производит электролитическое действие на поверхность кабелей, труб и прочих металлических проводников в тех местах, где он оставляет их. Электролитическое действие разрушает проводники, разъедая металл и служит причиной их повреждений. Действие электролиза может быть иллюстрировано следующим примером: при нормальных условиях током в 1 А в течение года разлагается

НТБ ДГУЖТ

9 *кг* железа и 35 *кг* свинца. При системе постоянного тока требуется тщательный анализ вопроса о прохождении обратного тока в целях предупреждения явлений электролиза, могущих вызвать значительный ущерб как для самой железной дороги, так и для посторонних лиц.

Способы уменьшения электролитического действия заключаются в увеличении переходного сопротивления от рельсов к земле, в уменьшении падения напряжения в рельсах, применении неподдающихся электролизу металлов для присоединений посторонних проводников, перерывов электропроводности оболочек кабеля и пр., или же в устройстве надежной изоляции рельса по отношению к земле. Первый способ требует укладки деревянных шпал на чистом, хорошо дренированном, щебеночном балласте. Уровень балласта должен лежать ниже уровня подошвы рельс. Сопротивление по отношению к земле такого устройства верхнего строения значительно больше сопротивления других типов, благодаря чему имеется увеличение сопротивления току, выходящему из рельсов.

Уменьшение падения напряжения в рельсах требует большого количества пунктов, питающих энергией распределительную систему, а также высокой электропроводности самих рельсов. С распространением автоматических подстанций во многих случаях стало выгодным иметь маломощные подстанции с небольшим расстоянием между ними, благодаря чему при небольшой длине рельсового участка, питаемого от расположенных таким образом подстанций, падение напряжения на его длине будет мало. Падение напряжения может быть также уменьшено увеличением электропроводности рельсовых путей параллельным присоединением к ним отрицательных отсасывающих фидеров, изолированных от земли так, чтобы утечка тока через посторонние проводники не могла иметь места.

Величина падения напряжения в рельсах служит мерилом для сравнения систем канализации обратного тока в смысле возможности предупреждения явлений электролиза. Различные обязательные постановления запрещают иметь падение напряжения больше, чем 3—12 V между любыми двумя точками в рельсовой цепи, или разность потенциалов, превышающую $^1/_2$—1 V на 1 *км* длины рельсов. Европейские правила в этом отношении еще строже, чем соответствующие нормы в САСШ.

В некоторых случаях бывает желательно избежать падения напряжения между рельсами и другими посторонними проводниками (трубами и т. д.). В этом случае ток заставляют течь непосредственно по соединительному проводнику вместо земли, с чем связано явление электролиза. Подобное непосредственное соединение следует выполнять с осторожностью так, чтобы оно не отводило тока чрезмерной силы и чтобы утечка тока из дополнительного проводника в каком-либо другом пункте не имела места, так как последняя может вызвать еще более сильные явления электролиза.

В противоположность подобному устройству посторонние кабели могут делаться также совершенно не электропроводными путем применения изолирующих соединений—вставок в броню, препятствующих прохождению тока непрерывно вдоль кабеля. Однако и здесь, подобно предыдущему случаю, необходима известная осторожность, чтобы не произошло где-либо усиления явлений электролиза по сравнению с

НТБ ДГУЖТ

обыкновенным кабелем без изоляционных соединений. Подобное явление возможно, так как из-за добавления изоляции ток может обойти эти места через землю и создать в некоторых случаях лишние пункты возникновения электролитических явлений.

В связи с этим стремлением воспрепятствовать явлениям электролиза в Берлине на новой электрифицируемой линии, на участках с более сильным движением, была применена трехпроводная распределительная система, имевшая целью сбалансировать силы утекающих из рельсов токов и с целью заставить следовать весь обратный ток по изолированной цепи третьего рельса (рис. 89).

Практика явлений электролиза в различных электрифицированных на постоянном токе городских районах доказала необходимость иметь инженера- специалиста по электролизу со специальным штатом для беспрестанного надзора за напряжением и силой тока, протекающего по земле и по посторонним проводникам. Подобный надзор делается особо сложным в районах, где имеется большое количество трамвайных и быстроходных транзитных линий, а также много металлических сооружений.

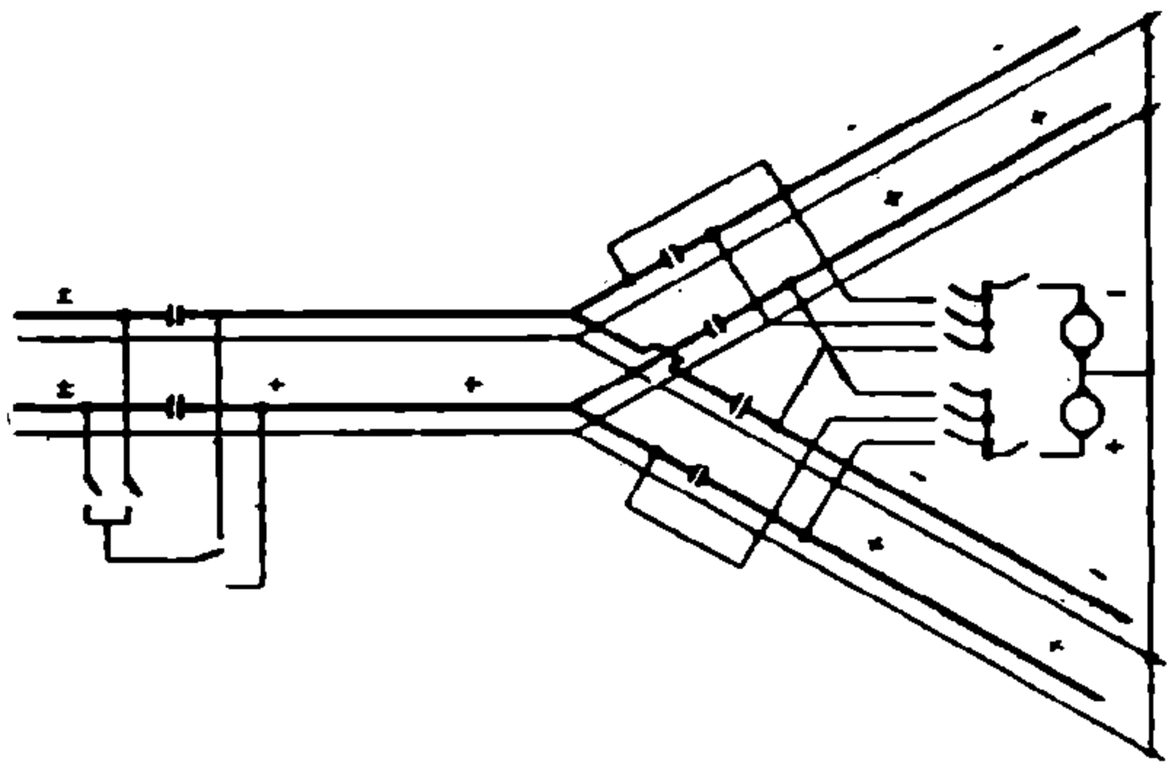


Рис. 89. Схема питания при трехпроводной распределительной системе.

——— ходовой рельс

——— третий рельс

Часто требуется изменение первоначальной системы в целях улучшения условий работы ее, что может быть достигнуто лишь дополнительными отсасывающими фидерами, поперечными соединениями, а иногда даже дополнительными подстанциями. Стоимость подобных предохранительных мероприятий относится за счет погашения убытков от явлений электролиза (равно как и фактические убытки, причиняемые им). Ущерб, производимый разъеданием металлов, обычно не испытывается самой железной дорогой, так как она не имеет большого числа проводников и подземных сооружений. В случаях же, когда железнодорожные телефонные или фидерные кабели расположены под землей, убытки естественно ложатся на саму дорогу. Так как такие проводники укладываются обычно параллельно рельсовым цепям и на близком расстоянии от них, необходимо особое внимание к явлениям электролиза во избежание нежелательных последствий его действия.

Определить заранее размеры возможных убытков от электролиза, а также стоимость предупредительных мероприятий в каждом отдельном случае, весьма трудно. Расходы на отсасывающие фидеры, поперечные соединения и прочее являются вполне определенной величиной, однако нельзя определить, какую часть расходов на дополнительные устройства и подстанции следует отнести за счет расходов на борьбу с электролизом, а какую часть на улучшение распределения напряжения в сети.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА XI

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЯГИ

В железнодорожной службе работа тяговой машины заключается в перевозке пассажиров и грузов. Разумеется, желательно иметь такую тяговую машину, которая выполняла бы эту работу при минимуме эксплоатационных расходов и первоначальных затрат. Найти мерило для сравнительного изучения экономичности различного рода тяговых машин весьма не легко, так как вопрос этот зависит от ряда переменных факторов, и подход к нему может быть самым различным. Для учета выполняемой транспортом работы эффективность грузового движения можно выражать в тонно-километрах, а пассажирского—в пассажиро-километрах. С общеэксплоатационной точки зрения для оценки производительности работы поездных и путевых бригад работу транспорта иногда удобно выражать в тонно-километрах на поездо-час или пассажиро-километрах на поездо-час. Применение этих основных показателей для характеристики чисто тяговых свойств машин малоцелесообразно, так как эффективность работы локомотивов сильно зависит от ряда посторонних факторов. Наиболее существенными являются: степень использования грузоподъемности товарных и вместимости пассажирских вагонов, зависимость сопротивления движению от уклонов и радиусов кривых пути, различие применяемых типов букс и подшипников, наконец разнообразие применяемых методов эксплоатации. Чтобы при сравнительной характеристике тяговых средств избегнуть по возможности влияния всех этих факторов и получить зависимость между произведенной работой по перемещению груза и свойствами данной тяговой единицы, производящей эту работу, целесообразно будет пользоваться такой единицей, как тяговое усилие в килограммах на километр в час. Эту величину, в соответствии с ее размерностью, можно рассматривать как мощность. Это будет так называемая мощность в л. с. на крюке. Такая единица дает основание для сравнительного исследования как эксплоатационных вопросов, где измерителем являются тонно-километры на поездо или локомотиво-час, так и для тяговых, где работа движущей силы выражается как функция силы тяги и скорости. В то же время эта единица измерений позволяет избежать влияния меняющихся и независимых от качеств применяемого тягового средства факторов, как например неодинаковость нагрузки локомотива, особенностей профиля пути, специфических эксплоатационных условий и т. д.

Сопротивления движению поезда. Общее устройство и тип любого локомотива могут быть установлены в результате изучения тяговых характеристик профиля и трассы пути и связанных с этим отдельных элементов тяговой единицы, конструирование которой направлено к тому, чтобы получить наиболее эффективную и дешевую машину для требуемых условий эксплоатации. При определении ра-

НТБ ДГУЖТ

боты, выполняемой тяговой единицей, комбинированные характеристики последней и профиля пути приводятся к сопротивлению движению поездов. Величина этого сопротивления составляется из ряда слагаемых, а именно: сопротивления от кривых, принимаемого в 0,36 *кг* на 1 *т* и на градус кривой пути, сопротивления от подъемов, составляющего 1 *кг* на 1 *т* на каждую тысячную подъема, а также трения в подшипниках, сопротивления качению, сопротивления ветра и пр. Эти величины меняются в зависимости от скорости движения, длины поезда, типов вагонов, состояния рельсового пути и условий погоды. Во время трогания поезда теоретически требуется тяговое усилие в 28,3 *кг* для увеличения скорости движения 1 *т* веса поезда на 1 *км* в час в течение 1 секунды. Учитывая инерцию вращающихся частей, это значение обычно принимают в 30 *кг*. При трогании с места необходимо учитывать сверх перечисленных еще и дополнительные сопротивления, с трудом поддающиеся точному определению, так как они зависят от увеличения коэфициента трения в состоянии покоя.

Сумма всех этих сопротивлений определяет величину потребной силы тяги локомотива. Эта величина может быть несколько изменена применением подшипников с меньшим трением, а также улучшением состояния пути, влияющем на сопротивление качения. Она зависит также от изменения скоростей движения и ускорений и должна быть такой, чтобы расход энергии и мощность тяговой единицы были минимальными.

Тяговые характеристики. Различные типы тяговых единиц имеют свои специфические характеристики, которые должны быть согласованы с сопротивлением движению поезда. Эти характеристики должны быть достаточно гибкими для того, чтобы удовлетворить требованию наиболее экономичного использования тяговых единиц. Так например в паровозе мощность ограничивается объемом его цилиндров, производительностью котла, топки и степенью использования сцепного веса. В пределах этих факторов характеристика паровоза может быть изменена регулированием отсечки, открытием регулятора и действием бустера или компаундированием машины.

В электрическом локомотиве эти ограничения зависят от моторов, передаточного механизма и сцепного веса. В пределах этих условий характеристика электровоза может быть в известной степени изменена регулировкой подводимого напряжения и величины поля возбуждения моторов.

Различаются две основных группы характеристик электровозов, зависящие от того, будут ли на последних иметься моторы сериесного типа переменного или постоянного тока или же индукционные (асинхронные) двигатели переменного тока. У моторов последовательного возбуждения ограничение силы тяги обусловливается допустимым нагреванием обмоток, а также щеток и коллектора. Эти пределы нагревания для коротких промежутков времени будут, разумеется, значительно больше, чем для продолжительных. Пределы перегрузок могут быть весьма высоки, так как для повышения температуры до опасных величин всегда требуется известное время благодаря поглощению тепла массой самого мотора. У коллекторных моторов переменного тока степень перегрузки ограничивается в известных пределах также и условиями коммутации. В связи с большим сопротивлением поезда при трогании с места возможность кратковремен-

НТБ ДИИТ

ной перегрузки моторов является крайне блогоприятным фактором, так как благодаря этому не приходится строить моторов повышенной мощности, которая была бы полностью использована лишь при трогании с места.

После того как скорость увеличилась, эту повышенную силу тяги не представляется возможным поддерживать из-за увеличения противоэлектродвижущей силы мотора. Что касается регулирования скорости и силы тяги путем изменения поля, то эти возможности ограничиваются условиями коммутации.

Регулировка работы моторов с сериесной характеристикой при переменном токе достигается при помощи изменения напряжения посредством включения различного числа витков трансформатора. Аналогичная регулировка напряжения возможна и при моторах постоянного тока в случаях установки мотор-генераторного агрегата. В системах постоянного тока, в их чистом виде, число экономически целесообразных ступеней скорости ограничено количеством возможных комбинаций включения моторов: последовательного, параллельно-последовательного и параллельного, а также устройством индукторов, допускающих ряд ступеней ослабления поля. Обычно таким путем достигается от шести до девяти ездовых положений.

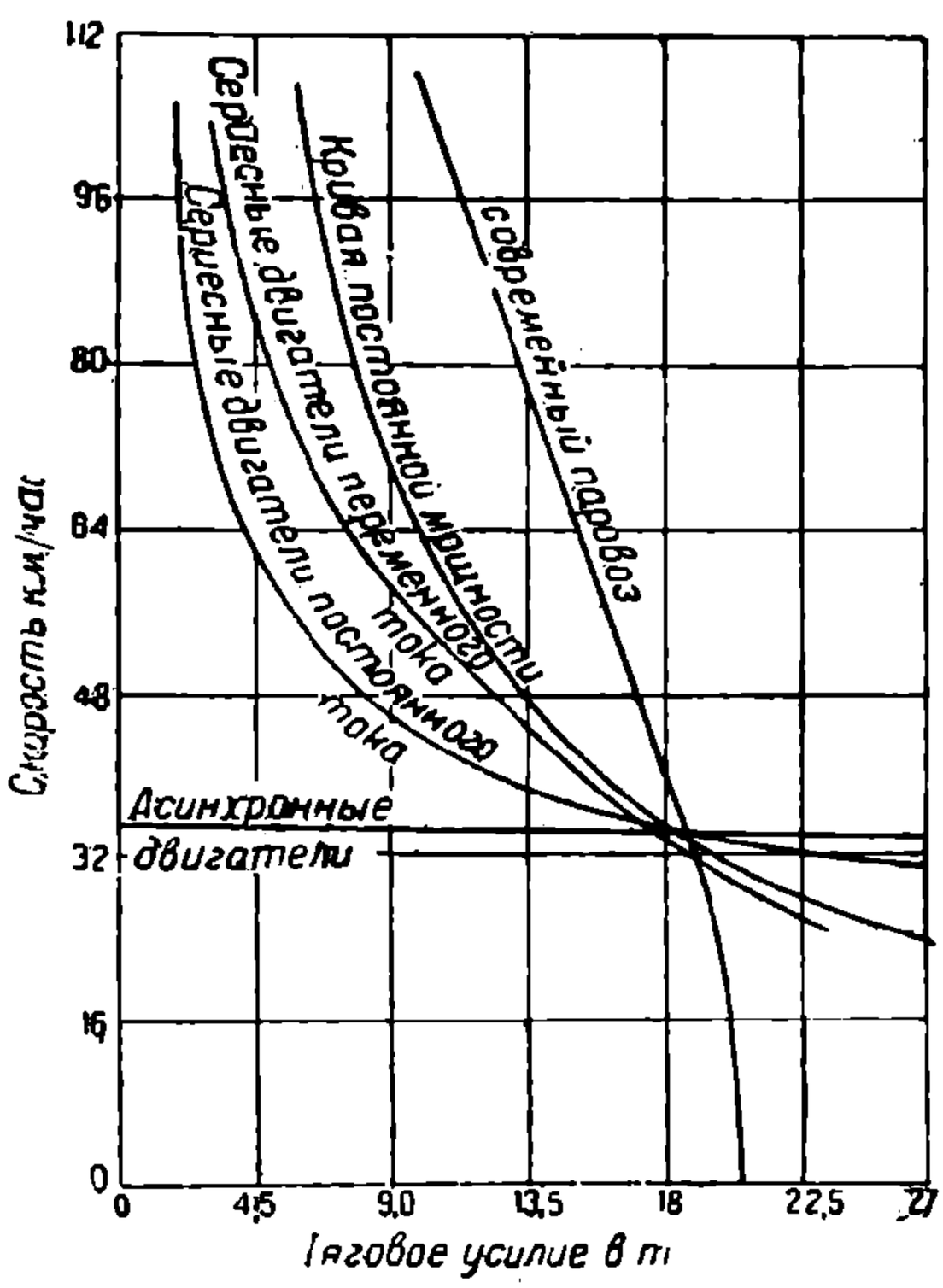


Рис. 90. Характеристики различных типов локомотивов.

Возможность перегрузки асинхронных моторов также ограничивается величиной допускаемого перегрева. В эксплоатации характеристики асинхронных моторов представляются недостаточно гибкими, так как не дают возможности получения промежуточных значений скорости в ходовых положениях. Однако все же путем различных комбинаций соединения моторов и переключением числа полюсов возможно получить от 4 до 6 ездовых ступеней скорости. Для периода разгона характеристика асинхронного мотора является весьма благоприятной, так как сила тяги в этот момент легко регулируется включением сопротивления, поддерживающего максимальную допускаемую силу тока в цепи ротора. Кроме того весьма ценным является отсутствие всех коммутационных явлений, свойственных моторам постоянного тока. Рис. 90 показывает типичные характеристики различных систем тяговых двигателей.

Потребная мощность. Характерным отличием любого вида электрической тяговой единицы, будь то электровоз или моторный вагон,—

ДЕПО

от паровоза является их неавтономность в силу получения электроэнергии от центрального источника питания. Получение энергии от центрального источника делает условия эксплоатации при электрической тяге совершенно отличными от паровой, где приходится считаться лишь с характеристикой паровоза и поезда.

Для работы электрической дороги необходимая мощность центральной станции должна быть такова, чтобы она могла покрывать потребность всех электровозов, находящихся в действии при наиболее тяжелых условиях их работы. Исходя из желательности уменьшить величину капиталовложений в электроцентраль или же избежать высоких тарифов на покупную энергию, необходимо по возможности снизить максимальное суммарное (пиковое) потребление до некоторого среднего значения, потребного в течение известного периода времени. Поскольку макси-

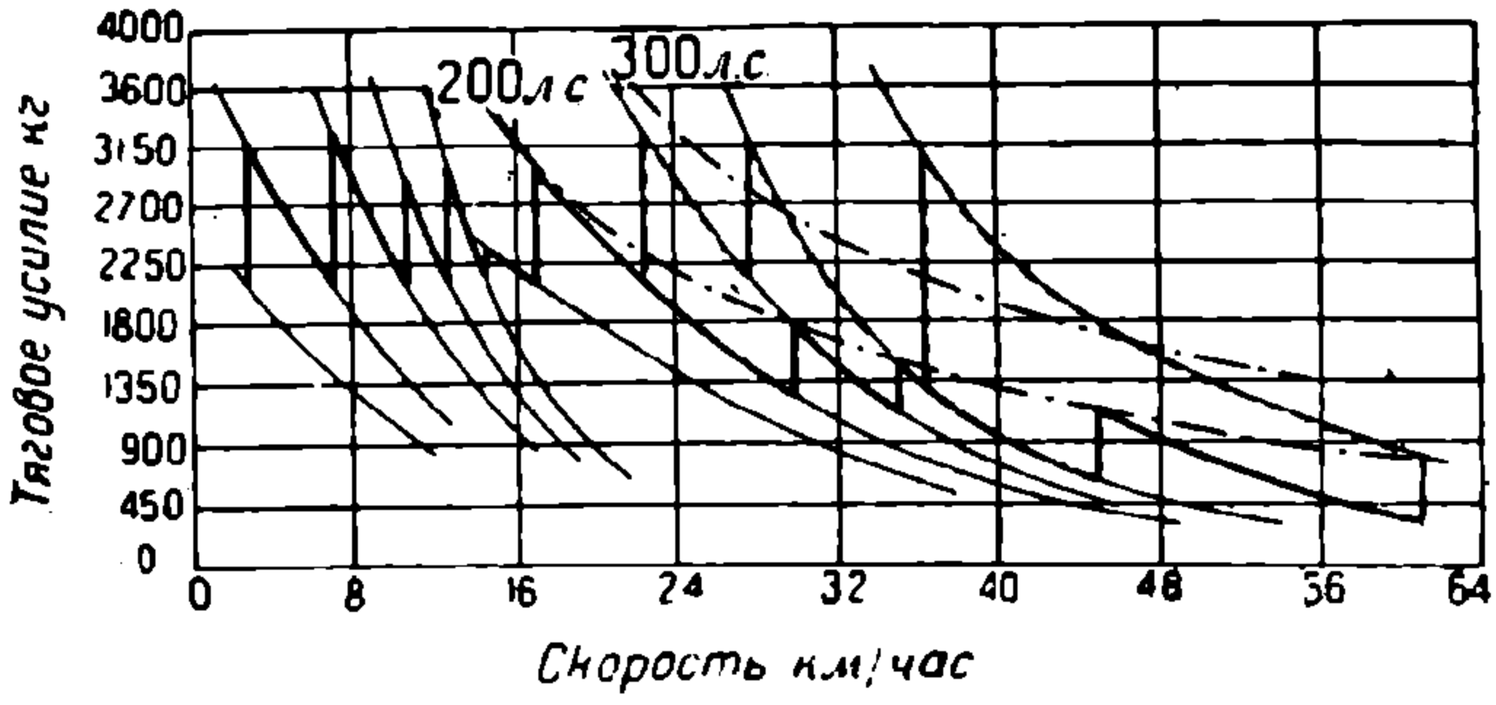


Рис. 91. Диаграммы ускорений моторвагонных поездов.

——— Характеристики для различных ступеней контроллера.

▬▬▬ Пусковые характеристики для трогания при постоянной мощности

–·–·– Кривые постоянной мощности для 200 и 300 л. с.

– – – Пусковые характеристики для трогания при постоянной силе тока.

мальная потребная мощность складывается из мощностей, потребляемых отдельными тяговыми единицами, уменьшение суммарной потребности возможно лишь путем ограничения отдельных потребителей в пределах, близких к их средней мощности. Таким образом желательно, чтобы при работе электровозов или моторных вагонов мощность потребляемой энергии колебалась в достаточно узких пределах.

В условиях практики максимальный расход энергии отдельными тяговыми единицами имеет место в тех случаях, когда поддерживается большая сила тяги при высоких скоростях движения, вызывающая значительную потребную мощность. Эти условия имеют место в последующие после трогания с места моменты, когда ускорение имеет максимально возможную величину, в соответствии с полной располагаемой величиной тягового усилия. Ограничение силы тока именно в этот период трогания поезда весьма значительно уменьшает величину мощности потребляемой энергии в том случае, если система управления не связана со слишком большими потерями, как это имеет место при управлении посредством реостатов в постоянном токе. В системах переменного тока с регулирующим трансформатором или мотор-генератором уменьшение расходования потребляемой энергии возможно регулировкой напряже-

НТБ ДГУЖТ

ния и распределения ступеней ускорений в последующие после трогания с места моменты с расчетом постоянства расходуемой мощности, а не силы тока (рис. 91).

Другой причиной пиков потребляемой энергии является прохождение подъемов на больших скоростях. Сопротивление движению поезда возрастает на подъемах очень сильно; вследствие этого при движении поезда в гору с неизменной скоростью расходуемая мощность соответственно возрастает. Располагая возможностью получения достаточного числа ездовых ступеней—как это имеет место например при регулирова-

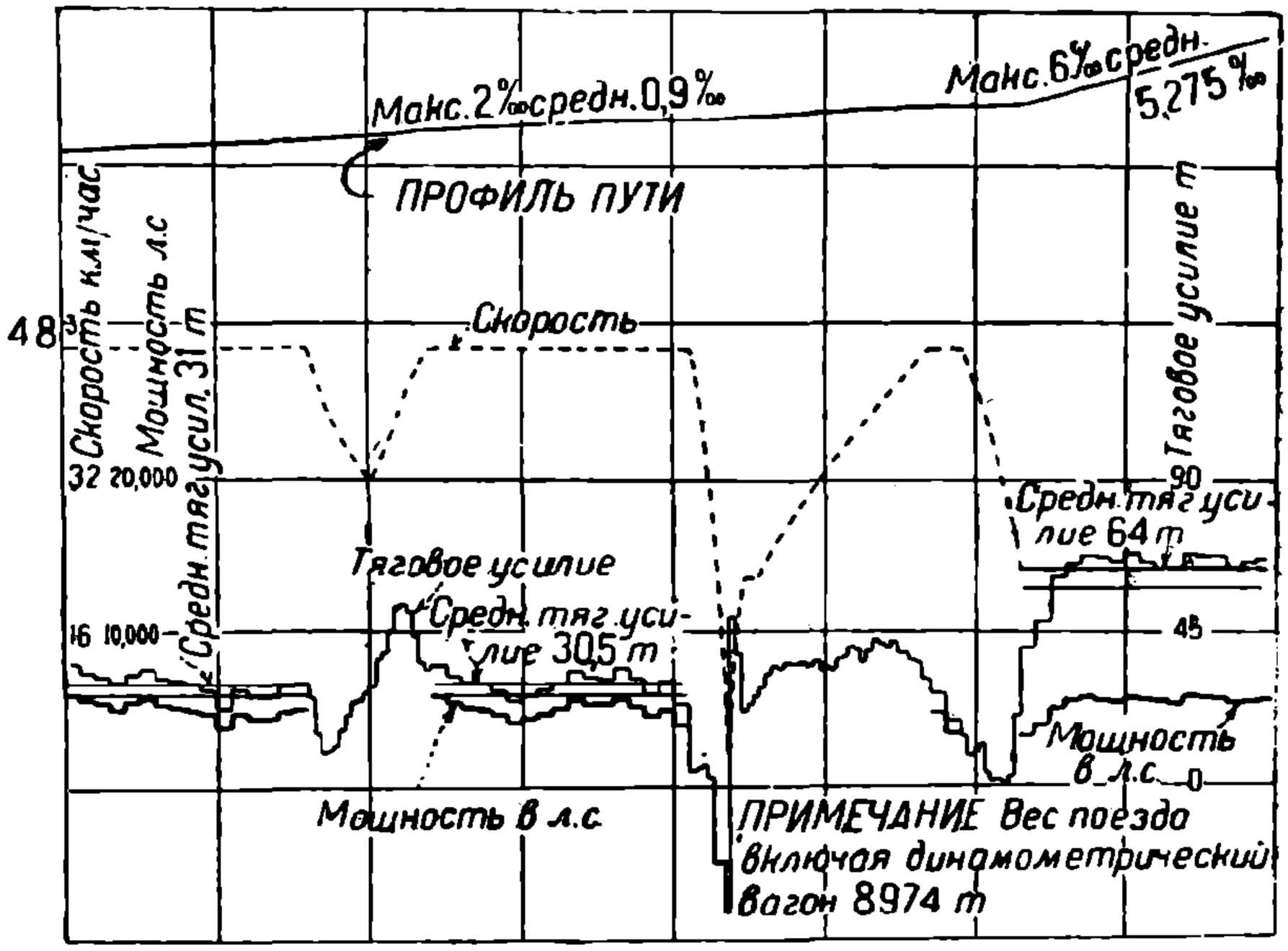


Рис. 92. Зависимость между скоростью движения и расходуемой энергией на подъемах.

нии посредством трансформатора или мотор-генератора—возможно поддерживать величину расходуемой мощности близко к постоянной величине, пользуясь для этого различными скоростями, в зависимости от величины груза и подъемов. Рис. 92 дает ряд кривых, полученных опытным путем, при движении поезда по короткому участку с крутым подъемом как на больших, так и на малых скоростях.

Суммарная мощность электрической энергии, потребная для движения всех поездов на данной линии, является важным фактором, влияющим на высоту тарифов. Стремление снизить максимумы потребления энергии заставляет прибегать к всевозможным мероприятиям по увеличению коэфициента полезного действия тяговых двигателей, не требующим чрезмерных первоначальных затрат, но дающим возможность поддерживать в определенных границах уровень суммарной потребной мощности. Для моторов последовательного возбуждения коэфициент полезного действия при постоянном токе несколько выше, чем при переменном. Тип привода от двигателей к ведущим колесам также имеет влия-

НТБ ДГУЖТ

ние на коэфициент полезного действия; в некоторых случаях потери в передаче достигают довольно значительных величин. Еще большую роль играют потери в контроллерах. При моторах переменного тока последовательного возбуждения, питаемых непосредственно от трансформаторов, эти потери при трогании с места невелики по сравнению с моторами других типов. Что же касается моторов постоянного тока, число оборотов которых регулируется посредством реостата, то при них наоборот эти потери в момент пуска максимальны. В дальнейшем, с увеличением скорости движения поезда, они падают до нуля. При управлении посредством мотор-генератора потери на вращение умформерного агрегата имеются постоянно, даже в те моменты, когда электровоз не развивает никакой силы тяги.

При маневровой работе, где локомотив, не развивая значительной мощности, исключительно занят трогапием с места вагонов и составов, самым удобным с точки зрения экономического расходования энергии будет электровоз с моторами переменного тока и пуском посредством трансформатора. Потребная мощность энергии при этом может быть соответствующим образом ограничена, потери же в периоды ускорения движения будут минимальны, что имеет именно для этого случая особое значение. При мотор-генераторном управлении, в период стоянки, мотор-генератор работает безостановочно и потери энергии на его холостой ход могут достигнуть 50% от количества энергии, расходуемой на тягу, так как простои маневровых единиц по продолжительности превышают их полезную работу.

При эксплоатации поездов, состоящих из сочлененных единиц (прицепных и моторных вагонов), максимальное потребление энергии имеет место в период трогания, так как в пригородном движении, где обычно применяются такого рода поезда, величины ускорения берутся сравнительно большими. Поскольку управление с помощью трансформаторов не увеличивает потерь энергии, потребляемой моторами в период ускорения, величины пиковых нагрузок в сети при таком способе управления будут значительно ниже, чем при управлении с помощью реостатов. В целях сокращения мощности потребляемой энергии может быть применен и другой, упоминавшийся выше, метод регулирования работы моторов, заключающийся в уменьшении величины ускорения поезда. Зимой к тяговой нагрузке прибавляется значительная нагрузка для электрического отопления вагонов. Однако эту отопительную нагрузку можно в периоды трогания поезда выключать с помощью специальных реле. Эти реле могут значительно снизить пики нагрузки. Особенно существенны потери в период ускорения для пригородных мотор-вагонных поездов, где благодаря специфическим особенностям движения (частые остановки) такие потери составляют значительную долю всей потребляемой энергии. Таким образом с точки зрения расходования энергии управление с помощью трансформаторов имеет решительные преимущества перед реостатным.

При электровозах, обслуживающих магистральные линии, периоды ускорения по отношению к времени нормального движения весьма непродолжительны и поэтому расходование энергии в эти периоды не оказывает особого влияния на величину максимальной нагрузки сети. В силу этого выбор способа регулирования работы мотора не является вопросом особенной важности. Что касается гибкости самого управления,

НТБ ДИИЖТ

то оно весьма существенно, так как лишь изменением скорости вращения моторов достигается регулирование потребления энергии на подъемах, при тяжелых составах поездов и т. д. Трансформаторное управление, благодаря удобству регулирования напряжения, может дать эту гибкость наиболее простым путем. При мотор-генераторном управлении изменение напряжения дает требуемые результаты еще лучше, но требует дополнительного оборудования, обусловливающего и добавочные потери энергии. При обыкновенном реостатном управлении, основанном на различных способах соединений моторов с помощью контроллера, и изменении поля возможность регулирования мощности потребляемой энергии ограничена.

На участках с крутыми уклонами является весьма интересным вопрос рекуперации энергии, влияющий на соотношение между количеством потребляемой и получаемой в сеть энергии. Количество рекуперированной энергии необходимо принимать в расчет по отношению к доставляемой, но не потребляемой на данном участке энергии. Дело в том, что хотя бы энергия и рекуперировалась, но при отсутствии движения поездов, могущих эту энергию использовать[1], никакой экономии не получится. Точно так же рекуперация не даст снижения пиковых нагрузок, если эта рекуперация не будет иметь места в моменты максимального потребления энергии. Таким образом весьма трудно или даже совершенно невозможно на каком-либо отдельном участке учесть действительный расход энергии и уменьшение суммарной потребной мощности благодаря рекуперации.

Мы можем измерить расход энергии электровозами и количество ее, вырабатываемое подстанциями, но какая доля разности этих величин должна быть отнесена на потери в распределительной сети и какая возмещается рекуперацией установить невозможно.

Мощность тяговых единиц. В начале этой главы были указаны единицы измерения, наиболее удобным образом связывающие работу электровоза в отношении тягового усилия и скорости с затрачиваемой двигателем мощностью. Эти показатели могут служить основой для определения необходимой мощности двигателя в том случае, если будет принята во внимание действительная зависимость между свойствами электровоза и его способностью экономично производить транспортную работу. Поскольку дело касается самого двигателя, скорость и сила тяги определяют его работоспособность в тонно-километрах в час. Другие привходящие элементы, как например уклоны пути, влияют на количество производимой двигателем работы и на тип его конструкции, мощность же двигателя, как таковая, остается неизменной. Величина тягового усилия, зависящая от мощности электровоза, является также функцией максимальной допускаемой силы тока, передаточного числа между мотором и ведущими осями, а также диаметра колес. Для каждого данного электровоза эта величина будет постоянной для различных ступеней скорости, поскольку она определяется силой тока. Скорость электровоза, обуславливаемая его мощностью, зависит также от ограничений напряжения и коммутации, принятых для электромоторов, от свойств пути,

[1] Для наших условий это неверно, так как наши тяговые подстанции во всех случаях связаны с высоковольтными линиями электропередач, куда и отдается рекуперированная энергия в случае отсутствия движения поездов, могущих эту энергию использовать (см. также стр. 245). Прим. ред.

НТБ ДПУКТ

передаточного числа и размеров ведущих колес. Последние два фактора влияют на скорость как-раз в обратном смысле по сравнению с их влиянием на величину тягового усилия.

В том случае, когда электровоз развивает максимальную скорость единовременно с максимумом тягового усилия, его отдача в тонно-километрах в час будет также наибольшей. Эта отдача может быть выражена в лошадиных силах на основе известной формулы: тяговое усилие, умноженное на скорость и на постоянную величину, равняется мощности в лошадиных силах. Способность электровоза экономично производить транспортную работу или давать определенное количество тонно-километров в час может быть выражена таким образом его мощностью в л. с.

Величины сцепного веса и тягового усилия при трогании с места характеризуют тяговую единицу с точки зрения возможности продвижения на данном участке пути поезда того или иного максимального веса. Это свойство само по себе, поскольку дело касается самого электровоза, еще не определяет его производительности как транспортной единицы, что явствует из следующих примеров: 500-тонный электровоз, снабженный двигателем в 500 л. с., при наличии ведущих колес малого диаметра и большом передаточном числе может вести поезд весом в 4 000 *т*. Однако при этом скорость движения будет весьма низка—8 *км* в час. Транспортная производительность электровоза составит 32 000 *т км*/час. Другой же локомотив с двигателем той же мощности, но весящий всего лишь 100 *т*, будет иметь тяговое усилие в 5 раз меньше и сможет вести поезд весом всего лишь в 800 *т*. Однако благодаря тому, что мощность обеих тяговых единиц в л. с. будет одинаковой, скорость второй будет примерно в 5 раз выше и составит 40 *км* в час. Производительность во втором случае составит $800 \times 40 = 32\,000$ *т км* в час, т. е. ту же самую величину, что и для первого, в 5 раз более тяжелого, электровоза. Благодаря наличию других факторов как, например, того или иного профиля пути или ограниченных скоростей движения, имеется ряд требований и с той и с другой стороны, что обусловливает различные величины сцепного веса и пр. Тем не менее транспортная производительность тяговой единицы является функцией ее мощности в л. с., величина же тягового усилия или веса электровоза влияет лишь на величины скоростей движения и допускаемого веса поезда.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА XII

СЪЁМ ТОКА С КОНТАКТНОГО ПРОВОДА

Возможны два случая передачи тока от одного проводника к другому. Первый случай имеется, когда проводники неподвижны один относительно другого. Для надежной передачи тока их спаивают, сваривают или же образуют поверхностный контакт путем прижатия проводников друг к другу. Во втором случае проводники подвижны один относительно другого. Здесь приходится пользоваться иными методами передачи тока, а именно: различного рода щетками, содержащими в той или иной форме уголь, башмаками для контакта с третьим рельсом, колесами для контакта с ходовыми рельсами и, наконец пантографом, или троллеем или бугелем.

Общие положения. Целый ряд факторов обусловливает процесс передачи тока между проводниками, находящимися в движении относительно друг друга. Важнейшими являются электропроводность коштакта и износ контактных проводников при передаче тока. Электропроводность контакта является функцией величины давления, имеющегося между соприкасающимися проводниками, состояния соприкасающихся поверхностей и электропроводности обоих соприкасающихся проводников. Износ представляется зависящим от тех же факторов, что и электропроводность и кроме того от температуры, развивающейся при контакте.

До сего времени сделано весьма мало для изучения в условиях практики явлений электропроводности и износа контактных проводников при применении для них различных металлов.

Материалы. В обычной практике токоснимающие приспособления делаются из алюминия, меди, латуни, угля, стали и различных сплавов, контактные же провода—из стали, меди, алюминия и различных сортов бронзы.

Поскольку величины электропроводности материалов контактных проводников известны и постоянны, электропроводность контактного соединения будет зависеть от состояния их поверхности, т. е. коррозии, окисления и загрязнения проводников. Сталь например весьма быстро покрывается слоем ржавчины, увеличивающей сильнейшим образом переходное сопротивление и способствующей образованию вольтовой дуги.

Окисление алюминия вызывает те же явления, однако в более слабой форме, и не представляет неудобств в тех случаях, когда движение происходит с достаточной густотой.

Медные и бронзовые проводники при нормальных условиях не подвергаются порче. В тех случаях, когда электрифицированная линия обслуживается также и паровозами, порча всех коптактных материалов происходит значительно интенсивнее. Дым и копоть заводов и сырой климат в свою очередь также ускоряют их разрушение. Влияние корро-

НТБ ДГУЖТ

зии и ржавления проводников на качество работы токоснимателей зависит в сильнейшей степени от частоты движения. При оживленном движении, благодаря частому соприкосновению токоснимателей с контактным проводом, возможность образования значительных количеств ржавчины или других наслоений на них исключается, наоборот на линиях со слабым движением подобные наслоения могут быть более значительными.

Механическое взаимодействие контактного провода и токоприемника, обусловливающее их износ, заключается в соскабливании тончайшего поверхностного слоя с обоих проводников. Сопротивление этому износу зависит при прочих равных условиях от твердости и вязкости обоих материалов. Так например при мягком алюминиевом приемнике, работающем по бронзовому контактному проводу, износ провода будет весьма невелик при одновременном сильном износе алюминиевого башмака. С целью ослабления подобного износа контактов делались попытки их смазывания, не увенчавшиеся однако серьезными успехами. Теоретически смазочные вещества должны бы были уменьшить величину трения и износа, практически же смазка способствует прилипанию к контактным проводам частиц истертого металла, копоти, пыли и песка, делая тем самым применение смазки нецелесообразным. Смазывающее действие может быть достигнуто также применением самосмазывающихся графитовых токоснимателей. Практика показала, что при работе подобных графитовых токоснимателей по медным проводникам медь приобретает твердую полированную поверхность, очень хорошо сопротивляющуюся в дальнейшем износу. Сами токоприемники, скользя по подобному гладкому контакту, остаются также достаточно долговечными. К сожалению, в тех случаях, когда по тому же контактному проводу работают токоприемники и других типов, поверхность медного провода делается шероховатой и крайне быстро изнашивает графитовые токоприемники.

На практике большинство электрифицированных жел. дорог Америки и Европы считают целесообразным применение, в целях предупреждения износа контактного провода, сравнительно мягких материалов для токоприемников. Поэтому материалом для изготовления токоприемников обычно служат алюминий или медь. Для контактного провода применяется также медь, а при больших давлениях на контактный провод различные сорта бронзы. В тех случаях, когда благодаря особо мягкому материалу токоприемника оказывается возможным применять для контактного провода простую медь, достигаемая при этом экономия будет весьма значительной, как в силу малого износа, так и по причине уменьшенных первоначальных капиталовложений.

Некоторые дороги применяют в качестве токоприемников, в целях увеличения срока их службы, башмаки из стали. Это влечет за собой необходимость применения еще более твердого материала для контактного провода во избежание чрезмерного износа и увеличения благодаря этому эксплоатационных расходов.

В системах с третьим рельсом почти повсеместно применяются стальные токоприемники, работающие по стальному рельсу. Сталь, применяемая в качестве материала для третьего рельса, подбирается преимущественно из соображений электропроводности, а не требований механической долговечности контактов, так как благодаря размерам рельса

НТБ ДИЖТ

относительный износ его невелик. Что касается материала токособирательных башмаков при системе с третьим рельсом, то, благодаря дешевизне их замены, следуст при выборе руководствоваться главным образом требованием уменьшения износа третьего рельса.

Давление в контакте. Электропроводимость поверхностного контакта, каким является контакт провода и токоснимателя, есть функция взаимного давления друг на друга. С точки зрения успешности работы системы в целом весьма важно поддерживать постоянное давление в контакте при переходе тока к токоприемнику. Эта проблема связана с различными конструкциями как контактного провода, так и токоприемника. При системе с третьим рельсом мы имеем вполне жесткую конструкцию рельса с токоприемным башмаком, обладающим весьма незна-

Рис. 93. Кривые изменения давления пантографа в зависимости от изменения его высоты.

чительной инерцией. Наоборот одиночный воздушный провод, по которому работает тяжелый пантограф с большой инерцией, обладает значительной податливостью.

В первом случае благодаря неизменности положения контактной линии токоприемник при следовании вдоль третьего рельса подвергается весьма незначительным собственным перемещениям, вследствие чего он и конструируется с расчетом на возможность лишь таких ограниченных движений. Благодаря этому оказывается возможным применять простые и легкие башмаки, дающие достаточно плотное соприкосновение контактов, даже в случае не вполне идеального состояния поверхности контактного рельса. Давление оказывается все время постоянным, независимо от того, будет ли оно вызываться пружинами или лишь действием собственного веса токоснимателя. Наоборот токоприемник, предназначенный для работы по воздушному контактному проводу, должен обладать способностью к большим собственным перемещениям, обусловливаемым как гибкостью воздушной контактной системы, так и различной высотой ее подвески. В результате практика выработала три типа токоприемников: штангу с роликом (простой троллей), дугу (бугель) и пантограф. Для двигателей большой мощности употребляются почти исключительно дуга и пантограф, могущие служить для снимания тока большой силы и допускающие значительные скорости движения.

Конструкция токоснимателей должна быть теснейшим образом увязана с конструкцией воздушной контактной системы, так как поддержание постоянства давления в значительной мере зависит от их взаимного соответствия.

Практически во всех случаях представляется желательным иметь токоприемник с малой инерцией, могущий быстро следовать за перемещением воздушного провода и этим обеспечивающий постоянное и

НТБ ДНУЖТ

равномерное давление на него. Такое требование приводит к необходимости применения шарнирного механизма пантографа, так как он дает возможность иметь постоянное давление на контакте независимо от скорости движения положения лыжи пантографа по отношению к высоте провода (рис. 93).

Практически это условие не удается удовлетворить полностью из-за трения, имеющегося в самом пантографе. Это трение можно значительно уменьшить применением шариковых или роликовых подшипников в шарнирных соединениях.

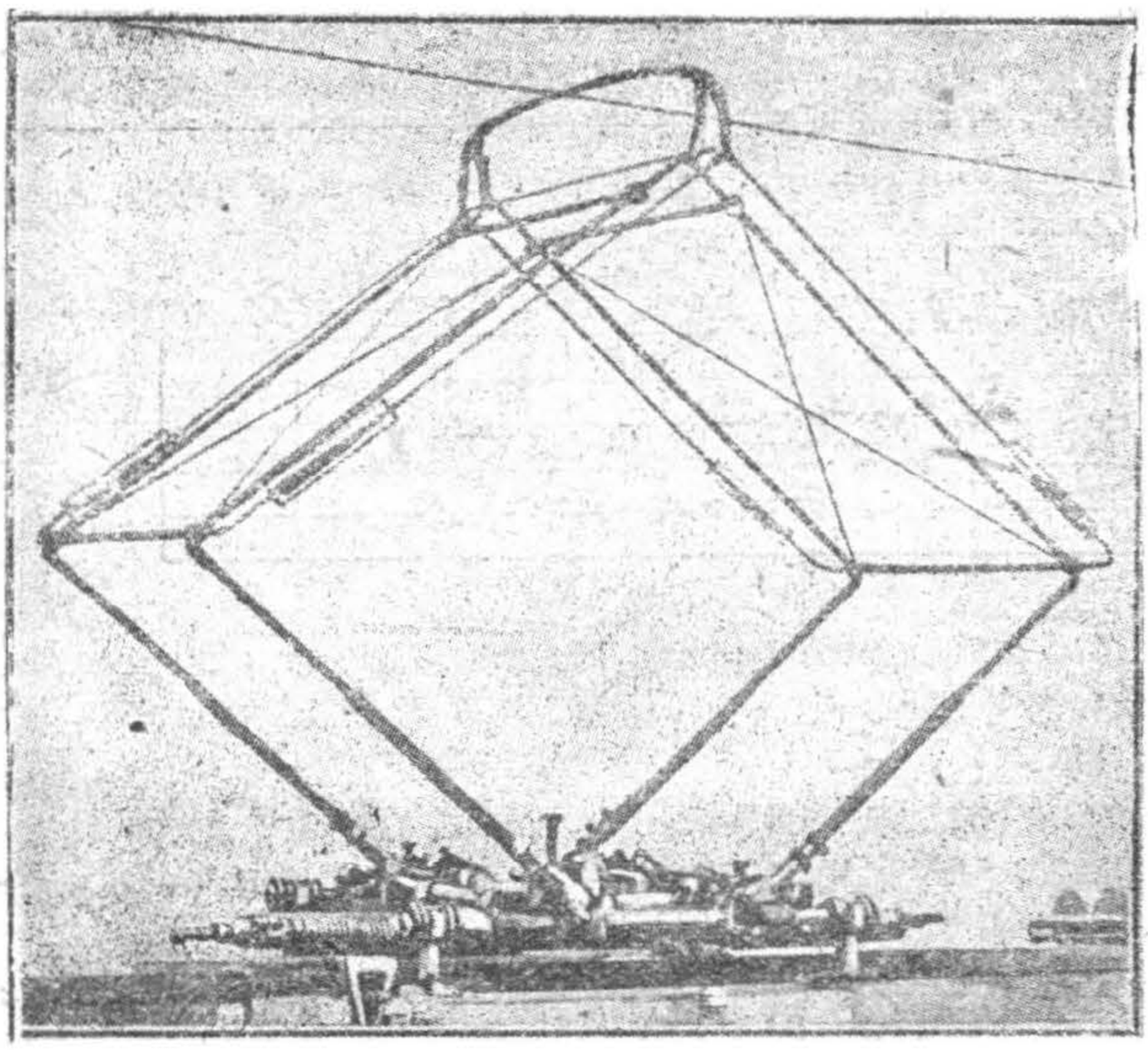


Рис. 94. Специальная конструкция пантографа с малой инерцией.

Но такая конструкция пантографа работает удовлетворительно лишь при плавных изменениях уровня контактного провода. Небольшие, но внезапные изменения высоты последнего вызывают значительные инерционные усилия в движущихся частях пантографа, часто превышающие те силы, которые обусловливают его давление на контактную систему. Вес движущихся частей простого пантографа составляет 40 — 125 *кг*. Прибавляя к нему силу трения в шарнирах и инерцию пружин, получим весьма большую величину инерции всего пантографа. При понижении величины давления, развиваемой пантографом, уменьшении трения в шарнирах или облегчении веса всего прибора на 50%, величина силы инерции все еще остается весьма высокой из-за быстроты изменения высоты контактной системы при больших скоростях движения.

Для того, чтобы снизить силу инерции до величины более или менее низкой, применяется конструкция пантографа с вспомогательной дугой (рис. 94), помещающейся на верхней части обыкновенного пантографа и могущей двигаться независимо от него. Если эту дугу сделать из алюминия, она будет весить всего лишь несколько кг. Дополнительная инерция механизма вспомогательной дуги сравнительно весьма невелика. Таким образом можно получить вспомогательное гибкое приспособление, легко следующее даже самым резким изменениям высоты контактной системы. Такая конструкция весьма совершенна, давая постоянное давление на поверхности контактного провода. В случае если снимаемая сила тока велика, применяется конструкция с двойной вспомогательной дугой (рис. 95). Абсолютная величина требуемого давления на контактной поверхности тесно связана со способ-

НТБ ДНУЖТ

ностью токоснимателя поддерживать это давление постоянным, невзирая на состояние контактной системы.

Снимание тока определенной силы требует некоторого минимума давления на контакте и, в случаях, когда величина давления при резких колебаниях высоты контактного провода сильно меняется, это давление не должно падать ниже этого минимума. Таким образом пантограф с вспомогательной дугой будет работать при абсолютно меньших давлениях, чем простой пантограф, подверженный действию значительных сил инерции. Величина снимаемой силы тока также предъявляет свои требования к величине давления на контакте, требуя большой контактной поверхности. Исходя из требования постоянства давления на единицу поверхности, должна быть соответственно увеличена и суммарная сила давления. Поэтому иногда употребляется специальная конструкция пантографа с двойной лыжей.

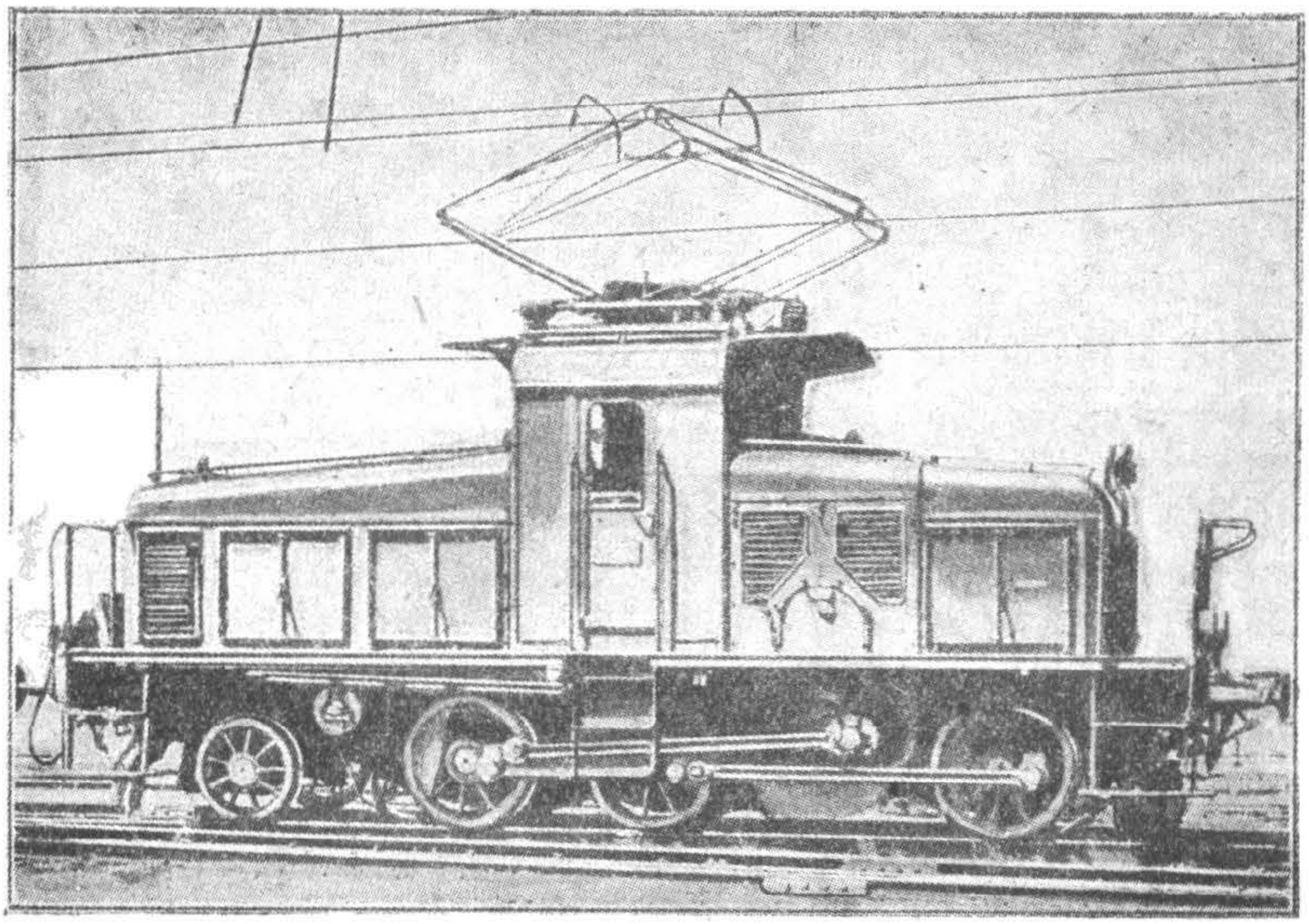


Рис. 95 Пантограф с двойной дугой.

При такой конструкции величина давления равномерно распределяется между обеими коштактными поверхностями (рис. 96). Эта система однако не дает уменьшения инерционных сил, как это имеет место по отношению к конструкции с вспомогательной дугой, так как перемещение одного контактного башмака, жестко связанного с другим, не является действительным свободным перемещением.

Электропроводность контакта. В случаях, когда величина давления в контакте непостоянна, или когда одна из контактных поверхностей загрязнена слоем вещества с большим электрическим сопротивлением, при снимании тока выделяется большое количество тепла. В результате имеет место образование вольтовой дуги или обгорание проводников. Эти явления в свою очередь повышают сопротивление контактных поверхностей и ведут к сильному износу материала. До сего времени это весьма важное обстоятельство, вызывающее износ контактного провода и токо-

НТБ ДГУЖТ

снимателя, почти не было изучено. Лишь на некоторых дорогах были сделаны попытки избежать возникновения вольтовой дуги и обгорания проводов, происходящих из-за неисправного состояния контактной поверхности, путем одновременного применения двух токоснимателей. При таком способе шансы на получение хорошего контакта увеличиваются, так как маловероятно, чтобы ни тот ни другой токосниматель не дали удовлетворительного контакта. Практика показала, что долговечность службы токоприемников при одной лыже составляла около 5 000 *км*, применение же двух лыж довело эту цифру до 8 000 *км*. Эти данные относятся к алюминиевым лыжам, смазываемым графитом и работавшим при давлении 3—4 *кг*. Подобная система с двумя лыжами была применена также не без успеха, и на одном пантографе,

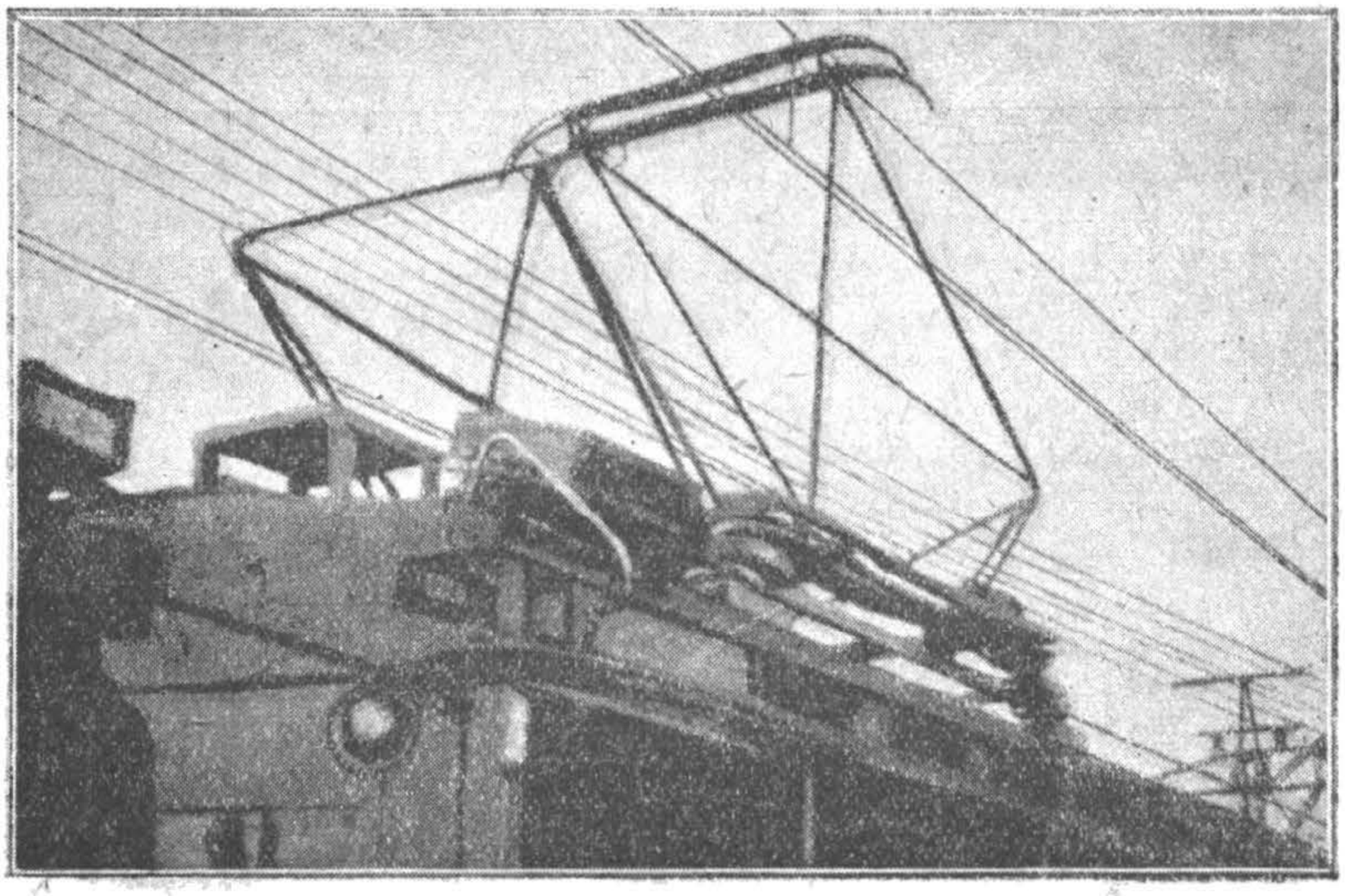


Рис. 96. Пантограф с двойной лыжей.

хотя в этом случае из-за близости лыж друг к другу и жесткой механической связи между ними колебания в силе давления на контакте одной лыжи одновременно передаются и на другой.

Общее описание конструкции пантографа. Нормальная конструкция пантографа состоит из труб различной длины, оканчивающихся специальными наконечниками для шарнирных соединений. Для сообщения всей системе необходимой жесткости употребляются диагональные растяжки из проволоки или трубок. С точки зрения успешности борьбы с обледенением следует подпочесть трубчатую конструкцию, так как на проволоке скорее образуется слой льда и снега. С целью уменьшения трения до минимума шарниры ставятся на роликовых или шариковых подшипниках. Необходимая степень допуска в шарнирных соединениях является спорным вопросом. Поскольку небольшой зазор в шарнирах дает уже значительную величину разбега пантографа в горизонтальном направлении, представляется совершенно очевидной необходимость точной пригонки и внимательного ухода за шарнирными соединениями. С другой стороны, стремление к уменьшению трения требует возможно

НТБ ДИУЖТ

большего допуска. Применение роликовых и шариковых подшипников безусловно примиряет эти противоречивые требования, давая в шарнирах, при условии достаточно тщательного ухода, минимальное трение при малых зазорах. Материалом для изготовления частей пантографа служит обычно сталь, благодаря чему достигается уменьшение его веса. Из этих же соображений иногда употребляется и алюминий. Форма самих контактных башмаков (лыж) бывает различна. Стальные лыжи делаются в направлении движения пантографа обычно плоскими. На поверхности лыжи прорезаются канавки для смазки. В перпендикулярном направлении лыжа бывает или плоской или изогнутой дугообразно для того, чтобы контакт с проводом не происходил в одной и той же точке. Медные лыжи имеют обычно лишь медную облицовку, служащую контактом, сами же делаются из стали, к которой крепятся пластины или полосы из меди.

Часто применяемые в Европе алюминиевые лыжи обычно имеют две контактные поверхности, одну для движения в одном направлении, другую — для обратного. На каждой поверхности имеется глубокий жолобок для смазки.

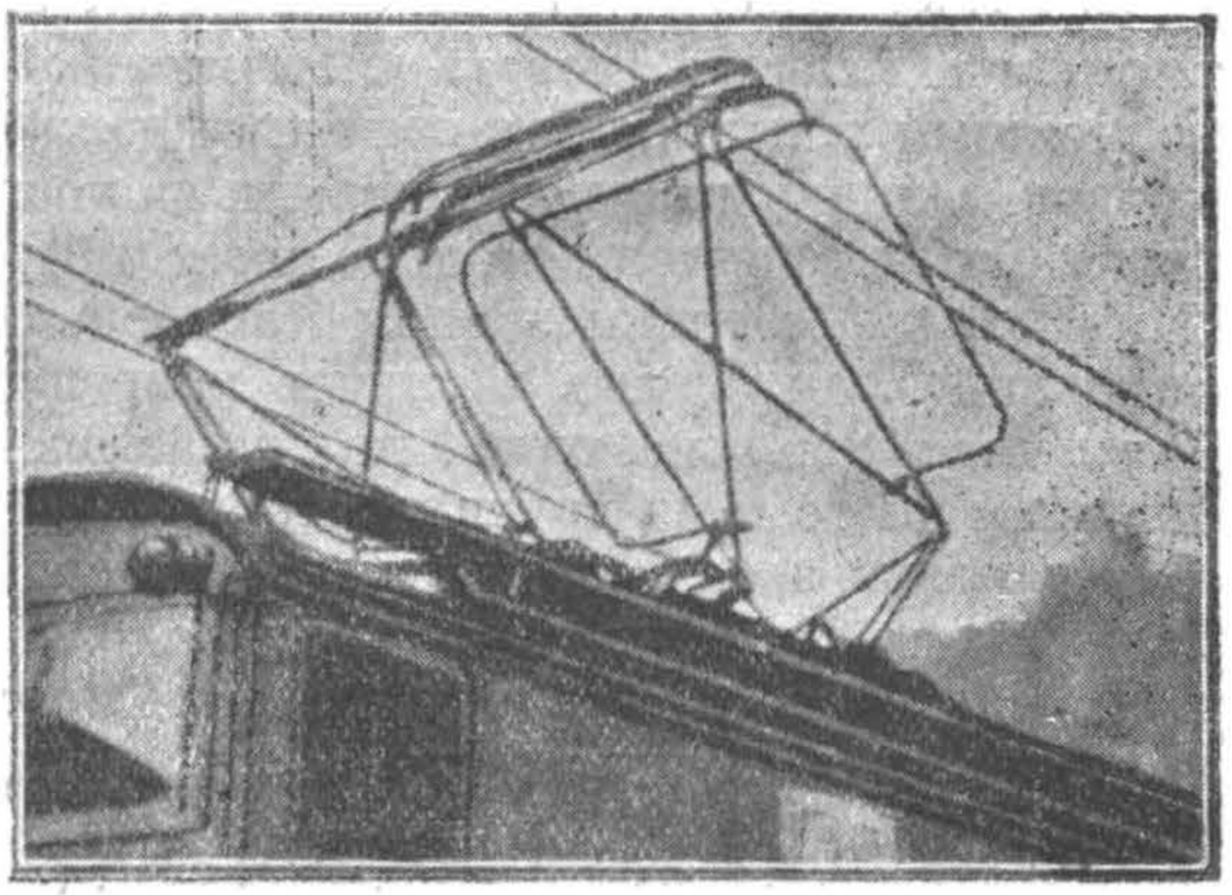


Рис. 97. Пантограф с вспомогательными боковыми направляющими.

Одна крупная жел. дорога применяет в качестве башмаков трубчатую медь трехгранного сечения, дающую три контактных поверхности. Рабочая длина лыжи пантографа бывает различна. Обычно для постоянной работы предназначается его широкая средняя часть. К краям лыжа загибается книзу для предохранения от соприкосновения с поперечными воздушными проводами в местах секционирования контактной сети. Этот загиб лыжи вниз может быть полным, образуя вертикальную стойку, подобно тому, как это имеет место во вспомогательном дугообразном башмаке (бугеле), часто применяемом в Европе. При такой конструкции в случае соскакивания дуги пантографа с провода этот последний может легко попасть обратно на верхнюю рабочую часть лыжи, разумеется, если пантограф при сходе с провода не будет сломан. В американской практике отогнутые части лыж выдаются за габарит вертикальных стоек пантографа, образуя своего рода «рога». Хоя этим достигается некоторое увеличение рабочей поверхности лыжи, но зато в случае соскакивания провода с рога, он уже не может сам попасть на лыжу обратно, так как оказывается под рогом. Это влечет часто к поломке рога или всего пантографа, а также держателей и подвесок провода, могущих задеть за рог. В новейших конструкциях в качестве предохранителей применяются особые боковые направляющие (рис. 97), доходящие до низшей точки рогов.

Механизм для подъема и опускания пантографа. Конструкции пантографов могут быть подразделены на две группы в зависимости от того,

НТБ ДГУЖТ

поднимаются ли они при помощи пружин или сжатого воздуха. Первый тип распространяется преимущественно в Америке, второй пользуется предпочтением в Европе. При подъеме пантографа пружинами движение его независимо от давления воздуха. Опускание же его, с другой стороны, производимое пневматически, связано с общей воздушной системой электровоза, которая может в критический момент оказаться неисправной. Следует отметить, что при электровозах, имеющих систему рекуперативного торможения, одним из доводов для применения этой системы является независимость тормозов от состояния пневматического оборудования.

В случае пневматического подъема пантографа при наличии редукционного клапана довольно несложной конструкции представляется возможным регулировать величину давления пантографа на контактный провод. Однако для поддержания на постоянном уровне этого давления при работе требуется довольно сложный усовершенствованный механизм. Считают, что с точки зрения безопасности конструкции автоматическое опускание пантографа в случае повреждения воздухопровода является более желательным, хотя, как указывалось выше, выбор конструкции делается часто и из других соображений.

Практика эксплоатации пантографов. Пантограф является постоянно источником повреждений при эксплоатации электрифицированных линий. Частично эти повреждения являются следствием дефектов самих пантографов, а иногда вызываются неисправностями воздушной контактной системы.

Повреждения самих пантографов обычно происходят в оборудовании, при помощи которого производится управление подъемом и опусканием. В холодную погоду влага, попадающая в воздушные цилиндры или клапаны, замерзает в них. Иногда портятся защелки, препятствуя подъему пантографа, или же лопаются пружины. В туннелях может происходить сильное стекание воды на пантограф; эта сырость часто вызывает порчу изоляторов; во избежание этого в таких случаях изоляцию обычно дублируют. Сход пантографа с воздушного провода очень часто должен быть отнесен за счет больших зазоров в подшипниках, вызывающих чрезмерный расход в поперечном направлении. Средством против таких аварий является применение подшипников более высокого класса точности и тщательный надзор на ними. В случае схода с провода из-за неудовлетворительного состояния контактной сети рог вполне исправного пантографа может запутаться в проводах и сломаться. Таким образом рог, нормально служащий продолжением рабочей поверхности лыжи, может сыграть роль крюка, зацепляющегося за провода контактной системы.

Применение направляющих, помещаемых по бокам пантографа, непосредственно за его рогами, уменьшает количество таких аварий. Разумеется, относить на счет несовершенства конструкции пантографов те поломки их, которые возникают из-за провисания или плохой выверки провода, поломок держателей, подвесок и пр., не следует.

Определение причин поломок пантографа обычно является спорным делом, так как лыжа пантографа является как бы границей между объемами работы двух служб дороги. При этом работники службы тяги по большей части склонны приписывать происшедшую аварию неисправному состоянию контактной сети, а представители службы воздушной сети

ДНЗКТ

обычно высказывают аналогичные предположения относительно состояния пантографов. В действительности причины аварий обусловливаются как теми, так и другими обстоятельствами.

При слабом уходе за контактной системой и при резких колебаниях температуры, сильном ветре ответственность за аварию больше оснований отнести на линейный персонал. Дурное состояние жел.-дор. полотна, чрезмерно тяжелые поездные составы также могут вызвать много аварий. С другой стороны, небрежное отношение к ремонту со стороны персонала службы тяги может вызвать целую эпидемию поломок пантографов. В американской практике поломки пантографов настолько часты, что обычно пользуются лишь одним пантографом на тяговую единицу, именно в целях уменьшения шансов на возможность аварии. В Европе результаты эксплоатации пантографов более благоприятны и поэтому там распространено применение двух пантографов на тяговую единицу, благодаря чему реализуются и преимущества такого метода [1].

---

[1] Период массовых аварий с пантографом и контактной сетью на электрифицированном участке Северных ж. д. полностью подтверждает указание автора (прим. редакции).

НТБ ДИИЖТ

ГЛАВА XIII

УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Количество энергии, предоставляемое распределительной системой для тягового двигателя, должно изменяться соответственно работе моторов при трогании с места и при установившемся движении. Это достигается либо простым изменением сопротивления в цепи, либо различными комбинациями последовательного и параллельного включения моторов, как это происходит при большинстве систем постоянного тока; при переменном токе указанное выше требование осуществляется с помощью трансформаторов с добавочными ответвлениями обмоток. Возможно также пользоваться преобразователем числа фаз или изменением напряжения моторгенератора. Во всяком случае целью является регулирование напряжения и потребления тока мотором соответственно данным мотора и требованиям эксплоатации.

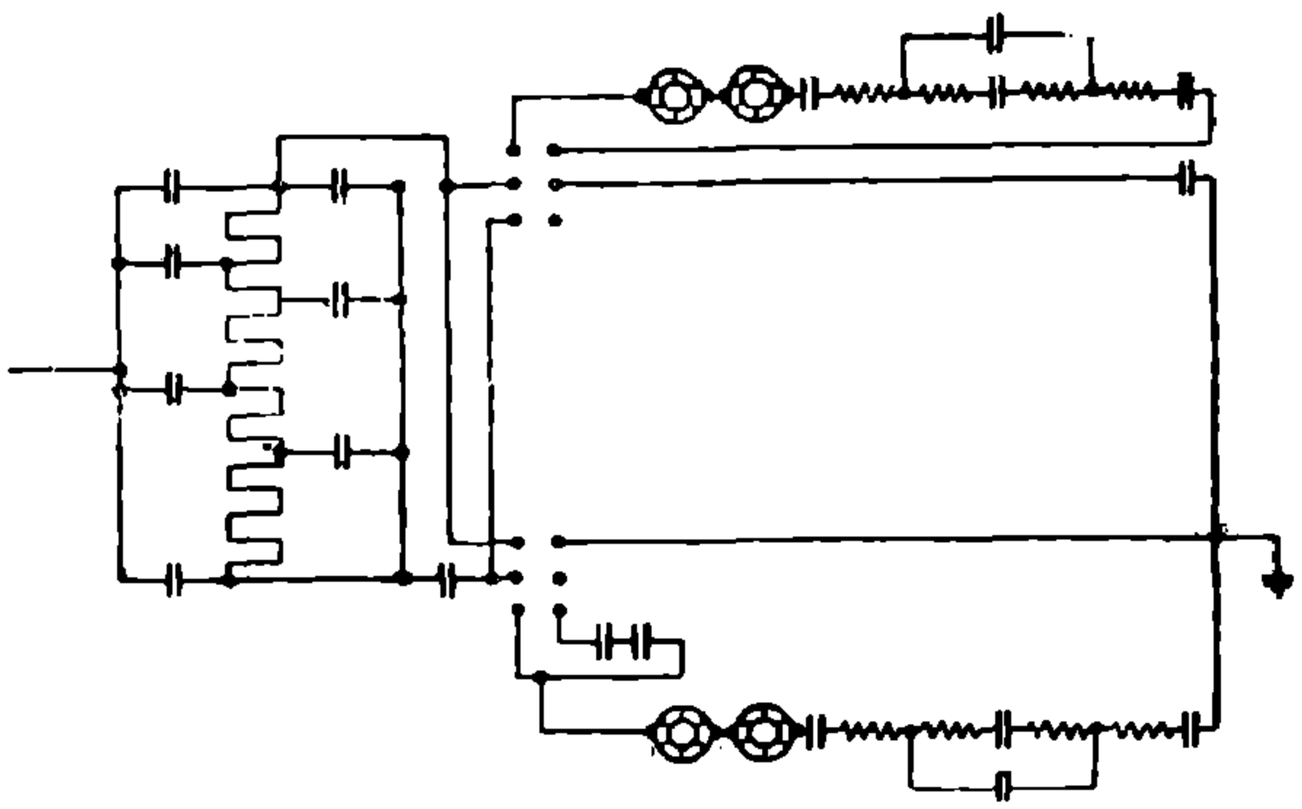


Рис. 98. Управление посредством комбинации сопротивлений и соединений моторов по системе сочлененных единиц—750 V на французских ж. д.

Метод управления при помощи реостатов и комбинированного включения моторов. Регулирование с помощью включения сопротивлений и переключения моторов имеет в виду использование сопротивления цепи для уменьшения тока в течение непродолжительных периодов, как например при трогании с места и для того, чтобы изменять подводимое напряжение и следовательно силу тока во время движения, используя для этого различные комбинации включения двигателей. Сложность и и гибкость этой системы зависят от числа тяговых моторов. Для пуска служат реостаты, сопротивление которых постепенно выключается из пусковой цепи. Существуют различные способы соединения сопротивлений, требующие различного числа выключателей для получения различных величин сопротивления.

Обычно все сопротивления сначала включаются последовательно, причем через каждое из них проходит полный ток, а в дальнейшем отдельные элементы сопротивлений соединяются параллельно. При параллельном включении сопротивлений последние могут быть либо все соединены параллельно, либо разделены на две части, каждая из которых служит для одной группы моторов. Оба метода показаны на рис. 98 и 99.

НТБ ДНУЖТ

Для ездовых позиций различные ступени скорости достигаются различными комбинациями включения моторов. Положения последовательного или параллельного включения возможны только при двух и более моторах, как это имеет место например при системе сочлененных единиц (Multiple unit system) (рис. 100). При четырех или шести моторах последовательное, последовательно-параллельное и параллельное их включение дает комбинации с большой гибкостью, но при этом схема включения приобретает большую сложность. При низком напряжении от 500 до 700 V обычно каждый мотор используется при этих комбинациях как самостоятельная единица. При более высоком напряжении, 1 500 и 3 000 V, из-за условий коммутации приходится соединять по два мотора последовательно так, что два мотора могут рассматриваться как единица. Переход от одной комбинации (последовательного включения) к другой (параллельного включения) должен производиться по возможности с наименьшим изменением вращающего момента. При переходе от последовательного соединения двух моторов к параллельному методом шунтирования один мотор первоначально накоротко замыкается, а другой включается в линию (после того, как он уже развил достаточный вращающий момент при последовательном соединении) на полное напряжение с последовательно включенным сопротивлением. При переключении это понижает вращающий момент только на половину своей прежней величины (рис. 101). В некоторых случаях при большом числе моторов возможно удержать вращающий момент от такого уменьшения, производя одновременно переключение от последовательно-параллельной к параллельной комбинации только для одной группы.

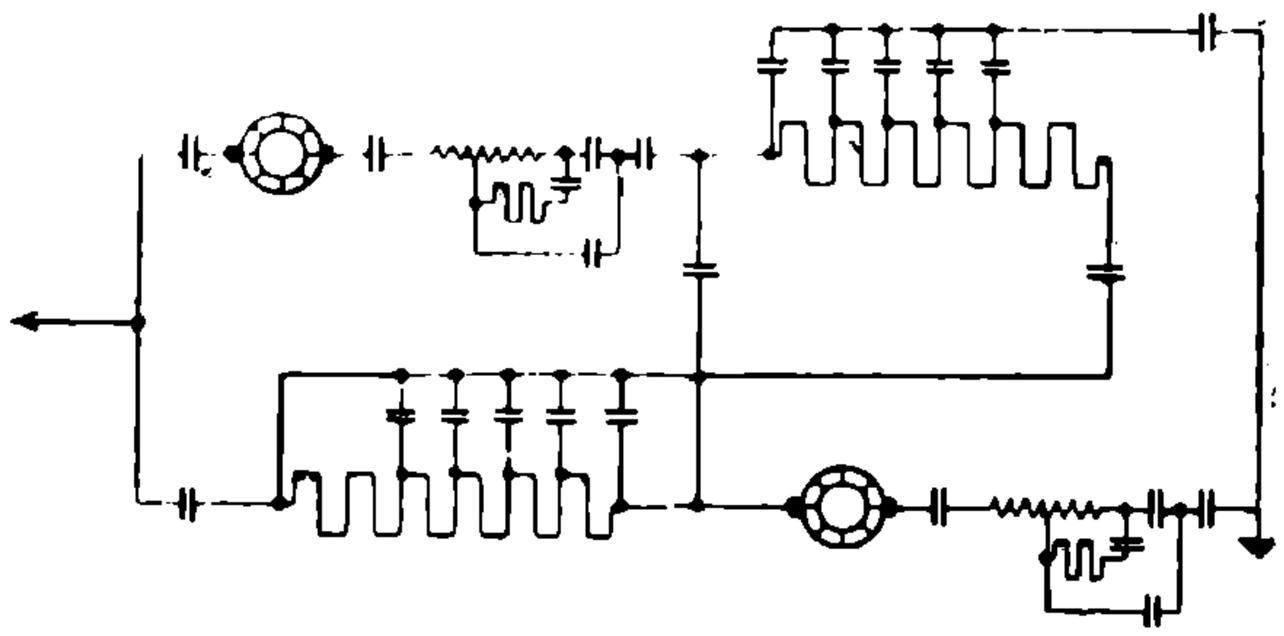


Рис. 99. Управление посредством комбинации сопротивлений и соединений моторов по системе сочленных единиц—750 V на германских ж. д.

Последовательное включение два работающих мотора

Переход (два работающих мотора

Параллельное включение (два работающих мотора)

Рис. 100. Переход от последовательного включения двух моторов к параллельному по схеме мостика.

НТБ ДНУЖТ

При методе мостика вращающий момент удерживается во время переключения двигателей из последовательного соединения в параллельное постоянным, причем новое соединение получается путем заземления одного из пусковых сопротивлений в момент, отвечающий среднему соединению (рис. 100). Затем перемычка между этим сопротивлением и другим мотором разъединяется, и ток каждого мотора проходит через свое собственное сопротивление.

Третьим элементом управления является реверс, который обычно находится в цепи возбуждения, так как она имеет наиболее низкий потенциал по отношению к земле. Этот прибор изменяет полярность поля, изменяя этим направление вращения якоря мотора.

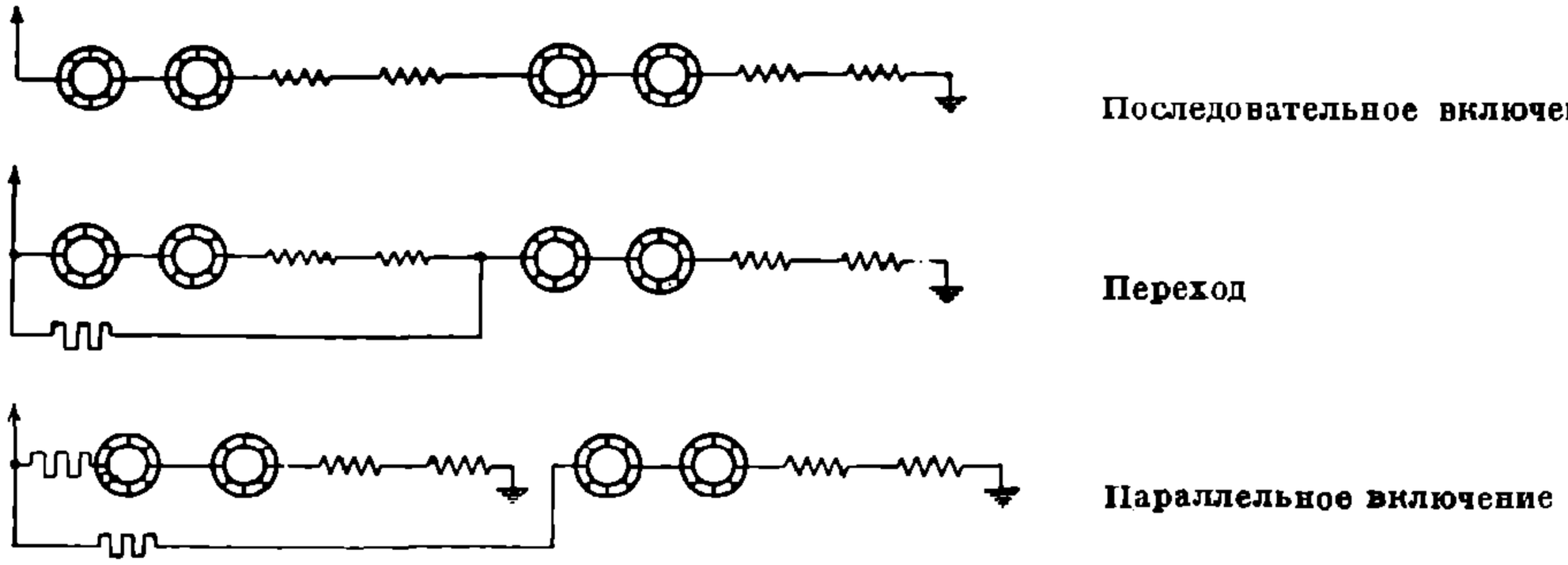


Рис. 101. Переход от последовательного включения двух моторов к параллельному посредством шунтирования.

Четвертый элемент—это регулирование силы поля. Изменять скорость и вращающий момент при ослабленном поле можно в пределах, обуславливаемых коммутацией мотора. Обычным способом ослабления поля является выключение части витков главных полюсов (рис. 98). Полная сила тока остается приблизительно такой же вне зависимости от сопротивления возбуждения, так как она определяется главным образом противоэлектродвижущей силой якоря. Таким образом ампервитки возбуждения уменьшаются посредством уменьшения числа витков. Шунтированием поля путем сопротивления с одновременным использованием ответвлений (рис. 99) возможно добиться больших пределов в изменении силы поля.

Метод управления при помощи изменения коэф-та трансформации. Там, где моторы питаются от трансформатора, изменение напряжения тока может производиться очень легко путем изменения вторичного напряжения, получаемого от трансформатора, с помощью ответвлений. При пуске приложенное напряжение поддерживается низким для ограничения силы тока; по мере увеличения противоэлектродвижущей силы якоря постепенно повышается и приложенное напряжение. Все концы добавочных ответвлений обмоток трансформатора могут быть выведены в качестве ездовых ступеней, путем чего могут быть получены различные характеристики мотора. Проблема сохранения непрерывности вращающего момента мотора при переключениях концов обмоток трансформатора возникает в этом случае так же, как и при описанном выше переключении моторов постоянного тока. Два ответвления не мо-

НТБУЖТ

гут быть соединены вместе для момента перехода от последовательного к параллельному соединению моторов вследствие большого тока в секциях обмоток трансформаторов, когда они замкнуты накоротко. Это вызывает необходимость пользования «предохранительными катушками» или сопротивлениями, которые во время перехода включаются параллельно с коротко замыкаемым ответвлением обмотки. В некоторых случаях этими сопротивлениями пользовались для получения промежуточных величин напряжения, путем чего число ответвлений может быть уменьшено. Такое соединение, использующее различные комбинации соединений катушек сопротивлений, изображено на рис. 102. В целях

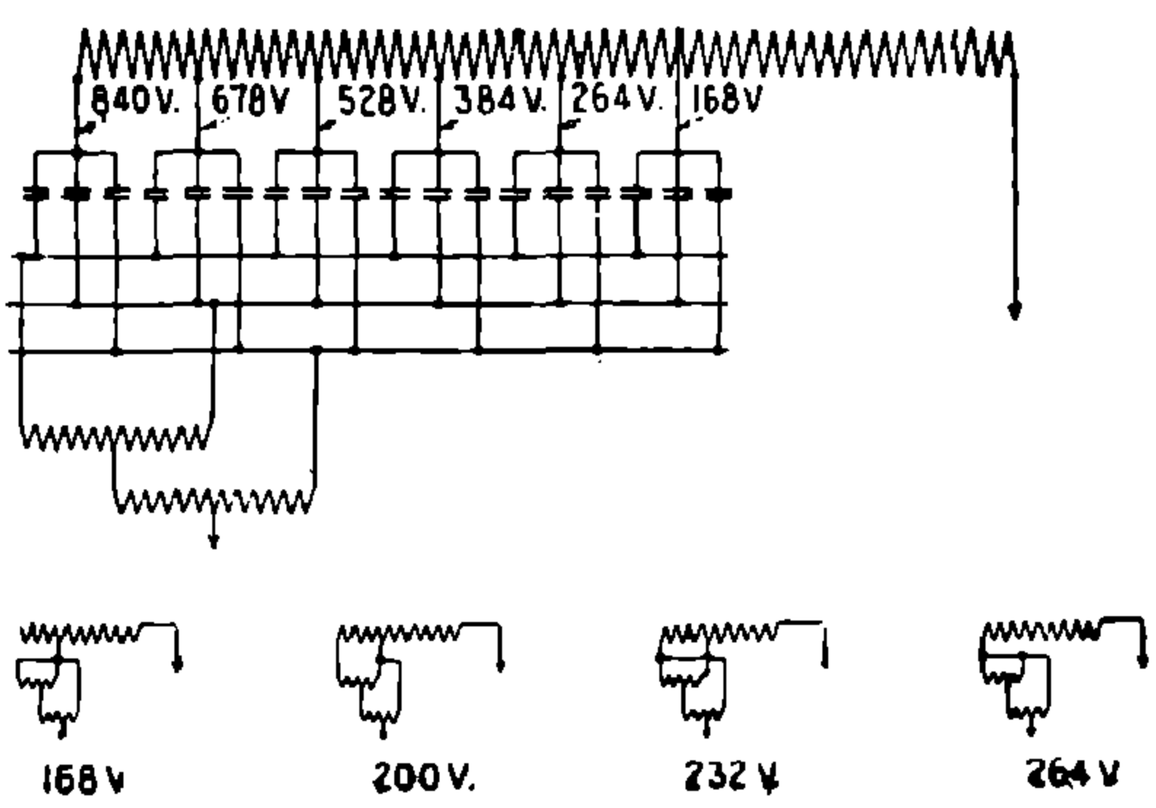


Рис. 102. Устройство ответвлений от обмотки трансформатора с предохранительными катушками.

Изменение напряжения производится путем последовательного включения ответвлений.

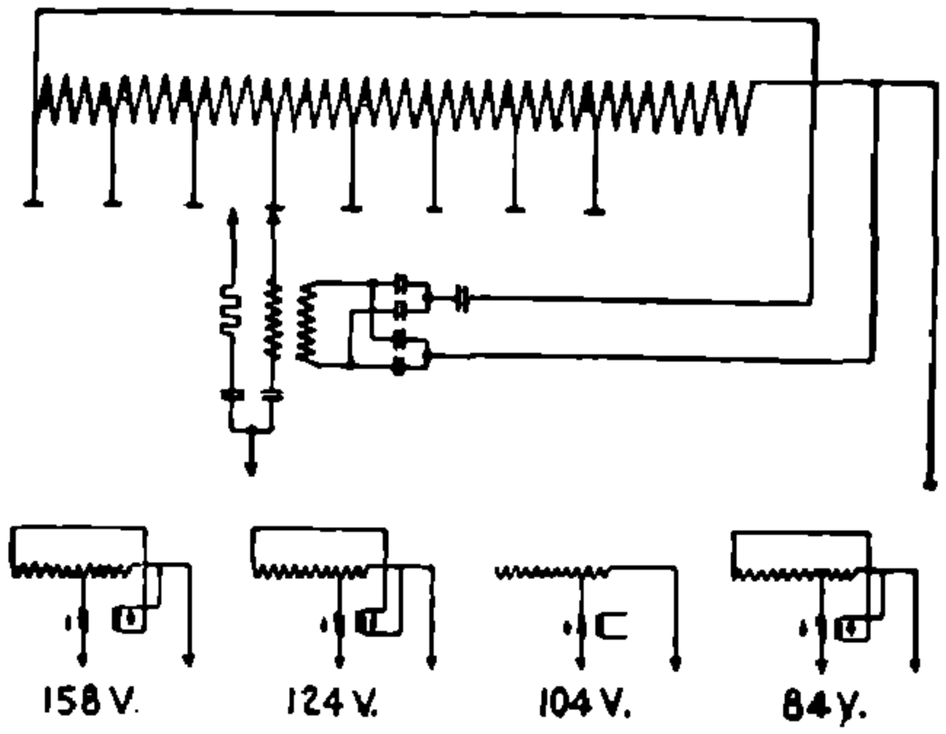


Рис. 103. Устройство ответвлений от обмотки трансформатора с последовательно включаемым бустером.

Изменение напряжения производится путем последовательного включения ответвлений и бустера.

обеспечения равномерного ускорения делались попытки применения некоторых типов индукционных регуляторов или непрерывно изменяемого сопротивления между ответвлениями.

На некоторых системах германских электровозов пользовались потенциал-регуляторами. Хотя на тех локомотивах, для которых эти регуляторы были сконструированы, непрерывное и плавное изменение скорости осуществлялось удовлетворительно, однако лишний вес и задержки при установке регулятора в нулевое положение, сделали применение последних нежелательным. Другой метод плавного регулирования напряжения осуществлялся с помощью бустерного трансформатора, включамоего последовательно со ступенями ответвлений; он устраивается таким образом, чтобы его можно было включить в цепь либо для повышения, либо для понижения напряжения (рис. 103).

При системе сочлененных единиц обычно применяются способы менее точного регулирования напряжения как вследствие желательности иметь более простое оборудование для этой цели (рис. 104), так и вследствие того, что условия пуска моторов и трогания могут быть рассчитаны более точно.

Применением метода регулирования напряжения ответвлениями с предохранительными катушками возможно избежать потерь в реостатах, которые поглощают большое количество энергии во время периода ускорения при системах постоянного тока.

НТБ ДНУЖТ

Регулирование напряжения путем ответвлений может быть чрезвычайно простым и притом обусловливать наименьшие потери во время трогания с места по отношению ко всем остальным способам. Значительная часть ступеней напряжения такова, что ими можно продолжительно пользоваться в качестве ездовых, без перегрева или потерь в сопротивлении. Эти ступени дают достаточные пределы изменения напряжения, как например от 168 до 890 V при 16 ответвлениях, позволяющих использовать преимущества езды при различных характеристических кривых моторов и получить тем самым постоянство мощности потребляемой энергии при различных нагрузках (фиг. 105), если это желательно для координирования величин потребной и располагаемоймощности. При системе сочлененных единиц в период ускорения возможно получить преимущества благодаря малым потерям в реостатах и возможности сохранить низкую величину потребной мощности для значительных пределов скорости (рис. 91). В эксплоатации регулирование напряжения ответвлениями обмоток трансформаторов дало определенно хорошие результаты.

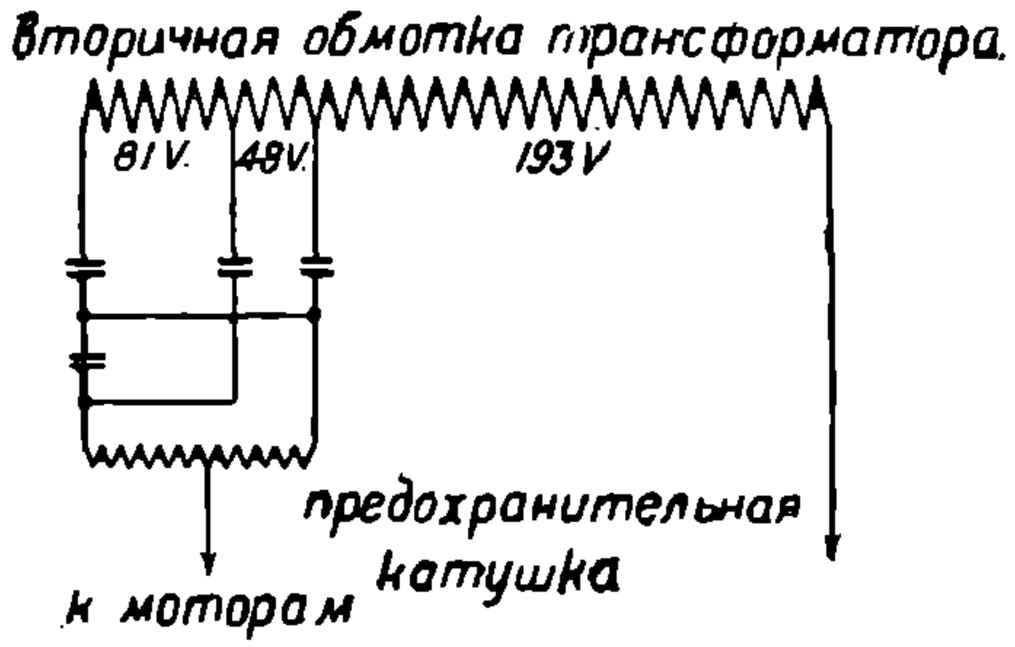


Рис. 104. Простая схема управления с помощью ответвлений от обмотки трансформатора при системе сочлененных единиц.

Предохранительные катушки часто являлись источником больших затруднений и иногда не могли оправдать своего применения также и с конструктивной точки зрения вследствие своей громоздкости.

Применение контакторов или групповых выключателей может быть облегчено устройством простого ступенчатого выключения с короткими концами проводов, идущих от трансформатора, упрощением цепей управления и сокращением числа деталей (рис. 117).

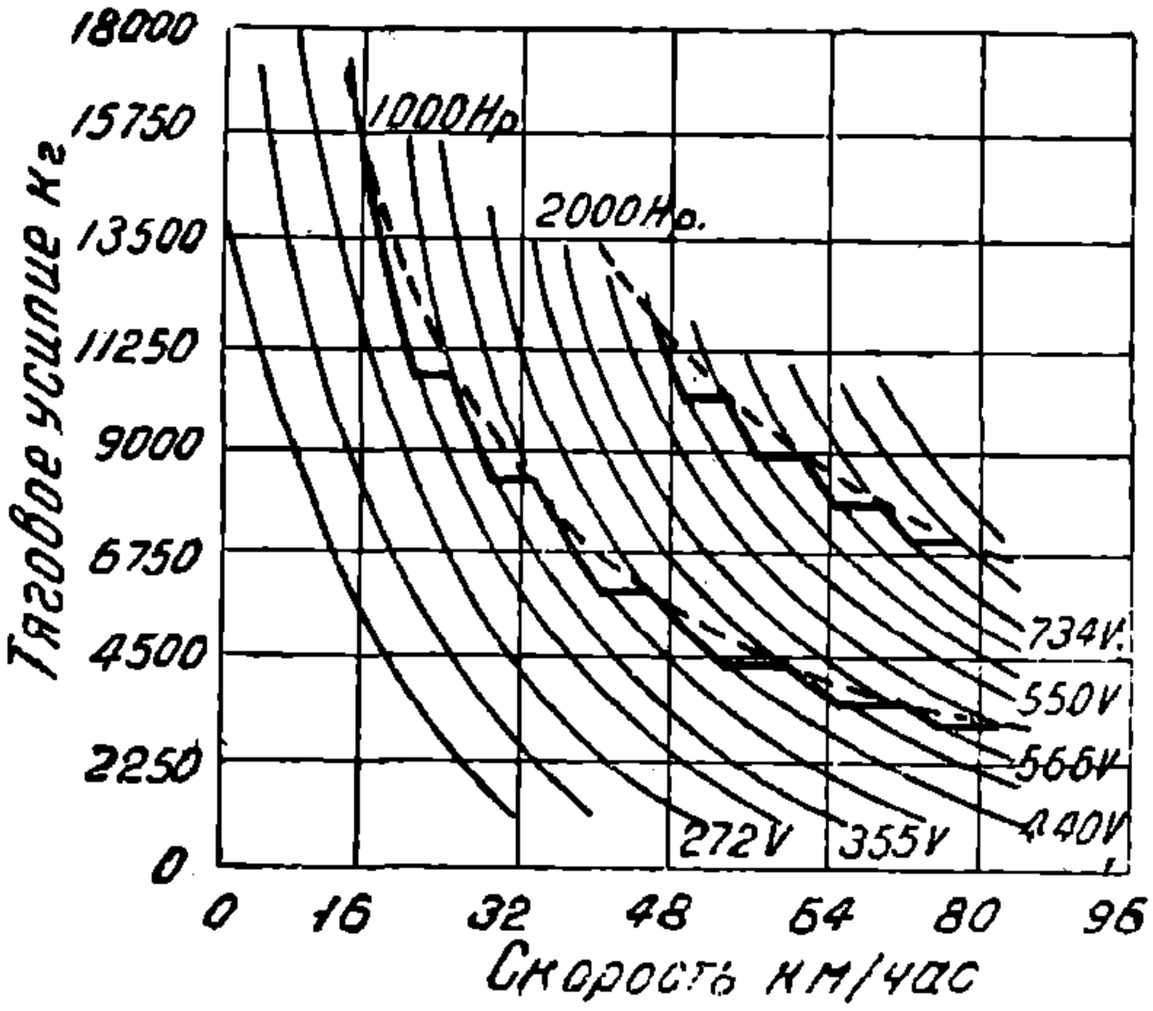


Рис. 105. Регулирование напряжения посредством ответвлений (с постоянной потребляемой мощностью).

Сами трансформаторы для понижения напряжения, подводимого к моторам, должны строиться с расчетом на тяжелые условия эксплоатации.

Вопрос охлаждения является одним из важнейших. При трансформаторах с искусственным воздушным охлаждением (рис. 106) следует об-

НТБ ДНУЖТ

ращать внимание на то, чтобы система циркуляции предохранялась от попадания туда сырости и каких-либо посторонних тел. Поступление воздуха через камеру в этом отношении является выгодным, так как корпус камеры образует как бы отстойный фильтр для воздуха, поступающегося снаружи. Тип трансформатора с воздушным охлаждением по сравнению с трансформатором с масляным охлаждением повидимому более легок и менее сложен, поскольку вопрос идет о вспомогательных частях. Является лишь необходимым поместить трансформатор в сравнительно легкий воздухонепроницаемый кожух и установить воздуходувку для циркуляции воздуха. При трансформаторе с масляным охлаждением (рис. 107) необходим массивный кожух, непропускающий масла; необходима кроме того система радиаторов для циркуляции масла, осуществляемой при принудительной системе посредством насоса, или какое-либо другое оборудование для улучшения теплоотдачи. При такой системе обмотки и изоляция их защищены от влияния посторонних тел, имеющего действие при системе с воздушным охлаждением, и поэтому изоляция сохраняет свои качества несравненно лучше. Сравнительные достоинства этих двух типов трансформаторов зависят не только от характеристик напряжения, мощности и их весов, но также и от условий окружающей атмосферы, т. е. от наличия в воздухе влаги, частиц угля, пыли тормозных колодок и т. д.

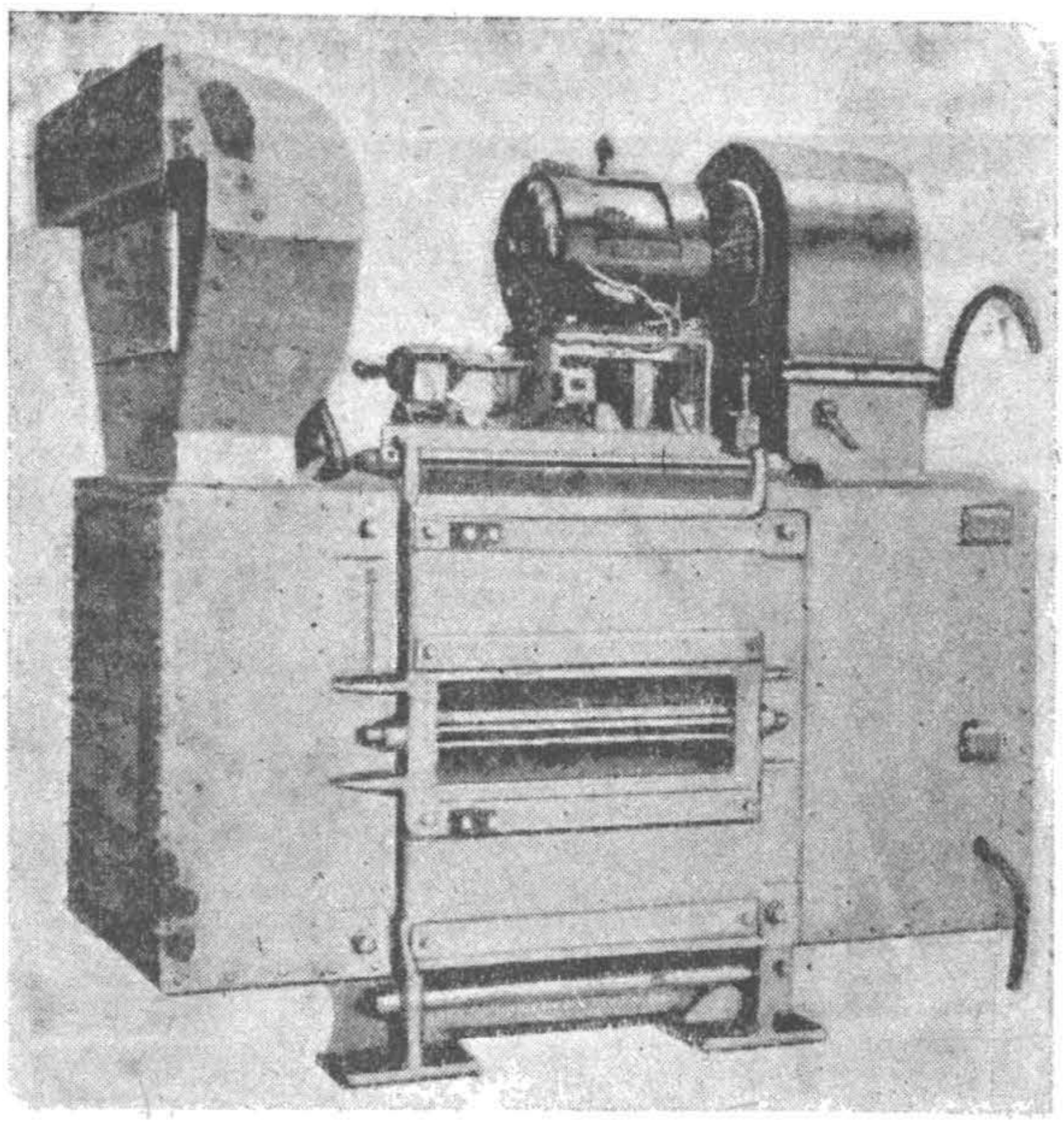


Рис. 106. Трансформатор 2000 kVA с искусственным воздушным охлаждением.

При эксплоатации моторных вагонов, работающих по системе сочлененных единиц, трансформаторы обычно располагаются под вагоном, т. е. в таком месте, где они подвержены действию пыли и, таким образом, при конструкции с воздушным охлаждением особое внимание следует обратить на условия доступа охлаждающего воздуха и очистки его.

Управление при помощи мотор-генератора. Употребление мотор-генераторных агрегатов для регулирования напряжения, подводимого к моторам, уже давно применяется в стационарных промышленных установках, но аналогичные попытки ввести такую же систему управления и на электровозах являются сравнительно новыми. Преимущества тяговых моторов постоянного тока по сравнению с однофазными моторами переменного тока при известных условиях делают желательным трансформацию и преобразование однофазного тока в постоянный. Это требует уста-

НТБ ДГУЖТ

новки синхронного мотора мощностью, соответствующей полной нагрузке электровоза, приводящего в движение генератор постоянного тока такой же мощности (рис. 108). Для пуска и развертывания синхронного мотора до синхронной скорости можно пользоваться или отдельным мотором, сочлененным с тем же валом, или можно пользоваться в качестве мотора главным генератором. При достижении синхронизма синхронный мотор может быть присоединен к питающей линии переменного тока. Конечный вращающий момент развивается им тогда, когда замыкается цепь постоянного тока для возбуждения.

Первоначальное регулирование напряжения, прикладываемого к тяговым моторам, получается изменением силы тока шунтовой обмотки возбуждения генератора, осуществляемым путем введения сопротивления в цепь шунта (рис. 109). Последующее регулирование может быть получено с помощью ответвления обмотки возбуждения или ее шунтирования.

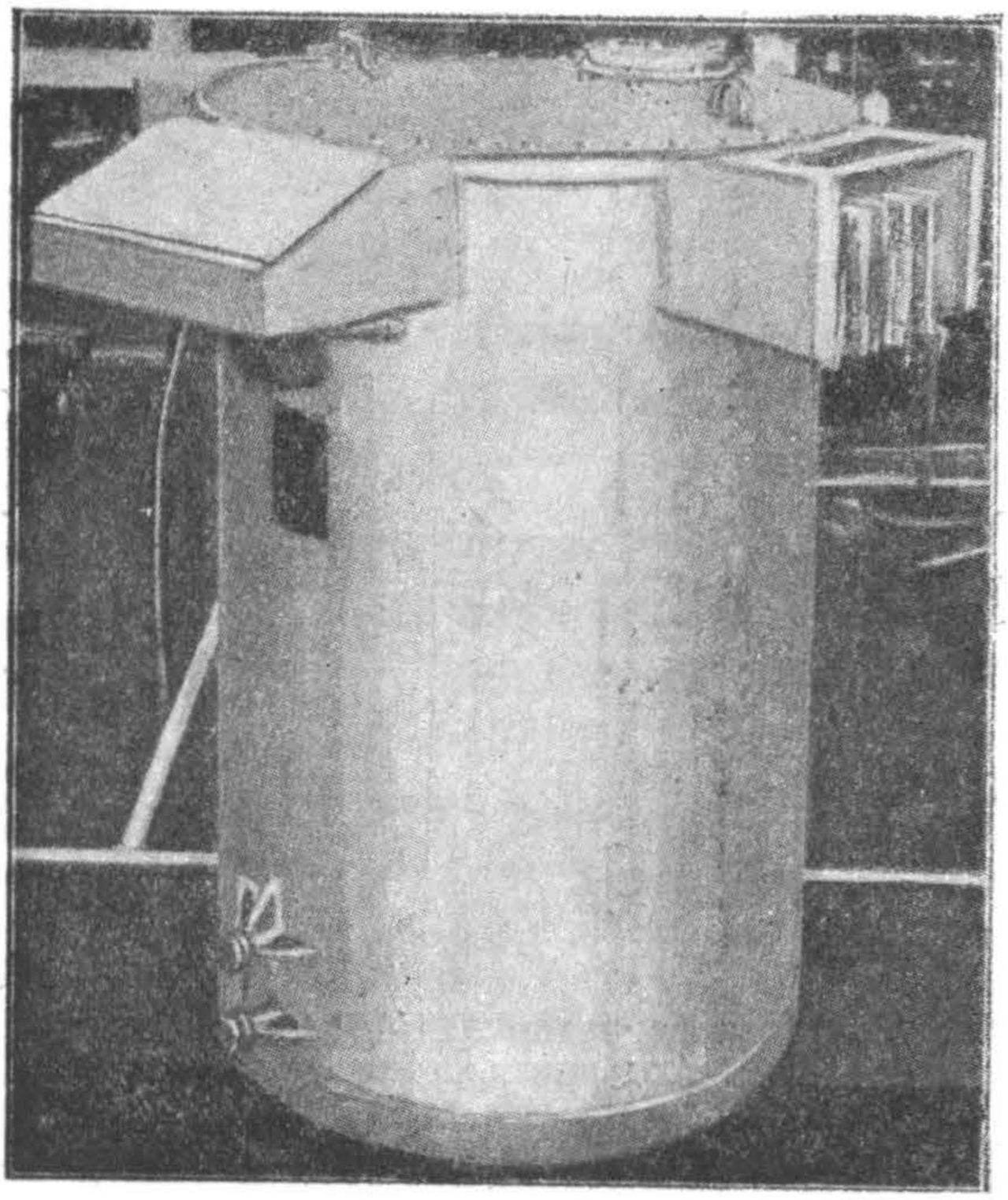


Рис. 107. Трансформатор 3000 kVA с естественным масляным охлаждением.

Для рекуперации на вал мотор-генератора может быть насажен особый возбудитель с возможностью простого перехода питания обмоток возбуждения генератора от последовательного к независимому (рис. 110). Этот же самый возбудитель может применяться при обычном движении без рекуперации для повышения или понижения силы поля возбуждения.

Однофазный синхронный мотор для привода генератора требует особой конструкции и защиты вследствие специфичности электрических процессов и уменьшения синхронизирующего момента при однофазном токе. В случае перерыва в подаче тока электровозу синхронный мотор выпадает из синхронизма и должен быть предохранен от повторного соединения с источником тока до тех пор, пока выключатели и контакторы не будут приведены в положение, при котором начинаются последовательные операции по пуску мотора.

Ниже даются следующие общие данные относительно мотор-генераторного оборудования, применяемого на электровозах.

Хотя управление с помощью мотор-генератора имеет большие преимущества перед управлением с помощью реостата, потому что при нем не имеют места потери в сопротивлениях во время трогания с места

ДГТУ

	Число	Трансформатор	Мотор-генератор	Возбудитель	Примечания
a	4	2 000 kVA 10 150 на 1 240 V; 930 V	1 500 kW С 1 240 V переменного тока на 600 V постоянного тока	75 kW 120 V(10 V для рекуперации)	Четыре единицы два подшипника
b	2	11 000 на 2 300 V	С 2 300 V переменного тока на 1 500 V постоянного тока	65 V	Пять единиц, четыре подшипника
c	2	500 kVA, 11 000 на 2 300 V	—	—	—
d	5	1 212 kVA 11 000 на 2 760 V; 2 300 V	1 000 kW с 2 300 V переменного тока на 750 V постоянного тока, 750 оборотов в минуту	—	Четыре единицы два подшипника
e	2	22 000; 11 000 V	600 V постоянного тока, 750 оборотов в минуту	—	—
f	1	Не имеется	С 16 000 V однофазного переменного тока, на 12-фазный переменный ток; 12-фазный переменный ток в постоянный ток	—	—

уменьшается сила потребляемого тока, но оно в свою очередь вызывает другие потери. Некоторые из этих потерь имеют место почти все время, т. е. не только тогда, когда электровоз находится в движении, во также и во время остановок на станциях и при других задержках, когда машинист принужден оставлять мотор-генератор в действии для кого, чтобы пустить электровоз в ход тотчас по получении сигнала к тотправлению.

Самые значительные потери—это потери в самом мотор-генераторе и в частности потери от трения, которые могут достигать величины до 10% номинальной мощности генератора вследствие большого числа единиц, находящихся на валу. Кроме того во время работы агрегата весьма значительны потери в меди, которые изменяются пропорционально квадрату силы тока. Это делает желательным для снижения силы тока применение высокого напряжения для моторов.

Общий коэфициент полезного действия регулирующего оборудования, измеряемый по отдаваемой мощности трансформатора и мощности, потребляемой тяговыми моторами, исключая вспомогательные устройства, колеблется от 71 до 77% в зависимости от скорости движения и тягового усилия (рис. 111).

НТБ ДИИЖТ

Управление посредством мотор-генератора исправляет коэфициент мощности и дает возможность регулировать работу тяговых моторов при различных нагрузках и скоростях с постоянной мощностью энергии, получаемой от распределительной сети.

Там, где применяется рекуперация, система с мотор-генератором дает еще одно преимущество, в виде источника тока для независимого возбуждения, вследствие чего реализуется возможность рекуперативного торможения вплоть до самых низких скоростей.

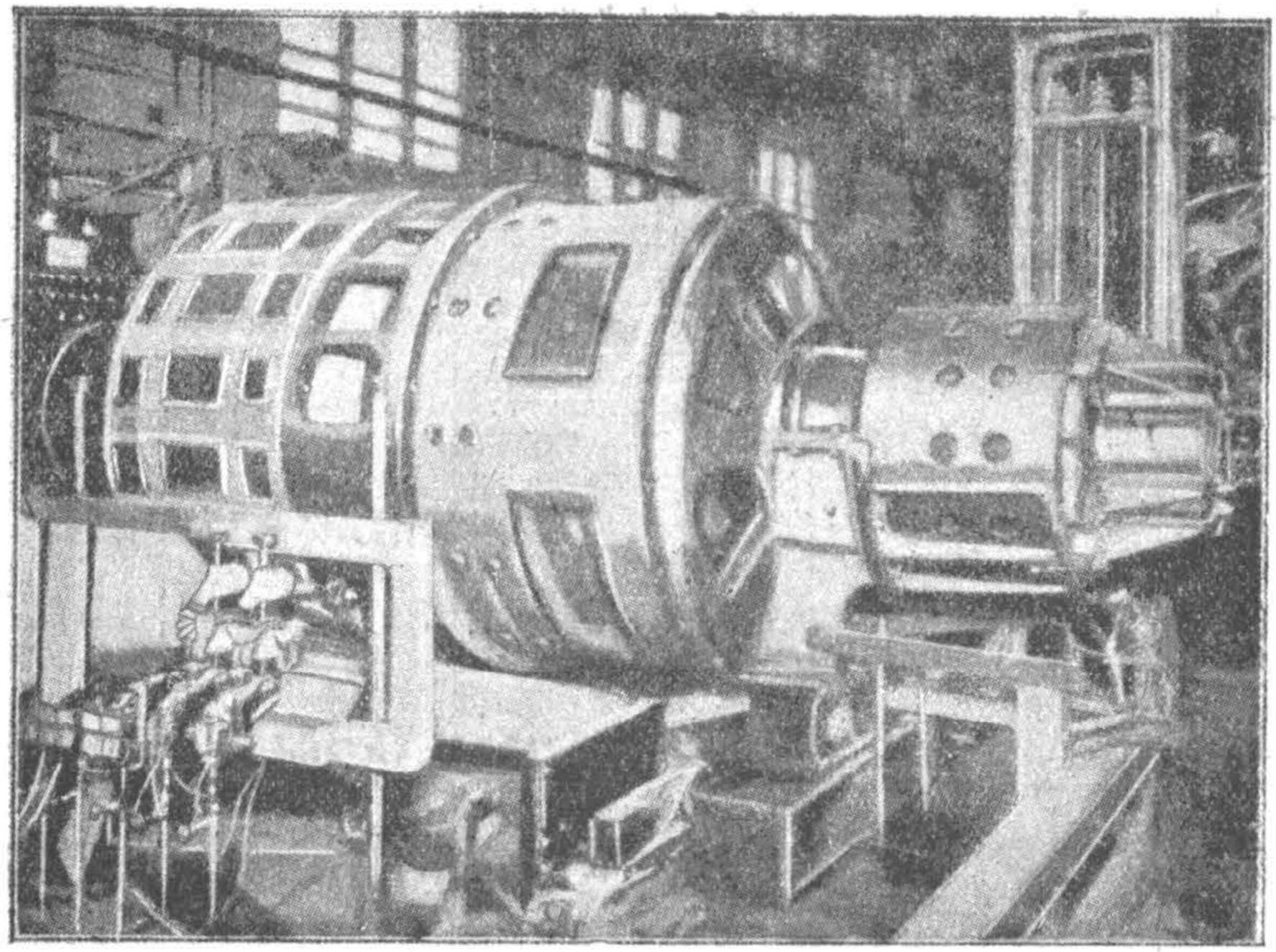


Рис. 108. Мотор-генератор 1000 kW для управления.

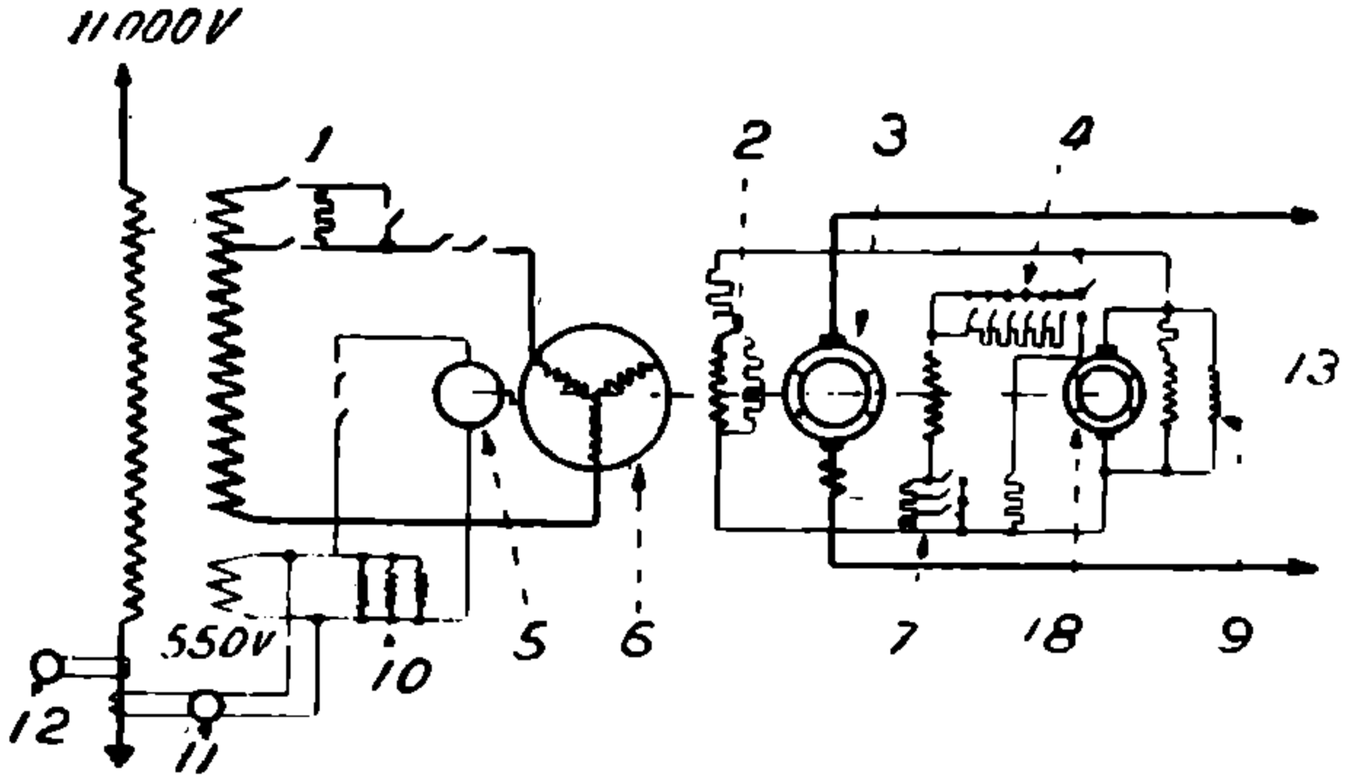
Система управления с помощью мотор-генератора не является очень распространенной. Как и следовало ожидать, при новой системе оборудования встретились затруднения. В одном случае, когда линейное напряжение приключалось непосредственно к статорным обмоткам мотора, пришлось иметь дело с серьезным вопросом об изоляции последних. В другом случае поле однофазных моторов вызвало затруднения как с механической стороны, так и со стороны перегрева. Регулирование это в отношении эксплоатационных характеристик было удачным и дало значительное улучшение в отношении коэфициента мощности, постоянства потребляемой мощности и рекуперации.

Другие системы управления. У индукционных (асинхронных) моторов регулирование скорости вращения для ездовых положений осуществляется с помощью варьирования числа полюсов и каскадного включения, а для пуска используются сопротивления, включаемые в цепь ротора. Группировка контакторов, служащих для изменения соединений обмоток с целью получения различного числа полюсов, для каскадного включения, а также и для реверсивного действия, представляет собой сравни-

НТБ ДИЖТ

тельно сложную систему и требует большего числа выведенных концов проводов от моторов к кабине управления.

В Италии обычно контакторы работают электропневматически и конструируются так, что они не размыкаются под нагрузкой. Это вызывает потерю тягового усилия во время переключения, что является нежелательным. Товарные электровозы не имеют оборудования для из-

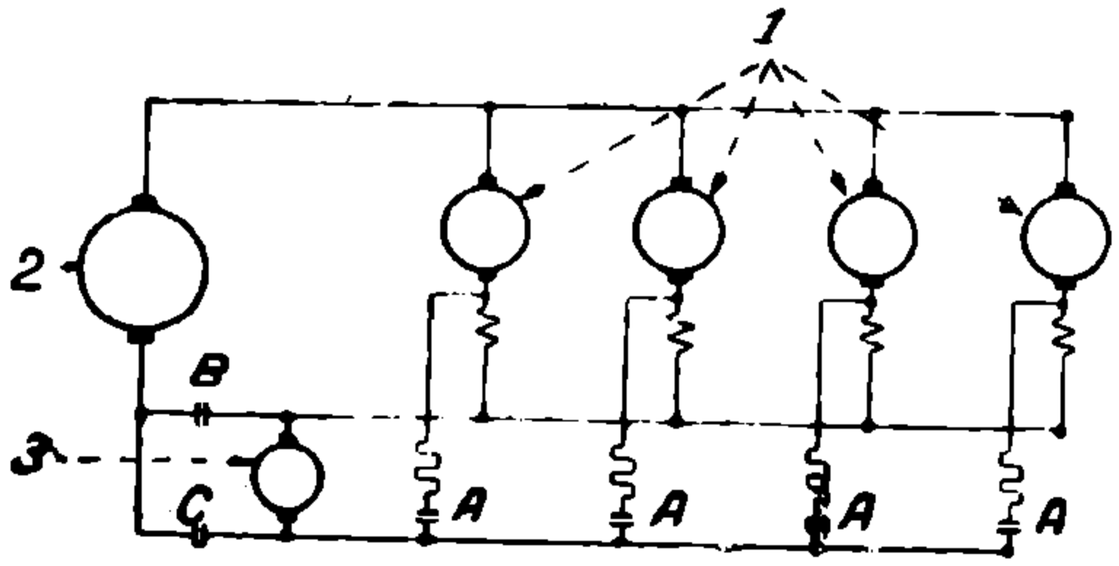


1. Ответвления.
2. Сопротивление для гашения поля
3. Генератор постоянного тока
4. Девять ступеней регулирования поля возбуждения главным контроллером.
5. Мотор для пуска
6. Синхронный мотор
7. Регулирование напряжения с помощью реле
8. Возбудитель
9. Элемент напряжения для реле
10. Элемент напряжения для реле
11. Счетчик ватт-часов
12. Нулевое реле
13. К тяговым моторам

Рис. 109. **Типовая схема цепи управления при помощи мотор-генератора.**

менения числа полюсов, а для двух ездовых положений, соответствующих скоростям в 50 и 25 *км* в час, используется одна ступень каскадного соединения. Пассажирские электровозы имеют соединения для перемены полюсов, причем осуществляются четыре ездовых скорости— 100, 75, 50 и 36 *км*/час.

В случае, если для распределительной сети применена система однофазного тока, а для тяги желательно использовать многофазные индук-



1. Тяговые моторы

   Главный генератор

3. Генератор для питания обмоток возбуждения моторов.

I. Обычная работа—контактор *B* замкнут, *A* и *C* разомкнуты

II. Независимое возбуждение для случая рекуперации—*A* и *B* замкнуты, *C*—разомкнут.

III. Изменение возбуждения мотора *C*—замкнут, *A* и *B* разомкнуты

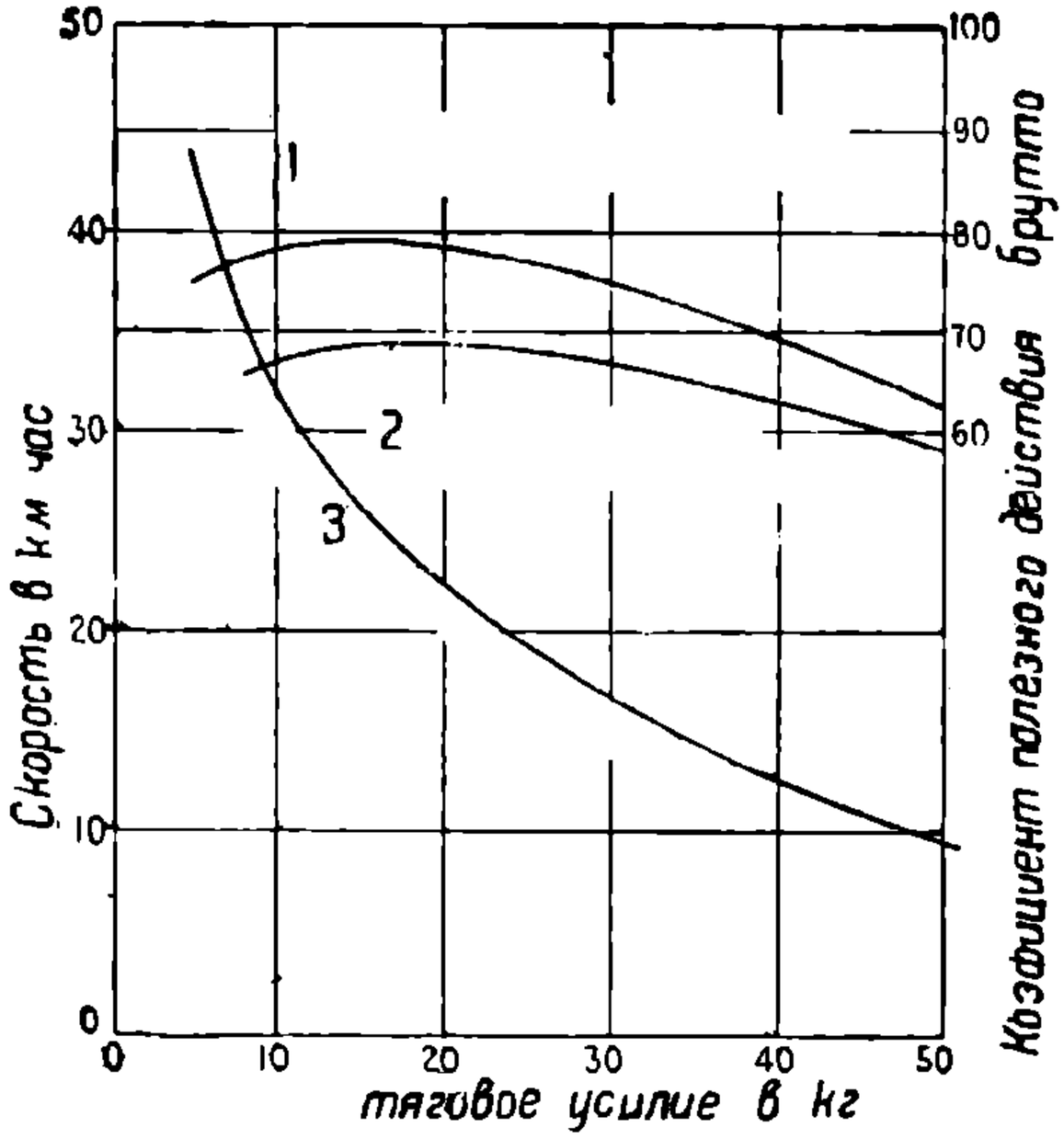
Рис. 110. **Схема соединений для рекуперативного режима при управлении посредством мотор-генератора.**

ционные моторы, то является необходимым преобразование тока, производимое при помощи вращающихся преобразователей числа фаз, которые могут сохранять энергию вследствие инерции вращения в кинетическом виде в течение всего периода и освобождать ее по мере надобности с отдачей той же величины мощности. Это осуществляется применением асинхронного или синхронного мотора двумя статорными обмотками, сдвинутыми приблизительно на 90 электрических градусов. Вследствие указанного достигается осуществление такой двухфазной системы, которая может быть преобразована в трехфазную применением трансформа-

НТБ ДГУЖТ

тора Скотта с средней точкой обмотки трансформатора, присоединяемой к концу одной из фаз, сдвинутых на 90 градусов.

При применении асинхронного преобразователя невозможно одновременное регулирование коэфициента мощности, но при синхронном двигателе это вполне осуществимо. В обоих случаях необходим вспомогательный пусковой двигатель и при пользовании, во время движения, им как возбудителем, для вышеуказанной системы не требуется какого-либо добавочного вращающегося оборудования. Так как преобразователь числа фаз в каждый данный момент передает ток лишь одной из двух фаз, то требуется, чтобы он был сконструирован только для половинной



Коэфициент полезного действия локомотивов, включая все вспомогательные устройства для аналогичных условий нагрузки, но при различных системах управления.

1. Кривая коэфициента полезного действия при управлении посредством ответвлений обмоток трансформатора; однофазные моторы переменного тока
2. Кривая коэфициента полезного действия при управлении путем мотор-генератора; тяговые моторы постоянного тока
3. Тяговая характеристика для обеих систем управления

Рис. 111.

мощности тяговых двигателей, вследствие чего возможна значительная экономия в весе. Упрощенная схема эл.-соединений главной цепи с управлением при помощи преобразователя числа фаз показана на рис. 112; синхронный преобразователь изображен на рис. 113.

Количество и тип контакторов, необходимых для изменения числа полюсов, реверсирования и короткого замыкания фазовых обмоток ротора, почти те же, что и при трехфазном токе. Для пуска и периода ускорения имеются водяные реостаты (рис. 114) в цепи ротора мотора, изменение сопротивления которых производится путем изменения уровня воды, регулируемого с помощью управления на расстоянии (рис. 115).

Рекуперация при управлении с помощью асинхронного преобразователя производится всецело автоматически, и для устойчивой работы требуется лишь устройство ответвлений для уравновешения напряжения.

Управление тормозами. Благодаря свойству обратимости тяговых моторов можно, подводя к ним механическую энергию движущегося поезда, превращать последнюю в электрическую, посредством чего осуществляется весьма эффективный способ торможения поезда.

НТБ ДГУЖТ

Электрическая энергия, генерированная таким образом, может быть поглощена сопротивлениями и излучена в виде тепла или может быть передана обратно в сеть и затем где-либо использована.

При тяговых сериес-моторах постоянного тока необходимо обеспечить какой-либо источник независимого возбуждения, если моторы должны работать как генераторы для передачи энергии в распределительную сеть. Желательно, ради простоты, пользоваться теми же обмотками электромагнитов, которые применяются во время работы машины в качестве мотора, вследствие чего для возбуждения необходимы большая сила тока и низкое напряжение. Последние могут быть получены путем использования линейного тока, преображенного в ток низкого напряжения с помощью мотор-генератора или генератора главной мотор-генераторной установки. Ток возбуждения может также получаться путем использования некоторых тяговых двигателей, как генераторов, или от специальных генераторов, приводимых в движение от осей.

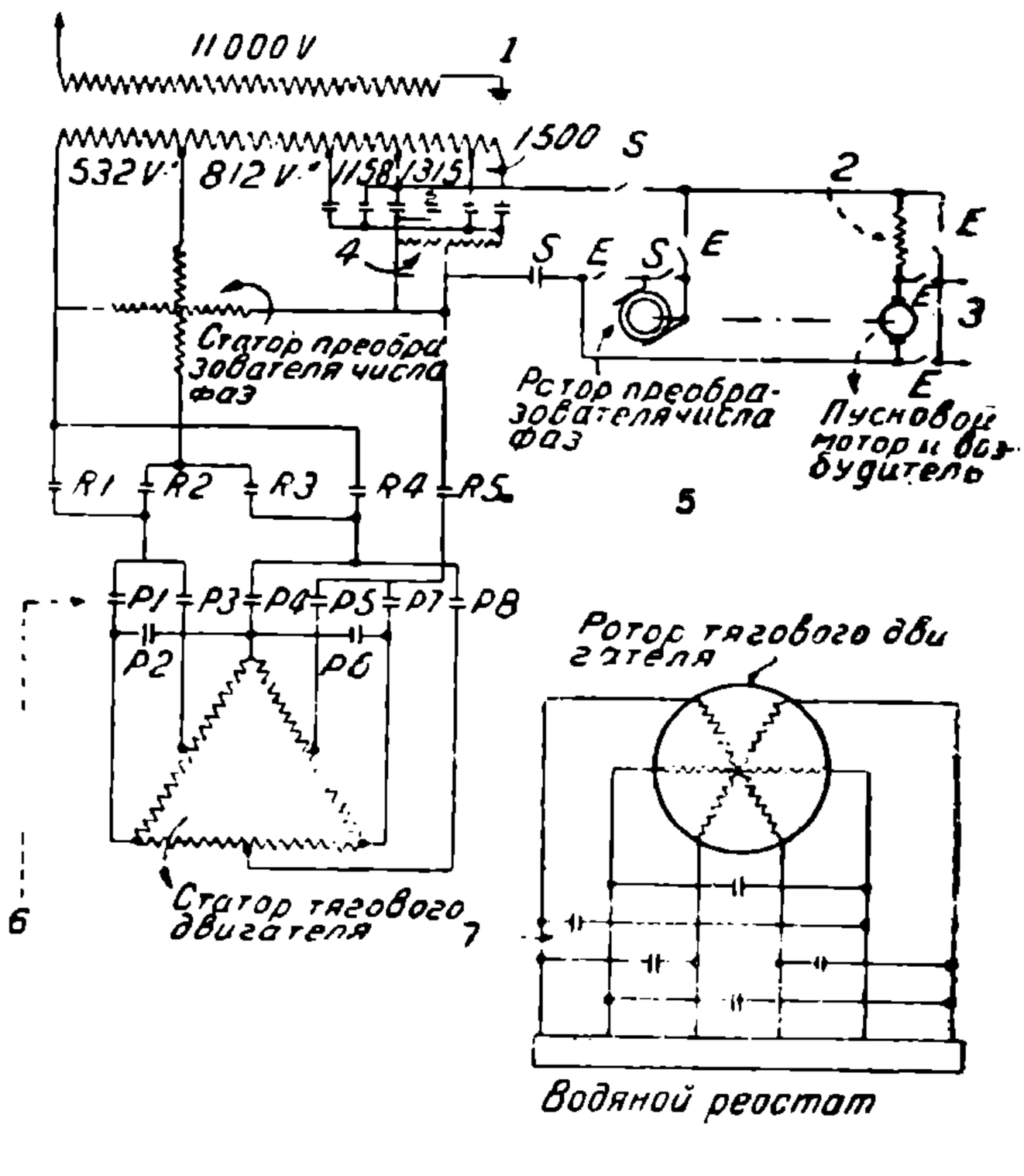


Рис. 112. Упрощенная схема управления электровоза с асинхронными тяговыми моторами и с преобразователем числа фаз.

1. Первичная обмотка трансформатора. 2. Обмотка для последоват. возбуждения мотора при пуске со стороны переменного тока и для шунтового при работе машины в качестве возбудителя. 3. К аккумуляторной батарее. 4. Уравновешивающая катушка. 5. Реверсные контакторы (вперед—замкнуты R1, R3 и R5, назад—замкнуты R2, R4 и R5). 6. Контакторы для изменения числа полюсов (4 пары полюсов—замкнуты P1, P4, и P7, 2 пары полюсов—замкнуты P2, P3, P5, P6 и P8). 7. Контакторы для кор. замыкания рототорных обмоток. Для пуска—замыкаются контакторы под индексом S, при установившемся движении—контакторы под индексом E.

Во всех случаях система рекуперации должна давать нужную силу торможения при различных скоростях движения и при различном напряжении распределительной сети. В целях обеспечения устойчивой работы при различных напряжениях было изобретено одно приспособление для возбуждения тяговых двигателей от генераторов с источником постоянного напряжения для полюсов последних и омическим шунтовым сопротивлением для полюсов тяговых моторов. Такое же сопротивление имеется также и в цепи тока возбуждения. Если рекуперативный ток увеличивается, то он повышает падение напряжения в сопротивлении, которое в свою очередь понижает ток в обмотках возбуждения тягового двигателя и тем самым понижает величину рекуперируемого тока.

При системе возбуждения от генератора на оси сила поля изменяется вместе со скоростью движения, увеличиваясь по мере того, как возра-

НТБ ДНУЖТ

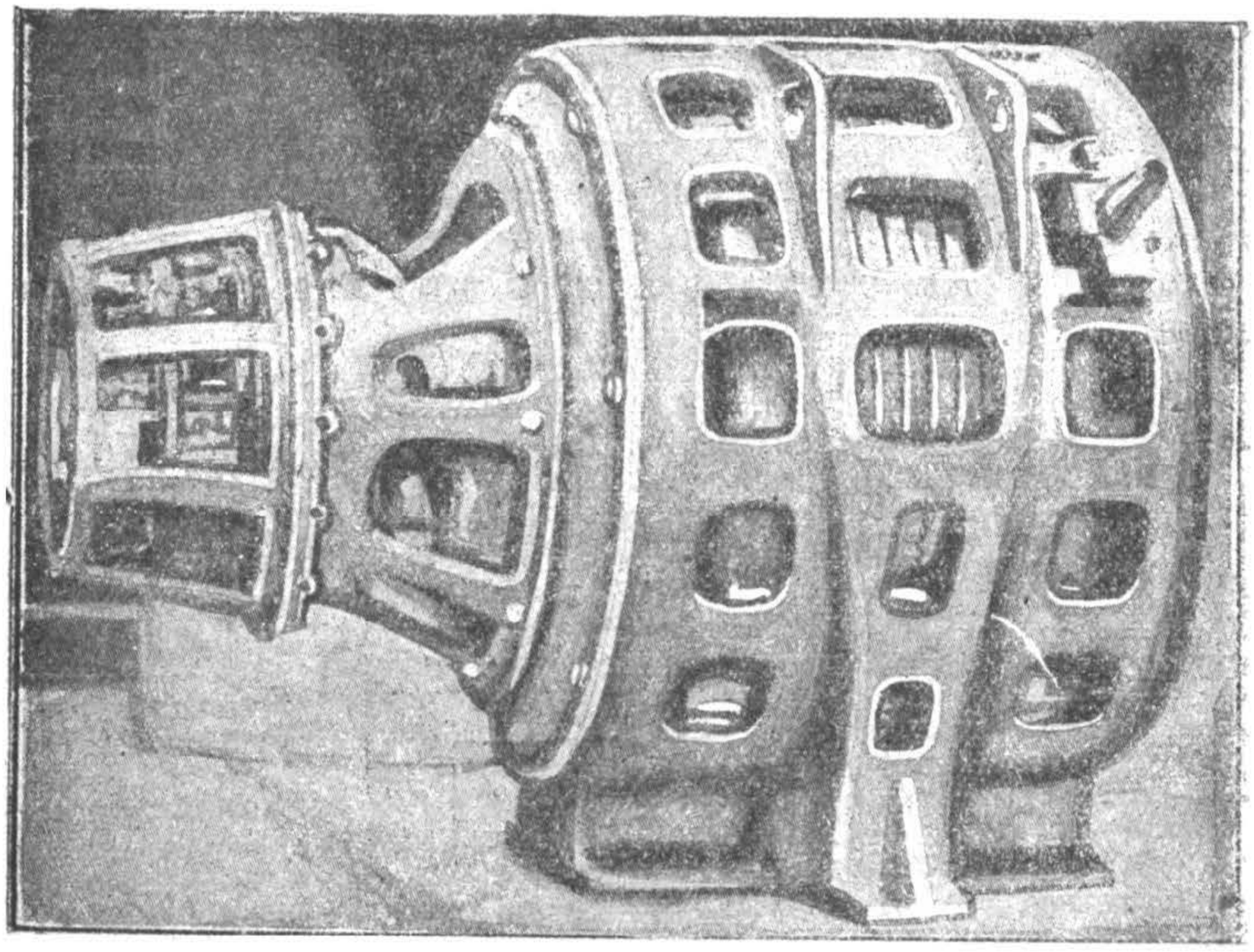


Рис 113. Преобразователь числа фаз для локомотива с асинхронными моторами.

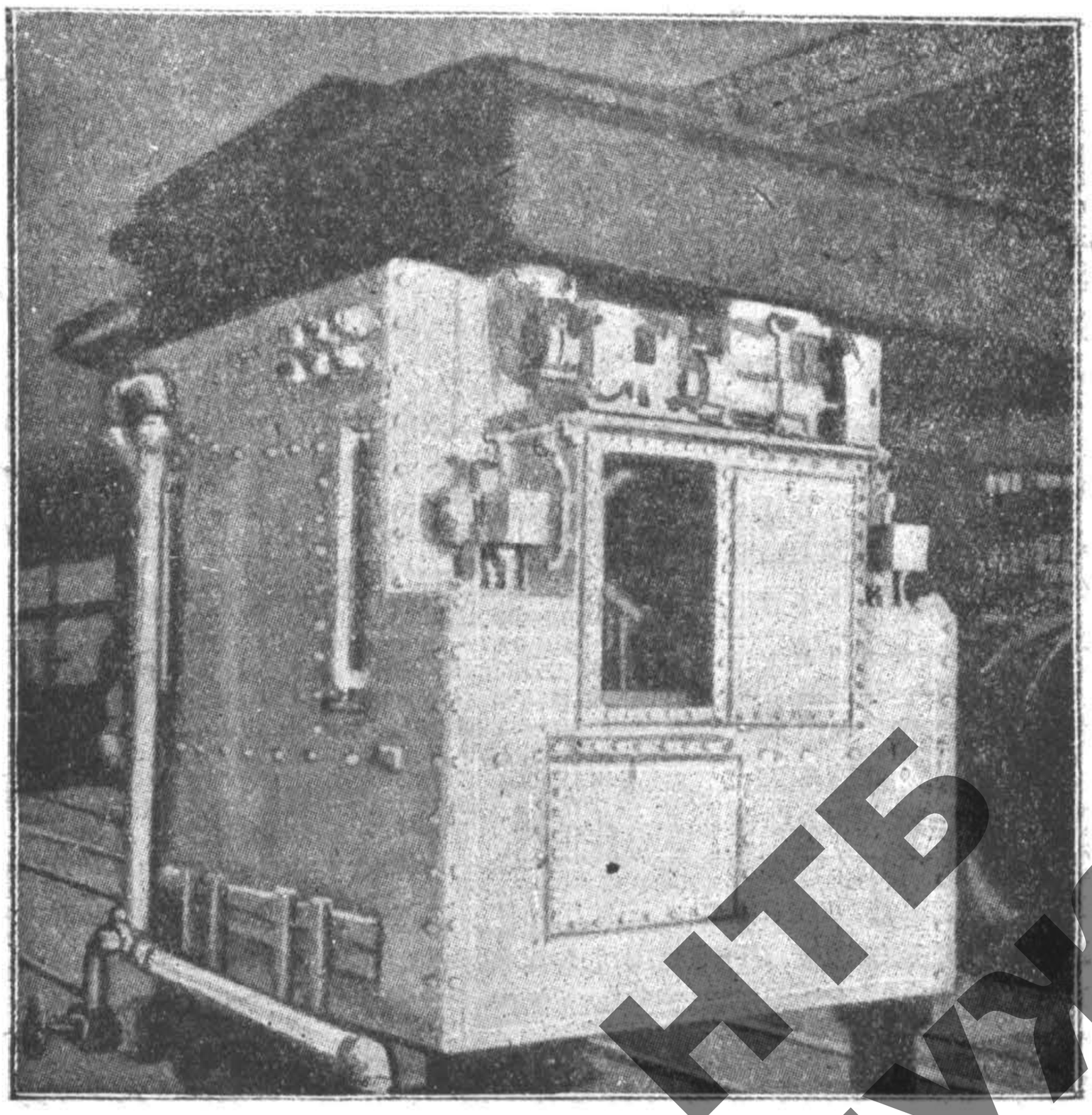


Рис. 114. Водяной реостат для регулирования скорости индукционных моторов.

НТБ ДНУЖТ

стает скорость, и стремясь таким образом развить при этом большую тормозную силу. Другой способ регулирования рекуперированной энергии, при котором пользуются источником независимого возбуждения, применяется для того, чтобы обеспечить возбуждение при генераторном режиме при помощи компаундирования, причем последовательная об-

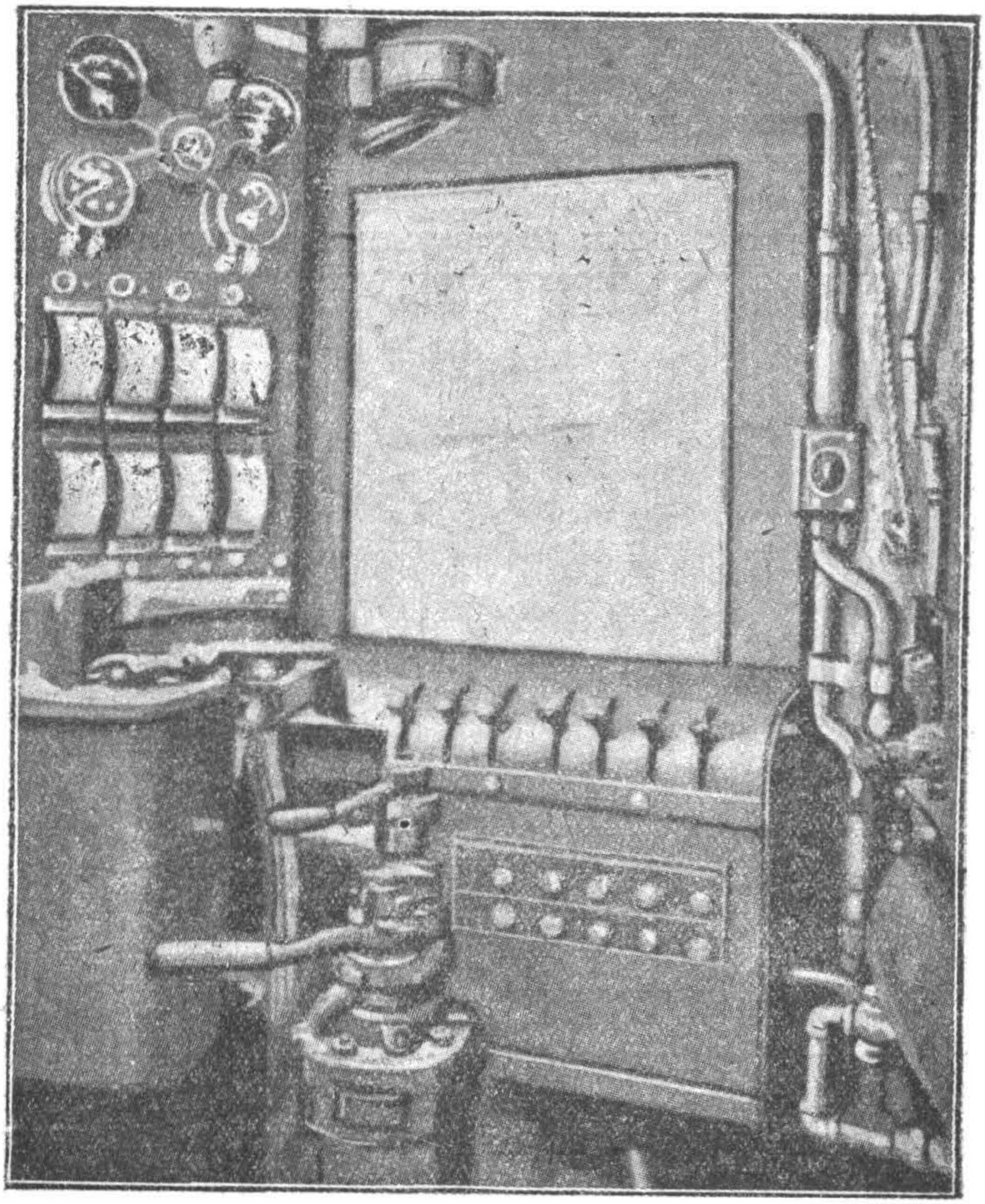


Рис. 115. Кабина управления электровоза с асинхронными моторами. Рукоятки для переключения полюсов и обратного хода видно слева, а контакторы для управления водяным реостатом— справа.

мотка должна быть направлена против шунтовой и служить для понижения силы рекуперированного тока, в случае изменения внешних условий, стремящихся повысить его. Сила поля шунтовой обмотки может применяться для особых характеристик торможения и установления желаемой скорости.

С помощью асинхронных тяговых двигателей можно получить рекуперацию, фактически не применяя добавочного оборудования, за исключением устройства нескольких ответвлений для уравнивания напряжений. Тяговые двигатели автоматически переходят от механиче-

НТБ ДПУЖТ

ской работы к генераторному режиму, причем скорость их сохраняется почти постоянной, независимо от линейного напряжения или нагрузки.

Влияние рекуперативного торможения на эксплоатацию в целом заслуживает внимания. Опыт электрической эксплоатации на трех длинных участках показал, что в среднем от 9 до 10% потребляемой энергии рекуперируется и передается обратно на линию. Там, где распределительная сеть присоединена к общей питающей сети, эта рекуперированная энергия может потребляться даже если на линии не имеется никакого движения. В случае снабжения от самостоятельной железнодорожной силовой станции, на последней должно быть устроено специальное приспособление для поглощения рекуперированной энергии. Для этих целей пользуются водяными реостатами больших размеров. Возможно, что одной из самых важных черт системы рекуперативного торможения является равномерное регулирование тормозного усилия для тяжелых поездов

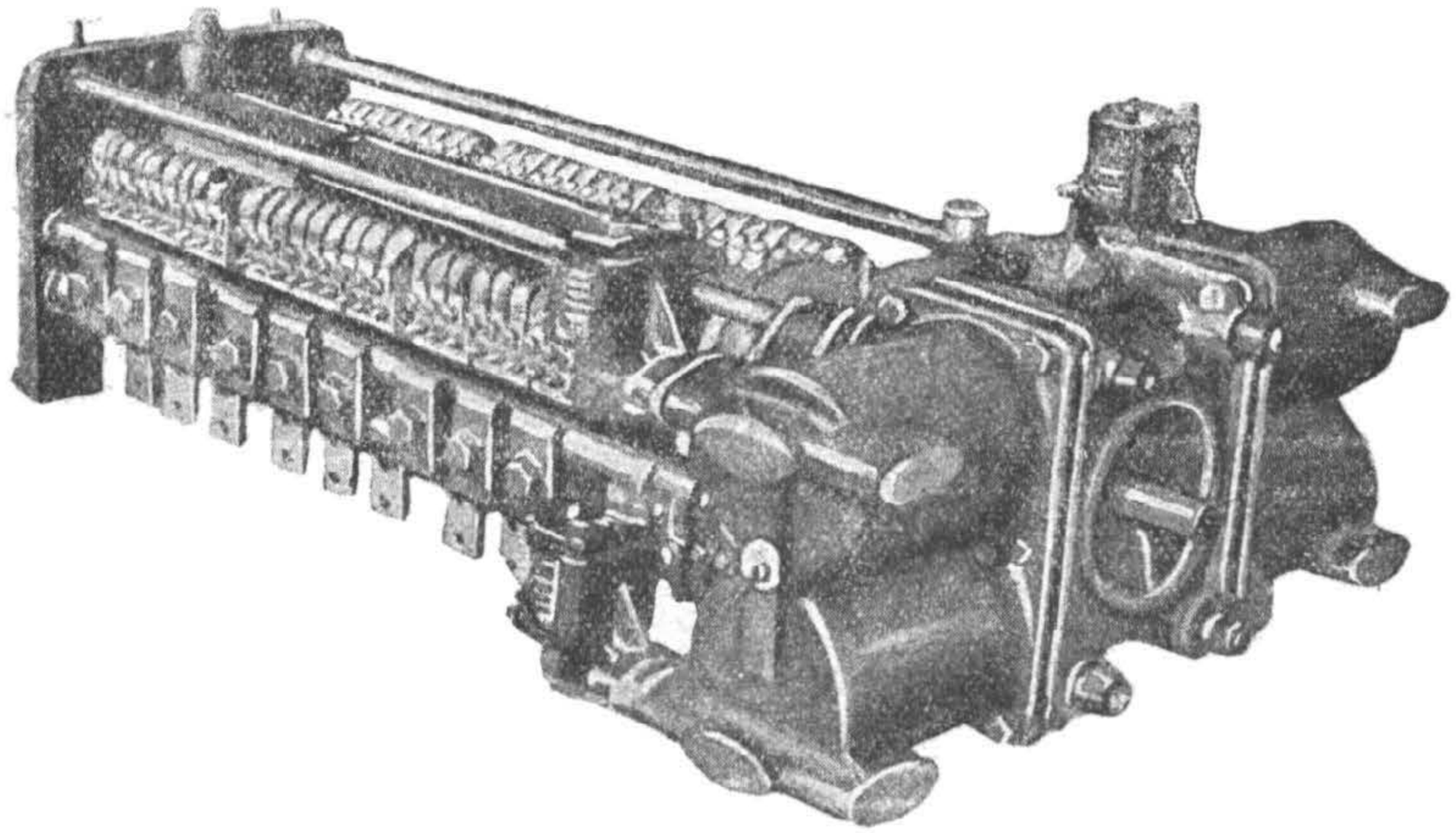


Рис. 116. Пневматический контроллер барабанного тока.

при одновременных низких издержках на износ тормозных колодок. Удлинение срока службы тормозных колодок было исчисленно в 100% по отношению к таким же вагонам, работавшим на той же линии без применения рекуперации.

В эксплоатации рекуперативное управление вполне оправдало возлагавшиеся на него ожидания, но при этом были отмечены и некоторые затруднения. Результатом отказа в действии рекуперативного режима до момента развития чрезмерно большой скорости, когда воздушные тормоза уже не в состоянии действовать, явились некоторые случаи крушения. Перегрузка тяговых двигателей при рекуперировании энергии слишком большой мощности повидимому являлась причиной некоторых аварий с двигателями в результате перегрева обмоток, чего не случилось бы, если бы двигатели несли исключительно механическую нагрузку. Однако оба этих вопроса могут быть разрешены надлежащим образом.

Торможение путем генераторного режима работы тяговых двигателей может быть осуществлено и при однофазных коллекторных двигателях, если эти двигатели не присоединяются непосредственно к распределительной сети, а могут работать изолированно, как машины постоян-

НТБ ДГУЖТ

ного тока. Очевидно, что эта система может применяться с известным ограничением, вследствие невозможности поглощения большого количества энергии в относительно небольших по размерам сопротивлениях, которые могут быть установлены на электровозе.

Однако и для этой системы рекуперативного торможения имеется область применения, которая была развита в Европе до большого совершенства. Если энергия и не подается в сеть, могут быть реализованы до известной степени большие выгоды от равномерного торможения и экономии на тормозных колодках и бандажах.

Переключатели и контакторы цепи управления. Операции включения и выключения, которые определяются различными системами управления, требуют довольно большого количества переключающих приборов. В целях предохранения от износа, имеющего место в результате обгорания контактов при образовании дуги во время размыкания, и исходя из со-

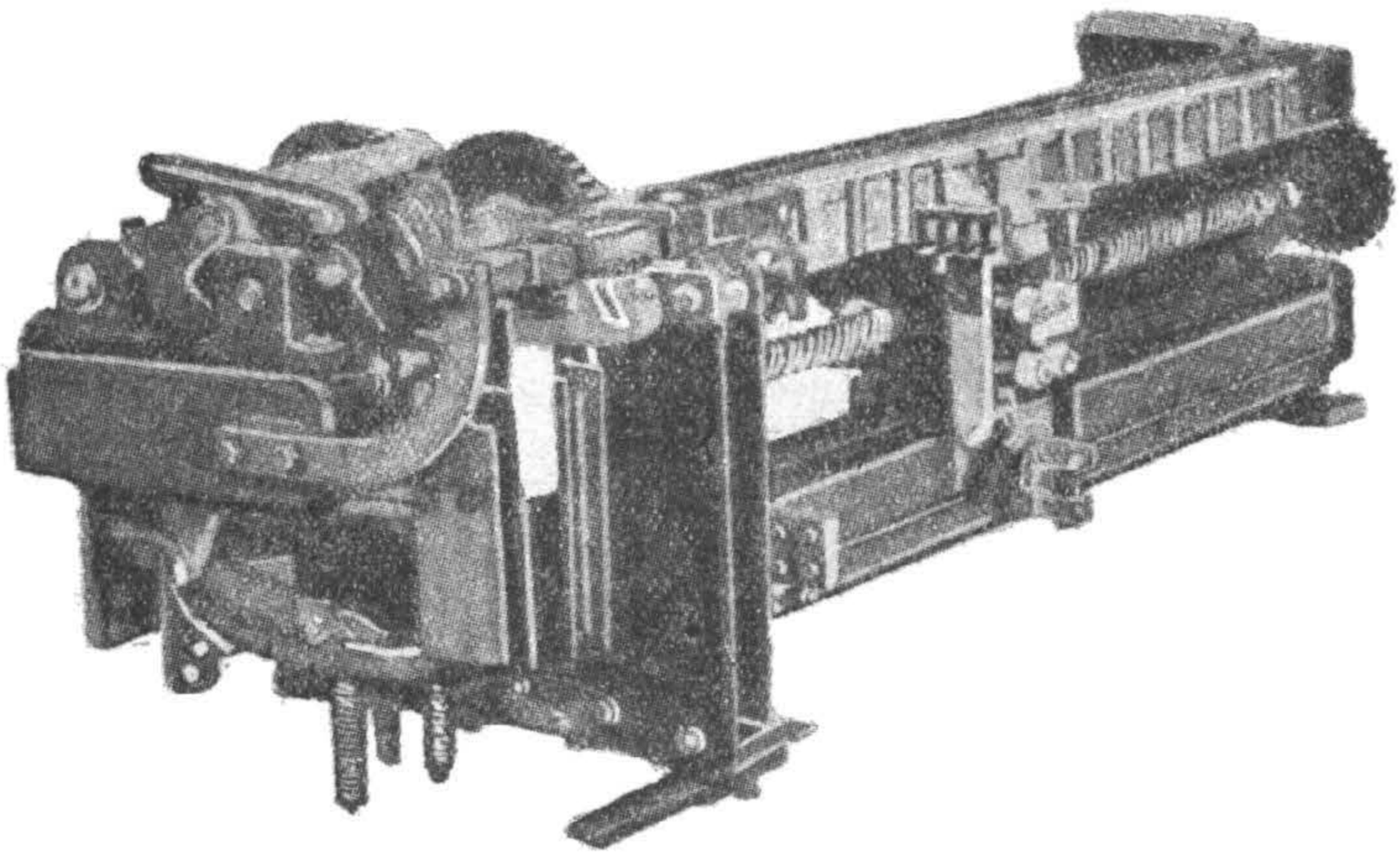


Рис. 117. Групповые выключатели со скользящими контактами для ответвлений обмотки трансформатора.

ображений уменьшения первоначальной стоимости, должны быть приложены все усилия к тому, чтобы производить размыкание цепей под нагрузкой с помощью сравнительно небольшого числа выключателей.

Отдельные переключатели для моторов, реверсоры, переключатели, изменяющие число полюсов, а иногда и переключатели ответвлений трансформаторов, могут быть устроены таким образом, чтобы под нагрузкой они не отключались. В этом случае с большим экономическим эффектом можно пользоваться простыми металлическими и деревянными барабанами с большими пружинными пальцами, служащими для осуществления контакта (рис. 116). При этом не требуется предохранения от дуги или катушки для ее магнитного гашения. Дальнейшая экономия может быть получена комбинированием отдельных выключателей для мотора с реверсивными переключателями, если последние устраиваются для каждого мотора или для группы моторов. При этом также значительно сокращается число подводящих концов. Для выключения ответвлений трансформаторных обмоток размыкание токов короткого между

НТБ ДНУЖТ

ответвлениями может производиться двумя выключателями, рассчитанными на главный ток нагрузки, а фактическая перемена ответвлений может быть произведена с помощью щеток со скользящим контактом (рис. 117).

У выключателей, работающих под нагрузкой, следует устраивать приспособления для разрыва дуги с помощью катушек магнитного гашения и для поглощения тепла. Необходимо принять меры к тому, чтобы ограничить дугу и помешать ее заземлению или какому-нибудь другому вредному, вызванному ею, явлению. Естественно, что при этом износ контактных деталей вследствие выделения тепла весьма значителен, и требуется их регулярный осмотр и возобновление для того, чтобы была обеспечена удовлетворительная эксплоатация.

Для приведения в действие контакторов и выключателей пользовались различными механизмами. Были испробованы индивидуальные электромагнитные приборы в виде соленоидов с подвижными железными сердечниками и управляемые посредством замыкания и размыкания их электрической цепи. Другой метод—это использование в качестве действующей

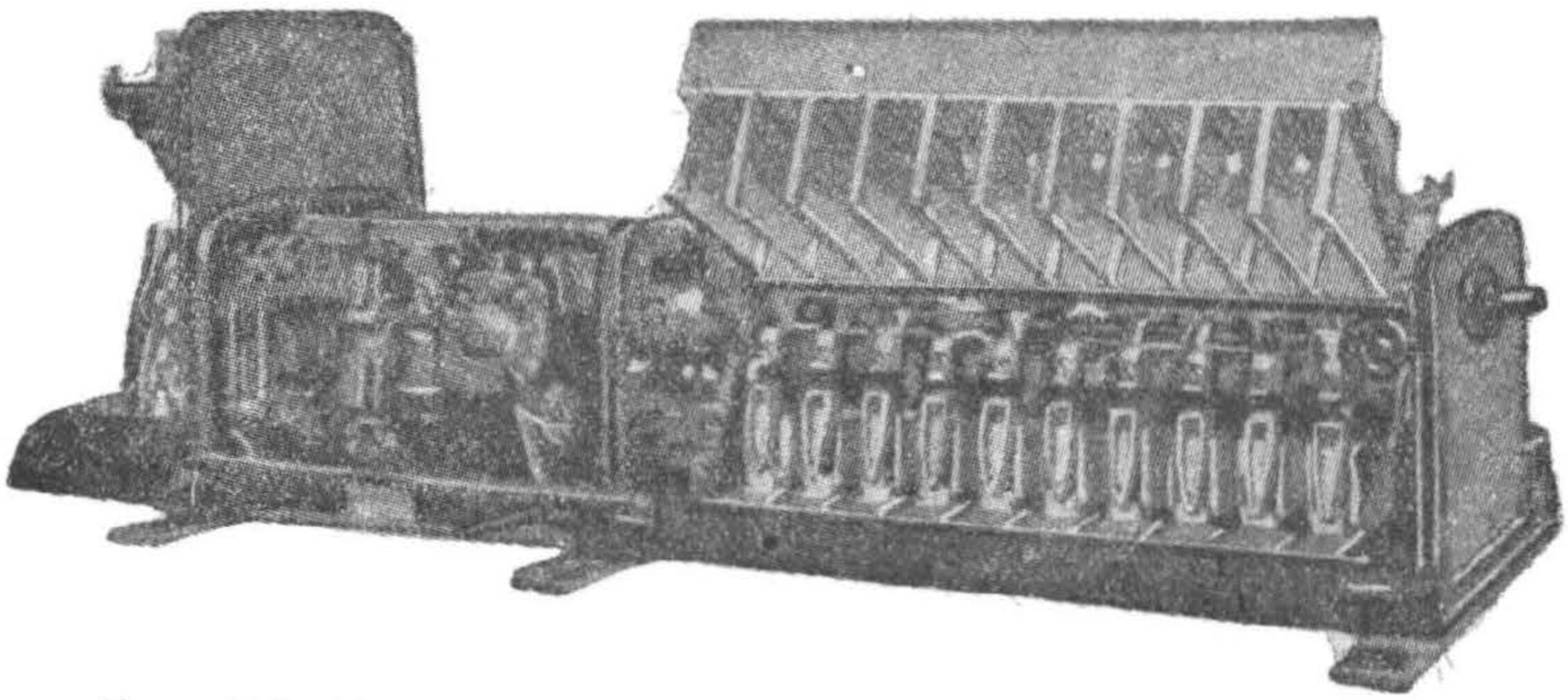


Рис. 118. Групповые контакторы с кулачковым приводом.

силы сжатого воздуха и управление с помощью электропневматических клапанов. В целях предохранения от неправильного выключения, оба эти способа, как применяемые к отдельным единицам в группе контакторов, требуют блокировочных контактов и цепей, которые могут быть очень сложными и требуют к себе столько же внимания, как и сами контакторы.

За последнее время были изобретены групповые контакторы, действующие в известной последовательности с помощью кулачков, надлежащим образом расположенных на общем валу (рис. 118). Этот вал может приводиться в действие с помощью пневматического или электрического двигателя, управление работой которого производится электрически, причем эти цепи управления довольно просты по сравнению с блокировочными цепями, необходимыми при индивидуальном обслуживании контакторов.

Для главной цепи тока применяются обыкновенные быстродействующие выключатели для постоянного тока и масляные выключатели для переменного тока, причем их номинальная разрывная мощность должна назначаться в соответствии с силой тока короткого замыкания распределительной системы. При однофазном переменном токе

НТБ ДНУЖТ

имеется тенденция не ставить мгновеннодействующие выключатели для питающей цепи, рассчитывая на действие выключателей распределительного устройства подстанций; затем для выключения главной цепи служит автоматически опускающийся пантограф, приводимый в действие посредством реле нулевого напряжения с выдержкой времени.

Вспомогательное оборудование. Работа приборов управления силовой цепи требует установки значительного вспомогательного оборудования. Для цепи управления требуется энергия постоянного тока с источником в виде аккумуляторной батареи, необходимой для начала работы, когда электровоз отключен. Для работы цепи управления требуется низкое напряжение, и при высоком напряжении распределительной сети постоянный или переменный ток низкого напряжения должен получаться от небольшого мотор-генератора. Дополнительное оборудование необходимо для освещения и отопления. Для подачи сжатого воздуха в систему воздушного тормоза требуется надежный компрессор поршневого типа, приводимый в действие мотором с помощью зубчатой передачи, или центробежный, непосредственно соединенный с мотором. В некоторых случаях, где уголь дорог, а электрическая энергия, наоборот, дешева, очень выгодно отапливать вагоны электроэнергией. Для этого необходимы вспомогательные источники энергии мощностью до 400 kW. В Европе для такой отопительной нагрузки был выработан стандарт для напряжения, которое берется 1000 V для полного отопления и 800—600 V для более слабого. Это определяет установку на 400 A, получаемых или через ответвления трансформатора, или через сопротивление, или с помощью мотор-генератора, вырабатывающего постоянный ток. Кроме того требуется вспомогательное оборудование для привода пантографов, для автоматического закрывания дверей, для вентиляции и т. д.

НТБ
ДНУЖТ

ГЛАВА XIV

ТЯГОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Двигатель является сердцем всякого электровоза или моторного вагона и поэтому полностью определяет их общую конструкцию и характерные черты ее работы. В задачу настоящей книги не входит детальное рассмотрение принципов конструирования и работы электрических моторов, а рассматривается лишь приложение этих принципов к вопросам электрической тяги.

Электродвигатели постоянного тока. Получение механической силы, вращающего момента или тягового усилия в электродвигателе постоянного тока основано на работе тока в магнитном поле, когда проводник, оживленный током, пересекает магнитные силовые линии. Магнитный поток в этом случае создается током, обтекающим обмотки возбуждения мотора, а проводниками, пересекающими магнитные силовые линии, являются обмотки вращающегося якоря. Надлежащее направление тока в обмотках якоря, необходимое для достижения постоянно направленного вращающего момента, обеспечивается коммутацией тока на коллекторе, к которому присоединены концы обмотки якоря и куда через щетки подводится электрический ток.

Действительное магнитное поле, взаимодействующее с обмоткой якоря, отличается от магнитного поля, устанавливаемого ампервитками возбуждения, на величину поля реакции якоря, возникающего от протекания тока в обмотках якоря. Реакция якоря производит главным образом искажение поля, не вызывая значительного уменьшения величины суммарного магнитного потока. Механические усилия, развиваемые обмотками якоря электродвигателя, пропорциональны силе этого магнитного поля, и следовательно последнее имеет непосредственное отношение к созданию вращающего момента и тягового усилия электродвигателя. Отсюда следует, что изменением силы тока возбуждения или числа витков обмотки возбуждения можно осуществить регулирование этого вращающего момента или тягового усилия.

Вторым необходимым фактором, участвующим в создании вращающего момента, является ток в обмотке якоря. Предельная допустимая величина этого тока устанавливается допускаемой величиной нагревания обмоток и, следовательно, максимально допустимый ток в якоре есть функция способности материала проводника поглощать, проводить и излучать тепло. В каждом отдельном случае таким образом имеется, при прочих равных условиях, определенный максимум допустимого перегрева. В пределах нормальной рабочей температуры величина силы тока является функцией напряжения на клеммах, падения напряжения в обмотках якоря и противоэлектродвижущей силы, возникающей в проводниках при пересечении ими магнитных силовых линий. Противоэлектродвижущая сила в свою очередь пропорциональна числу оборо-

ДНУЖТ

тов якоря и величине магнитного потока и, следовательно, тоже определяет собой скорость и тяговое усилие мотора. Соотношение вышеназванных факторов можно выразить следующим образом:

Напряжение на зажимах якоря = силе тока × сопротивление обмотки якоря плюс противоэлектродвижущая сила.

Тяговое усилие = магнитному потоку × силу тока в коре × постоянный коэфициент

или

Напряжение на зажимах якоря = силе тока × сопротивление обмотки якоря плюс магнитный поток × число оборотов × некоторый постоянный коэфициент.

Практически можно считать, что величина падения напряжения в обмотках якоря является незначительной по сравнению с величиной противоэлектродвижущей силы, и поэтому приближенно последнюю можно считать равной рабочему напряжению на зажимах якоря = магнитному потоку × число оборотов × константу.

Электродвигатели постоянного тока могут быть сконструированы таким образом, что магнитный поток будет поддерживаться постоянным, как например в шунтовом электродвигателе с независимым возбуждением. Из указанных выше соотношений очевидно, что такой электродвигатель будет работать при постоянной скорости, независимо от величины вращающего момента и следовательно тягового усилия, при условии постоянства напряжения на зажимах (и следовательно противоэлектродвижущей силы, которая при некотором неизменном числе оборотов и магнитном потоке будет постоянна).

В электродвигателе сериесного типа магнитный поток изменяется с изменением тока в якоре, и таким образом сила тока имеет двойное влияние на тяговое усилие, так как с увеличением силы тока в якоре увеличивается и сила магнитного поля, взаимодействующего с обмотками первого. Соотношение между напряжением на зажимах и противоэлектродвижущей силой остается тем же, но напряжение на клеммах уже не определяет скорости вращения, так как магнитный поток в данном случае меняется. При меньшей силе тока и меньшей величине магнитного потока для получения противоэлектродвижущей силы, примерно равной приложенному напряжению, требуется бо́льшая скорость вращения; при большей силе тока и, следовательно, большей величине магнитного потока, для достижения необходимой противоэлектродвижущей силы достаточно меньшее число оборотов. Следовательно соотношение, определяемое рабочими характеристиками сериесмотора, будет таково: увеличение тягового усилия при уменьшении числа оборотов (скорости вращения) и обратно.

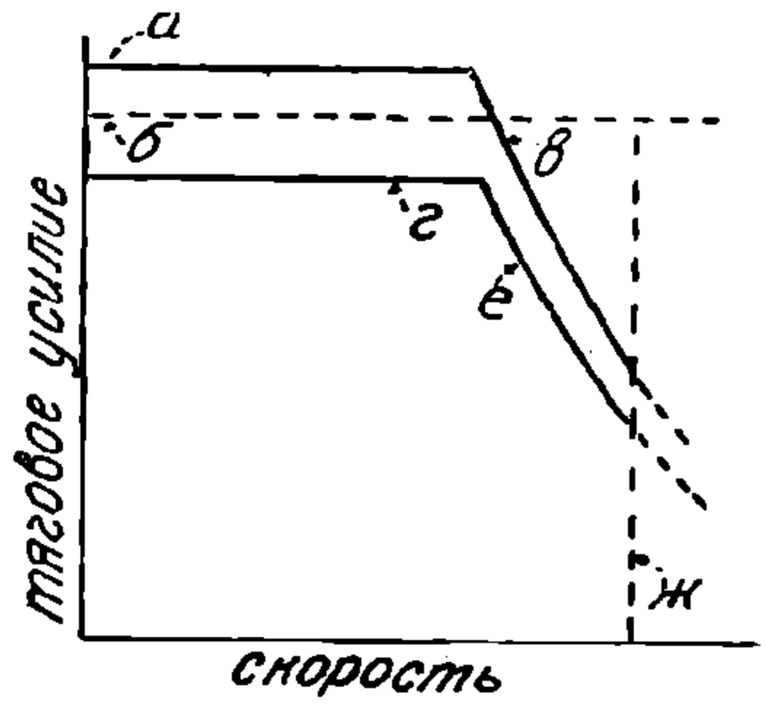
Можно построить ряд характеристик, определяющих при изменении приложенного напряжения соотношение между числом оборотов и тяговым усилием (рис. 105).

Требование удовлетворительной коммутации тока на коллекторе устанавливает некоторые пределы величины приложенного напряжения в виду опасности кругового огня и искрообразования от плохой коммутации, имеющей место, если напряжение между соседними пластинами коллектора слишком велико. Этим самым ограничивается величина отдаваемой мощности при больших скоростях вращения, так как электродвижущая сила и следовательно напряжение на зажимах, не могут бес-

НТБ ДНУЖТ

предельно увеличиваться в то время, как сила тока будет уменьшаться вследствие увеличения противоэлектродвижущей силы.

Существуют также некоторые ограничения скорости вращения с механической стороны, ввиду увеличения центробежной силы, воздействующей на коллектор и обмотки якоря.



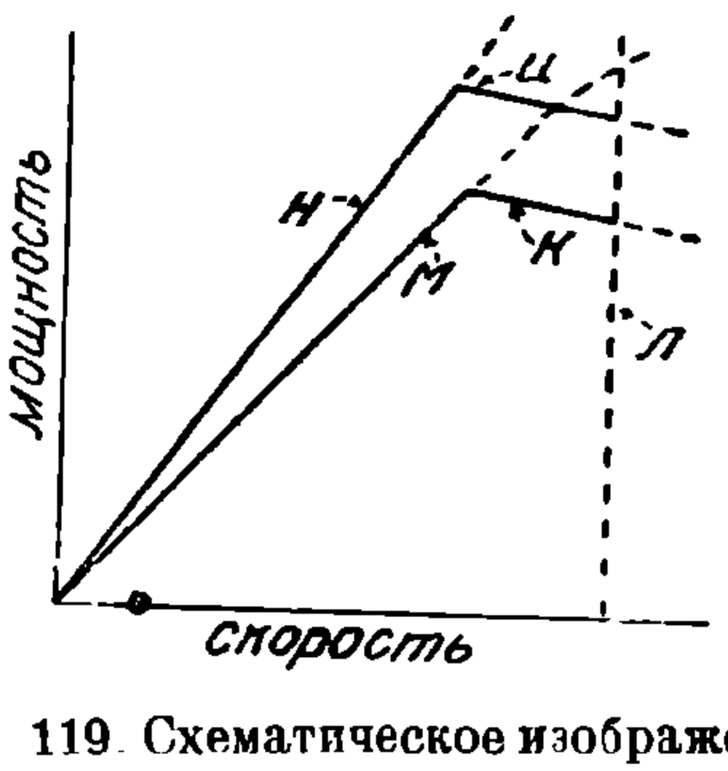


Рис. 119. Схематическое изображение характеристик и предельных величин для сериес-двигателя.

а. Наибольшее тяговое усилие при перегрузке
б. Наибольшее тяговое усилие, определяемое наибольшим коэфициентом сцепления
Характеристика двигателя при максимальном напряжении, допускающем удовлетворительную коммутацию при перегрузке
г. Наибольшее тяговое усилие при длительной нагрузке
е. Характеристика двигателя при максимальном напряжении, допускающем удовлетворительную коммутацию при длительной нагрузке
ж,д. Максимальная скорость, отвечающая допускаемым центробежным усилиям
и. Наибольшая мощность, отвечающая безопасному напряжению при перегрузке
к. То же, при длительной нагрузке
м Наибольшая мощность при длительной нагрузке
л То же, при перегрузке

Кривые на рис. 119 в схематическом виде показывают влияние всех указанных ограничений на характер рабочих кривых сериесного электродвигателя. На практике соотношение между различными ограничивающими факторами и рабочими характеристиками в большой мере определяется конструкцией электродвигателя.

Механические усилия в значительной степени зависят от различных элементов двигателя. Площадь поперечного сечения и число полюсов, поскольку они влияют на величину потока, пересекающего обмотки якоря, оказывают непосредственное влияние на величину развиваемого усилия. Активная длина проводников якоря является другим, непосредственно связанным с ним, фактором. Диаметр якоря является косвенным фактором, поскольку им определяется число проводников и величина плеча вращающего момента. Максимальная величина диаметра является функцией центробежной силы и, следовательно, допустимой скорости вращения двигателя (рис. 120).

Коллекторные двигатели переменного тока. Однофазный сериесный двигатель переменного тока имеет в общем такие же характеристики, как и двигатель постоянного тока. Поскольку изменение направлений магнитного поля и тока якоря происходит одновременно, момент вращения сохраняет постоянное направление.

Существуют однако некоторые специфические различия между двигателями постоянного и переменного тока, с чем связаны некоторые дальнейшие ограничения в отдаче последних. Магнитные полюса уже не могут представлять собой просто сердечник с обмоткой, так как такая обмотка представляла бы слишком большое реактивное сопротивление для переменного тока, что требует применения меньшего числа витков и большего числа полюсов при одновременной меньшей магнитной индукции.

НТБ ДГУ

Точно так же полное кажущееся сопротивление обмотки якоря должно быть рассчитано таким образом, чтобы реактивное сопротивление ее было возможно низким; для компенсации же реакции якоря на полюсах устраивается специальная компенсационная обмотка. В уравнение для напряжения при переменном токе необходимо кроме омического ввести индуктивное сопротивление, величина которого может быть достаточно большой, чтобы оказать влияние на эксплоатационные свойства двигателя, что таким образом отличает их от свойств двигателей постоянного тока.

Температурные ограничения в отношении двигателей переменного тока значительно строже вследствие трансформаторного эффекта в секциях обмотки якоря, коротко замыкаемых щетками. В этих коротко замкнутых витках, как бы образующих вторичную обмотку трансформатора, в то время как катушки обмотки возбуждения представляют первичную обмотку, наводятся большие силы тока. Величина этих индуктированных токов может быть ограничена путем устройства добавочных сопротивлений в обмотке якоря или путем уменьшения индуктируемого напряжения при помощи уменьшения числа витков обмотки возбуждения. Для этой цели применяются также дополнительные полюса, противодействующие электродвижущей силе, возникающей от трансформаторного действия главных полюсов во время вращения двигателя, и компенсирующие ее, если магнитный поток этих дополнительных полюсов достаточен. Перегрев от трансформаторного эффекта может достигнуть особенно значительных размеров при пуске, когда одна какая-либо секция обмотки может быть коротко замкнута в течение продолжительного времени. Избежать этого можно при помощи устройства эластичного сцепления, допускающего поворот якоря в ту или другую сторону на небольшой угол, при постоянном тяговом усилии, даже когда поезд еще не находится в движении.

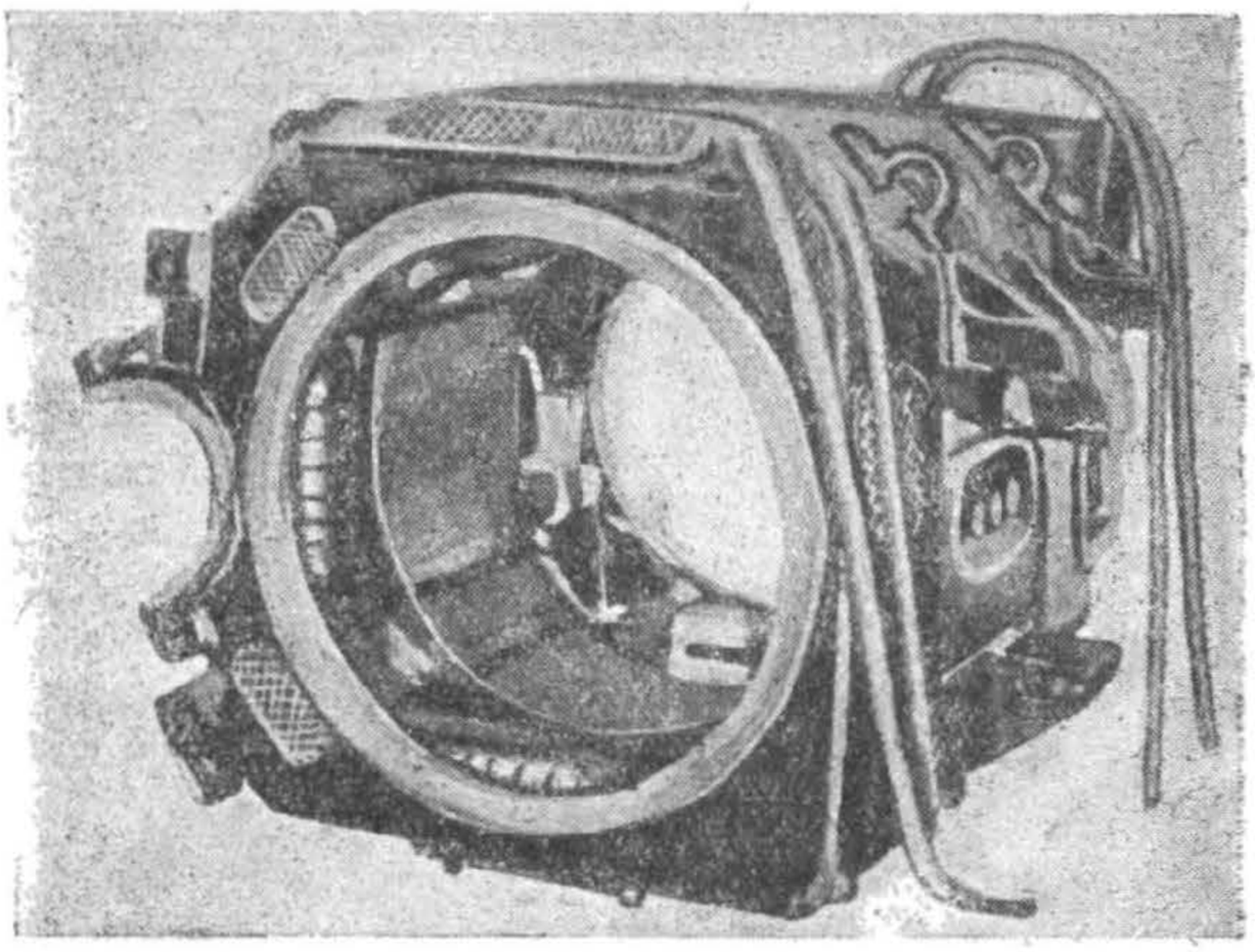


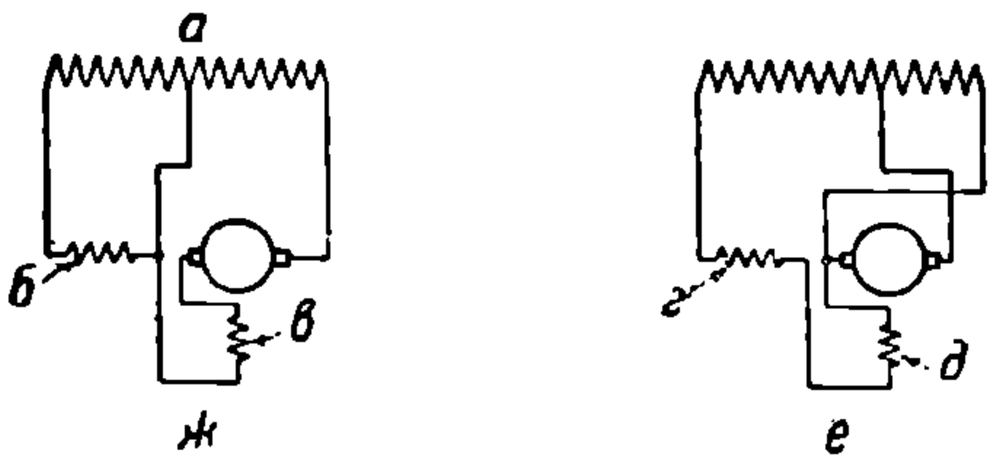
Рис. 120. Станина (ярмо и полюса) сериесного двигателя постоянного тока.

Коммутация тока у двигателей переменного тока также обусловливает большие ограничения, нежели у двигателей постоянного тока, вследствие необходимости коммутирования, кроме основных токов якоря, также и токов короткого замыкания от трансформаторного действия полюсов. Изобретены многочисленные схемы компенсирующих и дополнительных обмоток для того, чтобы добиться удовлетворительной коммутации в условиях широкого изменения пределов скорости. Репульсионный тип двигателя, где ток в якоре получается главным образом путем индукции, является шагом вперед в этом направлении. Рабочие

НТБ ДПУЖТ

характеристики данного двигателя в основном сходны с рабочими характеристиками простого сериесного двигателя, причем условия коммутации при скоростях порядка синхронной лучше; при пуске же недостатки одинаковы по отношению к обоим типам. Посредством двойного питания якоря,—непосредственно и путем индукции,—условия коммутации сериесного двигателя могут быть улучшены, так как компенсирующая обмотка индуктирует электродвижущую силу в короткозамкнутых секциях, компенсируя трансформаторную электродвижущую силу (рис. 121).

Коэфициент мощности коллекторного двигателя переменного тока главным образом зависит от реактивности обмоток якоря и обмоток возбуждения и если нет приспособлений для компенсации этих реактивностей, коэфициент мощности будет низок. В сериесном двигателе главную роль в этом отношении играет реактивность обмотки якоря, являющаяся функцией потока рассеяния, вследствие чего устройством компенсирующей обмотки, создающей магнитный поток, направленный навстречу потоку рассеяния, можно уменьшить или уничтожить действие ампервитков рассеяния. У репульсионного сериесного двигателя коэфициент



Коллекторный двигатель двойного питания (сериес-репульсионный мотор).

а—вторичная обмотка трансформатора,
б, г—компенсирующая обмотка,
в, д—главная обмотка,
е - схема соединений при пуске
ж—схема соединений при езде.

Рис. 121.

мощности в значительной степени зависит и от реактивного сопротивления обмотки возбуждения. В некоторых европейских типах двигателей это сопротивление компенсируется введением добавочных щеток, подводящих ток к якорю для образования компенсирующих ампервитков.

Потери в коллекторном двигателе переменного тока несколько больше, чем в двигателях постоянного тока с теми же рабочими характеристиками; объясняется это дополнительными потерями в железе полюсов, потерями от трансформаторного действия и добавочными потерями в меди вследствие сдвига фаз между векторами тока и напряжения. Вес на единицу мощности мотора поэтому для этих двигателей переменного тока несколько выше, чем для двигателей постоянного тока.

В конструктивном отношении коллекторные двигатели отличаются от двигателей постоянного тока меньшими размерами обмоток возбуждения и большим диаметром якоря, необходимым для размещения большего количества проводников для получения того же вращающего момента. Сердечники полюсов статора для уменьшения потерь в них делаются из листового железа. Применение компенсирующих обмоток, сопротивлений и т. д. значительно увеличивает вес двигателя, одновременно занимая большое пространство.

В настоящее время ведется дальнейшая работа по усовершенствованию конструкции этого типа двигателей. Одним из выходов является

НТБ ДНУЖТ

конструкция двигателя с простыми обмотками возбуждения, дополнительными полюсами и увеличенным числом главных полюсов. Усовершенствование другого рода может состоять в улучшении компенсации, что делает ненужным дополнительные сопротивления обмоток и улучшает коэфициент мощности. Эти усовершенствования дадут возможность строить более мощные коллекторные двигатели переменного тока при меньшем весе и лучшем использовании пространства и материала (рис. 122 и 123).

Асинхронные (индукционные) двигатели. Рабочие характеристики многофазных асинхронных двигателей, применяемых для электрической тяги, определяются иными факторами, чем в сериесных двигателях постоянного тока. К статорным обмоткам подводится многофазный ток, создающий вращающееся магнитное поле, в котором находится ротор. Вследствие трансформаторного действия поле статора возбуждает ток в обмотках ротора, который, взаимодействуя с вращающимся полем статора, создает крутящий момент. В случае идеального мотора без потерь в роторе, вращающемся синхронно с вращающимся магнитным полем статора, электродвижущая сила в нем не индуктируется, а следовательно не течет ток, создающий вращающий момент. При уменьшении скорости ниже синхронной проводники ротора начинают пересекать магнитные линии вращающегося магнитного поля, и в них, следовательно, индуктируется электродвижущая сила, величина которой пропорциональна скорости обмоток ротора относительно вращающегося магнитного поля. Пренебрегая некоторыми незначительными факторами, вращающий момент считают пропорциональным этому скольжению, в пределах от синхронной скорости до скорости при максимальной нагрузке. Другие уравнения вращающего момента указывают на возможность регулирования максимального вращающего момента путем введения сопротивления в цепь ротора, но при этом, для сохранения максимального коэфициента полезного действия, указанное сопротивление должно быть минимальным. Это условие, а также и другие члены уравнения, показывают, что величина скольжения может меняться лишь в достаточно узких пределах между синхронной скоростью и скоростью, отвечающей максимальному вращающему моменту, что, следовательно, делает синхронный мотор мотором почти постоянной скорости в пределах его мощности вне зависимости от нагрузки. В моменты пуска, когда коэфициент полезного действия не играет существенной роли, можно регулировать скорость вращения двигателя путем введения сопроти-

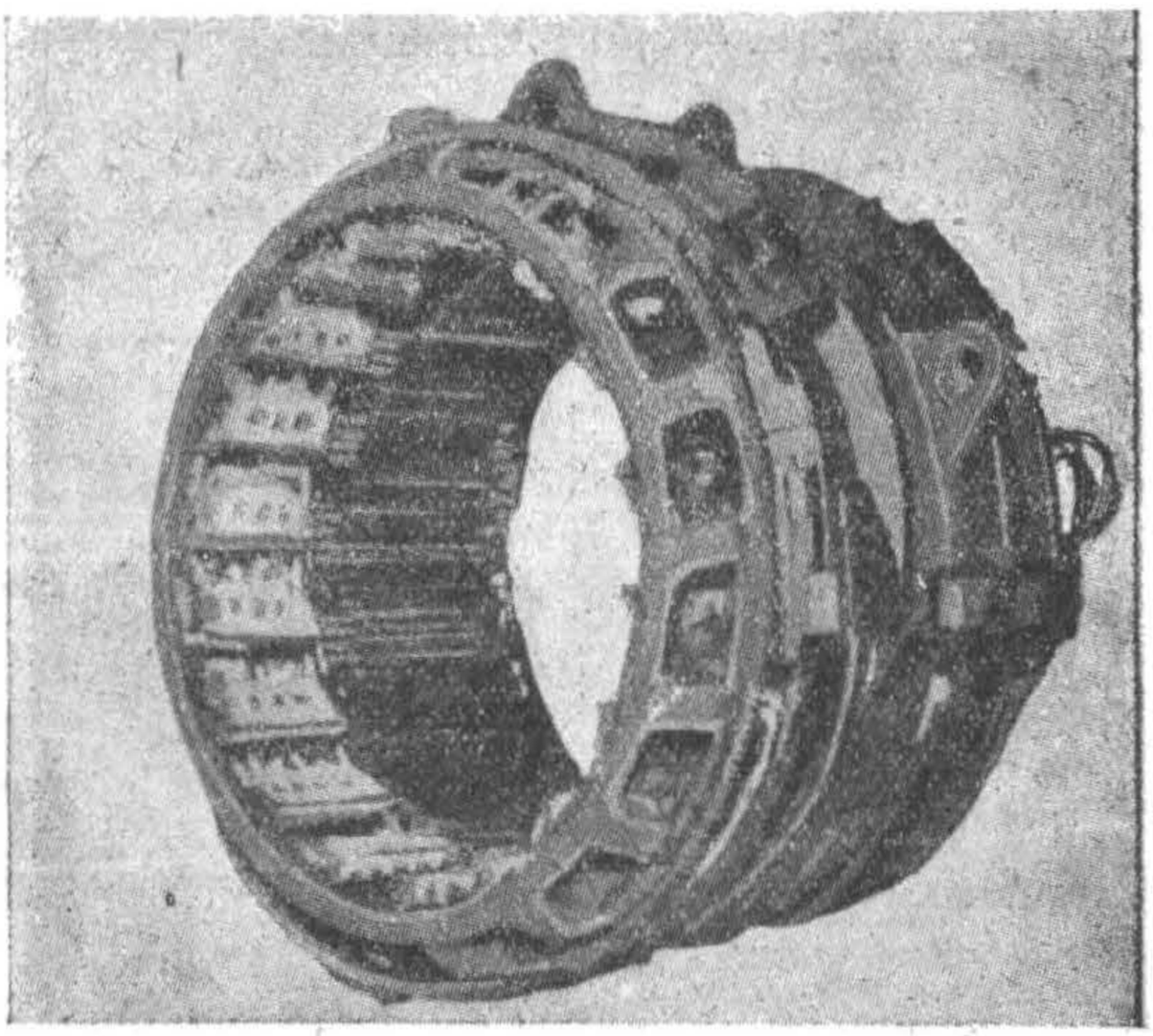


Рис. 122. Индуктор сериесного двигателя постоянного тока с компенсирующей обмоткой.

ДГТУ

вления в цепь ротора. Точку максимального вращающего момента подбирают совпадающей с максимальным скольжением, которое соответствует положению заторможенного ротора или пуска двигателя. При увеличении скорости максимальный вращающий момент и тяговое усилие доводятся путем постепенного уменьшения сопротивления в цепи ротора до нормальных величин, обычно при помощи водяного реостата. Ряд других факторов имеет значение на отдачу двигателя и в некоторой степени влияет на искажение рабочих характеристик, описанных выше, но большого значения они не имеют.

Ограничения величины отдачи вследствие перегрева от потерь в меди, пропорциональных квадрату силы тока, для асинхронных тяговых двигателей не отличаются в общем от таковых для других типов двигателей и устанавливают максимальную величину тягового усилия в условиях длительной нагрузки и перегрузки двигателя. Токи, обусловливающие это нагревание, однако не включают в себе дополнительных токов от трансформаторного эффекта в коротко замкнутых катушках. Ограничения в отношении максимальных величин напряжения и условий при пуске в данном случае отпадают, так как обмотки ротора непосредственно присоединяются к переменному сопротивлению через контактные кольца или другое контактное приспособление (рис. 124), не требуя коммутации тока посредством коллектора.

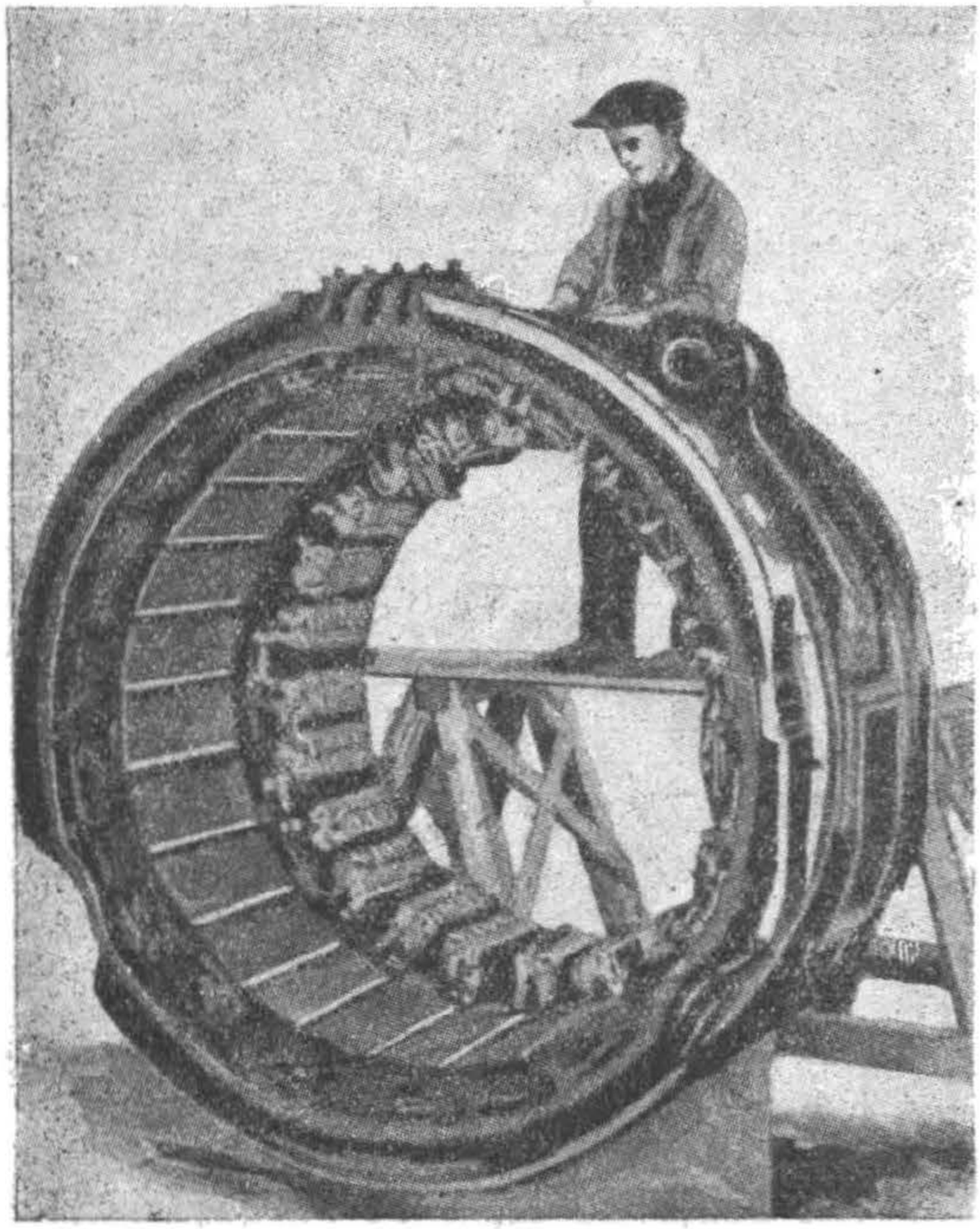


Рис. 123. Индукторы сериесного двигателя переменного и постоянного тока.

Охлаждение моторов. Максимальная допустимая величина силы тока якоря у всех типов двигателя является функцией способности частей. окружающих проводники якоря, поглощать, проводить и излучать тепло, возникающее при прохождении тока, а также от способности этих частей противостоять воздействию высокой температуры. При помощи приспособлений для поглощения тепла можно допустить некоторую перегрузку в течение короткого промежутка времени, не достигая предельных температур нагрева, без применения специальных охладительных приспособлений, необходимых для длительной нагрузки. Решающим фактором в деле поглощения тепла прежде всего является масса железа и меди мотора.

Материалом, наиболее близко прилегающим к теплоизлучающим

ДНУЖТ

поверхностям, является обычно изоляция и поэтому на качество изоляции должно быть обращено особое внимание. Между изоляцией и прилегающим материалом не должно быть воздушных промежутков, за исключением тех случаев, когда промежутки эти используются в качестве вентиляционных каналов. Изолирующие материалы обычно не имеют высокой теплопроводности металлов, так что слой изоляции служит как бы теплозадерживающей прокладкой, которая создает на поверхности проводников повышенную, по сравнению с окружающей средой, температуру.

Теплопроводность внешних частей мотора и излучение тепла в окружающую атмосферу составляют конечный момент процесса охлаждения; поэтому эти излучающие поверхности конструируются максимально возможных размеров. Соответствующим частям например может быть придана зубчатая или рифленая поверхность для лучшей теплоотдачи, или они могут быть снабжены каналами. Состояние поверхности несомненно играет большую роль в процессах теплоотдачи. Чистая поверхность излучает тепло лучше, чем поверхность, покрытая ржавчиной и грязью.

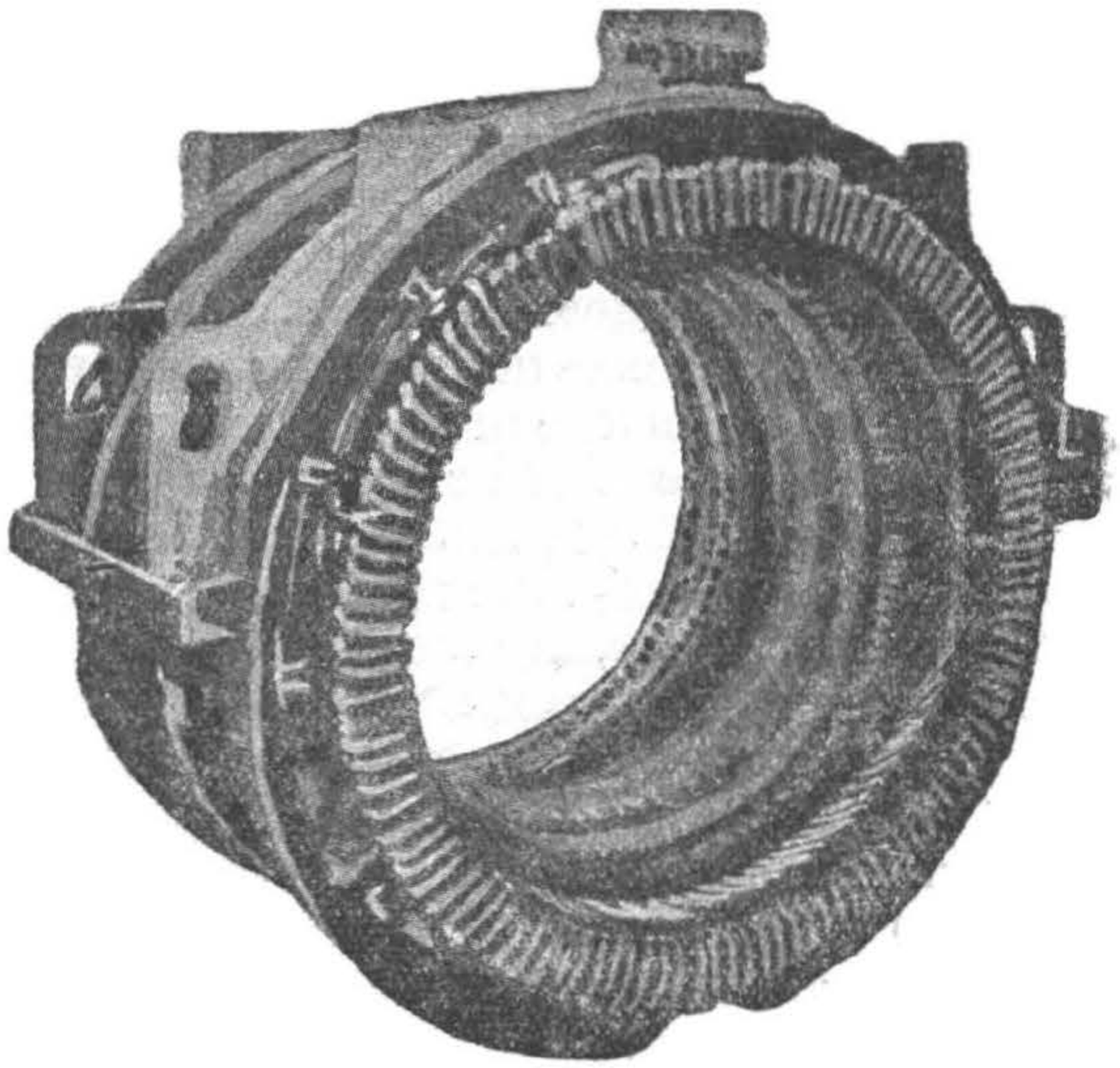


Рис. 124. Статор асинхронного двигателя.

Использование самого охлаждающего воздуха является другим важным фактором охлаждения двигателя. Во всех двигателях электровозов применяется в настоящее время искусственная (принудительная) вентиляция для увеличения объема охлаждающего воздуха, соприкасающегося с охлаждаемой поверхностью в единицу времени. В практике моторных вагонов охлаждение посредством вентиляторов на валу оправдало себя по отношению к моторам постоянного тока, коллекторные же двигатели, вследствие дополнительных потерь, вызывают при том же весе двигателя необходимость усиленной вентиляции. Воздушный поток проходит обычно через вентиляционные каналы коллектора и якоря, вокруг полюсов и, наконец, через воздушный зазор. Направляя воздух так, чтобы он проходил по пути со значительной длиной и над поверхностями, имеющими наивысшую температуру, получаем значительный эффект охлаждения, имея в виду, что точки наивысшего нагрева определяют предельные значения силы тока.

Способность различных материалов, применяемых для моторостроения, противостоять воздействию высоких температур в течение длительных промежутков времени является важнейшим фактором в расчетах

ГПИ ДГУКТ

охлаждения. Изоляция из слюды лучше всего способна противостоять теплу и позволяет развивать наивысшие температуры без ее повреждения. Для изоляции из картона, фибры и полотна предельные температуры должны быть взяты ниже. Кроме свойств изоляции необходимо обращать внимание также на целость спаек электрических проводников. Особенно это имеет значение там, где концы обмотки якоря присоединяются к коллекторным пластинам, так как именно здесь развивается высокая температура.

Чтобы изучить процесс охлаждения и температурные ограничения любого двигателя, необходимо знать его условия работы. Теплопоглощение и теплоизлучение двигателя зависят от времени действия различной степени нагрузки и длительности нерабочих промежутков. При частой, но непродолжительной, примерно в пределах до 1 часа, работе превышение температуры будет невелико вследствие одного лишь теплопоглощения, если нерабочие промежутки достаточно значительны, чтобы двигатель успевал охладиться. При длительной же нагрузке требуется охлаждение такими методами, которые дают непрерывный отвод тепла, как например циркуляция воздуха.

Определение мощности мотора. Определение мощности тяговых моторов состоит в установлении действительных пределов нагрузки таких моторов. Вообще говоря, эти пределы определяются температурами различных частей мотора при заданных величинах напряжения, силы тока и числа оборотов. Желательность сделать эти величины общепринятыми привела к тому, что стандартизационная комиссия Американского института инженеров-электриков (AIEE) установила ряд стандартов для тяговых электродвигателей.

Мощность мотора считается этими стандартами как средняя в том смысле, что она должна определяться общепринятыми стандартами в каждом отдельном случае и не может служить безопасной рабочей мощностью для всех случаев практики. Эти стандарты основаны на часовом и длительном режимах работы, т. е. когда двигатели несут нагрузку в течение одного часа и длительно, при данном напряжении и частоте сети и в условиях вентиляции, соответствующих действительной работе, и без превышения температурных пределов, указанных в приведенной на стр. 253 таблице.

Способы измерения температур—по методу термометра или сопротивления—указаны в стандарте. Для определения отдачи двигателя при обоих выше указанных режимах рекомендуется два метода: первый метод—путем мотор-генератора, где испытываемый двигатель работает в качестве мотора, приводящего калиброванный генератор, и второй—метод двигателя, нагружаемого как генератор и приводимого подобной же машиной.

Исходные данные для определения коэфициента полезного действия двигателя также устанавливаются стандартами, которые предусматривают и методы определения и измерения нижеследующих потерь:

а) Потери в меди обмоток якоря и возбуждения.

б) Потери на трение щеток, в подшипниках и от сопротивления воздуха.

в) Потери на гистерезис и токи Фуко.

г) Потери в контактах щеток.

д) Потери, связанные с магнитным рассеянием.

НТБ ДНУЖТ

Стандартизационная комиссия

A I E E

Стандарты тяговых моторов—пределы температур

Название частей	Тип мотора	Метод определения температуры	Пределы повышения температуры С°[1]			
			Часовая нагрузка		Длительная нагрузка	
			Изоляция класса А [2])	Изоляция класса В [3])	Изоляция класса А [3])	Изоляция класса В [3])
1. Обмотки якоря и возбуждения	Вентилируемый	Сопротивление	100	120	85	105
		Термометр	80	95	65	80
	закрытый[1]	Сопротивление	110	130	95	115
		Термометр	90	105	75	90
2. Сердечники и механические части в соприкосновении с изоляцией	Вентилируемый	»	80	95	65	80
	закрытый[1]	»	90	105	75	90
3. Коллектор	Вентилируемый	»	95	110	80	95
	закрытый[1]	»	105	120	90	105

4. Разные другие части (как например щеткодержатели, щетки, полюсные башмаки), если по расположению они не могут повредить близлежащую изоляцию, могут достигнуть вышеназванных температур, если в других отношениях такая температура является безопасной.

Превышение температуры закрытых двигателей берется на 10° С выше, чем для вентилируемых моторов, так как охлаждение при испытании на стенде обычно меньше, чем в условиях эксплоатации.

[2] Изоляция класса А состоит из полотна, шелка, бумаги и подобного рода органических материалов с их пропиткой.

[3] Класс В составляет изоляцию из неорганических материалов, как например слюда и асбест в обработанном виде с связующими веществами.

НТБ ДНУЖТ

Потери в подшипниках электровозных и мотор-вагонных букс и в зубчатых колесах при моторах с одиночной зубчатой передачей представлены в таблице, приведенной на этой странице.

Мощность в процентах от часовой	Потеря в процентах от мощности
200	3,5
150	3,0
125	2,7
100	2,5
75	2,5
60	2,7
50	3,2
40	4,4
30	6,7
25	8,5

В стандартах определяются также методы для испытания электрической крепости изоляции. Стандартное испытательное напряжение должно в два раза превышать рабочее напряжение мотора плюс 2000 V, приложенное между любой электрической цепью мотора и заземленными металлическими частями, при испытании переменным током промышленной частоты в течение 60 секунд.

Стандарт для сопротивления изоляции может быть выражен следующей формулой:

$$\text{сопротмвление изоляции в мегомах} = \frac{\text{рабочее напряжение в вольтах}}{\text{мощность в киловаттах} + 1000}$$

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА XV

ПЕРЕДАЧА ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ОТ МОТОРОВ К ВЕДУЩИМ ОСЯМ

Наибольшею трудностью в конструкции электровоза является нахождение достаточно эффективного способа передачи мощности от мотора к движущим осям. Одним из важнейших факторов этой конструкции, требующим особого внимания, представляется вопрос о достаточном пространстве для размещения моторов максимальной мощности при данных их размерах. Другим моментом, который также должен быть принят во внимание, является наличие определенного поступательного как вертикального, так и горизонтального движения ведущих осей относительно кузова. Еще одним элементом общего решения вопроса является, обычно, желательность высокого расположения центра тяжести электровоза. Изучение разнообразных разрешений этой проблемы при различных данных относительно веса поезда, скорости, типа мотора и общих характеристик представляет большой интерес.

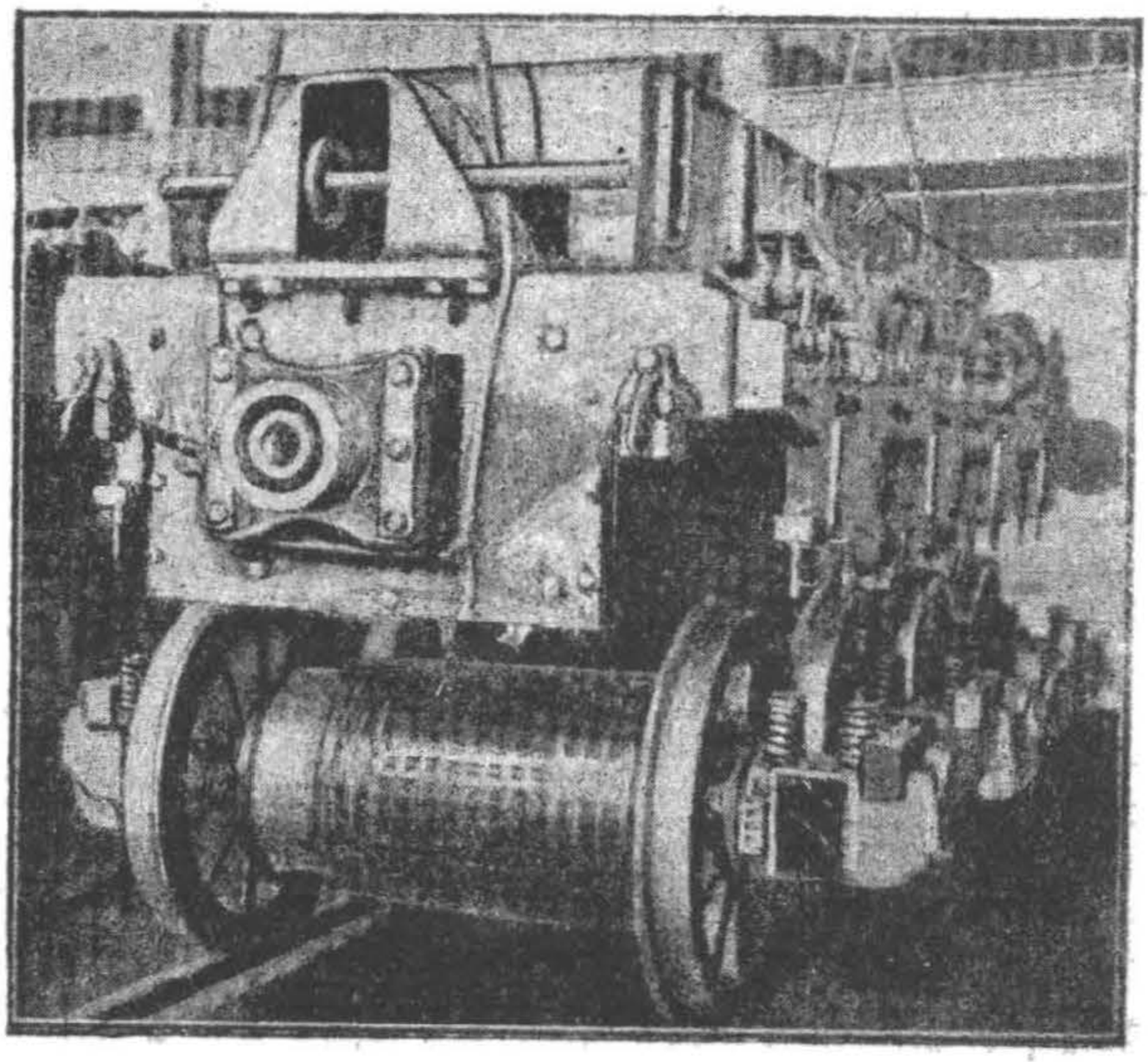


Рис. 125. Непосредственная передача на ось.

Непосредственная передача. Простейшая форма передачи получается в том случае, когда якорь непосредственно насажен на ведущую ось (рис. 125). Какие-либо механизмы для передачи мощности при этом не требуются и коэфициент полезного действия передачи, естественно, достигается максимальный. Необходимость в вертикальном перемещении оси определяет форму и размеры полюсов, число которых ограничивается двумя, с почти параллельными, вертикально расположенными сердечниками. Диаметр ведущих колес и нижний предел воздушного зазора ограничивают величину диаметра якоря мотора. Величина диаметра якоря должна быть небольшой также для того, чтобы при параллельных полюсных сердечниках достигалось более равномерное рас-

НТБ ДНУЖТ

пределение магнитного потока. Вследствие наличия только двух полюсов окружная скорость якоря должна быть относительно большой.

Все сказанное ограничивает применение этого типа передачи лишь для электровозов с большими скоростями, небольшими ведущими колесами и относительно низким тяговым усилием на ободе колеса. Это, в свою очередь, требует, чтобы рама электровоза была сконструирована на таких тележках, которые допускают применение ведущих колес небольшого диаметра. Только четыре вида электровозов были сконструированы с таким типом передачи; нижеследующая таблица показывает их общие данные.

Число электровозов	Страна	Период эксплоатации	Число ведущих осей	Давление на ось (*m*)	Мощн. на ось		Диам. ведущих колес (*мм*)	Скорость при максимальной нормальн. мощности (*км*/час.)	Напряжен. постоянного тока моторов (V)
					1 час. (л. с.)	длител. (л. с.)			
47	САСИ	1906—1908	4	16	434	198	1 100	67	600
36	»	1911—1925	8	15	310	238	910	80	600
5	»	1919	12	20	335	280	1 100	60	1 000
1	Франция	1926	6	21,5	493	361	1 200	86	1 500

В эксплоатации эта форма передачи дала снижение расходов на содержание и обслуживание моторов и колес, поскольку якоря и полускаты легко могут быть опущены в ремонтную канаву. В виду близости магнитных полюсов и их обмоток к земле было признано необходимым защитить мотор от приставания частиц ферромагнитных материалов, попадающихся на пути. Эта же близость к земле требует особых предосторожностей для защиты вентиляционных каналов от снега и влаги. Возражения против этого типа передачи касаются, главным образом, усиленного износа пути вследствие большого веса якоря без рессорной подвески. Практика езды для всех четырех типов электровозов с непосредственной передачей показала большие колебания в отношении их достоинств при эксплоатации. При наличии на той же дороге других типов передач производимые сравнения обычно дают основания считать эксплоатацию типа с непосредственной передачей более затруднительной. Как выражается это в денежных единицах, т. е., исходя из эксплоатационных расходов железных дорог, вряд ли возможно определить в сколько-нибудь точных цифрах.

Непосредственная упругая (эластичная) передача. В тех случаях, когда желательно сохранить преимущества непосредственной передачи с применением многополюсного мотора и уничтожением вредного действия на путь, между якорем и осью должен быть введен механизм, который допускал бы вертикальное перемещение оси при постоянном положении якоря по отношению к магнитным полюсам или статору. Этому условию удовлетворяет устройство, состоящее из полого вала якоря, позволяющего осуществляться известному перемещению ведущей оси, заключенной внутри его. Передача вращающего момента от якоря

НТБ ДНУЖТ

к ведущим колесам производится при этом через систему пружин. Такое устройство, однако, уже не допускает легкого и вместе с тем быстрого снятия одного лишь якоря, как это возможно в более простой непосредственной передаче, описанной выше, а требует снятия всего мотора вместе с передачей. Расстояние по оси между внутренними поверхностями ведущих колес не может быть полностью использовано для якоря и коллектора вследствие необходимости размещения пружинной передачи. Многополюсная конструкция дает известную свободу для проектирования мотора и позволяет применять как однофазный переменный, так и постоянный ток. Добавление рессор усложняет конструкцию, увеличивая число частей, требующих ремонта и наблюдений. Вследствие этого и в связи с более сложными способами текущего ремонта и осмотра годичные эксплоатационные расходы значительно выше, чем при простой непосредственной передаче. Общая характеристика одного типа такой передачи дается в следующей таблице.

Число электровозов	Страна	Период эксплоатации	Число ведущих осей	Давление на ось (*m*)	Мощн. на ось		Диам. ведущих колес (*м.м*)	Средн. скорость (*км*/час.)	Напряж. перемени. тока (V)
					1 час. (л. с.)	длител. (л. с.)			
41	САСШ	1906—1908	4	19	315	254	1570	94	284

Простая зубчатая передача. Для получения большой скорости вращения мотора и одновременно свободного вертикального перемещения полускатов введены в разнообразных комбинациях зубчатые колеса между мотором и ведущей осью. Наиболее простой формой передачи является мотор с односторонней или двухсторонней зубчатой передачей и рессорной подвеской трамвайного типа (Nose suspension). Мотор с зубчатой передачей подвешен на ведущей оси с помощью боковых подшипников (рис. 126) и посредством рессор к раме. Вертикальное перемещение ведущих осей вследствие этого вполне возможно. Взаимное положение ведущего и ведомого зубчатых колес фиксируется тем, что подшипники вала мотора и подшипники ведомой оси находятся в корпусе мотора.

При определении размеров зубчатой передачи следует учесть необходимое пространство для одного или двух зубчатых колес, исходя из длины якоря, которая в свою очередь определяется шириной колеи. Диаметр якоря мотора ограничивается диаметрами ведущих колес и величиной просвета между землей и нижней точкой поверхности мотора. Этот просвет должен быть назначен с учетом необходимых вертикальных перемещений мотора. Эти ограничения определяют максимальную мощность моторов. Введение зубчатой передачи допускает однако выбор скоростей в более широких пределах, что дает возможность более гибкого подхода к вопросам проектирования мотора (см. таблицу стр. 264).

НТБ ДНУЖТ

При подвеске трамвайного типа моторы легко могут быть сконструированы закрытого типа с принудительной вентиляцией, предохраняющей от проникновения внутрь мотора влаги и посторонних тел. Проблема смазки решается легко, хотя при проектировании следует предусматривать защиту от проникновения смазочного масла из подшипников на коллектор. Зубчатые колеса являются причиной сильного стука, что весьма нежелательно, но крайне трудно устранимо. В моторах переменного тока гудение при пуске передается через зубчатую передачу. Применение специальных звуконепроводящих материалов для колес в значительной степени разрешило бы эту проблему, если бы удалось найти материал, который был бы в состоянии выдержать применяемые давления на зубцы.

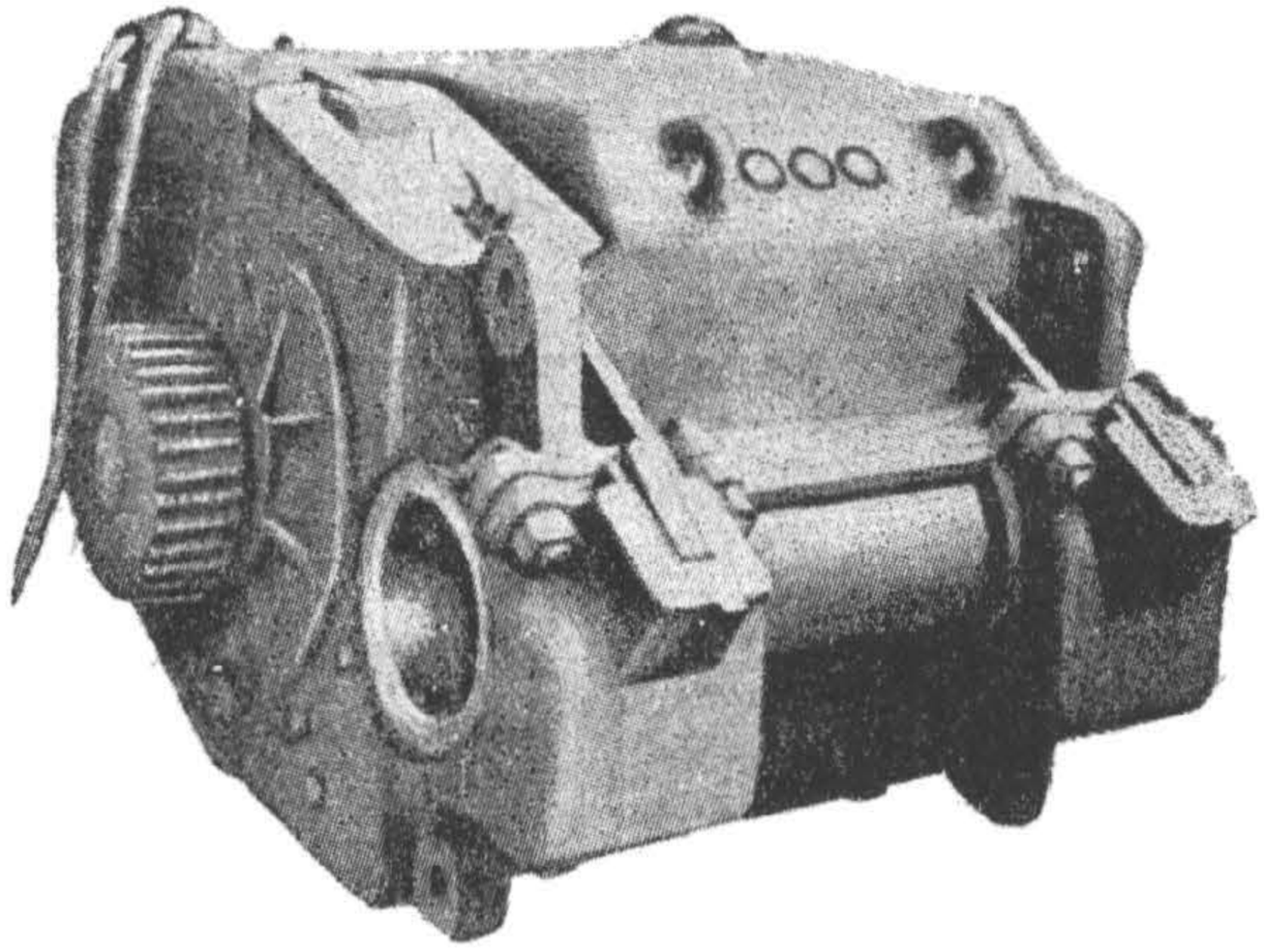


Рис. 126. Простая зубчатая передача от мотора с трамвайной подвеской.

Необходимость в подвижном соединении между якорем и ведущими осями привела к целому ряду типов упругих зубчатых колес. Все имеющиеся конструкции имеют целью сделать якорь более или менее независимым от ведущих осей, одновременно создавая некоторый буфер при передаче вращающего момента к ведущим осям в момент пуска. Задача эта разрешена несколькими способами. Наиболее обычным способом является устройство ряда пружин по окружности внутренней части (центра) зубчатого колеса, вставляемой во внешнюю часть, имеющую зубцы на ободе (рис. 127 и 135). В одной из конструкций для создания эффекта упругости использована эластичность вала.

В виду низкого центра тяжести, несколько ограниченного вертикального перемещения и сравнительно небольших возможных мощностей область применения этого типа передачи с подвесным мотором ограничена главным образом моторными вагонами, где применяются тележки с малой базой и моторами небольшой величины и тихоходными товарными и маневровыми электровозами. Для быстроходных электровозов низкая удельная мощность мотора (на единицу веса) может оказаться отрицательным фактором в смысле первоначальной и эксплоатационной стоимости, вследствие необходимости в тележках с длинной базой для получения больших мощностей. Применение этого типа передачи приводит однако к очень простой конструкции рамы, все части которой доступны для осмотра и ремонта, что, понижая эксплоатационные расходы, может отчасти компенсировать некоторые недостатки такой передачи.

Данные о современных типах простой зубчатой передачи приведены в нижеследующей таблице.

НТБ ДНУЖТ

Характеристика простой зубчатой передачи современных электровозов

Число единиц	Страна	Число ведущих осей	Давление на ось (*m*)	Мощность на ведущую ось: часовая (л. с.)	Мощность на ведущую ось: длительная (л. с.)	Передаточное число зубчатой передачи	Диаметр ведущих колес (в *мм*)	Скорость при норм. нагрузке *км*/час	Моторы
	Моторные вагоны								
	САСШ	4	15,0	250	—	1 : 2,86	913	51	1 500 V, пост. ток
	»	2	15,0	240	—	1 2,18	913	53	600 V,
	»	2	16,3	195		1 2,83	913	38	600 V,
		4	20,0	168	—	1 2,7	1065	50	переменный ток
		2	—	225	—	1 2,29	913	72	
	Товарные электровозы								
5	САСШ.	4	22 6	340	310	1 : 4,23	1 065	32	600 V, пост. ток
2	»	8	22,6	262	225	1 : 4,45	1 065	24	600 V, »
2	»	8	20,0	415	335	1 : 3,45	1 120	35	600 V, »
84	»	8	25,4	510	420	1 : 4,56	1 320	24	1 500 V »
—	»	4	27,1	310	150	1 : 4,35	1 215	19	постоян. ток
40	Франция	4	17,2	362	315	—	1 240	53	»
12	Испания.	6	14,0	290	220	1 : 3,38	990	33	1 500 V, пост ток
8	САСШ.	4	32,0	540	440	1 : 5,05	1 420	22	600 V, » »
2	»	6	30,7	540	500	1 : 3,9	1 395	29	750 V, »
7	» . .	3	21,3	272	213	1 : 5,31	1 570	26	280 V, перем ток
95	Южн. Африка.	4	17,2	300	252	1 : 4,4	1 215	35	1 500 V, пост. ток
5	Новая Зеландия	4	12,7	170	120	1 : 4,53	1 140	29	постоян. ток
10	Мексика.	6	23,0	505	416	1 : 5	1 165	32	1 500 V, пост. ток
	Маневровые электровозы								
12	САСШ.	3	22,5	240	190	1 : 5,44	1 570	19	600 V, пост. ток
2	»	4	22,0	120	110	1 : 4,23	1 065	13	600 V, » »
1	Австралия.	4	11,3	150	107	1 : 4,65	1 065	22	600 V, » »
7	САСШ	4	22,5	416	340	1 : 4,23	1 120	29	600 V,

НТБ ДИИЖТ

Упругая (эластичная) зубчатая передача. Требования улучшенной эксплоатации, связанные со стремлением иметь большую мощность на сцепную ось, высокое расположение центра тяжести электровоза, удовлетворительную езду при высоких скоростях, эластичное соединение

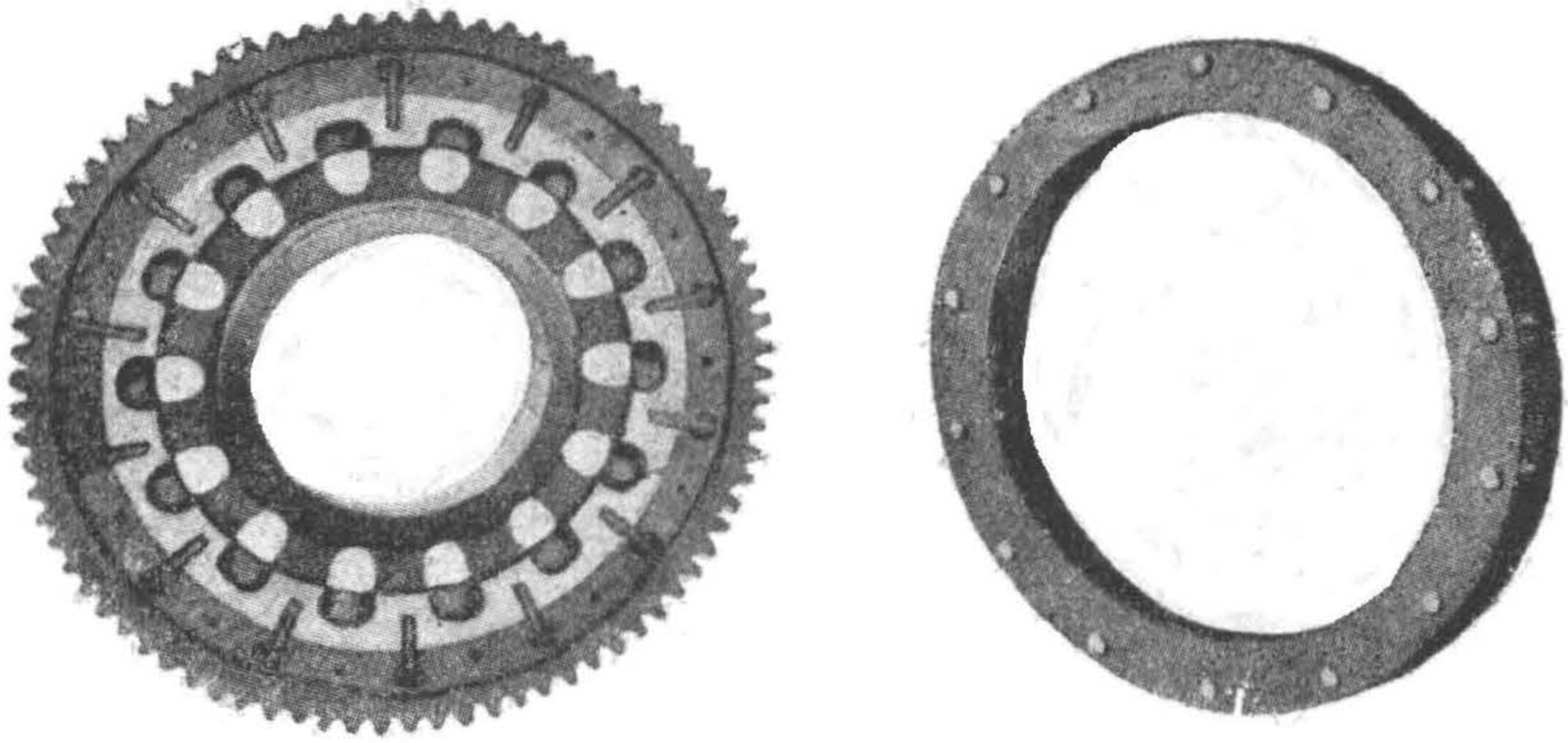


Рис 127. Зубчатое колесо с эластичной передачей.

между мотором и ведущей осью, а также эластичность между зубчатыми колесами—привели к конструкции нового типа передачи—упругой зубчатой передаче. Эта передача состоит из полого вала, концентрично надетого на ведущую ось и несущего на себе зубчатое колесо, сцепляющееся с ведущим колесом мотора через систему пружин, передающих вращающий момент и в то же время решающих проблему эластичности передачи. Изменение эксцентричности ведущей оси и полого вала компенсируется изменением горизонтальной силы, осевого усилия и упругим действием пружин во время вращения колес (рис. 128). Полый вал поддерживается на подшипниках, неподвижно связанных с кожухом мотора, чем фиксируется относительное положение зубчатых колес. Следовательно размеры мотора по диаметру ограничиваются только радиусом ведущего колеса и размером подшипника для полого вала. Длина якоря определяется расстоянием между ведущими колесами за вычетом ширины зубчатого колеса. Отношение зубчатой передачи может меняться в широких пределах, так как диаметр ведущей шестерни может изменяться до диаметра ведомой. Одновременно с усовершенствованием передачи было достигнуто важное конструктивное изменение расположения моторов; два мотора могут быть соединены с одной ведущей осью, что имеет большие преимущества и дает таким путем большую мощность на ведующую ось.

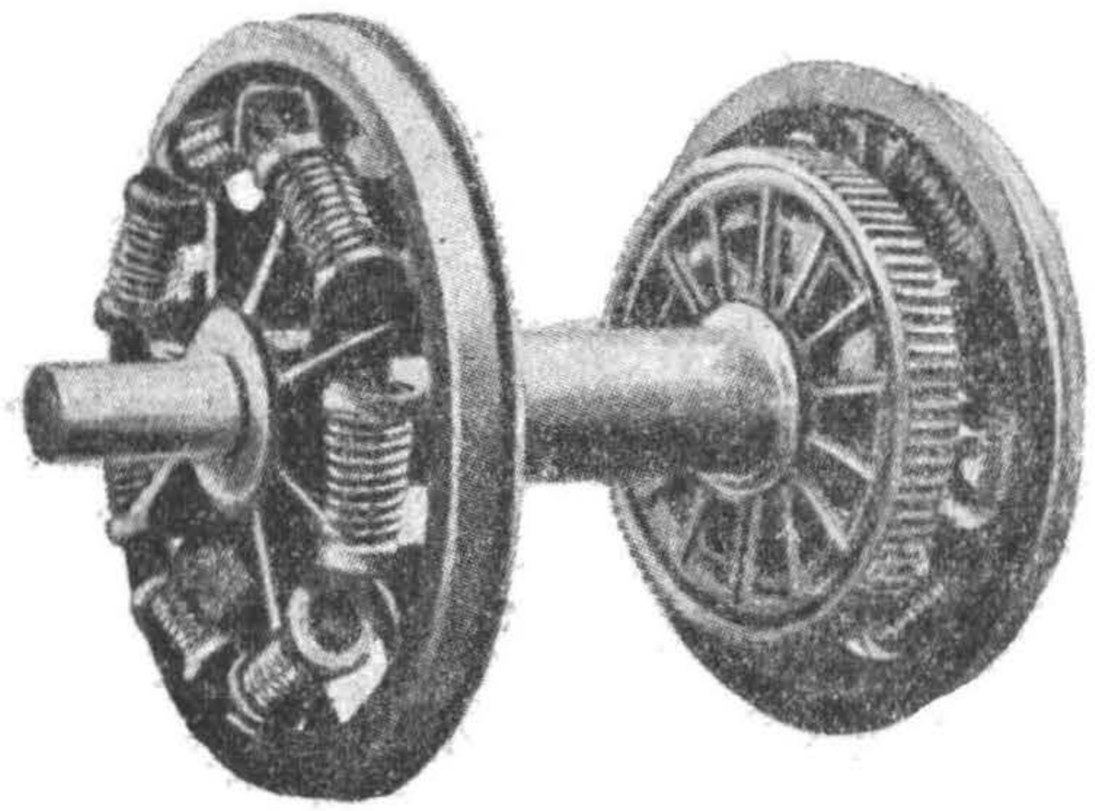


Рис. 128. Упругая передача с полой осью.

Ниже приведены общие данные относительно современных электровозов с упругой зубчатой передачей.

НТБ ДИИТ

Число электровозов	Страна	Год начала эксплоатации	Число ведущих осей	Давление на ведущую ось (*т*)	Мощность на 1 ведущую ось		Диаметр ведущих колес (в *мм*)	Скорость при нормальной мощности (*км*/час)	Передаточное число зубчатой передачи	Моторы
					часовая (л. с.)	длительная (л. с.)				
26	Швейцария	1921	3	18,5	590	510	1 615	63	1 : 5	330 V сдвоен, перемен. ток
6		1921	4	18,5	590	510	1 615	56	1 : 5,7	330
11		1926	3	18,1	590	510	1 615	63	1 : 5	330
2		1926	6	19,0	710	605	1 350	50	1 : 5,87	330
40	Германия	1927	4	20,0		640	1 600	77	1 : 5,11	330
36	САСШ.	1912	4	18,5	404	334	1 600	47	1 : 5,7	330
—		1927	6	18,1	414	342	1 600	79	1 : 3,56	349
10		1920	6	28,5	780	566	1 730	43	1 : 3,7	1 500 пост. ток
2	Южная Америка	1921	4	23,0	600	450	1 600	69	1 : 3,07	3 000
22	САСШ	1912—26	4	19,6 22,2	125 163	110 130	1 600	13—16 35	1 : 5,94 1 : 4,23	170 V пер. ток
10	Австрия	1927	4	15,4	350	280	1 300	35	1 : 5,87	переменный ток

НТБ ДНУЖТ

Конструктивное осуществление передачи момента от ведомого зубчатого колеса к ведущим осям локомотива являлось наиболее серьезной проб-

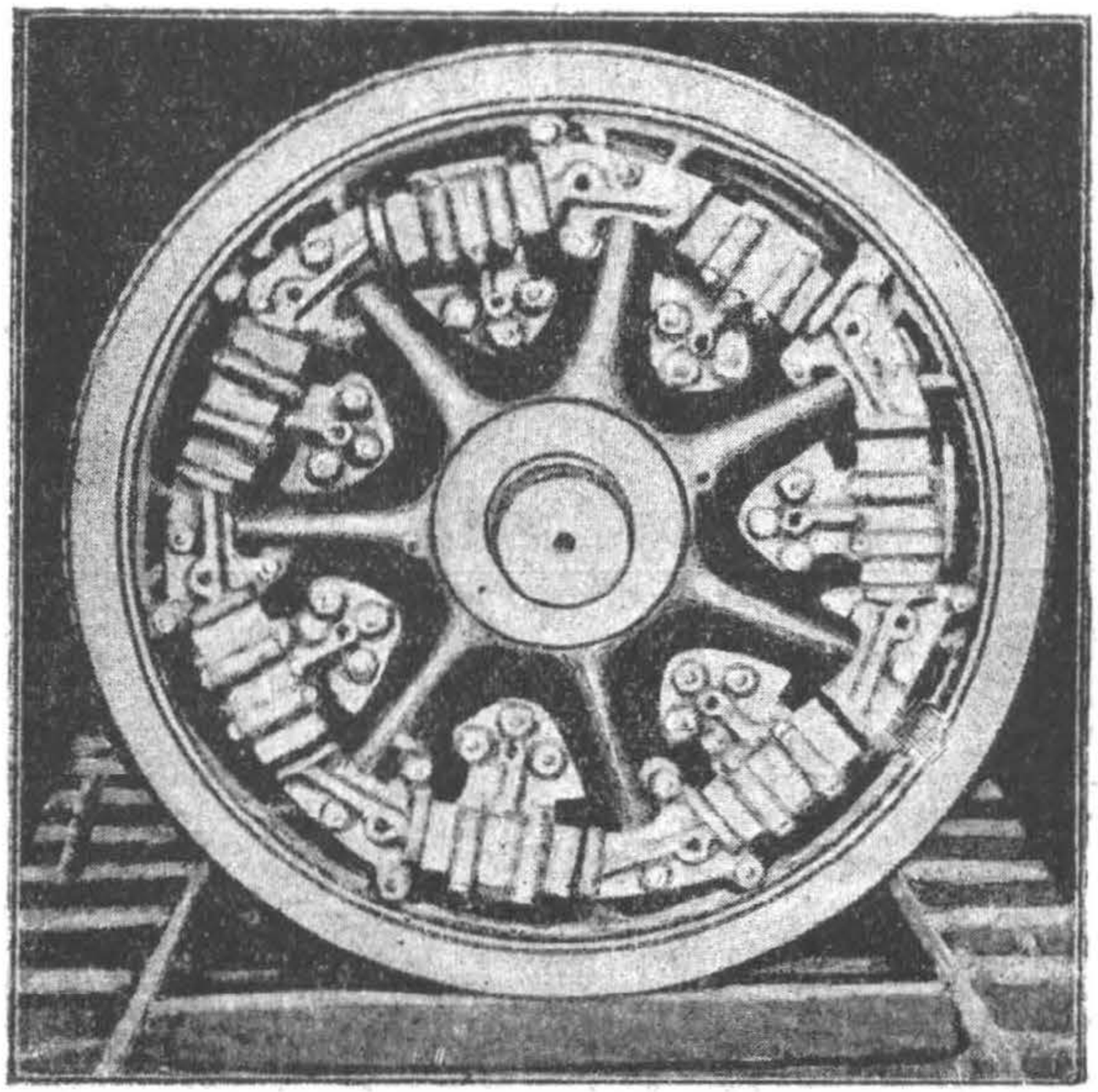


Рис. 129. Новейший тип упругой передачи с полым валом.

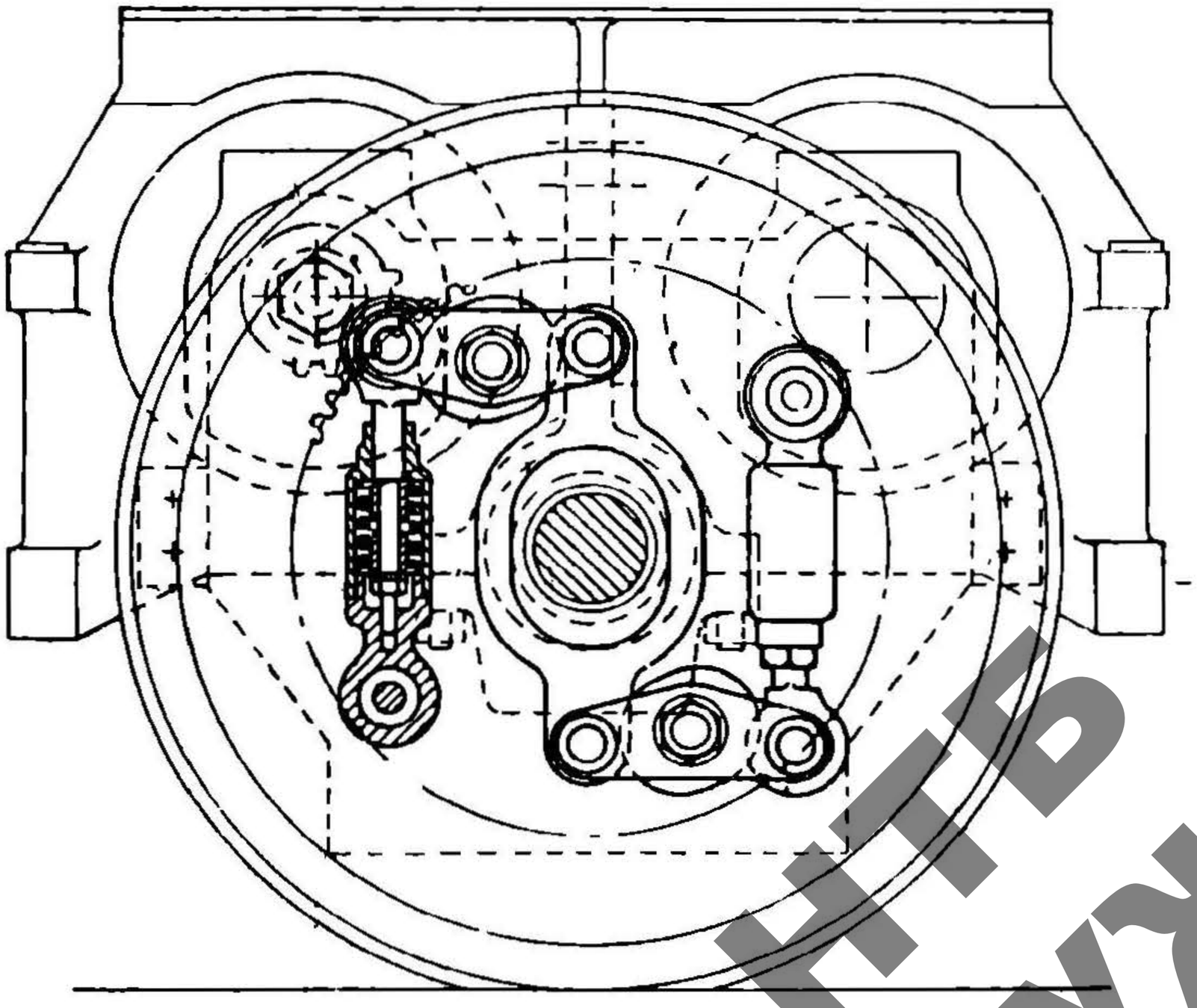


Рис 130. Упругая рычажная передача.

лемой для этого типа передачи. Первоначально применялись спиральные пружины, жестко закрепленные в специальных точках опоры. При тро-

НТБ ДНУЖТ

ганий и увеличении относительного угла кручения между полой осью и ведущим колесом в пружинах развивались напряжения на сжатие и кручение, величины которых были угрожающими по отношению к целости пружин и держателей. Выход из положения был найден в том, что полый вал устанавливается в нормальном положении центрально относительно ведущей оси. Имеется весьма разнообразный опыт эксплоатации этих передач, причем некоторые дороги встречают много затруднений вследствие частых поломок пружин, другие напротив находят спо-

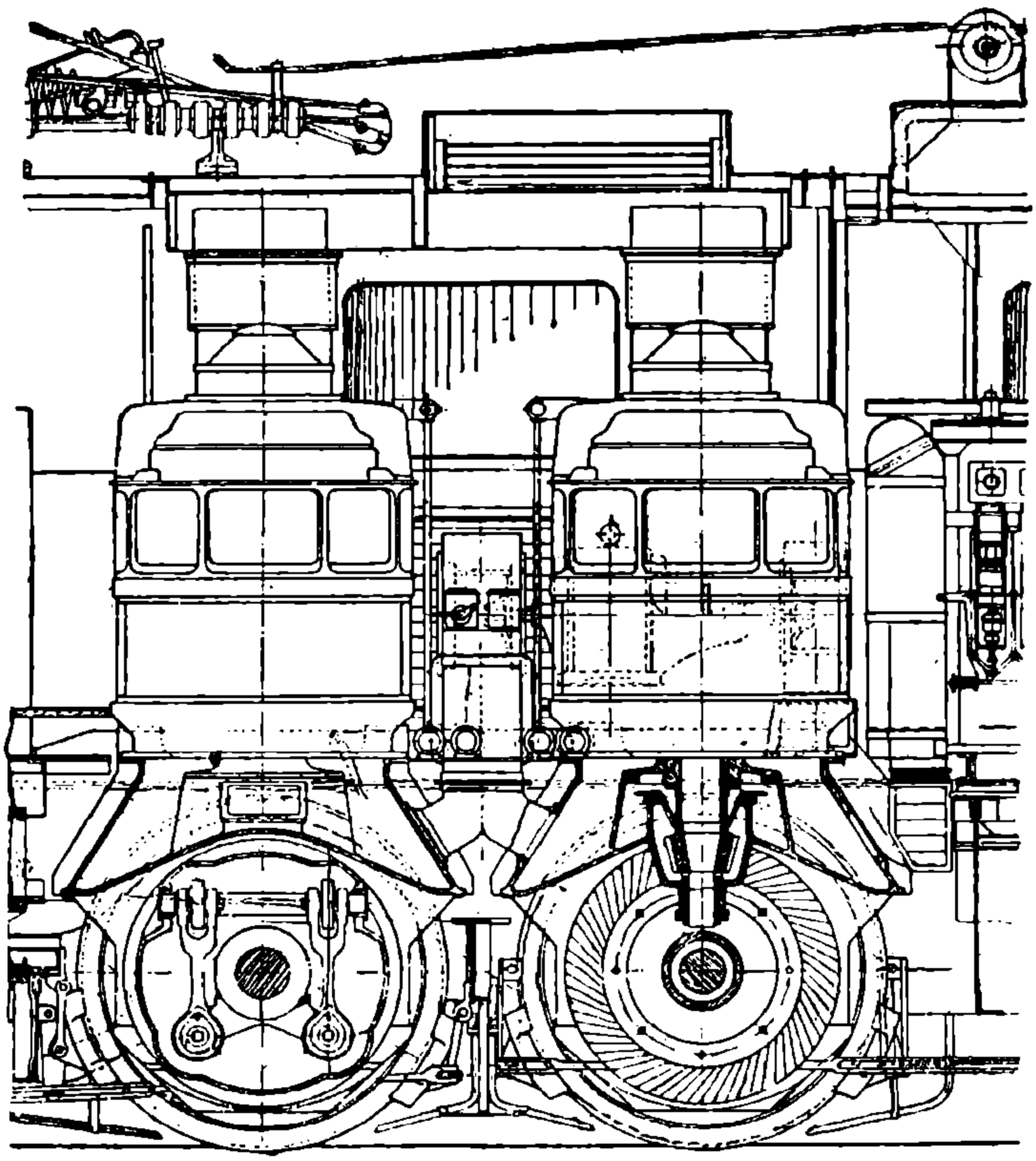


Рис. 131. Рычажная передача при вертикальном расположении оси мотора.

собы устранения поломок, а некоторые почти совершенно не испытывают особых затруднений. В европейской практике наблюдалось большое количество поломок пружин по причине жесткости рам. При новейших упругих передачах жестко закрепленная спиральная пружина заменена спиральной пружиной с возможностью свободного перемещения концов в поперечном направлении (рис. 129).

Рычажные передачи. Чтобы избежать сложных деформаций, развивающихся в упругих зубчатых передачах, стали применять различные типы рычажных связей между зубчатым колесом и ведущими колесами. Некоторые из этих типов передач имели полую ось с насаженными на ней зубчатыми колесами (рис. 130). Рычажные передачи при моторах

НТБ ДНУЖТ

вертакальным валом размещались между ведущей осью и зубчатым колесом, причем передача мощности от вертикального вала осуществлялась посредством конических шестерен (рис. 131). Успех этого типа передачи достигался вследствие устранения ударного действия на путь при вертикальном положении оси вращения моторов. Хотя моторы располагаются при этом в доступном для осмотра месте, рычажный механизм, подпятники и зубчатые колеса при такой конструкции трудно доступны для осмотра и ремонта. Ниже даются некоторые данные относительно электровозов с этим типом передачи (см стр. 270).

Рычажная передача нашла широкое применение в том типе, где рычажный механизм и зубчатые колеса находятся с наружной стороны ведущих колес, чем достигается увеличение пространства для размещения мотора и облегчается доступ к последнему, который в то же время располагается таким образом, что его центр тяжести достаточно высок тип (Бухли). Этот тип передачи дает также некоторую свободу перемещения ведущих осей в горизонтальном направлении. Устройство обычно включает зубчатую передачу на двух подшипниках, укрепленную с наружной стороны ведущих колес. В тех случаях, когда передаются большие мощности, передача может быть устроена с обеих сторон электровоза.

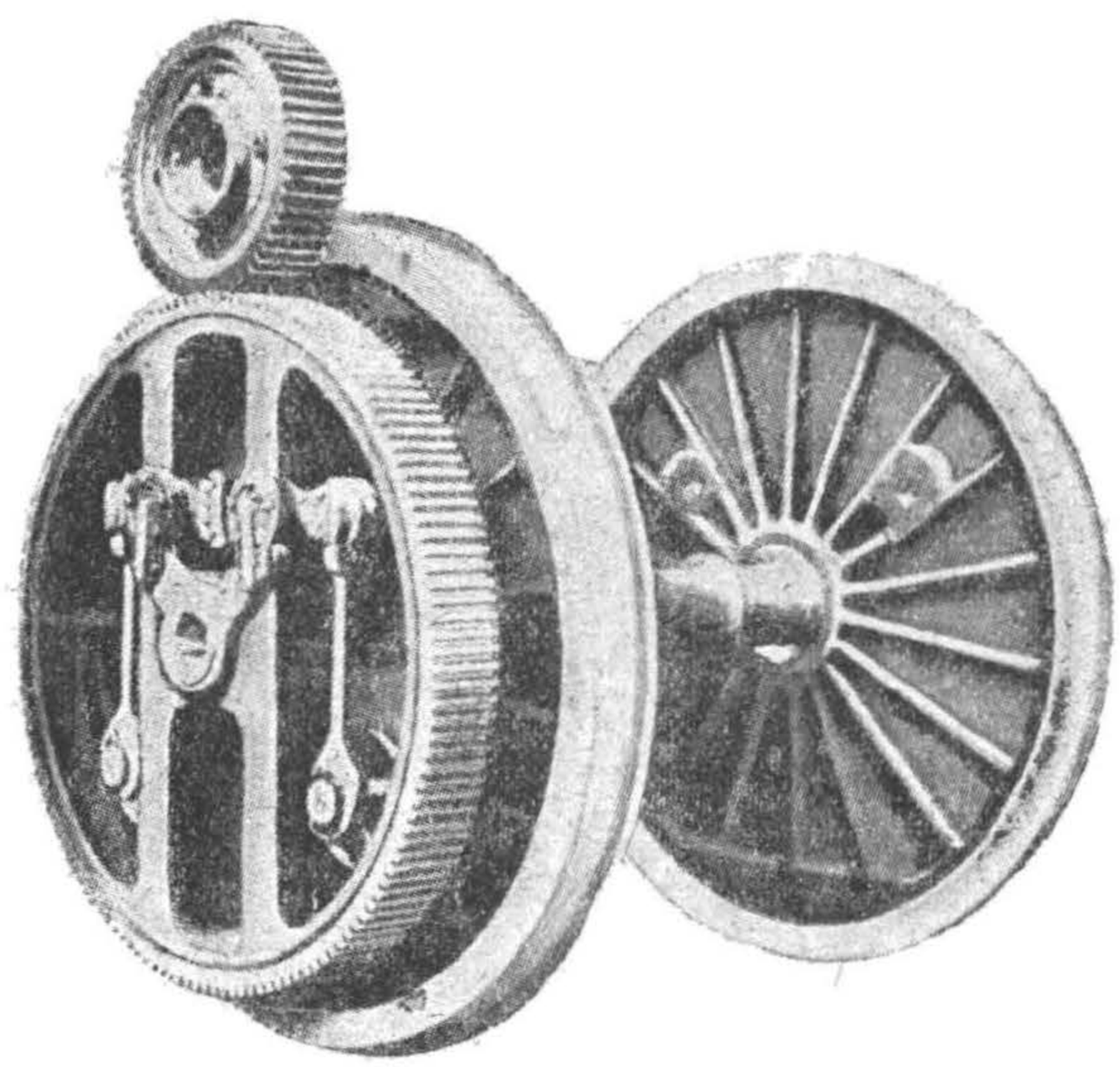


Рис. 132. **Зубчатая рычажная передача.**

Зубчатое колесо присоединено к колесу ведущей оси посредством двух рычагов с шарнирами на одном конце, прикрепленными к валкам, проходящим через прорезы в зубчатом колесе к ведущим колесам. Рычаги с другого конца присоединены к двум зубчатым секторам, сцепляющимся друг с другом и центрированным на шпильках, сидящих на зубчатом колесе (рис. 132).

Действие этой передачи заключается в воспринятии эксцентричных сил, возникающих между центрами зубчатого и ведущего колеса, относительным движением этих рычагов и зубчатых секторов.

При данном эксцентриситете ведущего колеса и зубчатки может наступить резонанс, вследствие совпадения периода изменения этого угла относительного опережения с периодом колебания всей вращающейся системы. При этом резонанс желательно сохранять в пределах, допускаемых практикой. Можно доказать, что при некотором небольшом раздвижении рычагов основная гармоника колебания от углового сдвига угловых скоростей исчезает и уже третья гармоника может быть сделана небольшой; это является условием удовлетворительной эксплоатации и должно предусматриваться при проектировании.

НТБ ДИИТ

Число единиц	Страна	Год начала эксплоатации	Число ведущих осей	Давление на ведущую ось (*m*)	Мощность на 1 ведущую ось		Диаметр ведущих колес (в *мм*)	Скорость при нормальной мощности (*км*/час)	Передаточное число зубчатой передачи	Моторы
					часовая (л. с.)	длительная (л. с.)				
19	Австрия.	1926—28	4	16,3	702	620	1 370	67	1 : 3,84	Вертик., перемен. ток.
2	Франция	1927	3	18,0	640	530	1 760	120	1 : 3,5	Вертик., пост. ток 500 V

НТБ ДНУЖТ

Применение этого типа передачи требует устройства внутренних букс для ведущих осей. С внешней стороны ведущих колес помещается рама для поддержания валов зубчаток и кожухов передачи и рычагов (рис. 133).

В кожухах имеются небольшие люки для осмотра. Подшипники имеют принудительную смазку, другие части кольцевую.

Этот тип передачи дает большую свободу выбора мотора, поскольку это касается его габаритных размеров. В виду того, что обе шестерни находятся с внешней стороны ведущих колес, все пространство между колесами может быть занято мотором. В связи с тем однако, что якорь мотора должен быть расположен над сцепной осью с просветом, допускающим относительные вертикальные перемещения, и кроме того ведомое зубчатое колесо должно быть меньшего диаметра, чем колесо

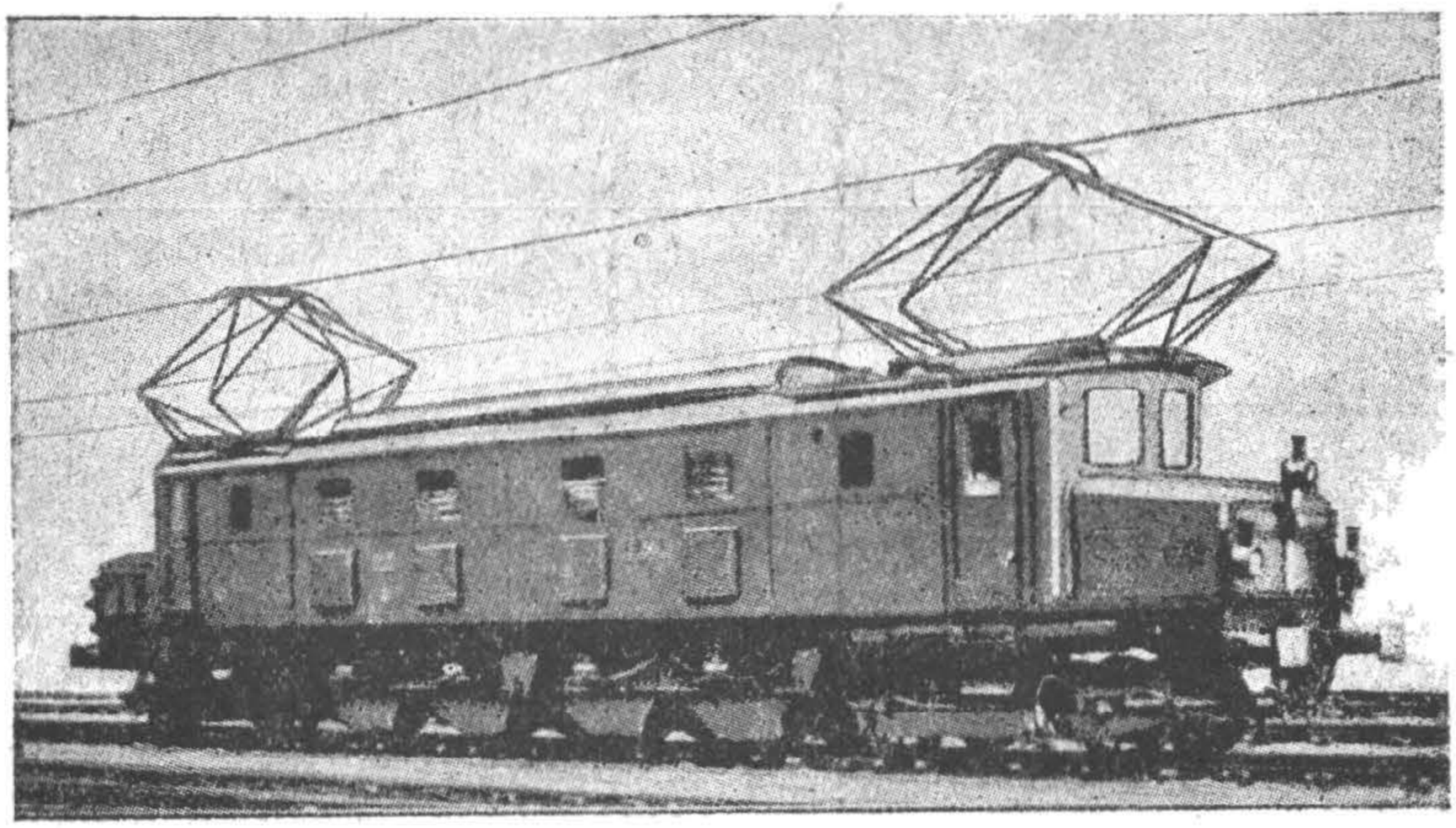


Рис. 133. Зубчатая рычажная передача

электровоза, имеются довольно существенные ограничения для передаточного числа зубчатой передачи. Величины передаточного числа видны из помещенной ниже таблицы (стр. 272) с характеристиками электровозов, на которых применен указанный тип передачи, причем имеется тенденция к использованию небольших передаточных чисел порядка 1 $2^1/_2$ до 1 3 в отличие от порядка 1 $3^1/_2$ до 1 5 при упругой зубчатой передаче.

В эксплоатации этот тип показал себя с наилучшей стороны вследствие высокого положения центра тяжести и свободы перемещения ведущих колес. В начальной стадии эксплоатации смазка центров секторов и предохранение от грязи шарниров представляли довольно большие затруднения, но в дальнейшем конструктивные усовершенствования устранили и эти затруднения.

Шатунная передача. В тех случаях, когда ограничения размеров и мощности моторов при индивидуальной передаче к отдельным осям нежелательны, применяют какой-либо из типов групповой передачи. Это дает то преимущество, что суммарный вес может быть распределен на большее число сцепных осей. Дальнейшее преимущество заключается в невозможности баксования отдельных колесных пар, и таким образом

НТБ ДИИТ

Число единиц	Страна	Год начала эксплоатации	Число ведущих осей	Давление на ведущую ось (*m*)	Мощность на 1 ведущую ось		Диаметр ведущих колес (*мм*)	Скорость при нормальной мощности (*км*/час)	Передаточное число зубчатой передачи	Моторы
					часовая (л. с.)	длительная (л. с.)				
	Индия	1928	3	20,0	676	630	1 760	62	1 : 3,237	Сдвоенн. пост. ток 750 V
		1928	3			720		53		750 V
36	Швейцария	1921	3	18,6	586	543	1 630	61	1 : 2,57	Пост. ток 550 V
78		1918	3	18,6	690	630	1 630	61	1 : 2,57	Перемен. ток 550 V
12		1927	4	—	—	—	—	—	—	—
12	Испания.	1927	6	—	—	—	—	—	—	—
17	Германия	1927	4	20,0		625	1 630	100	1 : 2,63	Перемен. ток
2	Голланд. вост Индия.	1924	4	13,2	347	277	1 500	69	1 : 2,79	Постоян. ток
2	Франция	1925	4	18,2	917	827*	1 760	80	1 : 2,55	Пост. ток 750 V
2	Япония.	1926	4	14,5	....*		1 600		1 : 3,34	Постоян. ток
4	Франция	1928	6	16,3	900					
2		1923	4			600				

* Двухсторонняя передача.

НТБ ДНУЖТ

максимальное тяговое усилие при данном сцепном весе может быть повышено. Этот способ соединения ведущих осей имеет однако тот недостаток, что при не точно одинаковом диаметре всех колес имеет место принудительное скольжение некоторых из них, а следовательно и потери энергии. Система групповой передачи выполняется весьма разнообразно—с непосредственной кривошипной передачей от мотора, с редукционной зубчатой передачей и в виде различных вариаций вышеупомянутых систем. Во всех типах за последнее время введены многочисленные улучшения и усовершенствования.

Теоретическое рассмотрение большинства типов групповых передач электровозов показывает, что многочисленность звеньев обусловливает статически неопределимую кинематическую систему, резко отличающуюся от шатунной передачи паровоза с двумя свободными звеньями и усилиями, вполне определяемыми величинами площади поршня и давления пара. Типичным простейшим видом групповой передачи является соединение двух осей шатунами. Эластичность отдельных звеньев, зазоры в подшипниках и другие неточности не позволяют точно определить распределение сил между звеньями в различных точках. В таком простейшем случае при осях, соединеных кривошипами, направленными под углом в 90°, и симметричной нагрузкой, усилия в них будут изменяться от полной нагрузки в ведомом звене, соответствующей положению ведущего в мертвой точке, до нулевой нагрузки (при повороте еще на 90°), отвечающей мертвому положению ведомого звена. В этой точке ведущее звено воспринимает полную нагрузку, а при дальнейшем повороте нагрузка его уменьшается до нуля, нагрузка же на ведомом звене принимает отрицательное значение и снова изменяется до величины полной нагрузки. На практике неодинаковые допуски в подшипниках могут быть причиной появления значительно больших усилий в стержнях по причине отставания или опережения при переходе через мертвые положения, вследствие чего тот же стержень несет полную нагрузку при укороченном плече. Если это опережение или отставание составляет только 15°, что возможно при увеличении зазоров в подшипниках, усилия в шатунах, несущих нагрузку, увеличатся на 100% от полной нагрузки.

Напряжения в шатунах являются не единственным моментом, который следует учитывать при этом типе передачи, так как рама тоже воспринимает реакции сил, действующих на шатуны. При горизонтальном расположении последних усилия могут быть направлены тоже только в горизонтальной плоскости, но, когда ведущая ось находится над уровнем ведущих колес, могут появляться и вертикальные составляющие.

Динамика шатунной передачи для электровозов еще более сложна, чем статика. Она существенно отличается от динамики паровозов не только тем, что включает в себе замкнутую систему звеньев и сил, но также потому, что якорь представляет собой более значительную массу, чем поршень парового цилиндра. Переход силы с одного звена на другое при изменениях угловых скоростей и количеств запасенной в звеньях динамической системы энергии приводит к большим перенапряжениям, чем это дает статический расчет. Результатом этого являются не только большие пределы колебания усилий в раме и звеньях, но и также и некоторые изменения вращающего усилия на ободе колеса.

НТБ ДИИТ

Способы для устранения этих явлений заключаются в следующем: наблюдение за точным сохранением зазоров как в подшипниках, так и в раме, солидное устройство всех частей, несущих нагрузку от шатунной передачи, применение гибких муфт и зубчатой передачи для мотора в целях уменьшения влияния инерции и общее расположение частей таким образом, чтобы вертикальные составляющие усилий были сведены до минимума.

Конструкции с шатунной передачей весьма разнообразны. Они могут быть классифицированы, исходя из того, соединена ли ведущая ось ходовых колес с валом тягового двигателя непосредственно или через промежуточный (отбойный) вал. Далее их можно подразделить в зависимости от того, находится ли вал мотора в той же горизонтальной

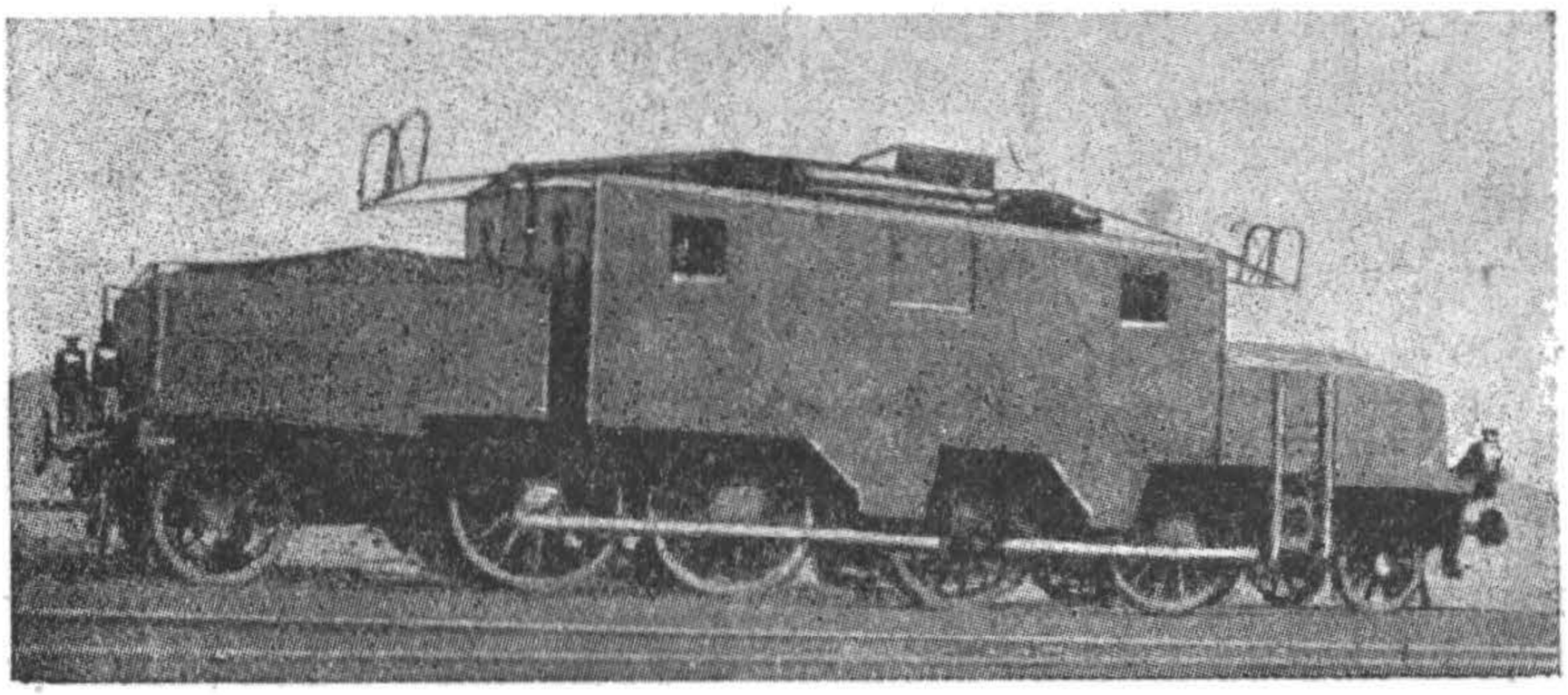


Рис. 134. Применение непосредственной „шотландской“ передачи на итальянских ж. д.

плоскости, что и ведущие оси, или нет, различая таким образом конструкции, где имеются или, наоборот, отсутствуют вертикальные составляющие сил. Различными железными дорогами всех стран к настоящему времени сконструировано множество разнообразных типов шатунной передачи, но в последнее время в этом вопросе наблюдаются некоторые определенные тенденции.

В прежнее время имелось много конструкций с кривошипом между валом якоря и сцепной осью; в настоящее время против добавочных звеньев и против значительного возвышения вала якоря, вызывающего в отношении усилий возникновение добавочных вертикальных составляющих, встречаются сильные возражения. В прошлом конструировалось большое количество типов с непосредственным соединением шатуна с валом якоря. В настоящее время более или менее значительное применение имеет модификация этого типа только на одной железной дороге и в этом случае применяется так называемый тип «шотландской» передачи вращающего момента от асинхронных тяговых моторов (рис. 134).

Недостатком непосредственной передачи такого типа является то обстоятельство, что располагаемые пределы изменения скоростей недостаточно широки для сериес-двигателей, исключая высокие скорости, и кроме того то, что инерция массы якоря целиком передается на шатун. Асинхронные двигатели используются значительно лучше, работая с успехом в области низких скоростей.

НТБ ДГУЖТ

Значительные преимущества достигаются при применении системы, состоящей из зубчатого колеса на валу мотора, сцепляющегося с промежуточным валом, соединенным с свою очередь с одной ведущей осью посредством шатуна. Такое устройство дает возможность достигать любых скоростей. Кроме того влияние инерции вращающихся масс якоря

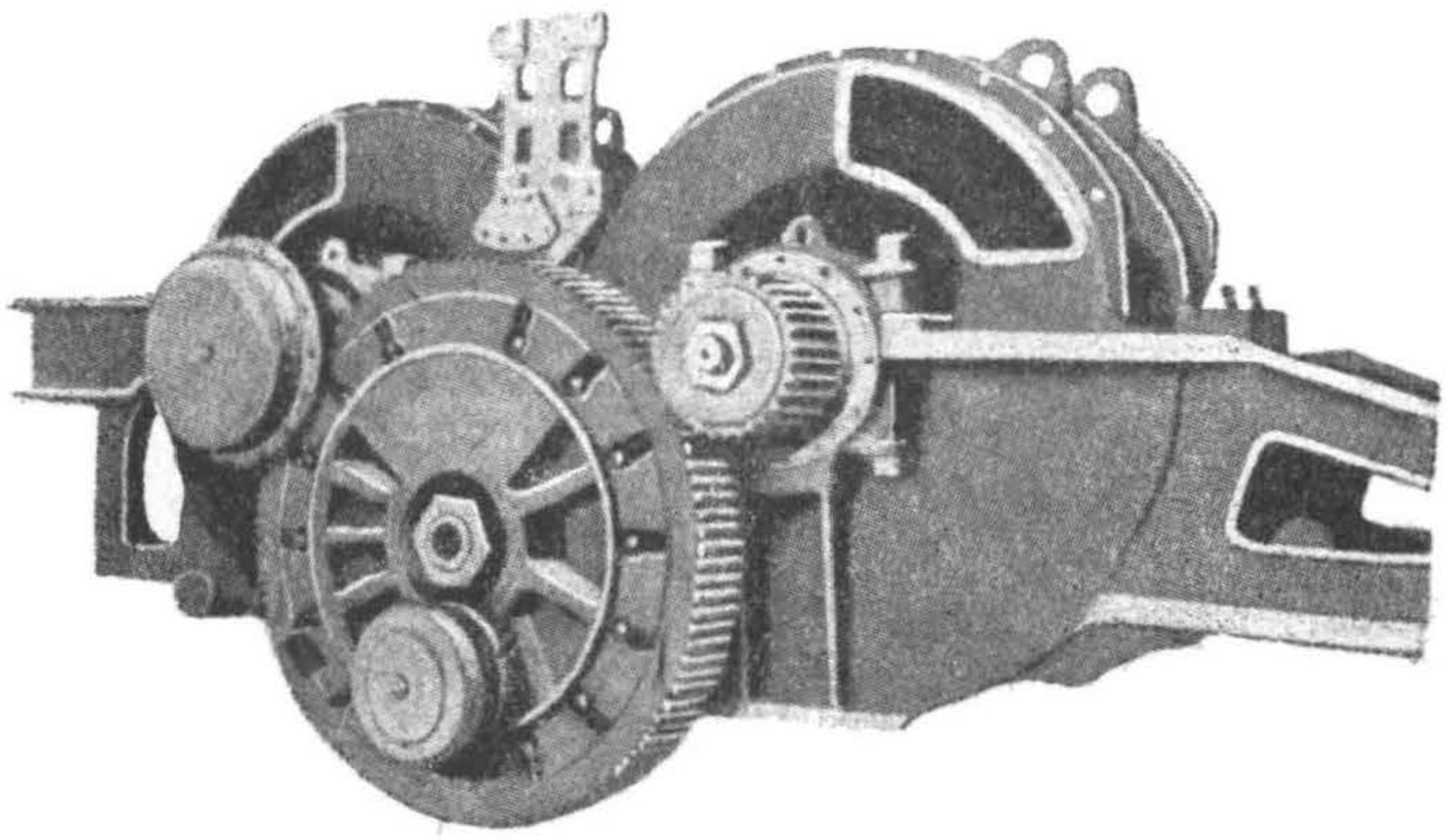


Рис. 135. Зубчато-шатунная упругая передача.

или ротора уменьшается пропорционально передаточному числу зубчатой передачи. Дополнительный вал в комбинации с упругой зубчаткой придает шатунной системе эластичность (рис. 135).

Наличие такого промежуточного звена позволяет располагать центр тяжести достаточно высоко, одновременно позволяя шатуну сохранять почти горизонтальное положение. Если зубчатая передача находится в той же

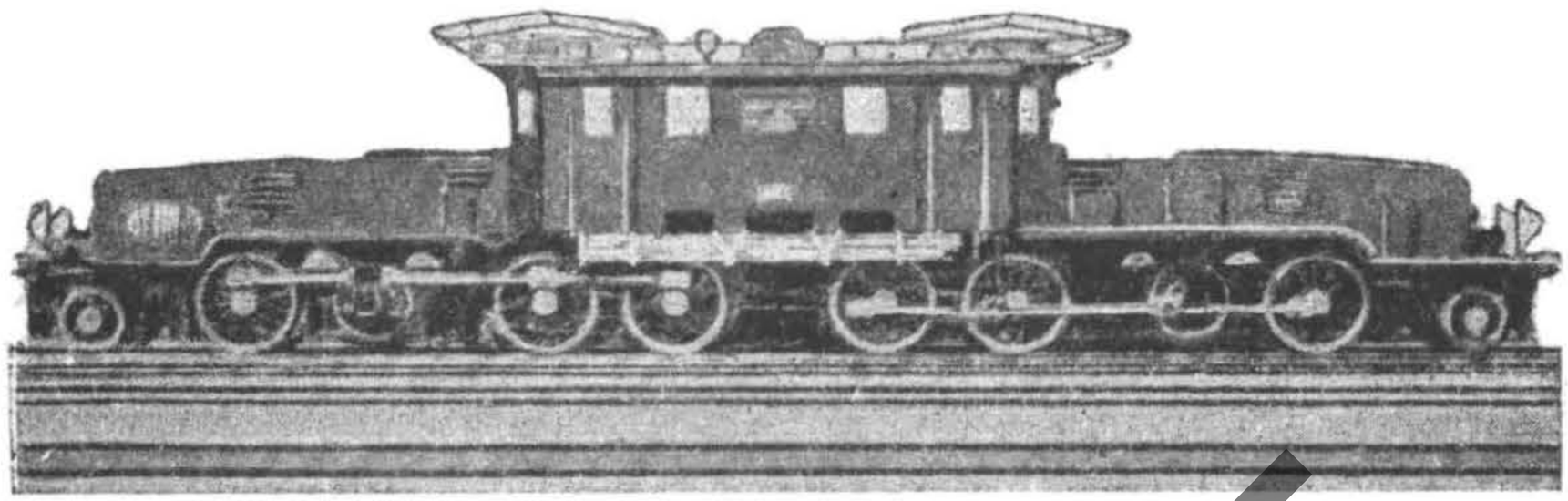


Рис. 136. Австрийский пассажирский электровоз с зубчато-шатунной передачей для горных участков.

вертикальной плоскости, что и ведущие колеса, весь промежуток между ними может служить для размещения якоря и коллектора, а в случае применения асинхронных моторов, где коллекторные кольца помещаются снаружи, все расстояние может быть использовано для размещения якоря.

Нижеследующая таблица и рис. 136, 137, 138, 139 дают картину развития последних типов электровозов с шатунной передачей.

НТБ ДНУЖТ

Количество единиц	Страна	Период начала эксплоатации	Число ведущих осей	Нагрузка на ось (*m*)	Мощность на ведущую ось		Диаметр ведущих колес (*мм*)	Скорость при нормальной мощности (*км*/час)	Передаточное число зубчатой передачи	Моторы
					часовая (л. с.)	длительная (л. с.)				
41	Индия.	1928	6	20,5	433		1 220	24—28	1 : 4,16	4, постоян. ток 1 500
26	Италия	1927	5	15	536		1 060	50		2, —3 600 V трехфазный ток
60	Швейцария	1922—26	3	18,5	657	546	1 630	64	1 : 2,22	2, — 436 V однофазный ток
18		1925	6	18,0	410	390	1 340	35	1 : 4,03 1 : 3,19	4, —400 V
60	Швеция.	1925	3	17,2	566		1 520	55	1 : 4,24	2, —390 V
12	Германия	1927	6	20,0	300		1 240	38	1 : 4,04	4, —однофазный ток
23		1927	4	20,0	420		1 400	60	1 : 2,61	2, —
17	Австрия.	1927	5	16,3	386	318	1 140	37		2, —
44	САСШ	1925	4	34,4	594	500	1 580	22—44	1 : 4,76	2, —1 150 V трехфазный ток
23		1924—27	4	34,0	1 040	932	1 030	64	1 : 1,79	4, —325 V постоянный ток

НТБ ДНУЖТ

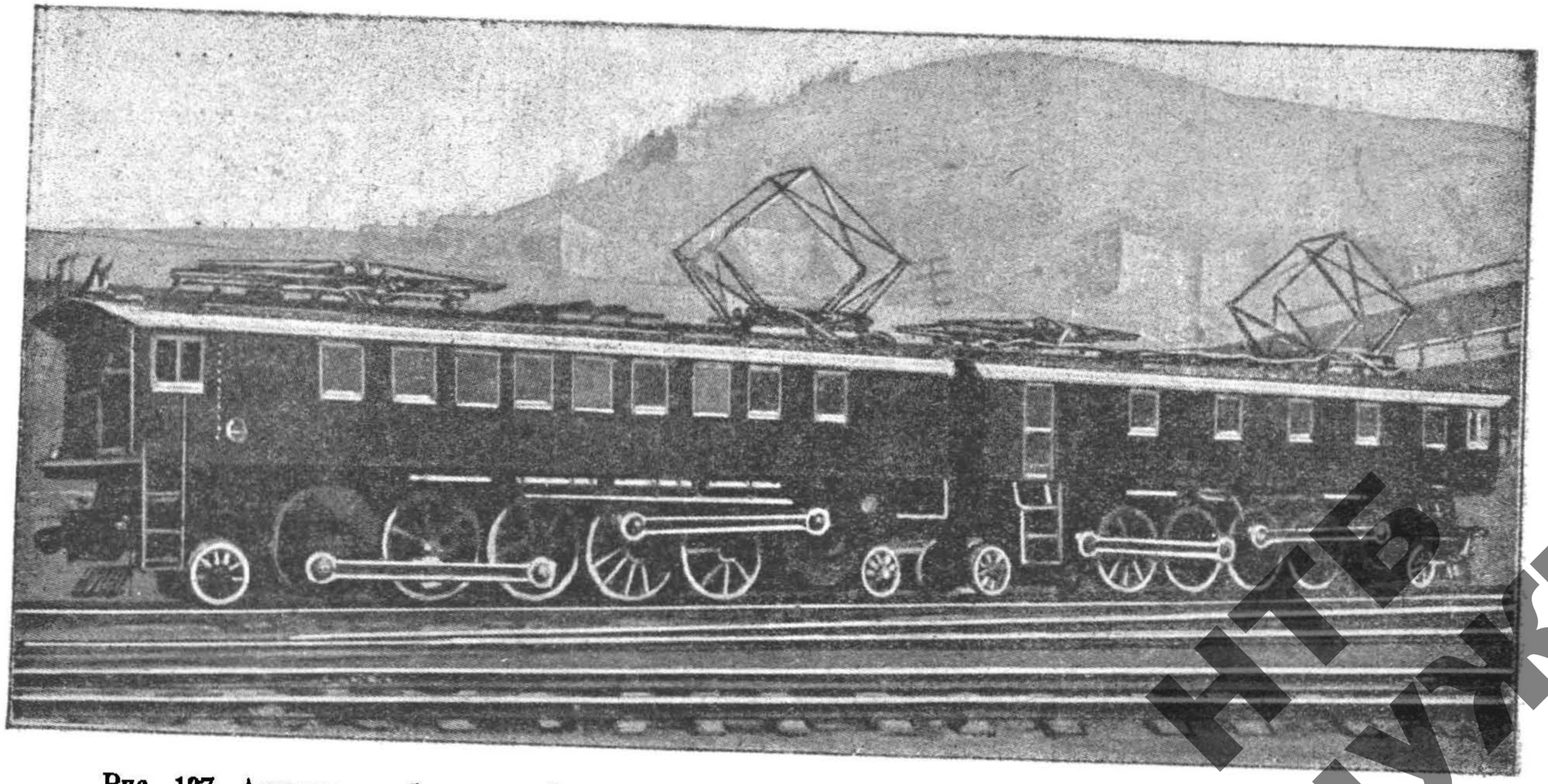


Рис. 137. Американский товарный электровоз с зубчато-шатунной передачей для горных участков.

НТБ ДНУЖТ

В настоящее время в Европе производятся испытания нескольких особых типов дышловой передачи. На двух железных дорогах производятся испытания изостатического и гипостатического типов (рис. 140).

В этих конструкциях вал якоря эластично при помощи пружин связан с самим якорем. На рисунке видно расположение отдельных звеньев передачи. Итальянские жел. дор. ввели новый тип расположения дышло-

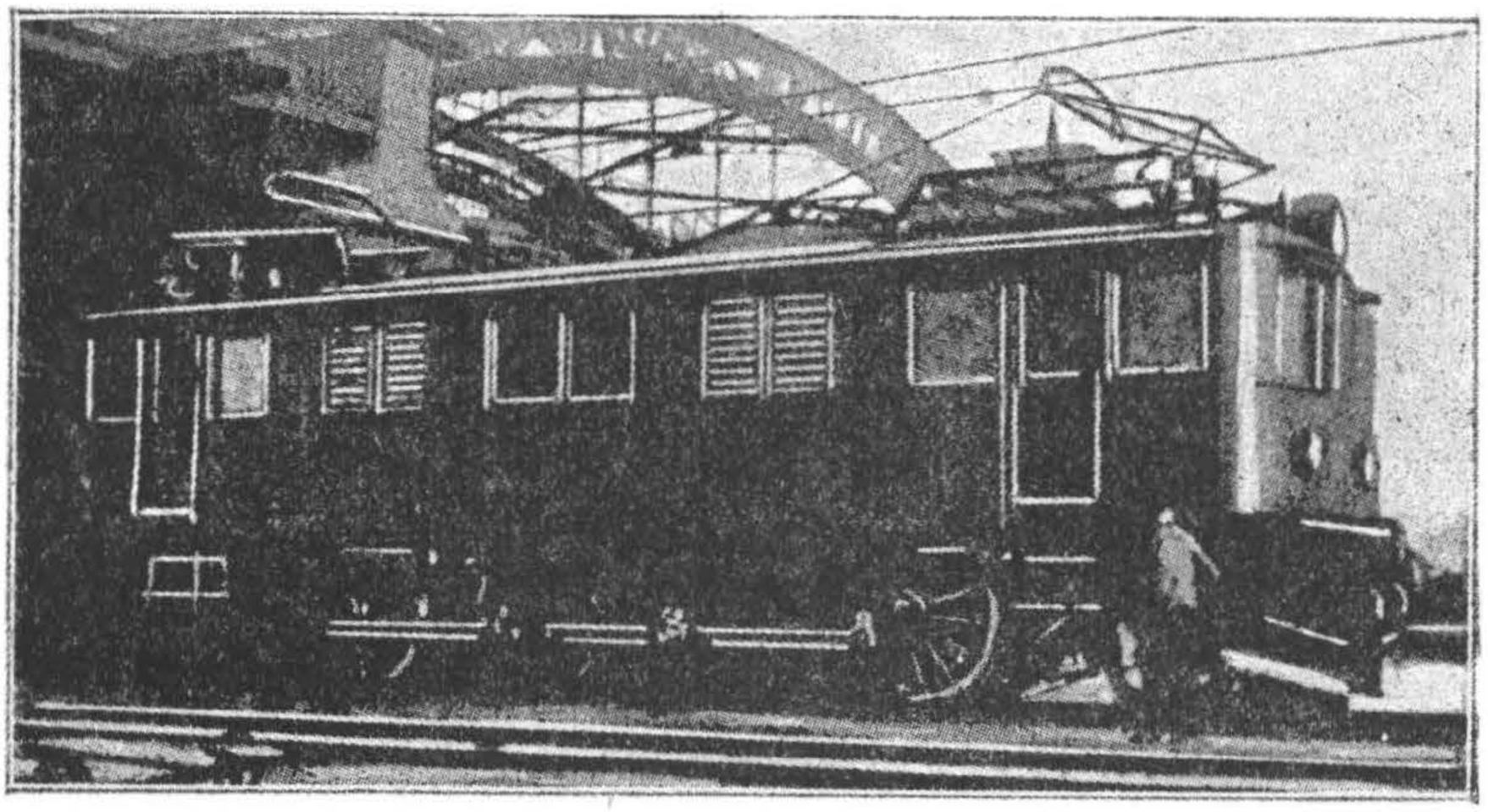


Рис. 138. Шведский товаро-пассажирский электровоз с зубчато-шатунной передачей.

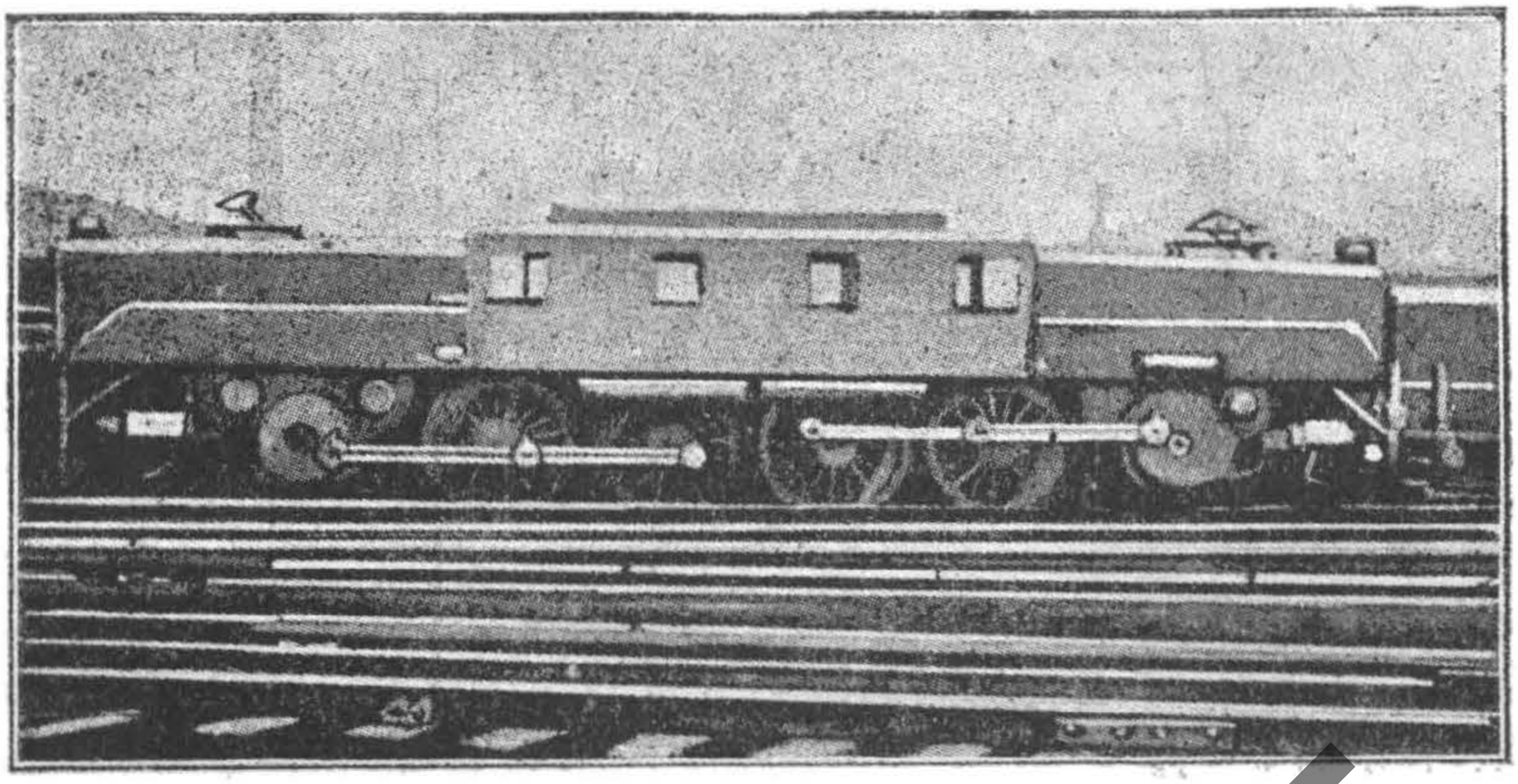


Рис. 139. Американский скорый пассажирский электровоз с зубчато-шатунной передачей.

вой передачи, который передает на ведущие колеса только горизонтальные составляющие усилия. Вертикальные перемещения колес воспринимаются ведущими рычагами при их вращении около верхних осей. Для большинства итальянских электровозов принят «шотландский» тип, в котором однако вертикальные составляющие усилий уничтожены (система Кандо).

Эксплоатационная практика жел. дорог с групповой передачей показала необходимость весьма тщательного наблюдения за рамой и теми

НТБ ДГУЖТ

частями, износ которых влияет на нормальную длину рабочих частей. При быстроходных электровозах расходы на эту статью настолько выше, чем при индивидуальной передаче, что становится выгоднее применять последнюю. Введение гибких муфт между якорем и ведущим звеном дало возможность определить величину усилий в шатунах во время эксплоатации и показало значительность этих усилий. В некоторых тяжелых

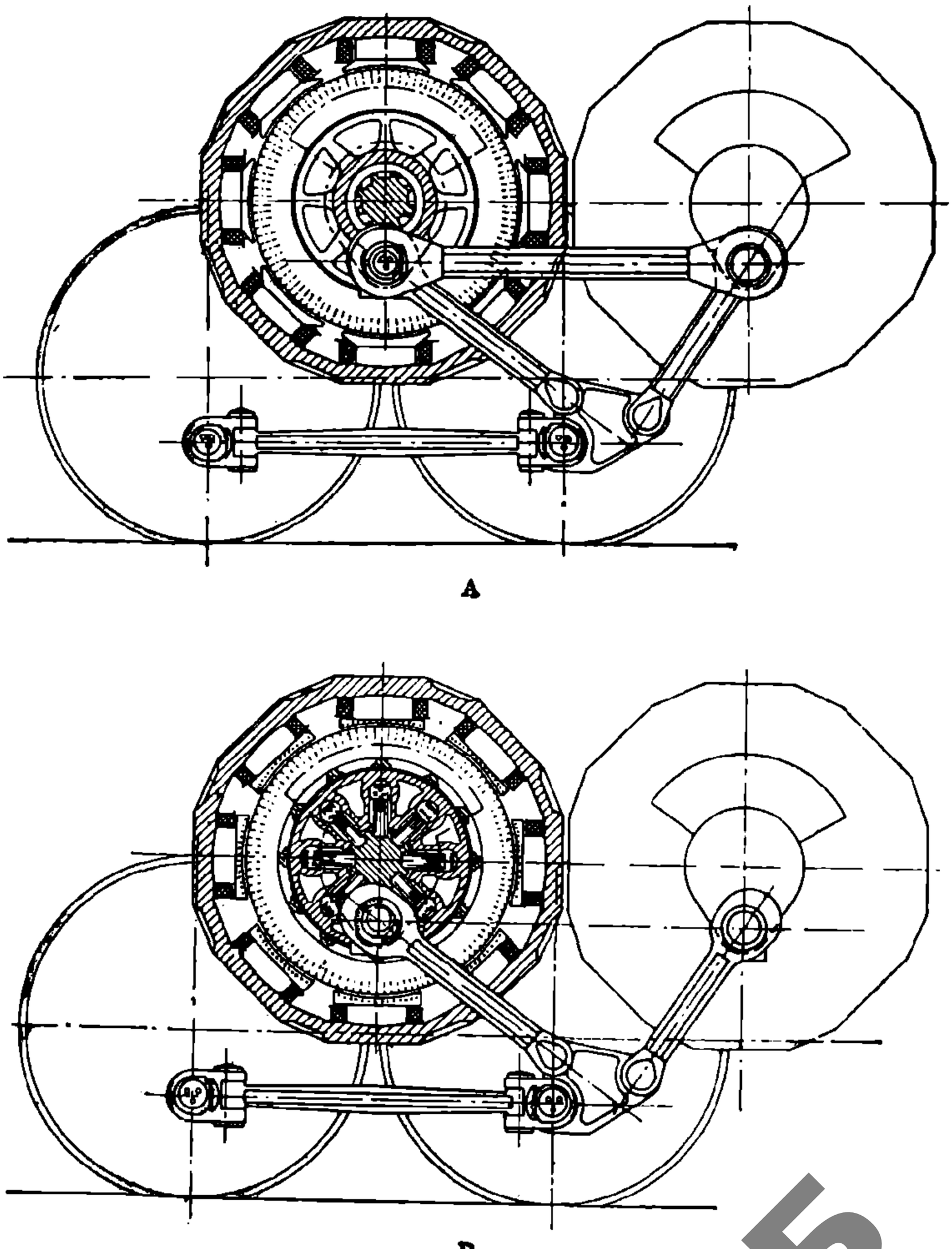


Рис. 140. Гипостатическая и изостатическая непосредственная шатунная передача.

типах электровозов даже новейшей конструкции имели место значительные затруднения, связанные с поломкой шатунов и рам.

Общее сравнение различных типов передачи. Длительные испытания различных типов передачи при одинаковых условиях работы проводились лишь в весьма ограниченном масштабе. Наиболее серьезные опыты были проведены на одной из европейских жел. дорог, где было закуплено

НТБ ДГУЖТ

значительное количество электровозов, с одинаковыми базами и общей конструкцией, для целей пассажирского движения в одинаковых

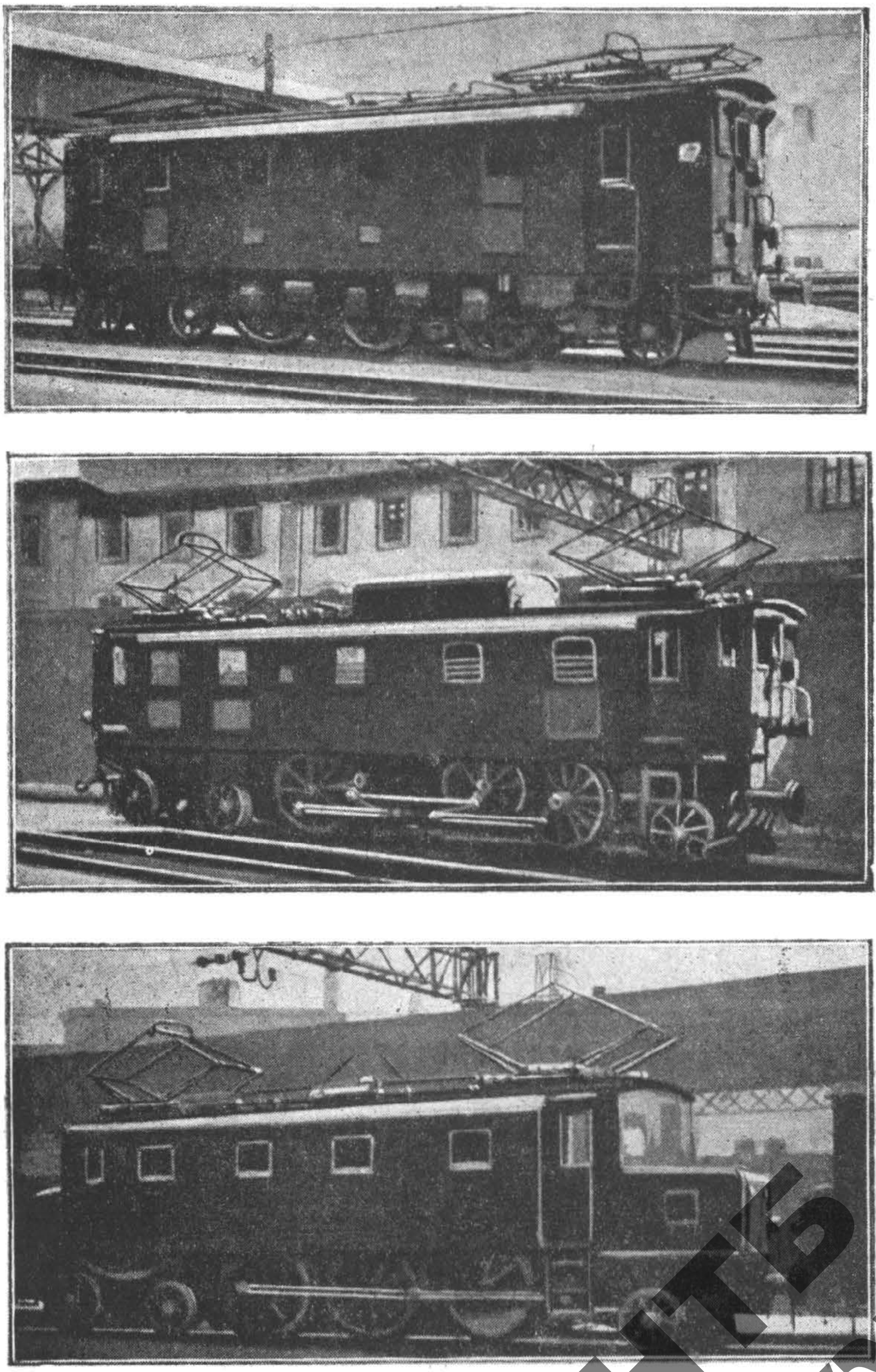


Рис. 141. Группа электровозов для одинаковых условий работы с упругой зубчатой передачей (1), с шотландской (2) и рычажной передачей (3).

условиях (рис. 141). Нижеследующая таблица показывает характеристики электровозов и результаты опытов.

ДНУЖТ

Характеристики и эксплоатационные данные пассажирских электровозов; 1500 V, однофазный ток

№	Тип	Передача	Вес (*m*)	Тяговое усилие		Мощность		Число моторов
				Пусковое (*кг*)	Часовое (*кг*)	Часовая	Длительная	
1	2—C – 1	Зубчатая с полым валом.	90	14 000	7 700	1 800	1 560	6
2	2—C – 1	Зубчатая с кривошипом, шотландский тип	100	15 000	8 100	2 000	1 665	2
3	2—C—1	Тип Бухли	92	15 000	8 100	1 890	1 650	3
4	1—C—1	Зубчатая с полым валом.	86	14 000	7 700	1 800	1 560	6

№	Эксплоат. скорость *км*/час.	Длительн. мощность мотора	Длина на 100 ЛС длит. мощности (*м*)	Суммарн. вес на 1 л.с. длит. мощности (*кг*/л. с.)	Нагрузка на ведущую ось (*т*)	Передаточное число зубчатой передачи
1	90	256	0,88	58	18,1	1 : 5
2	90	820	0,85	60	19,0	1 : 2,24
3	90	543	0,91	58	18,1	1 : 2,57
4	90	256	0,79	52	18,1	1 : 5

№	Стоимость электровозов, доллары	Расх. по содер. на электровозо-километр			Среднее число в эксплоатации		Годовой пробег (*км*)	
		1924	1925	1926	1925	1926	1925	1926
1	84 000	—	—	2,24	2	8	—	66 000
2	85 000	2,60	6,85	5,50	34	57	53 000	55 000
3	89 000	6,90	5,00	3.90	42	62	51 500	69 000
4	81 000	5,20	3,30	5,50	25	26	85 000	76 000

Другая европейская жел. дорога производила опыты над различными быстроходными пассажирскими электровозами, имеющими следующие характеристики;

НТБ ДНУЖТ

Характеристики пасоажирских электровозов постоянного тока 1 500 *v*

Число единиц	Тип	Эксплоатационная скорость (*км*/час.)	Передача	Число моторов	Длит. мощн. на 1 мотор	Длина на 100 л.с. длит. мощн. (*м*)	Суммарн. вес на 1 л.с. длит. мощности (*кг*)	Нагрузка на ось (*т*)	Передат. число зубчатой передачи
1	2—Д—2	128	Непосредственная передача.	6	375	0,85	50	12,7	—
2	2—В—В—2	128	Рычажная.	4	825	0,55	37	18,0	1 : 2,56
2	2—Д—2	128	Шатунная.	4	850 (887)	0,49 0,46	38,5 (37)	18,0	—

В связи с тем, что в эксплоатации были только один или два электровоза каждого типа передачи и в виду того, что они представляют собой единицы специального назначения—сопоставление стоимости расходов не имеет большого значения. Данные о размерах и весах интересны с точки зрения конструкции.

В САСШ опыты по сравнению между собой большого количества электровозов с различными типами передачи для идентичных условий эксплоатации почти не производились. В одном случае нечто подобное имело место на одной дороге, где первоначально на одном и том же участке применялись как электровозы с непосредственной передачей, так и с зубчатой на полой оси, несколько различающиеся по мощности; в дальнейшем эти электровозы были переброшены на разные участки. В нижеследующей таблице приводятся стоимость и характеристики этих электровозов.

Число единиц	Тип	Передача	Приблиз. эксплоат. скорость (*км*/час)	Число моторов	Длит. мощн. (л. с.)	Длина на 100 л. с. (*м*)	Суммарн. вес на 1 л. с. (*кг*)	Нагрузка на ведущую ось (*т*)	Передат. число зубчат. передачи	Стоимость в долларах
5	1В–Д—Д—В1	Непосредств.	105	12	266	0,79	70	17,2		205 000
9	2С1—1С2	Зубч. с полым валом	105	12	284	0,79	83	28,5	1 : 3,71	193 000

В Германии и Австрии применялось весьма большое число различных типов передач, но поскольку электровозы эксплоатировались на различных дорогах с различными эксплоатационными условиями и с разнообразными профилями, произвести сравнительную оценку их не представляется возможным. В общем в результате испытаний пассажирских электровозов в Германии наметилась тенденция к применению зубчатой передачи с полым валом.

НТБ ДНУЖТ

Суммируя, следует сказать, что выбор типа передачи тесно связан и зависит от условий работы электровоза, определяющих основные его характеристики, число сцепных осей и моторов, сцепной вес, скорость и т. д.

Для скорого пассажирского сообщения могут применяться непосредственные зубчатые, рычажные и некоторые типы шатунной передачи, причем условия конкуренции при поставке приведут к примерно одинаковой первоначальной стоимости. С точки зрения стоимости эксплоатации самые большие расходы падают на шатунную передачу. Для применения непосредственной передачи имеется много ограничений, что значительно сокращает ее область, тем более, что существует тенденция к удалению с ведущей оси мертвого веса. Для тяжелого товарного сообщения шатунная передача с зубчатыми колесами, простая зубчатая и тип с полым валом вполне удовлетворяют условиям эксплоатации. При применении асинхронных моторов ограничения конструкции и месторасположения препятствуют применению зубчатой передачи с трамвайной подвеской. Невысокие скорости движения делают необходимым применение почти во всех случаях редукционной зубчатой передачи служащей для проектирования мотора на нормально применяющееся число оборотов. Эксплоатационные расходы передачи с трамвайной подвеской сравнительно с другими малы.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА XVI

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Механическое оборудование электрического локомотива не поддается такому полному и детальному анализу и расчету, как элементы электрического оборудования. Для различных деталей рам, тележек, сцепных приборов, кузовов и т. д. выработан целый ряд конструкций, базирующихся более на практическом опыте работы паровозов и имевшемся небольшом опыте использования электровозов, нежели на теоретических и поддающихся учету выводах.

Конструкция рамы и кузова. В различных странах выбор материала, применяющегося для конструкции рам электровозов, производился по тем же соображениям, что и для паровозов.

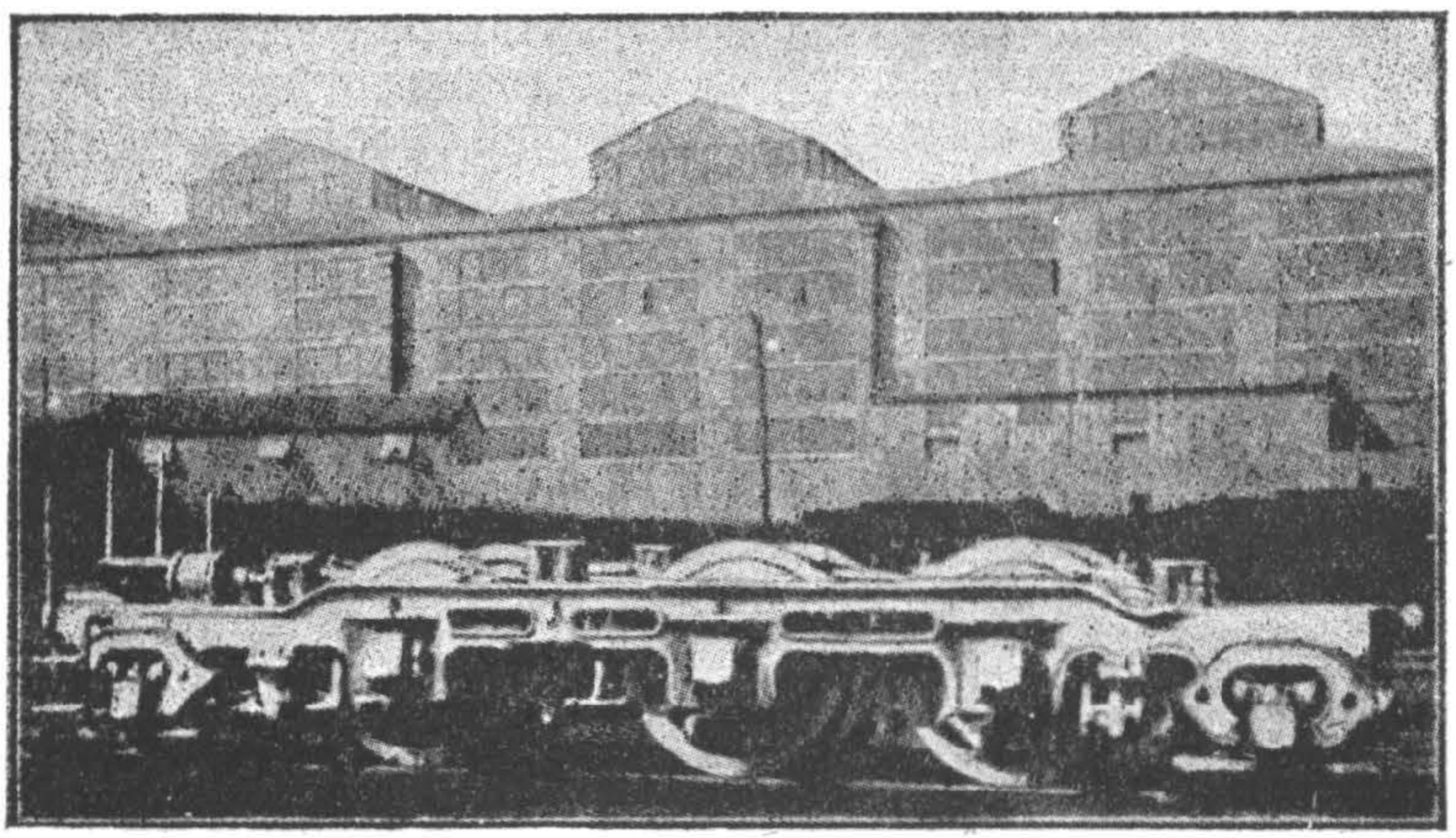


Рис. 142. Рама из литой стали.

В Европе при паровозостроении большое применение нашли себе листовое железо и сталь с заклепочными соединениями. В САСШ в прошлом имели применение кованое железо и сталь (forged steel).

С развитием конструирования деталей из литой стали (cast steel), производство которой усовершенствовалось настолько, что из нее могли быть изготовляемы сложные паровозные рамы, этот сорт получил наибольшее признание и распространение (рис. 142).

В некоторых случаях величина напряжения в рамах из кованого железа вызывала такие частые поломки, что потребовалось применение более прочных конструкций. Замена этих рам рамами из литой стали явилась благоприятным разрешением этой проблемы. Различные типы

НТБ ДИИТ

паровозов с литыми стальными рамами работали с большим успехом почти в течение десяти лет. Отсутствие заклепочных швов и болтовых соединений, а также конструктивная простота литых рам весьма сильно содействовали снижению расходов на их ремонт и осмотр.

Конструкция рам электровозов допускала гораздо более широкий простор, нежели конструкция паровозных рам.

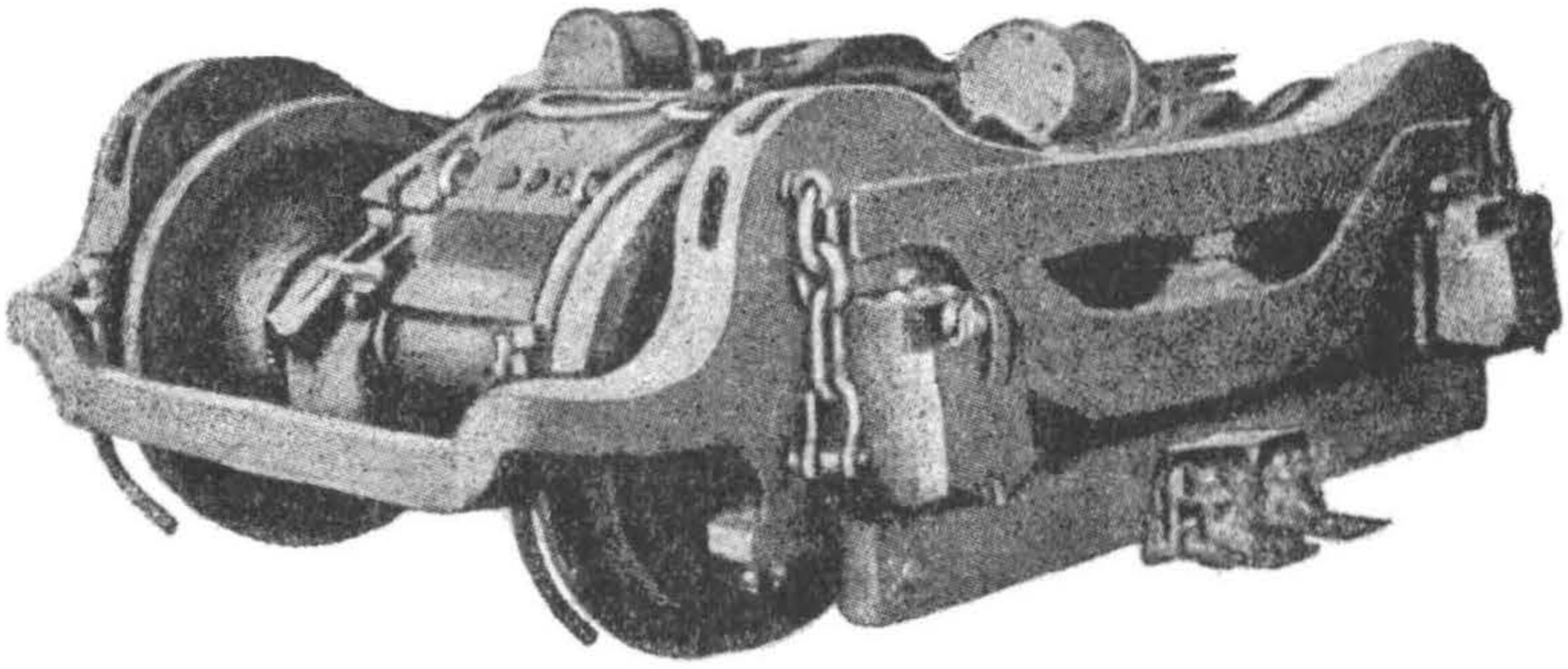


Рис. 143. Рама поворотной тележки большого тоннажа.

Простейший и самый ранний тип состоит из двух двухосных тележек с центральнорасположенными шкворнями, вращающимися относительно кузова. Рамы тележек служат для восприятия как веса кузова, так и передачи тягового усилия. Такие тележки имели тот же тип, что и вагонные тележки. Мощность таких конструкций была доведена до довольно высоких пределов.

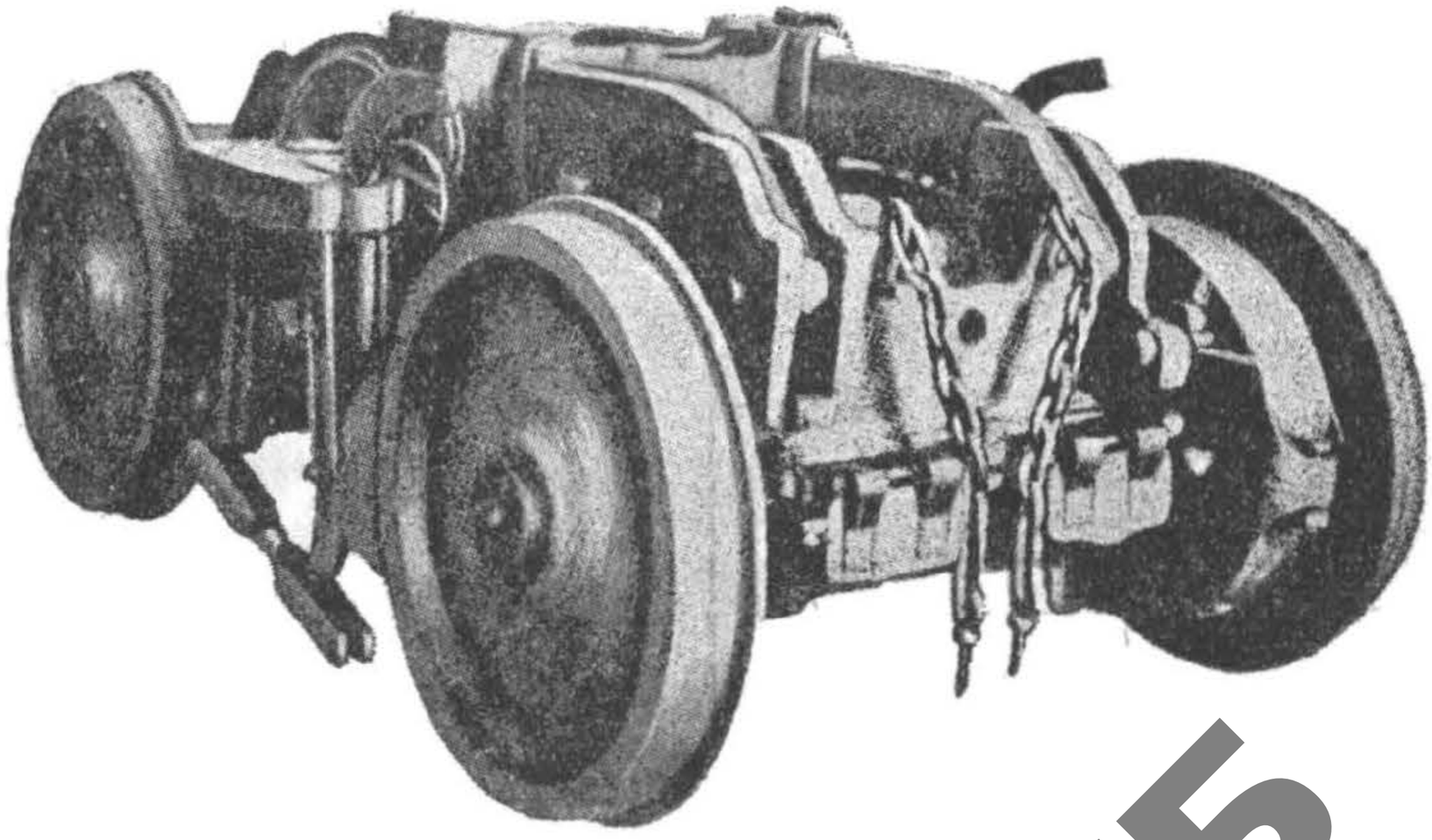


Рис. 144. Тележка без рамы.

Электрический локомотив, недавно сконструированный для товарного движения, может развивать около 660 л. с. длительной мощности на каждую такую тележку (рис. 143).

Для тележек меньшей мощности пытались достигнуть уменьшения веса и сокращения стоимости, отказавшись от обычной конструкции тележки с рамой и используя станину электрических двигателей в качестве опор для осевых подшипников, для чего кожуха моторов соединялись балансирами, покоящимися на верхней части кожухов (рис. 144).

При поворотных тележках с простой жесткой рамой кузова возможно пользоваться лишь двумя тележками. Там, где желательно употребление большего числа тележек, должен быть обеспечен какой-либо вид шарнирного соединения в раме, воспринимающий напряжение от тяговых усилий. Кузов должен быть разделен на секции соответственно числу этих соединений, или он должен поддерживаться самостоятельно каждой поворотной тележкой на подпятниках, находящихся на промежуточных рамах.

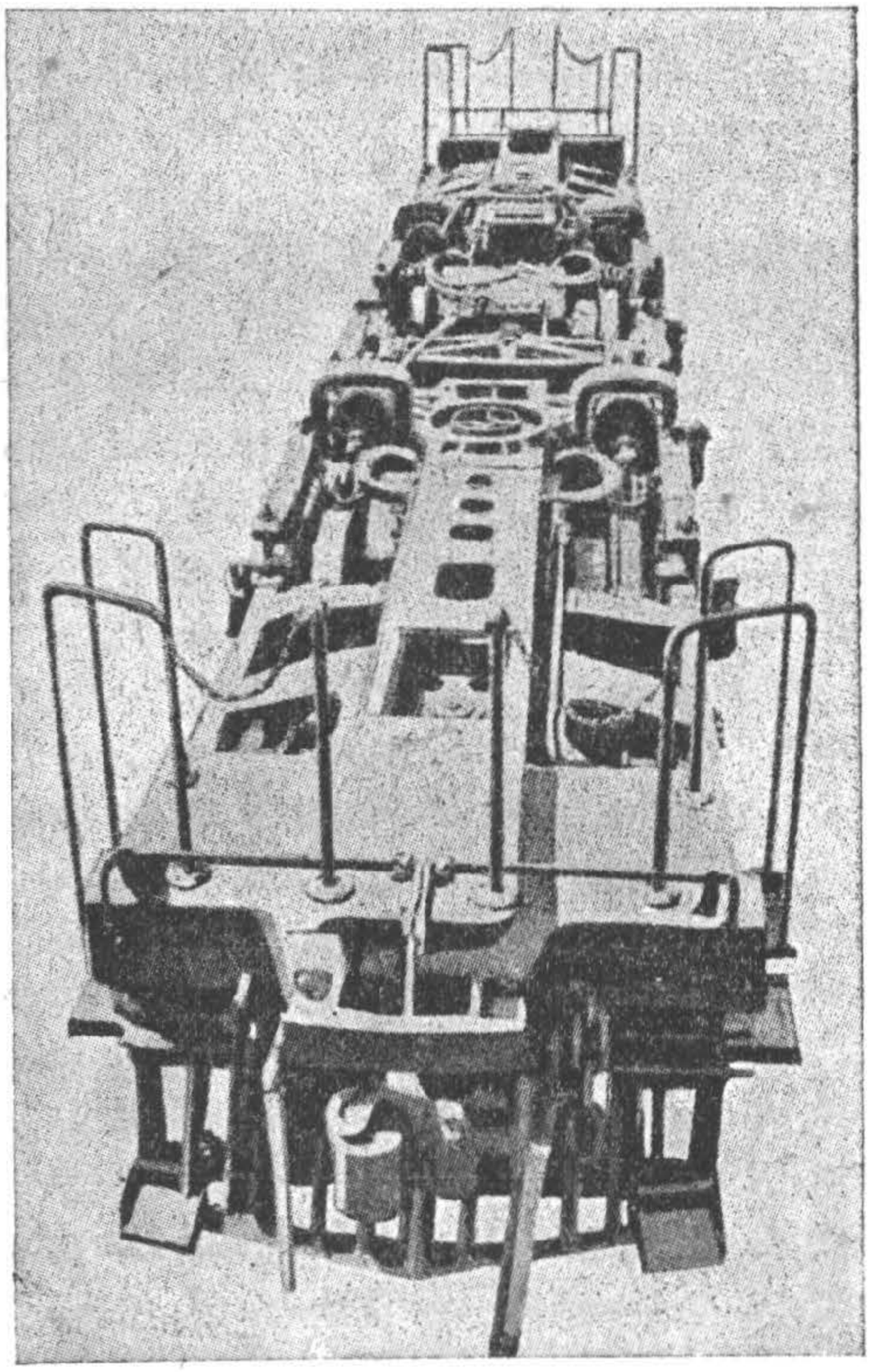


Рис. 145. Рама сочлененной тележки; видны точки опоры для кузова.

Обычно у локомотивов больших размеров передача тяговой силы к упряжным приборам происходит непосредственно через раму тележки. Каждая тележка может нести две, три или четыре пары ведущих колес, а там, где желательно большее число, для соединения двух или нескольких тележек м. б. устроены сочлененные соединения. При таком типе рам обычно применяются направляющие тележки, чтобы при большей скорости движения дать локомотиву хорошую способность прохождения по рельсовому пути.

Соединение между тележками имеет важное значение, как в смысле передачи тяговых усилий, так и в отношении к раме как средству, обеспечивающему направление этих усилий. Там, где имеется большое число осей при жесткой базе, элементы боковых усилий и боковая игра на кривых приобретают большое значение. Проблема уравновешивания и распределения веса между одной стороной тележки и другой и между разными осями, благодаря тому же фактору большого числа осей и большей длины рам, требует самого тщательного выполнения.

Там, где на всю единицу применяется только одна рама, кузов может покоиться на раме неподвижно.

При двух таких рамах можно применять поворотное устройство с дополнительными опорными точками (рис. 145). Если тележек больше, чем две, то необходимы промежуточные уравновешивающие балки с шарнирами в целях равномерного распределения веса кузова на различные оси. Опора центрального поворотного круга кузова обычно имеет простой шкворень с фрикционным управлением движения.

В некоторых случаях может быть необходим механизм в виде сколь-

НТБ ДИИЖТ

зящих опор (рис. 146). Вспомогательные опорные точки для получения надлежащего распределения веса кузова обеспечиваются с помощью дополнительных скользящих опор и пружин, регулирующих вертикальное положение.

Если кузов жестко прикрепляется к раме, последняя может быть использована в качестве первичного элемента, к которому крепится конструкция кузова. Там, где кузов покоится на рамах тележек, через которые передаются тяговые усилия, конструкция кузова должна быть такой, чтобы кузов выдерживал эти усилия, а также вес мотор-генератора и т. д.

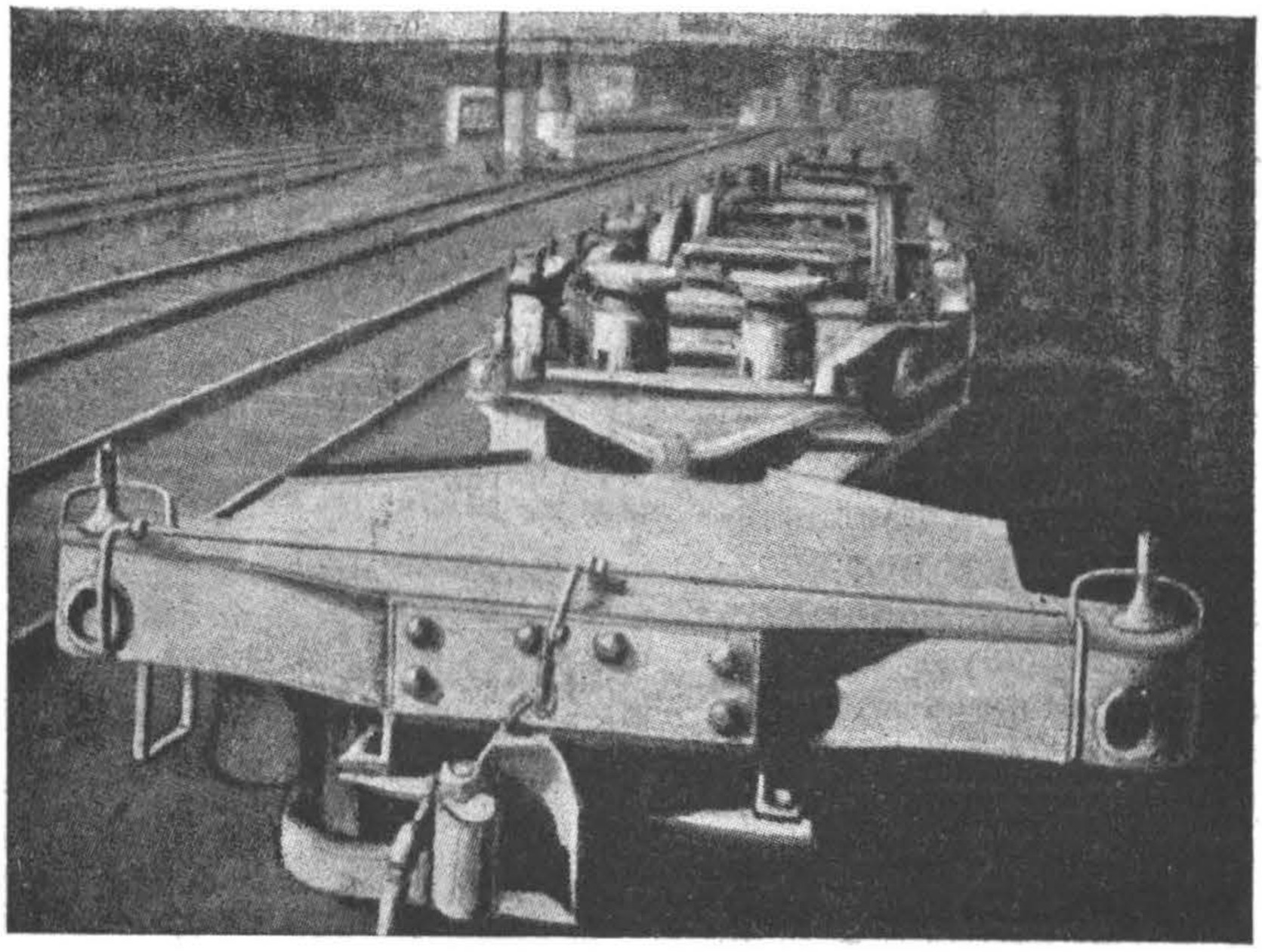


Рис. 146 Рама с опорами для кузова и балансирами для бегунковой тележки.

Если тяговые усилия передаются с помощью рамы, несущей кузов, например при поворотной тележке, требуется еще большая крепость соответствующих элементов. При нескольких тележках, находящихся под одним кузовом, необходимы промежуточные рамы или балки, а также сочлененные соединения для тележек.

Выравнивание веса, приходящегося на различные оси локомотива, обычно обеспечивается с помощью системы тяг, рычагов и рессор. Уравновешивание может также быть производимо по отношению к отдельным колесам или может передаваться с одной стороны на другую в поперечном направлении. Это последнее боковое балансирование крайне необходимо и в ряде случаев используется наряду с первым. При длинной раме может быть желательно ассиметричное балансирование. Также может быть желательным придание гибкости опорам кузова для надлежащего балансирования самого кузова, вследствие колебания нагрузки от его веса при движении локомотива.

В очень многих случаях балансирование производится относительно поворотных тележек или осей ведущих колес с помощью балок с соответ-

НТБ ДНУЖТ

ствующими плечами (рис. 146 и 147). В некоторых случаях были сконструированы более сложные системы.

Направляющие механизмы. Детальный анализ усилий, развивающихся при входе локомотива на кривую или на самой кривой, зависит от учета такого количества неопределенных и меняющихся

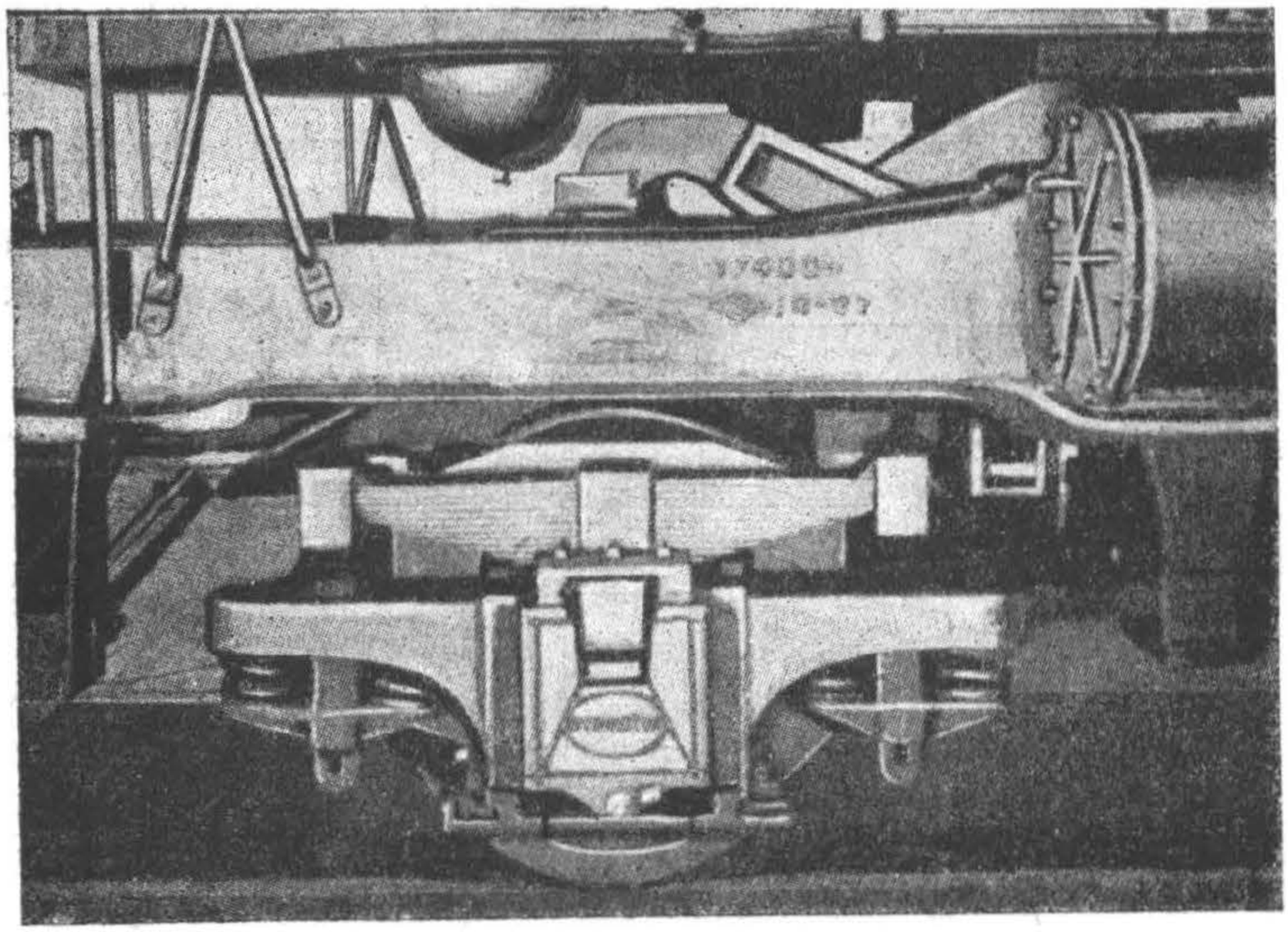


Рис. 147. Направляющая (бегунковая) тележка с укороченным коромыслом.

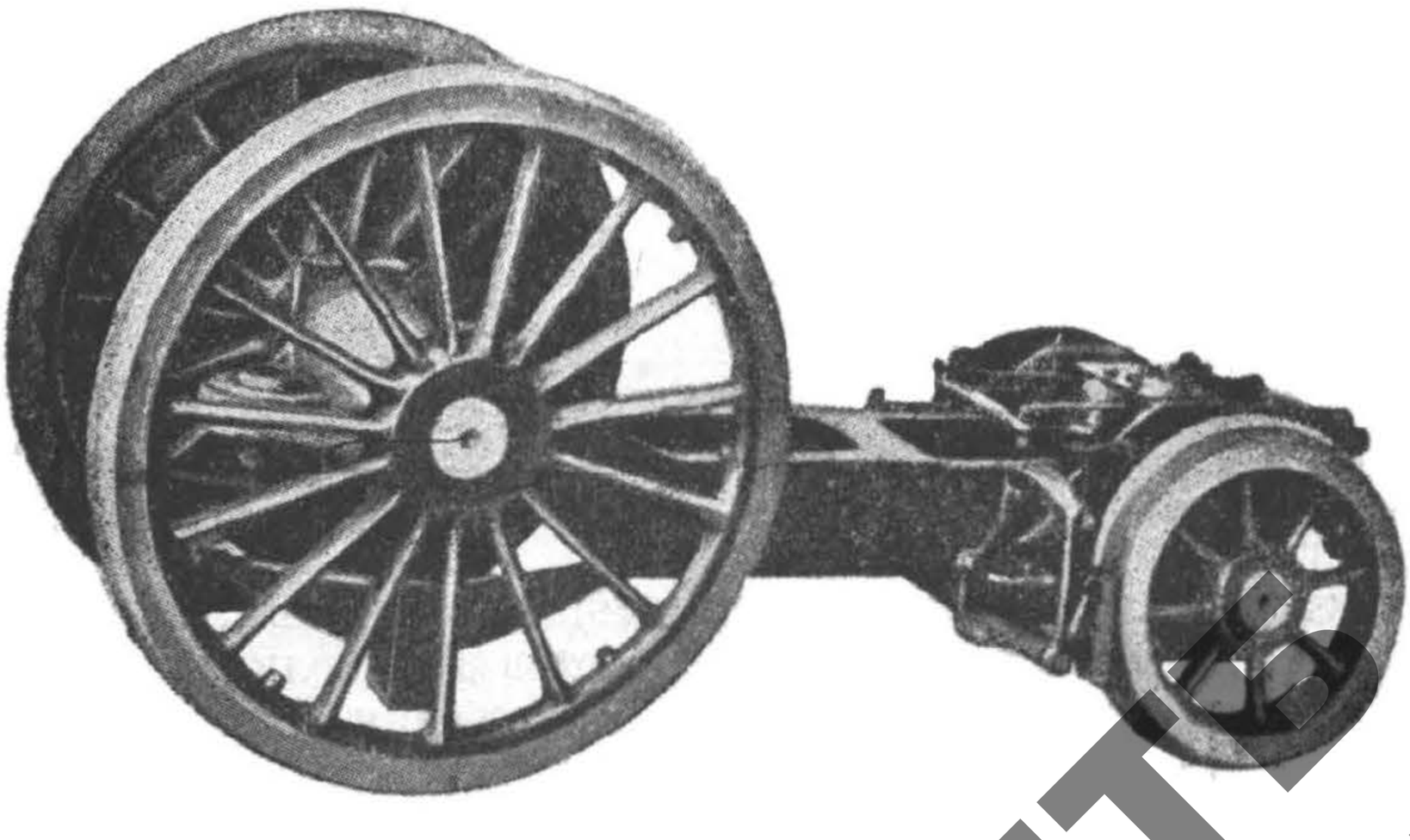


Рис. 148. Направляющая тележка, присоединенная к ведущей оси.

факторов, что он делается почти невозможным. Вообще говоря, основными факторами, действующими при этом, могут быть признаны следующие: 1) влияние инерции локомотива, которая должна быть преодолена при входе локомотива на кривую или при движении по ней, 2) сила трения, вызванная соприкосновением с рельсом и 3) тяговые усилия

НТБ ДИЖТ

на крюке локомотива. Кроме того имеются еще такие трудно определимые факторы, как боковое качание в самом локомотиве, и силы, связанные с накоплением и отдачей энергии при относительных движениях различных частей локомотива, а также усилия от неровностей пути.

О пределах и действиях первых из вышеупомянутых сил, проявляющихся при различных условиях, можно составить следующее элементарное представление. Для придания массе локомотива другого направления рельсами должны быть развиты боковые усилия, передаваемые на направляющие тележки или на сами ведущие колеса. Эти боковые усилия реактивного действия рельс на колеса, вследствие прямолинейной конструкции

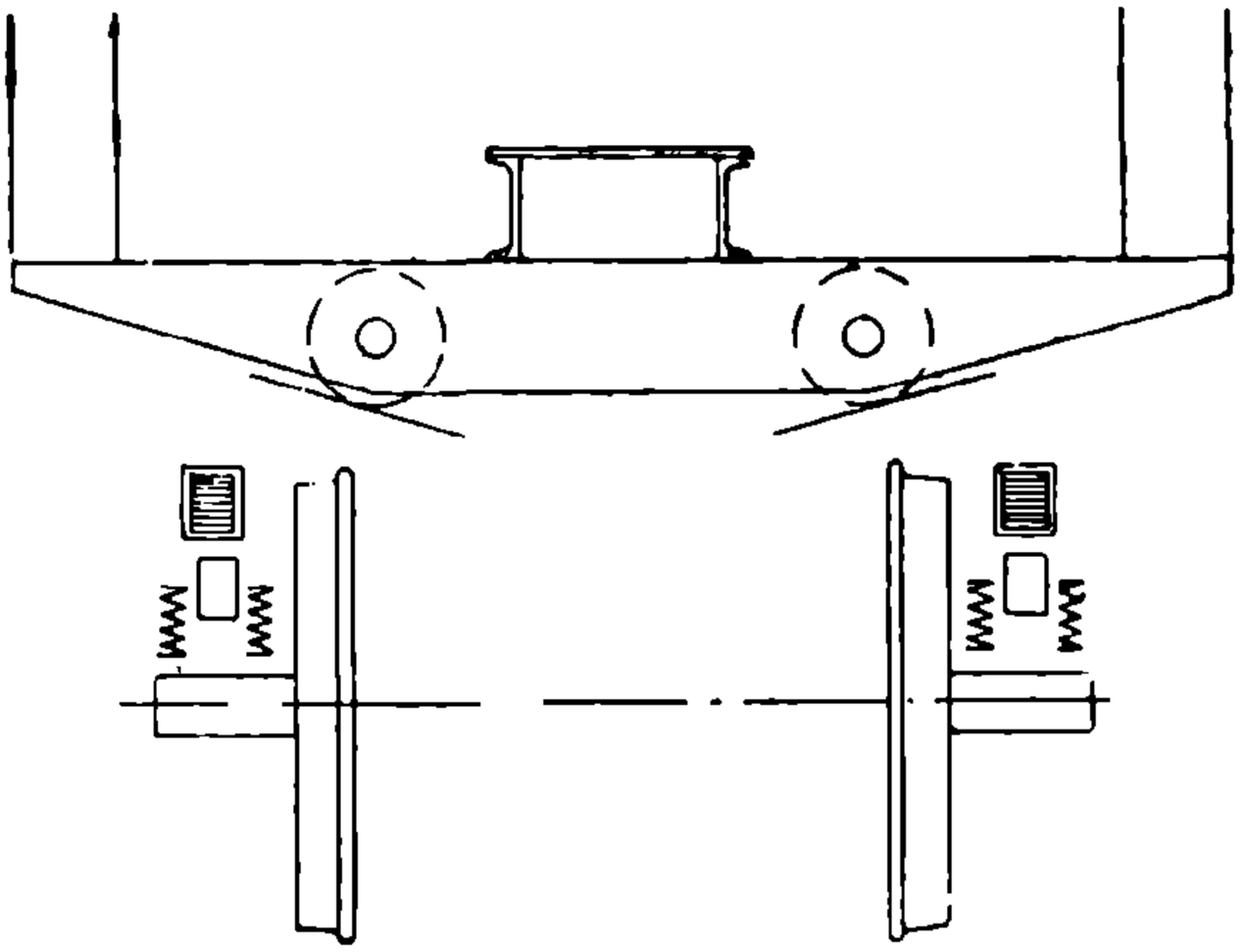


Рис. 149. Приспособление с роликами для ограничения поворота.

Рис. 150. Секторообразное коромысло.

колесной базы, в противоположность закругленной рельсовой колее, должны быть ниже определенного предела во избежание схода с рельсов или слишком быстрого износа реборды колеса. Поперечные составляющие тягового усилия или усилия в сочлененных соединениях могут при-

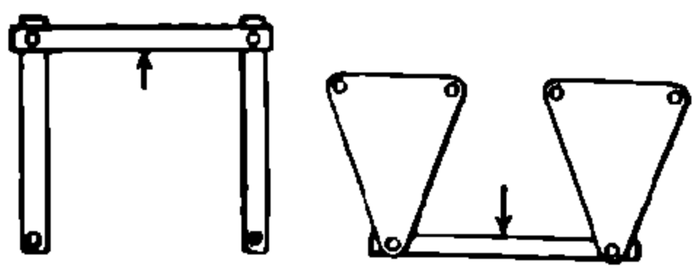


Рис. 151. Простая и сердцевидная система коромысла.

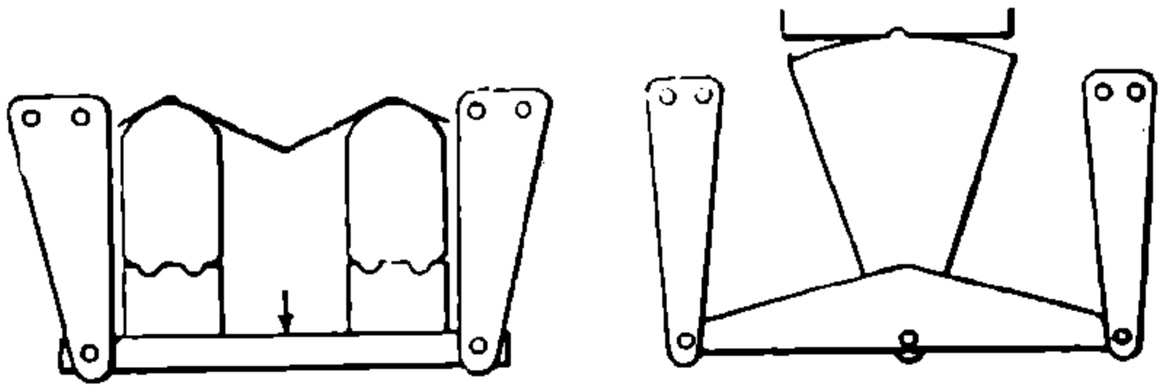


Рис. 152. Комбинация коромысла и секторообразной направляющей.

нимать положительные или отрицательные значения, в зависимости от того, тянет ли локомотив поездной состав или толкает его и развивает ли он тяговое усилие или силу торможения. Эти составляющие должны держаться в известных пределах во избежание износа реборд бандажей и порчи пути.

В общем имеется два типа направляющих (бегунковых) тележек локомотива.

Первый тип—одноосная тележка, которая вращается вокруг шкворня, вследствие чего ось имеет тенденцию сохранять свое направление по радиусу проходимой кривой. Второй тип—двухосная направляющая тележка, имеющая свои балансиры; шкворень посредством возвращающего механизма соединяется с главной рамой локомотива.

НТБ ДИИЖТ

В некоторых случаях, где недостаточно места для коромысла соответствующей длины. определенной теоретическим расчетом, устанавливается система с укороченными коромыслами, расположенными обычно по ли-

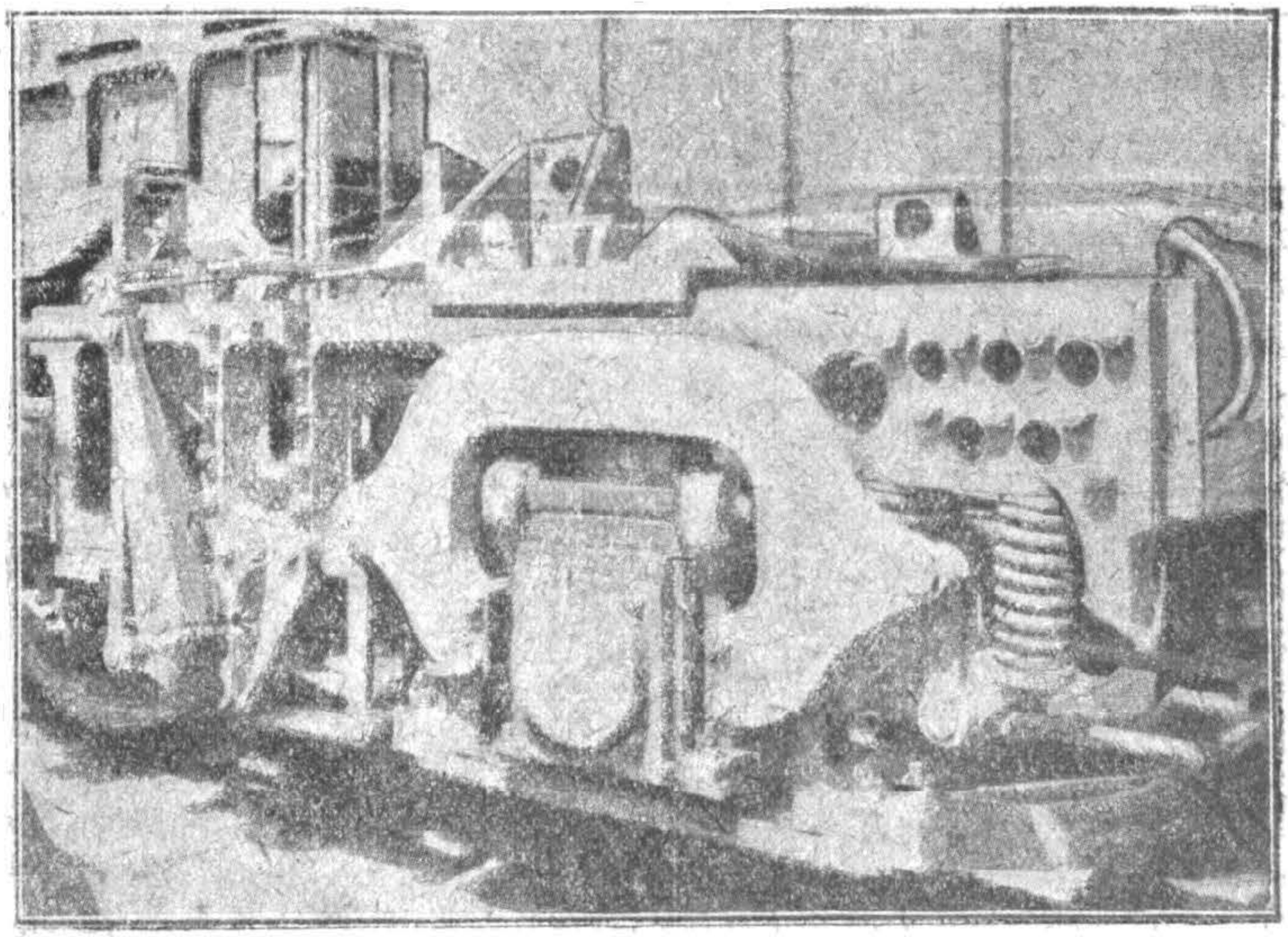


Рис. 153 Направляющая тележка с внешним ограничительным механизмом.

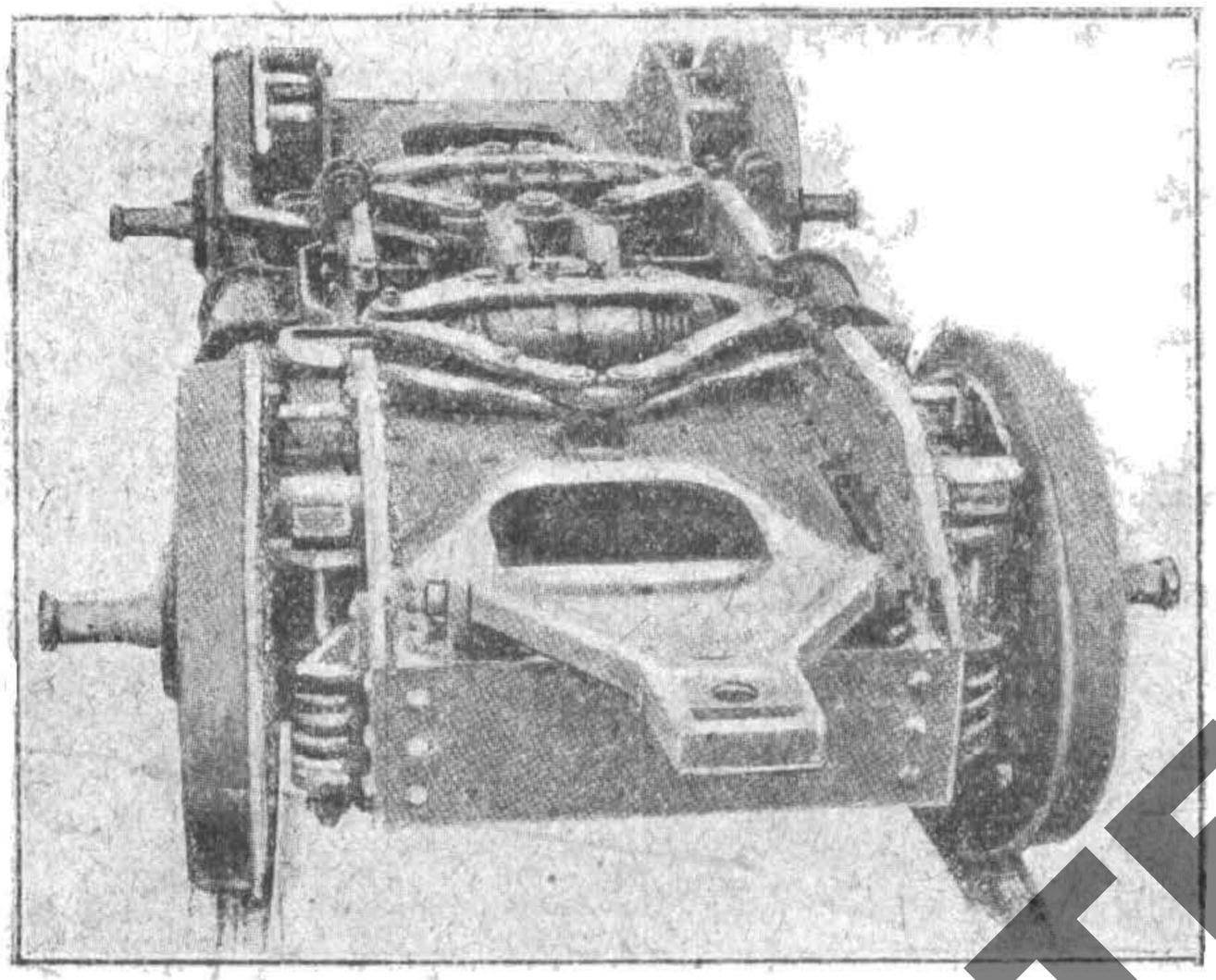


Рис 154. Ограничивающий механизм с пружинным регулированием поворачивающей силы на двухосной тележке.

нии от буксы подшипника по направлению к теоретичсской точке шкворня, присоединяющегося с помощью шаровой пяты к главной раме (рис. 147)

В Европе обычно практикуется способ присоединения направляющей оси к ближайшей ведущей оси, которая в свою очередь имеет или неболь-

ДЛЯ СЛУЖЕБНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

шую боковую игру или возможность некоторого поворота. Соединительное плечо может вращаться по отношению к главной раме, причем предусматривается боковое движение вокруг шкворня (рис. 148).

Механизм, применяемый для передачи направляющих сил от бегунковых тележек локомотиву, может быть выполнен различно. Там, где

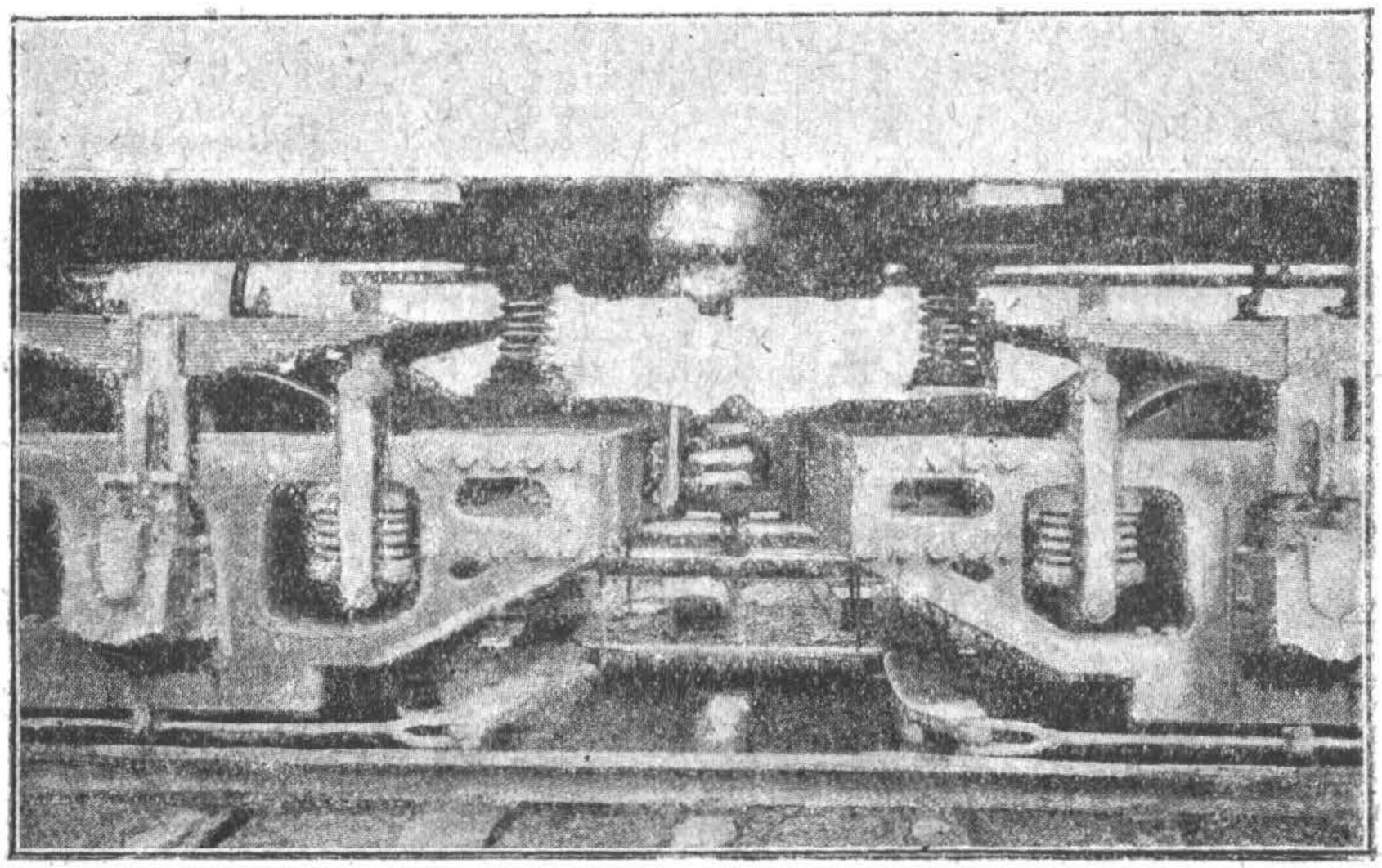


Рис. 155. Простое соединение тележек.

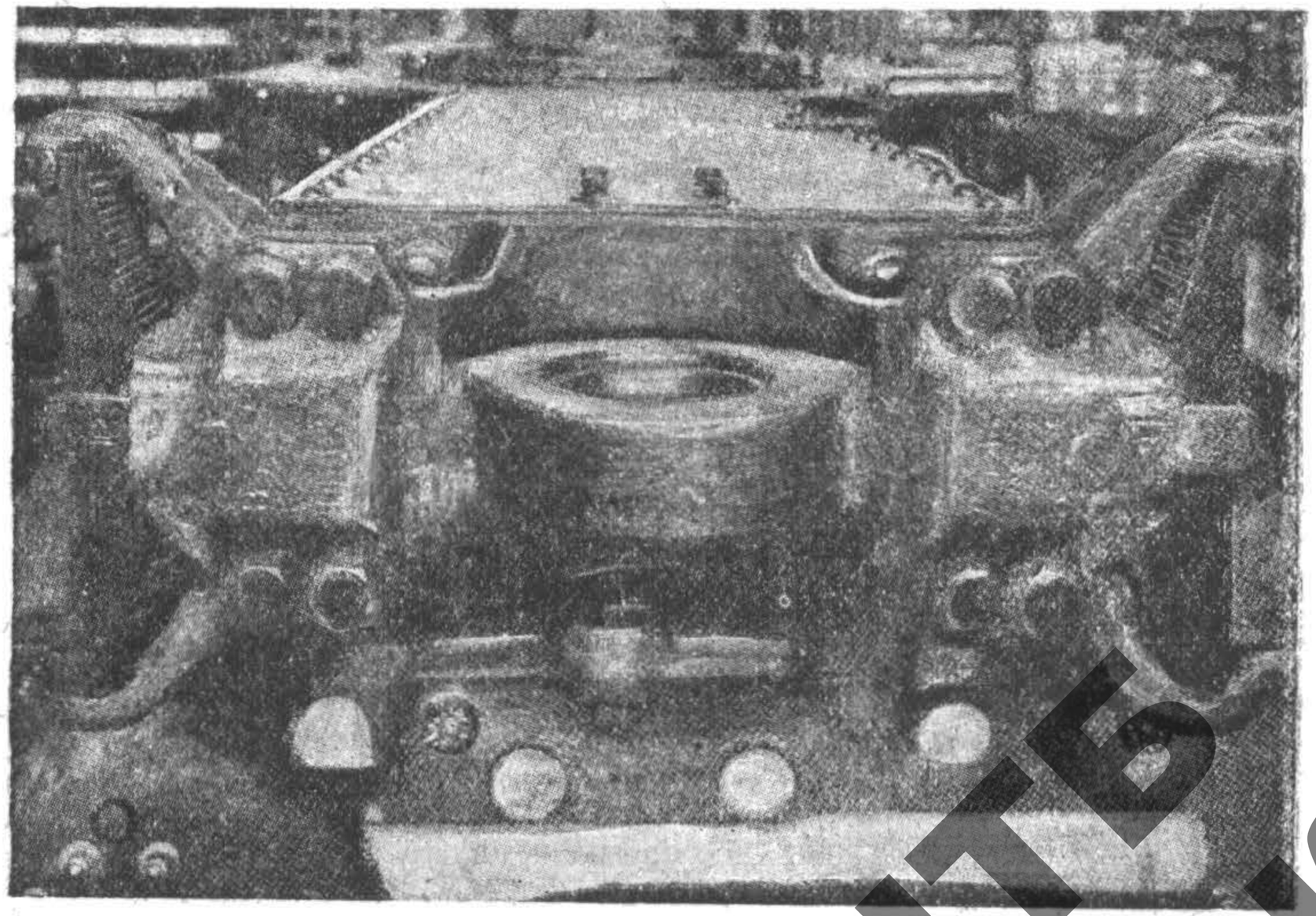


Рис. 156. Соединение с возвращающей пружиной.

желательно постоянное боковое усилие, независимо от кривизны кривой, можно пользоваться простым роликовым суппортом с роликами, движущимися по наклонным опорным поверхностям. Силы, действующие на раму, по мере того как ролики поднимаются по одной поверхности

ДЛЯ ТЕСТ

и спускаются по другой, развивают давление, которое разлагается на две слагающих, причем горизонтальная слагающая остается постоянной для данного угла наклона (рис. 149). С помощью простого секторообразного устройства может быть осуществлено получение постоянной направляющей силы (рис. 150).

Там, где желательно получить направляющую силу, которая изменяется прямо пропорционально углу поворота направляющей тележки обычно применяется простое устройство с люлечными подвесками (рис. 151).

В некоторых случаях может быть желательна переменная направляющая сила, которая после нескольких боковых перемещений при достижении известной величины сохраняется постоянной.

Это в особенности желательно в условиях эксплоатации электровоза, где ж.-д. движение происходит в обоих направлениях. В одном случае это обеспечивается возвращающим устройством с люлечными подвесками для малых углов поворота и с сектором для больших углов поворота. В другом случае такие устройства применяются вместе с обратно-направленным сектором в центре между кулисами (рис. 152).

В следующей таблице показаны величины направляющих усилий локомотивов с различными возвращающими механизмами.

Тип	Приблизительная первоначальная сила (*кг*)	Приблизительный максимум (*кг*)	Механизм
2Д2	Поперечное усилие	4 000	Колеблется до 4 800	Пружины и фрикционные рычаги
	Вращение без поперечной силы	1 900	Колеблется до 2 900	—
2С—С2	Поперечное усилие	2 100	Колеблется до 3 100	Пружинное возвр. устройство
1В—Д—Д—В1		4 000	Постоянное	Ролики на наклонных направляющих
2С1—1С2		3 400	Колеблется до 5 000 и затем постоянно	Возвращающее устройство с люлечными подвесками и сектором
1Д1		2 700	То же	То же
1Д1		12% нагруз. шквор.	Колеблется до 32% и затем постоянно	То же
2Д2		2 700	Колеблется до 3 500	Пружины
1С1—1С1		2 400	Колеблется до 3 000	Возвращающее устройство с люлечными подвесками
1В—В1		12% нагруз. шквор.	Колеблется до 50%	То же
1Д1		30%	Постоянно	Сектор

НТБ ДНУЖТ

В некоторых случаях сопротивление вращению двухосным направляющим тележкам может увеличивать простое боковое сопротивление движению. Это возможно достигнуть с помощью роликов, катающихся по наклонным направляющим поверхностям, или с помощью возвращающей пружины, как это показано в механизме на рис. 154.

При двух или нескольких тележках с соединением их между собой, вопрос о направляющем действии у шарнирного соединения требует особого внимания. Там, где желательно положительное направляющее действие, между рамами тележки применяется простой шарнир, причем обеспечивается небольшая игра с помощью сочлененного шарового соединения (рис. 155).

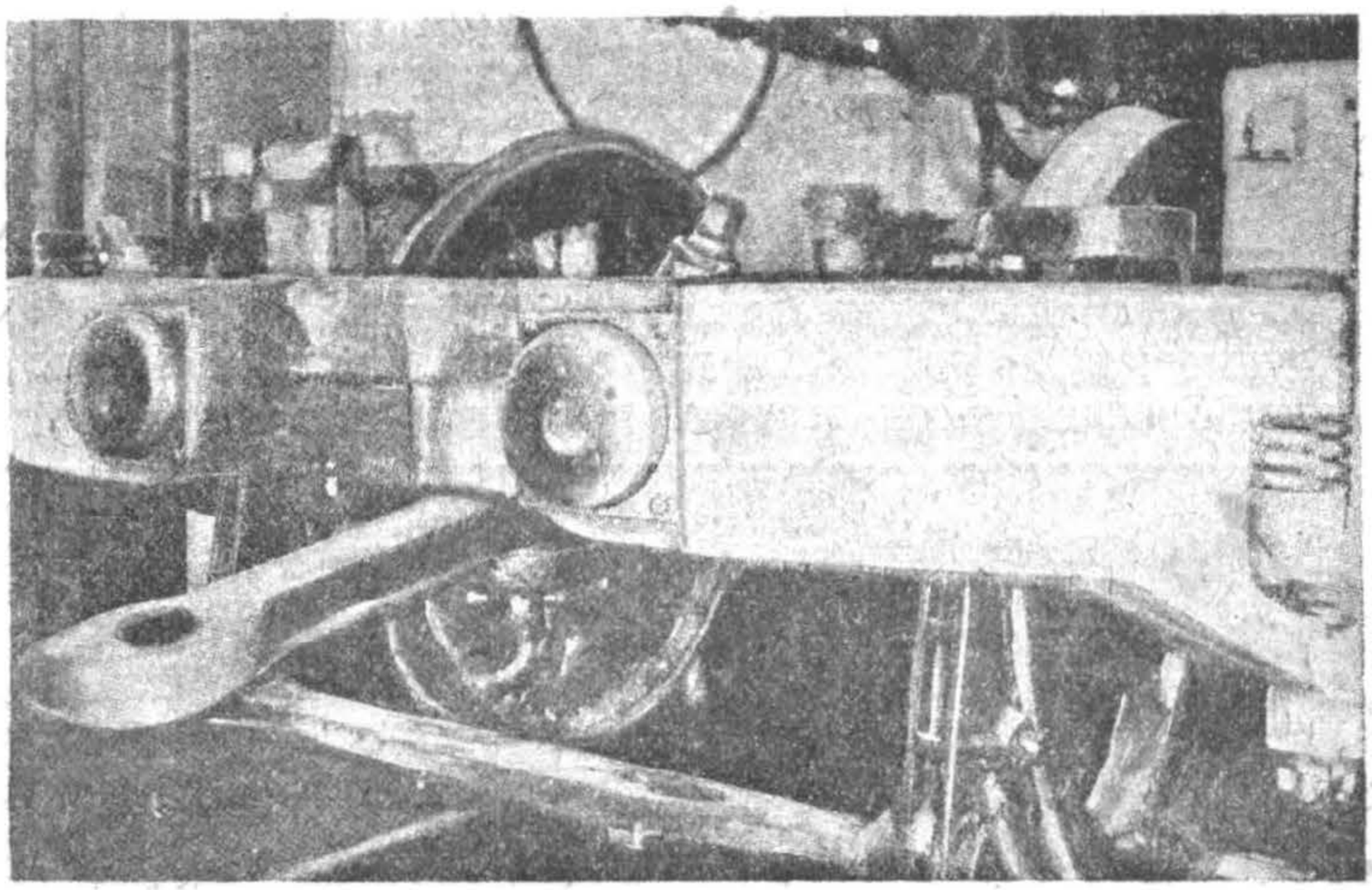


Рис. 157. Упряжная тяга с пружинами.

При известных условиях поперечные слагающие тягового усилия, передаваемые с помощью этих сочлененных шарнирных соединений, приобретают величину больше той, которая необходима для направляющего действия. Для того, чтобы дать большую свободу боковому движению, предельное направляющее действие может быть ограничено с помощью пружин в шаровом сочлененном соединении (рис. 156).

Дальнейшие ограничения могут быть достигнуты применением тяг, устраиваемых так, что точка приложения тяговых усилий на тележке перемещается при повороте ближе к центру и таким образом дает меньшую поперечную слагающую. Степень этого ограничения направляющей силы может регулироваться длиной тяг. Чтобы при таком устройстве получить хороший ход электровоза, может быть желательно введение пружин для восприятия сжимающих усилий (рис. 157).

На рис. 158 изображены специальные устройства для передачи направляющих усилий от одной поворотной тележки на другую с помощью особого приспособления—сектора и кулисы с рессорой (рис. 158).

Конечно такое устройство не предназначается для передачи основной тяговой силы.

НТБ ДИЖТ

Дальнейшее развитие направляющих механизмов может быть желательно в соединении с конструкцией приборов, служащих при передаче тягового усилия от электровоза к поезду. Обыкновенный радиальный упряжной прибор действует так же, как упряжная тяга, применяемая при сочленении отдельных тележек; в этом случае однако получается определенное сопротивление трения при поворачивании тяг.

Следует указать на дальнейшее усовершенствование в области подвесных тяг, применяемых на некоторых новейших локомотивах. В некоторых случаях были сделаны попытки регулировать боковое движение упряжных тяг с помощью пружин.

В тесной связи с направляющими усилиями находятся те элементы ходовых частей, которые предназначены для ограничения осевого движения полускатов. Конструкция соответствующего оборудования в силу необходимости зависит от правительственных организаций, установивших максимальный осевой расход в 3,17 *мм* ($^1/_8''$). В некоторых случаях может быть желательным получение несколько большего осевого расхода, как например, на кривых, ограничиваясь меньшей величиной на прямых участках пути. В одном случае применялось особое рессорное приспособление для компенсации боковых ударов путем осуществления дополнительного осевого движения. В другом случае рама локомотива была поставлена на двух опорных клиновых подушках, нижняя часть одной из которых прикреплялась к буксе. Подобная конструкция допускает боковое движение вследствие скольжения в направлении наклона клиньев. Допустимое движение относительно этих опорных клиновых подушек равнятся 12,7 *мм* ($^1/_2''$), тогда как нормальный зазор держится в пределах, как указано выше—3 *мм* ($^1/_8''$).

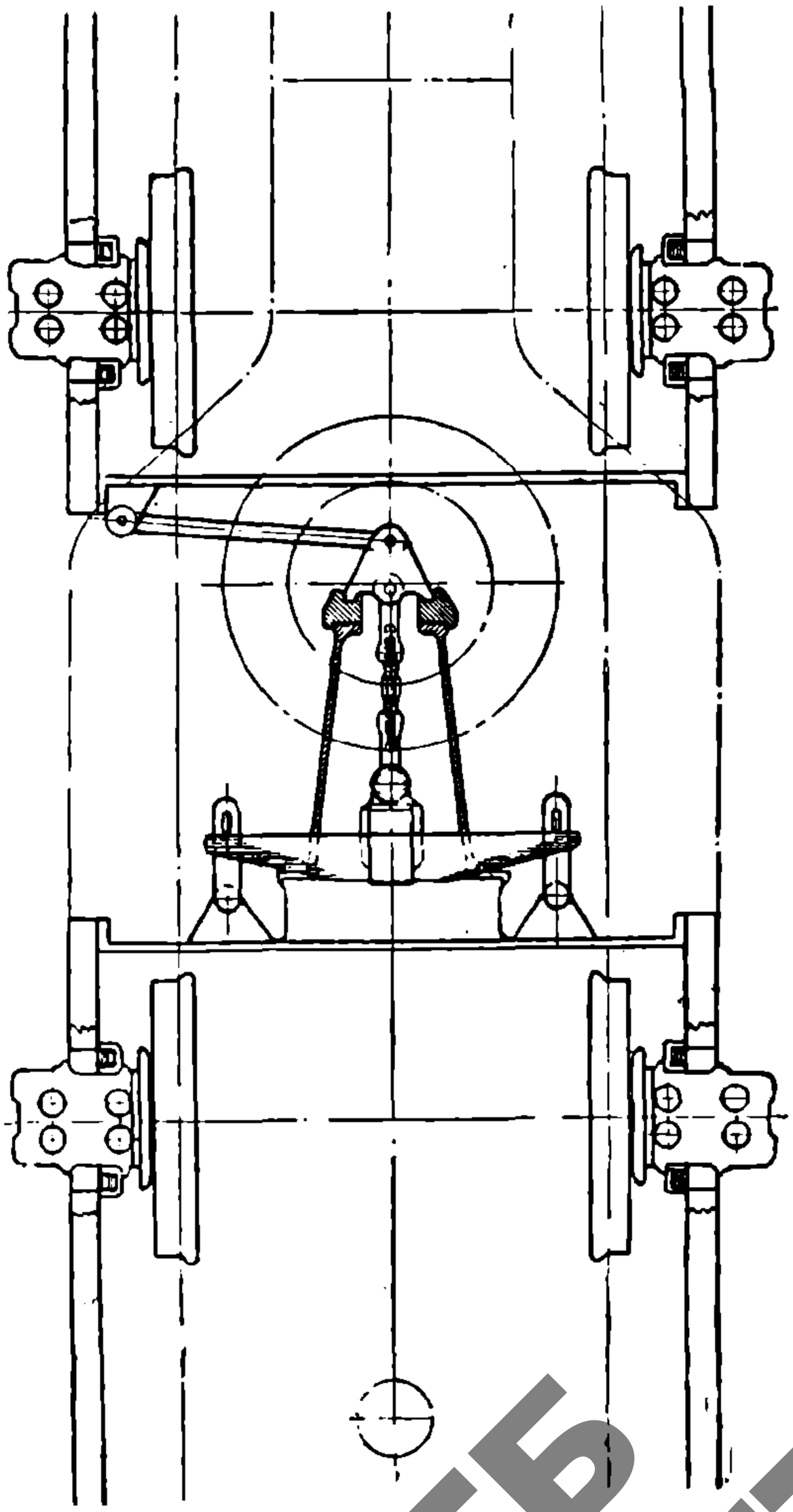


Рис. 158. Приспособление для центрирования соединенных тележек.

Отопление. Вагоны, из которых составляются поезда с электрической тягой, оборудованные системой парового отопления, должны иметь

НТБ ДИЖТ

источник для получения пара. В большинстве случаев, как в САСШ, так и в Европе, пользуются специальным прицепным вагоном, оборудованным компактным паровым котлом, работающим либо на жидком топливе, либо на угле (рис. 158). Однако в САСШ обычно предпочитают установку котла производить на самом локомотиве, так как, в случае если не все вагоны в составе имеют электрическое отопление, для пассажирского движения может потребоваться частичная подача пара.

Конструкция прицепных вагонов такова, чтобы было возможно использовать зимой для пассажирского движения и товарные локомотивы.

В некоторых европейских странах, применяющих электрическое отопление вагонов, принуждены принимать меры для отопления международных поездов, оборудованных паровым отоплением; в таких случаях для подачи пара служит вагон парового отопления.

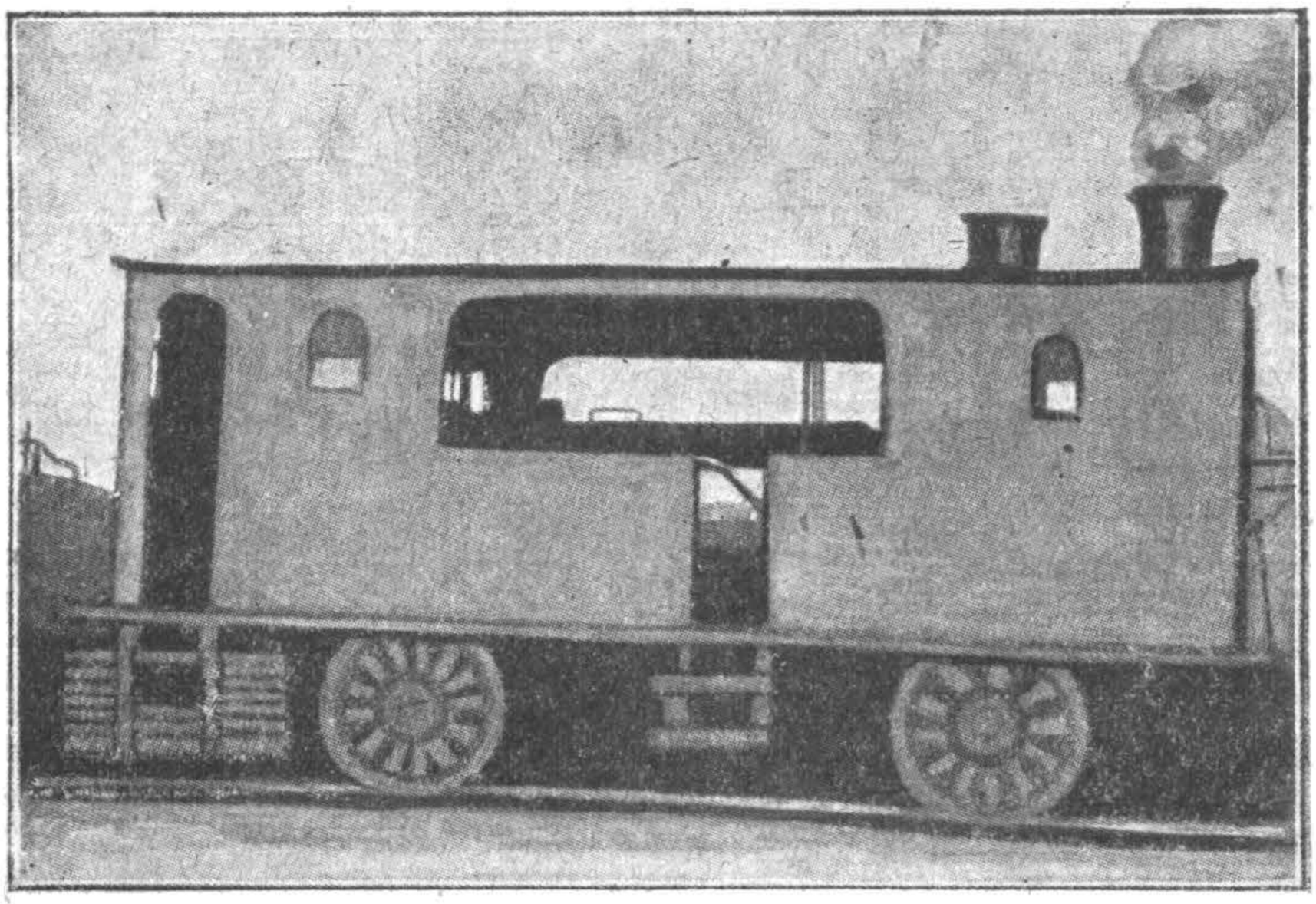


Рис. 159. Швейцарский прицепной вагон парового отопления для электрических поездов.

Установка котлов на локомотивах не экономична, если для большей части рабочих процессов применяется электричество. При установке котлов на самом локомотиве недостаток места требует применения жидкого топлива. Однако при этом увеличивается опасность пожара, что может считаться достаточным мотивом для отказа от такого оборудования на ж.-д. линиях с пунктами, имеющими чрезвычайно важное значение. В таких случаях следует обеспечить производство пара электрическим путем.

Значение вопроса об отоплении может быть оценено благодаря зимнему повышению потребления энергии моторными вагонами. Расход электрической энергии на отопление иногда достигает больших размеров, составляя до 25% от количества энергии, расходуемой на тягу. Желательность сохранения парового отопления—вопрос, который должен быть разрешен в каждом отдельном случае, исходя из стоимости угля, энергии, величины капиталовложений и расходов на ремонт, связанных с той или иной системой отопления.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА XVII

ЭКОНОМИКА И ЭКСПЛОАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Общие соотношения между элементами электрической тяги, связанные с технической стороной вопроса, являлись темой предыдущих глав. Не меньшее значение имеют и экономические взаимоотношения, определяющие общие расходы по электрической тяге.

Распределение эксплоатационных расходов. Расходы по эксплоатации единицы движущей силы определяются следующими статьями: 1) начисления на капитал в виде процентов на него, амортизации, налогов и страховки, 2) стоимость энергии; 3) стоимость содержания; 4) расходы по мастерским депо и прочие эксплоатационные расходы и наконец 5) оплата персонала. Первая статья не зависит от величины годового пробега, в особенности если, как это обычно делается, амортизация исчисляется на основе времени, а не фактического износа. Это значит, что чем большую работу проделает локомотив в течение определенного периода, тем меньшая величина начислений на капитал войдет в окончательные расходы по эксплоатации, падающие на единицу пробега. Стоимость израсходованной энергии является функцией произведенной работы, применяемой скорости, величины тяговой силы и периода времени эксплоатации. Расходы по ремонту и по депо весьма неопределенны, причем первые из них в известной степени зависят от сделанного пробега и типа локомотива. Оплата бригады локомотива зависит от условий рынка труда и отчасти от скорости движения и веса локомотива.

Относительное влияние различных факторов на стоимость эксплоатации является функцией характера движения и целого ряда различных условий. В тех случаях, когда локомотивы используются в максимальной степени, имея пробег в течение года от 120 000 до 160 000 *км*, начисления на капитал составляют относительно небольшую часть всех расходов. Если при этом локомотивы были приобретены до 1916 г., когда цены находились на более низком уровне, чем в настоящее время, то тем более, статья расходов на капитал имеет малое значение, чему способствует сильно повысившаяся стоимость энергии и рабочей силы. Если за единицу измерения работы принять 1 kWh, то расходы на капитал понижаются в большей степени с увеличением числа потребных киловатт-часов в году, чем с увеличением пробега. Относительное соотношение статей расхода для различных локомотивов иллюстрируется прилагаемым частным примером, в основу которого положены цены 1926 г. на рабочую силу, энергию и оборудование при 10% начислений на капитал, включающих проценты на капитал и погашение капитала.

НТБ ДНУЖТ

Тип электровоза / Статьи расходов	Пассажирск. локомотив, центы на локомотиво-километр	Товарн. локомотив, центы на локомотиво-километр	Маневровый локомотив, центы на локомотиво-час
Начисления .	11 (21%)	15 (29%)	70 (23%)
Содержание .	12 (24%)	12 (24%)	42 (16%)
Энергия.	19 (39%)	16 (31%)	44 (17%)
Расходы по ремонту и пр. .	1 (2%)	1 (2%)	5 (2%)
Персонал .	7 (14%)	7 (13%)	102 (39%)
Всего на 1 км. .	50 (100%)	51 (99%)	263 (100%)
Годовой пробег в километрах или продолжительность использования .	135 000	74 000	230 дней

При учете проделанной работы на основе числа потребленных локомотивами киловатт-часов, распределение расходов дало бы то же процентное соотношение, но отношение между абсолютными суммами, приходящимися на различные классы службы, было бы иное. При оборудовании линии мотор-вагонами, работающими по системе сочлененных единиц, в величину капиталовложений включается оборудование как для прицепных, так и для моторных вагонов, в виду чего начисления на капитал достигают высоких размеров. Расходы на персонал в связи с тем, что требуется всего 1 машинист-вожатый в головной части поезда, будут ниже. Применение моторных вагонов для обслуживания пригородного движения в часы лишь пиковой его нагрузки даст обычно высокий процент капитальных затрат в виду малой величины пробегов и небольшого количества потребленной энергии за период пиковых часов.

Моторные вагоны; цены на вагоно-километр

Начисления	7,5	(49%)
Содержание механического и электрического оборудования .	3,0	(19%)
Энергия	3,1	(20%)
Расходы по депо и пр. .	1,1	(7%)
Машинисты.	0,8	(5%)
Всего на вагоно-километр	15,5	(100%)

Годовой пробег—60 000 *км*.

Для каждого отдельного устройства эти процентные соотношения меняются с изменением абсолютных величин отдельных слагаемых; при высокой стоимости энергии этот фактор может приобрести доминирующее значение. При слабом использовании электровозов по причине особых эксплоатационных условий первое место могут занять капитальные затраты.

Капитальные затраты на тяговые средства. Первоначальная стоимость отдельных тяговых единиц является одним из важных элементов в стоимости эксплоатации при электрической тяге. Цена электровоза,

НТБ ДНУЖТ

приобретаемого у фирмы, определяется в одних случаях величиной себестоимости плюс прибыль, в других случаях условиями конкуренции и целым рядом привходящих обстоятельств.

Основой расчетов должна являться себестоимость изготовления и поэтому можно попытаться установить определенную зависимость между производимой локомотивом работой и его стоимостью изготовления. Стоимость изготовления обычно составляется из стоимости материалов (сырья), рабочей силы и накладных расходов, начисляемых предприятием на готовую продукцию. Сырье обычно закупается по весу, причем части из черных металлов представляют наиболее дешевый, а медь и изоляционный материал—наиболее дорогой товар. Точно так же с первыми обычно связан наименьший расход рабочей силы, со вторым же—наибольший. При определении элементов, по линии которых можно рассчитывать понизить себестоимость, следует исходить из рода службы, в которой будут применяться эти локомотивы. При пассажирском движении с применением больших скоростей число необходимых л. с., приходящееся на единицу веса, имеет большое значение, поскольку нагрузка на ось и тяговое усилие при трогании с места не являются столь важными факторами, как мощность. Это означает например, что получение одного и того же числа л. с. для такого электровоза при трех ведущих осях, а не при шести, понизило бы вес и соответственно стоимость локомотива, поскольку для постройки его потребовался бы более короткий срок и меньшее количество стали. В товарных локомотивах вес часто является столь же важным фактором, как и мощность, в связи с ограничениями крутящего момента при трогании с места, зависящими от сцепного веса. Тем не менее следует обратить внимание на распределение весов также и в этом случае, поскольку вообще желательно добиться минимума себестоимости.

В отношении электрического оборудования повышение стоимости дает рабочая сила, необходимая для изготовления сложных машин и аппаратов. Моторы со сложными обмотками обходятся дороже, чем более простые. Управление при помощи трансформаторов дороже реостатного и контакторного, мотор-генераторное же управление вместе с необходимыми трансформаторами еще дороже. Кроме этих основных факторов имеется еще влияние конкуренции и прочие обстоятельства, которыми, естественно, нельзя пренебрегать при решении вопроса о ценах.

Обзор стоимости локомотивов и моторных вагонов для различных типов службы представляет большой интерес. Приведенные ниже таблицы заключают в себе материал о стоимости указанного оборудования за значительный период времени. К ним присоединены цифры о стоимости паровозов и тепловозов, как тоже не лишенные интереса.

Потребление энергии. Другим основным фактором, определяющим стоимость эксплоатации электрической тяги, является размер потребления энергии. Установить зависимость стоимости потребления энергии от рода службы и характера движения электрифицированной линии вряд ли возможно. Общепринятая единица измерения—киловатт-час на тонно- или вагоно-километр определяется столь разнообразными факторами, что установить ее связь с характером движения не представляется возможным. Основными факторами, определяющими удельный расход энергии, являются—профиль пути, выбранные величины ускорения и скорости, величина сопротивления движению поездов, частота остановок, потери,

НТБ ДГУЖТ

связанные со стоянками, расход на отопление и наконец коэфициент полезного действия самого источника тяговой силы. Влияние всех этих факторов может быть теоретически вычислено и показатели эти могут быть введены в сметную калькуляцию общего потребления энергии, но скорее не как показатели по источнику тяги, а как показатели, характеризующие систему электрификации в целом. Нижеследующая таблица показывает большое колебание размеров потребления энергии в зависимости от указанных факторов. Влияние отопительной нагрузки особенно резко сказывается в пригородном движении в зимнее время по сравнению с летним.

Среднее потребление энергии для электрической тяги

Потребление энергии / Электрифицир. линии	Летнее время — Число *kWh* на вагоно-км	Зимнее время — Число *kWh* на вагоно-км	Среднее годовое потребление. Число *kWh* на вагоно-км
Пригородное движение			
а	3,1	4,0	3,5
б	2,2	2,5	—
в . . .	2,9 [1])	3,9 [1])	3,3 [1])
г Участ. 1.	3,7 [1])	—	—
г » 2.	5,2 [1])	—	—
Скорое пассажирское движение			
а . .	1,4 *kWh* на вагоно-км в среднем		
б . .	2,5 *kWh* на вагоно-км в среднем		
Грузовое движение			
а	Сквозное	33 *kWh* на 1 000 *m/км* брутто	
	Местное	84 *kWh* на 1 000 *m/км* брутто	
б	Смешанное	98 *kWh* на 1 000 *m/км* брутто	
Маневровая работа			
а . .	Смешанное	60 *kWh*	
б	»	75 »	

Метод управления может иметь большое влияние на размеры потребления энергии. Потери при реостатном управлении достигают значительных размеров в моменты трогания, но сводятся до минимума во время установившегося движения. Система трансформаторного управления относительно весьма эффективна как в моменты пуска, так и во время

[1]) Измерено на подстанции.

ЦГБ ДНУКТ

движения, причем ее коэфициент полезного действия достигает 87—98%. При мотор-генераторном управлении имеют место значительные потери. Некоторые из этих потерь, как например потери холостого хода в мотор-генераторе, имеют действие независимо от того, развивает ли локомотив тяговое усилие или нет, и таким образом средний коэфициент полезного действия за некоторый продолжительный период будет ниже, чем в отдельные периоды работы. При сквозном движении потери эти менее заметны.

На одной жел. дороге со сквозным грузовым движением были проделаны испытания для сравнения трансформаторного управления при системе с моторами переменного тока, с мотор-генераторным управлением и моторами постоянного тока. Система второго рода дала большее на 14% потребление энергии на тонно-километр от одной конечной станции до другой. Опыт показал, что при маневровой работе мотор-генераторное управление даст еще большее повышение потребления энергии, доходящее в некоторых случаях до 25—50%.

Влияние неодинаковости коэфициентов полезного действия моторов постоянного тока, переменного тока, однофазных и асинхронных никогда не было проверено на практике, поскольку локомотивов с такими различными моторами, функционирующих при всех прочих равных условиях, не имеется. Теоретически однако можно установить большую разницу в коэфициенте полезного действия двух первых типов моторов: коллекторные моторы переменного тока имеют дополнительные потери в железе статора, коммутационные потери и увеличенные потери в меди, связанные с большей силой тока в виду невысокого коэфициента мощности. Это может составить разницу в несколько процентов, причем эта разница меняется в зависимости от различных условий. Асинхронные моторы переменного тока дают наоборот хороший коэфициент полезного действия, но преимущество этих моторов может быть сведено на-нет в случаях необходимости преобразования числа фаз.

В практике некоторых отдельных электрифицированных линий с крутыми подъемами, где применялась рекуперация, было установлено, что 10% энергии, потребленной моторами, возвратилось в сеть. Это может дать большую экономию стоимости энергии, если рекуперированная энергия будет использована для целей электрификации или продана на сторону.

Относительное значение колебаний потребления энергии, вызываемое различием характеристик источников тяговой силы, как было показано ранее, зависит от рода работы и движения тяговых единиц. При сквозном пассажирском и грузовом движении на энергию может приходиться 30—40% всех расходов, и в этом случае 10% повышения или понижения потребления энергии представляют важную статью. При движении с менее высокой степенью использования тяговых единиц потребление энергии не является столь важной статьей по сравнению с прочими расходами.

Расходы по содержанию электровозов. Для изучения вопроса о стоимости содержания источников тяговой силы для локомотивов различного класса берутся обычно цифры из счета № 311 Междуштатной торговой комиссии (Interstate Commerce Commission); данные эти обычно принимаются как типовые для различных жел. дорог, хотя и они, подобно другим статистическим данным, могут быть различно освещены в зави-

НТБ ДГТУ

Описание	Пассажирские: Общий вес *m*	Пассажирские: Сцепной вес *m*
		1906—1909
а. B—B, бесшестеренная передача с полым валом, однофазные моторы, постоянный ток 600 V и переменный 11 000 V	98,5	75,0
б. I—Д—I бесшестеренная передача, моторы постоянного тока 600 V	102,0	63,0
2—Д 2 бесшестеренная передача, моторы постоянного тока 600 V	108,0	66,0
		1911—1914
в. BB—BB, бесшестеренная передача, моторы постоянного тока 600 V	104,0 119,0	104,0 119,0
г. 2B—B2, бесшестеренная кривошипно-шатунная передача, моторы постоянного тока 650 V	141,0 141,0	90,0 90,0
		1918—1919
д. 1B—Д—Д—B1, бесшестеренная передача, моторы постоянного тока 3000 V .	235,0	208,0
е. 2C1—1C2, зубчатая упругая передача, сдвоен. моторы постоянного тока 3000 V . .	271,0	186,0
ж. 1C1—1C1, зубчатая упругая передача, однофазн. сдвоенные моторы, постоянный ток 600 V и переменный ток 11 000 V	158,0	105,0
		1925—1927
з. 1C1—1C1, зубчатая упругая передача, однофазные сдвоенные моторы, постоянный ток 600 V и переменный ток 11 000 V	162,0	109,0
и. BB—BB, бесшестеренная упругая передача, моторы постоянного тока 600 V .	120,0	120,0
к. 1—Д—I, зубчатая кривошипно-шатунная передача, моторы переменного тока, постоянный ток 650 V .	180,0	135,5

[1]) Механическая часть по ценам жел.-дор. мастерских.

НТБ ДНУЖТ

Итого вес в *кг* на продолжит. л. с.	Мощность: Длительная л. с.	Мощность: Часовая л. с.	Число	Покупная стоимость: Всего (в доллар.)	Покупная стоимость: На 1 *кг* веса в центах	Покупная стоимость: На лош. силу: Длительн. (в долл.)	Покупная стоимость: На лош. силу: Часов. (в долл.)
96	1016	1260	35	285:00	—	28	23
	1016	1260	6	43000	46	44	36
128	792	1695	35	29000	29	37	17
136	792	1695	12	33:00	31	42	20
60	1756	2584	9	44:00	42	25	17
62	1905	2475	6	49000	42	26	20
90	1570	2130	—	56000	40	36	26
—	1570	2130	18	23000	37	34	25
73	3200	3500	5	203000	86	64	59
81	3400	4200	10	193000	70	57	46
77	2040	2460	5	122000	77	60	50
79	2052	2508	5	137000	84	67	55
60	1905	2475	10	100000	84	52	40
43	3730	4170	6	161500 [1])	90 [1])	43 [1])	39 [1])

НТБ ДНУЖТ

Описание	Общий вес (*m*)	Сцепной вес (*m*)	Итого вес в *кг* на прод. ж. л. с.	Мощность: Длительная ж. с.	Мощность: Часовая ж. с.	Число	Покупная стоимость: Всего (доллары)	Покупная стоимость: На 1 *кг* веса (в центах)	Покупная стоимость: На лош. с. Длительн. (в доллар.)	Покупная стоимость: На лош. с. Часов (в доллар.)
					1912 – 1913					
а. 1В—В1, зубчатая упругая передача, однофазные сдвоенные моторы, переменный ток 11 000 V	105,0	81,0	79	1336	1616	44	45 500	44	34	28
б. 1В—В1, зубчатая упругая передача, однофазные моторы, переменный ток 11 000 V . .	118,0	92,0	96	1224	1232	5	49 000	42	40	40
					1915					
в. 1В—В1, зубчатая кривошипно-шатунная передача, трехфазные моторы, преобразатели числа фаз, переменный ток 11 000 V .	137,0	116,0	94	1450	1600	24	120 000	88	83	75
г. В—В—В—В, зубчатая передача, моторы постоянного тока 3 000 V .	130,0	102,0	78	1670	2050	84	110 000	84	66	54
					1924—1927					
д. 1В—В1, зубчатая кривошипно-шатунная передача, трехфазные моторы, преобразователи числа фаз, перем. ток 11 000 V .	188,0	135,0	94	2000	2375	78	150 000	79	75	63
е. 1В—В-1, зубчатая передача, моторы постоянного тока, мотор-генератор, перемен. ток 11 000 V	118,0	90,0	93	1260	1345	5	95 000	81	76	71
ж. В—В, зубчатая передача, моторы постоянного тока 600 и 1 500 V	77,0	77,0	58	1330	1660	4	81 900	106	62	49
з. 1—Д—1, упругая зубчатая передача, моторы постоянного тока мотор-генераторы, перем. ток 11 000 V	167,0	137,0	94	1770	2165	8	160 000	97	90	74

НТБ ДИУЖТ

Маневровые электровозы

Описание	Общий и сцепной вес	Мощность в л. с.		Число	Покупная стоимость			
		Длительная	Часов		Всего (в доллар.)	На 1 *кг* веса (в цент.)	На лош. силу	
							Длительн. (в доллар.)	Часов (в доллар.)
1911 г.								
а. В—В, зубчатая упругая передача, однофазные моторы, переменный ток 11 000 V	72,0	520	652	15	30 500	42	59	47
1919 г.								
б. В—В, зубчатая передача, моторы постоянного тока, постоянный ток 3 000 V	63,0	475	670	4	42 000	66	88	63
1925—1927 гг.								
в. В—В, сдвоенная зубчатая передача, моторы постоянного тока 600 V	91,0 (18,0 баласт)	630	1 250	2	78 500	86	125	63
г. В—В, сдвоенная зубчатая передача, моторы постоянного тока 600 V	91,0	1 330	1 665	7	78 500	86	59	47
д. В—В, упругая зубчатая передача, однофазные моторы, переменный ток 11 000 V	78,0	440	500	6	82 000	106	186	164
е. В—В, зубчатая передача, моторы постоянного тока, мотор-генератор, переменный ток 11 000 V	89,0	440	502	2	89 000	99	202	177
ж. С, зубчатая передача, однофазные моторы, переменный ток 11 000 V.	72,0	570	730	2	69 500	97	121	95
				4	58 000	82	100	76
з. С, зубчатая передача, моторы постоянного тока 650 V	71,0	580	760	8	60 500	84	104	80

НТБ ДИИЖТ

Моторные вагоны

(по ценам 1924—26 гг.)

Род тока	Эксплоатируемая единица	Число сидячих мест в вагоне	Вес (*т*)	Длина (*м*)	Часовая мощн. в л. с. приходящ. на 1 *кг* общ. веса вагона	Часовая мощность в л. с. на вагон	Общая стоимость на эксплоат. единицу			
							Эл. часть в долл. на л. с.	Механич. часть в цент на *кг*	Общая стоимость в цент на *кг*	Общая стоимость в долл. на пассаж. место
а. Постоянный ток 600 V.	Моторный вагон	82	58,0	21,0	0,0066	390	24	49	64	460
б. 600 V.		78	52,0	19,5	0,0093	480	22—23	38—32	58—64	380—420
в. 1 200 V.	» »	84	61,0	22,3	.....	1000	—	—	—	—
	и прицепной	84	48,0	22,3	—	—	—	—	—	—
	Моторный вагон с прицепом	168	109,0	.....	0,0095	.....	30	44	73	450
г. Переменный ток 11 000 V	Моторный вагон	78	54,0	22,0	0,0062	336	54—59	49—51	82—88	580—610
д. 11 000 V.		72	54,0	19,5	0,0084	450	51	46	88	670
е. » 11 000 V и постоянный ток 600 V	» »	120	78,0	22	.....	672	—	—	—	—
	и $1^1/_2$ прицепных	120	47,0	22	—	—	—	—	—	—
	Моторный вагон и $1^1/_2$ прицепных	300	149,0	—	0,0044	.....	56	48	71—73	360—370

НТБ ДНУЖТ

Стоимость на вагон

Единицы	Стоимость электрич. части (в дол.)	Стоимость механич. части (в дол.)	Общая стоимость (в дол.)	Число в заказе
а. Моторный вагон .	9 500	28 000	37 500	29
б. » » .	10 500	19 500	30 000	40
	11 500	21 500	32 500	60
в. Моторный вагон .	29 000	22 500	51 500	87
Прицепной вагон	1 000	23 000	24 000	82
г. Моторный вагон .	20 000	28 000	48 000	10
	18 000	27 000	45 000	5
д. Моторный вагон	23 000	25 000	48 000	8
				28
е. Моторный вагон	33 000	30 000	63 000	4
			62 000	21
Прицепной вагон .	3 000	28 000	31 000	6
			30 000	28

Стоимость паровозов

Тип	Общий вес (в *т*)	Тяговое усилие (в *кг*)	Размеры цилиндров (в *мм*)	Стоимость (в дол.)	Краткое описание оборудования
Пассажирские					
4—6—2 .	136,0	635×710	61 000		Двухцилиндровый, с подогревом питательной воды
4—6—2	136,0	660×710	60 000		Двухцилиндровый
4—8—2 .	166,0 23 000	710×710	71 000		»
4—8—4	154,0 28 000	710×760	101 000		Двухцилиндровый с бустером и стокером
Товарные					
4—8—2 .	146,0 33 000	685×760	81 000		Двухцилиндровый с бустером, подогревом питательной воды и стокером.
2—8—4	176,0 31 000	710×760	90 000		Трехцилиндровый с бустером подогревом питательной воды и стокером.
2—8—4 .	175,0 37 000	710×760	95 000		Трехцилиндровый, с подогревом питательной воды и бустером
4—12—2. .	224,0	635×710×812	110 000		
2—10—4.	203,0 44 000	735×815	101 000		Двухцилиндровый с подогревом питательной воды и бустером
Маневровые					
0—8—0 .	101,0	635×710	43 000		Двухцилиндровый
0—8—0 .	105,0 24 500	560×710	29 000		»
0—8 0 .	105,0 31 500	560×710	62 000		Двухцилиндровый с бустером

Стоимость дизель-электровозов (тепловозов)

4—4. .	120,0	.....	61 000		300 л. с.
4—4. .	200,0	.....	108 000		600 » »

НТБ ДНУЖТ

симости от особых условий эксплоатации. Счет этот включает «стоимость ремонта всех видов локомотивов, кроме паровых», включая сюда «все принадлежности и стоимость инструментов, необходимых для ремонта». Расходы по наблюдению за исправным состоянием, стоимость ремонта оборудования мастерских и прочие общие расходы отсюда исключены вместе с расходами по депо, проходящими по другому счету, который охватывает «расходы по надзору и подготовке локомотивов к работе». Счет 320 заключает в себе, в отношении моторных вагонов, «стоимость ремонта моторного оборудования, непосредственно прикрепленного к самим вагонам» и предусматривает такие группы оборудования, как «аккумуляторные батареи, маслянники, контроллеры, моторы, максимальные выключатели, реостаты, контакторы, башмаки для третьего рельса, токосниматели и т. д.». Выделение этих расходов из других, связанных с содержанием и эксплоатацией тяговых единиц, объясняется тем, что работа эта требует специального ремонтного персонала и применения специальных материалов. Более детальное разделение расходов между различными элементами работы, как например в отношении электрической и механической части, или между различными классами локомотивов, требует специального внимательного анализа. Дальнейшее разделение расходов, соответственно различным элементам оборудования, представляет чрезвычайно трудную задачу и ценно лишь в том случае, если эксплоатация производится в особых условиях сдельной оплаты и пр.

Выбор единицы для сравнительного изучения расходов по содержанию оборудования также является чрезвычайно трудной задачей. Обычно принятая единица—центы на локомотиво-километр—может иметь лишь ограниченное применение, так как целый ряд расходов по ремонту не является вполне пропорциональным величине пробега. Эта пропорциональность ремонтного расхода величине пробега может быть только приблизительной. Ремонт механических частей, являющийся главным образом результатом износа различных деталей, естественно пропорционален величине пробега, хотя такие факторы, как вес поезда, скорость движения, состояние пути и т. д., несомненно имеют большое влияние в этом вопросе. Разделение расходов на ремонт механического и электрического оборудования показало, что на ремонт механической части тратится вдвое большая сумма, чем на ремонт электрической части. В виду этого значительная часть расходов по ремонту может считаться и пропорциональной величине пробега. В части расходов по ремонту электрической части такие элементы, как оборудование для управления, имеют необходимость в ремонте скорее как функцию числа трогания с места, остановок и величины нагрузки. Ремонт изоляции зависит от сезонности, температуры нагрева и степени влажности. Ремонт мотора является частично функцией величины пробега, но величина нагрузки и условия нагрева и охлаждения имеют, пожалуй, еще большее значение. Ремонт вспомогательного оборудования не зависит повидимому ни от одного из этих условий. В существующей системе ремонта тем не менее предпочитают обычно иметь в качестве единицы учета километр пробега и производят ремонт периодически, после определенного количества километров. С этой точки зрения локомотиво-километр является достаточно удобной единицей для учета стоимости ремонта.

Эффективность общей организации ремонтных работ является дру-

ГПБ ДГУКТ

гим фактором, который должен быть принят во внимание. Час работы в одной мастерской может дать иные результаты, чем час работы в другой, точно так же как и стоимость рабочей силы может быть неодинакова в разных районах. Стоимость материалов также не представляет собой повсеместно стандартной величины. Количество подлежащих ремонту локомотивов или моторных вагонов в значительной мере аналогично влияет на стоимость ремонта. При большем количестве одинаковых тяговых единиц могут быть применены методы массового производства, весьма способствующие снижению расходов. Наоборот при небольшом количестве единиц провести принцип специализации и разделения работ затруднительно. Все эти факторы находятся вне сферы общего анализа стоимости ремонта, но имеют немалое значение в этом вопросе.

С объективной точки зрения вопрос о применении таких единиц для статистики, как локомотиво-километр, надлежит дополнить следующим. На стоимость ремонта имеет большое влияние характер движения; так, например, движение с большой частотой по отношению к поездам высшего класса требует более совершенного ухода за оборудованием, нежели менее оживленное движение. Указанный фактор не поддается учету, если на единицу измерения принят локомотиво-километр. Поскольку дело касается тягового усилия при трогании с места, подходящей заменой простой единицы—километра—является единица в 100 *т* на осе-километр. Фактор потенциальной работы, которая может быть выполнена локомотивом, может быть учтен введением взамен километра новой единицы, а именно 1 000 л. с./*км*. При этом стоимость ремонта оборудования будет определяться работой, которая может быть выполнена оборудованием. При применении в качестве единицы киловатт-часа потребленной и рекуперированной энергии взамен единицы мощности, стоимость делается независимой от величины пробега, но выражается в действительной проделанной работе и сравнивается с работой, которую оборудование способно проделать. Против такой единицы могут последовать возражения, что она вводит совершенно посторонний фактор в виде нагрузки поезда. Поскольку, как мы видели, большая часть расхода на содержание определяется числом пройденных километров, увеличение нагрузки локомотива в определенных пределах возможно не отразилось бы сильно на расходах по содержанию. Так, если бы в качестве единицы сравнения был взят киловатт-час, локомотив, использованный в виду хороших условий и наличия грузов в размере его полной способности, показал бы более низкую стоимость ремонта, нежели локомотив с менее выгодной нагрузкой. Такой метод сравнения явился бы неправильным, так как он вводил бы в качестве единицы учета независящий от работы локомотива фактор, а именно—условия перевозок. Такая единица, как л. с./*км* указанное выражение исключает. Она однако имеет тот недостаток, что включает в себе л. с., а это выдвигает вопрос о единообразии методов определения мощности. Вообще все эти единицы имеют свои слабые стороны и при их выборе следует руководиться лишь тем соображением, чтобы эти недостатки давали наименьший неблагоприятный эффект.

Такой фактор, как род движения и условия движения, не может быть выражен статистическим или математическим путем. Данные эти могут быть взвешены и соответственно расценены лишь в каждом отдельном случае. Густота движения в большей мере определяет тщатель-

НТБ ДГУЖТ

ность ухода за оборудованием, так как задержка в движении в одних случаях может означать потерю многих тысяч долларов, в других же случаях—нанесет лишь незначительный ущерб или почти не вызовет потерь. При этих условиях сугубая тщательность в уходе за тяговыми средствами, совершенно необходимая в первом случае, во втором случае явилась бы нецелесообразной. Другим элементом, безусловно увеличивающим стоимость содержания оборудования, является перегрузка последнего, но обстоятельство это не может быть точно учтено. Сомнительно, чтобы оно могло быть принято в расчет, если за единицу принимается киловатт-час. Чрезмерно частый или наоборот редкий ремонт является другим фактором, влияние которого также почти невозможно предугадать и который должен быть предоставлен личному усмотрению в каждом отдельном случае.

Еще один фактор, который следует принимать во внимание,—это влияние «возраста» оборудования. При этом надо различать общее количество времени существования машины и фактическую продолжительность ее работы, что имеет значение в частности по отношению к капитальному ремонту. В отношении локомотивов, пробегающих сравнительно небольшое количество километров в год, полный комплекс ремонтных операций потребуется по прошествии меньшего числа локомотиво-километров, чем это потребовалось бы при большом годовом пробеге. Здесь снова возможны значительные колебания, и без всестороннего знания местных условий учесть влияние этого фактора нельзя. В первоначальный период эксплоатации какой-либо серии локомотивов может обнаружиться, что некоторые детали конструкции требуют переделки, организация ремонтного дела может оказаться не на высоте, и в результате получится высокая стоимость ремонта. С другой стороны, возможно и такое положение, что фирма, изготовившая оборудование, оплачивает большую часть ремонта; при этих условиях расходы жел. дороги по указанному ремонту будут ненормально низкими. В тех случаях, когда конструкция локомотива проверена на многолетнем опыте, стоимость периодического ремонта оборудования будет весьма невысокой, пока не наступит время для полного капитального ремонта. Некоторые главные части электрического оборудования могут служить без возобновления их в течение многих лет до тех пор, пока вдруг не потребуется замена этих частей сразу на всех единицах. Рис. 160 ясно показывает, как этот момент в некоторые годы увеличивает стоимость ремонта оборудования.

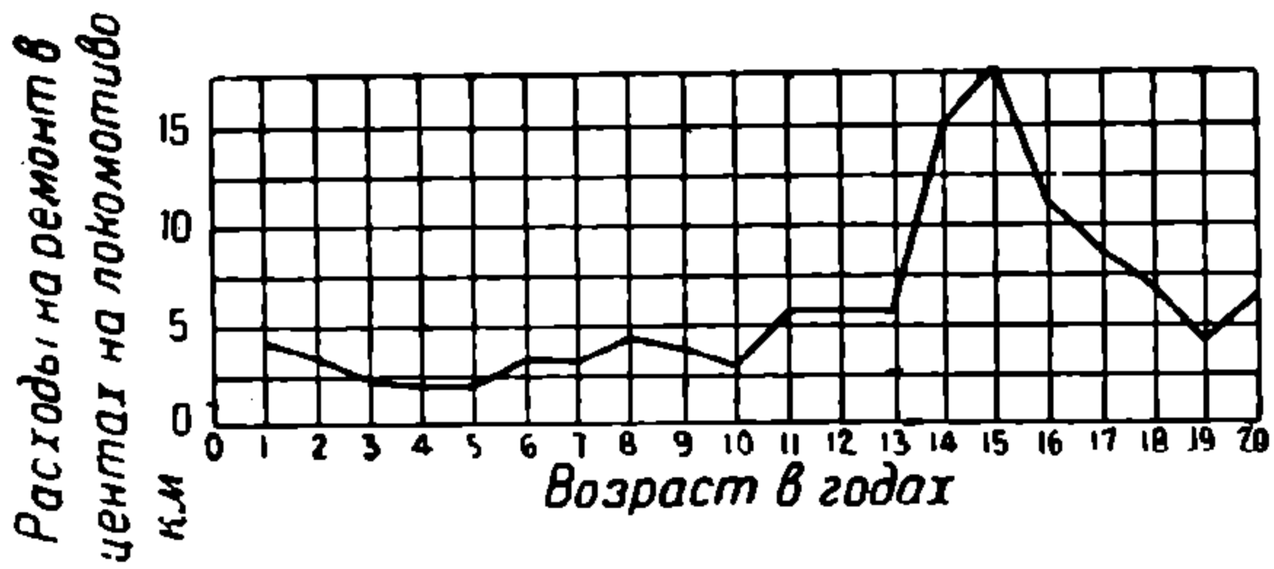


Рис. 160. График стоимости ремонта локомотива по годам.

С техно-экономической точки зрения наиболее важным фактором, влияющим на стоимость расходов по содержанию, является конструкция локомотива. Влияние этого фактора также меняется в зависимости от таких элементов, как система распределения тока, тип управления, тип моторов, способ передачи и т. д. В виду перевеса расходов на ремонт механических частей очевидно, что конструкция рамы, тип передачи

ДГУЖТ

и т. п. в большей степени влияют на стоимость ремонта, нежели характеристики электрического оборудования. Здесь следует повторить, что очень редко однако имеется возможность сравнения отдельных качеств локомотивов разной конструкции, в остальном работающих в одинаковых условиях.

Как вы видим, стоимость содержания тяговых средств определяется весьма большим количеством разнообразных факторов. Поскольку однако жел. дороги должны эти расходы нести, представляется весьма интересным знать, в каких пределах может колебаться эта стоимость, хотя бы она и определялась столь различными и возможно не поддающимися сравнению условиями. Нижеследующие четыре таблицы иллюстрируют стоимость расходов по содержанию электровозов и моторных вагонов современного типа на различных линиях в Америке.

Стоимость содержания пассажирских локомотивов

Тип локомотива	Год	На локомот.-км (в центах)	На 100 *т* на ведущую ось локом. (на *км* в центах)	На 1 000 длит. л.с. локом.-км (в центах)	Средняя величина пробега в год (в *км*)	Примерн. возраст локомотива	
						км	Годы
Рама из литой стали, зубчатая упругая передача с полой осью, однофазный ток 11 000 V и постоянный ток 600 V 1—C—1—1—C—1 .	1925	10	9	5	124 000	720 000	6
	1926	8	7	4	143 000	870 000	7
	1927	16	15	8	103 000	960 000	8
В среднем. .	—	12	16	6	122 000	—	—
Тележечная рама, бесшестеренная передача, постоянный ток 600 V B—B—B—B .	1925	9	7,5	4	69 000	720 000	10
	1926	9	7,5	4	69 000	720 000	11
	1927	8	7,0	4	65 000	650 000	9
В среднем. .	—	9	7,5	4	68 000	—	—
Упругая зубчатая передача с полым валом, постоянный ток 3 000 V 1B—Д—Д—B1 = ...	1924	16	8	4	118 000	580 000	5
	1925	11	5	3	118 000	680 000	6
	1926	12	6	4	118 000	480 000	7
В среднем. .	—	13	6	4	118 000	—	—

НТБ ДНУЖТ

Стоимость содержания товарных локомотивов

Тип локомотива	Год	На локомотиво-км (в центах)	На 100 *т* на ведущую ось локомот. (на км в центах)	На 1 000 длит. л. с. локомотива (на км в центах)	На kWh использов. и рекуперированный (в центах)	Средняя величина пробега в год (в км)	Примерный возраст локомотива	
							км	Годы
1. Зубчатая, передача постоянный ток 3 000 V B—B—B—B2.	1924	13	6	4	0,39	48 000	430 000	9
	1925	14	7	5	0,41	50 000	480 000	10
	1926	11	5	3	0,36	52 000	530 000	11
В среднем	—	13	6	4	0,39	50 000	—	—
Магистральная линия, неинтенсивное товарное движение, подъемы, длинные перегоны								
2. Упругая зубчатая передача полым валом, однофазный ток 11 000 V 1B—B1.	1924	12	16	9	0,54[1])	68 000	800 000	12
	1925	12	16	9	0,63[1])	75 000	820 000	13
	1926	13	17	10	0,71[1])	75 000	960 000	14
В среднем	—	12	16	9	0,63[1])	73 000	—	—
Одноколейная товарная магистральная линия с густым движением								
3. Кривошипно-шатунная передача с промежуточным валом, преобразователь числа фаз, однофазный ток 11 000 V 1B—B1, 1B—B1 и 1Д1—1Д1.	1924	34	14	11	0,39[1])	46 000	440 000	9
	1925	27	11	8	0,28[1])	46 000	480 000	8
	1926	25	11	7	0,25[1])	63 000	530 000	9
В среднем . .	—	28	12	9	0,31[1])	52 000	—	—
Крутые подъемы, магистральная товарная линия, тяжелые поезда								

Стоимость содержания маневровых электровозов

Тип локомотива	Год	На локомотиво-час (в центах)	На 100 *т* на ведущую ось локомотива в час (в центах)	На 1 000 длит. л. с. локом. в час (в центах)	Рабочих часов в год	Возраст электровоза в годах
Упругая зубчатая передача, переменный ток 11 000 V, B—B . . .	1924	84	116	161	6 000	12
	1925	76	104	150	6 300	13
	1926	90	125	173	6 300	14
В среднем .	—	81	110	161	6 200	—
Зубчатая передача, постоянный ток 3 000 V B—B	1924	114	175	224	2 300	6
	1925	96	148	188	3 000	7
	1926	78	121	153	4 200	8
В среднем .	—	96	148	188	3 209	—

[1]) Предположительно.

НТБ ДНУЖТ

Данные по ремонту пассажирских локомотивов со всей очевидностью показывают, что разнообразие конструкции и условий эксплоатацию почти совершенно лишают возможности установить причины различия стоимости ремонта в каждом отдельном случае, особенно, если различие это невелико. Так например некоторые колебания, могущие быть отнесенными за счет таких факторов, как переменный ток в одном случае и постоянный ток в другом, с тем же успехом могут объясняться различием механических элементов—непосредственной и упругой зубчатой передачей с полым валом, или различием конструкции рам. Данные по локомотивам показывают, с какой осторожностью следует подходить к выводам из этих данных. Например локомотив с наиболее высокой стоимостью на локомотиво-километр может дать самую низкую стоимость на киловатт-час использованной и рекуперированной энергии. Такие элементы, как нагрузка поезда, скорость движения, род службы и т. д. вместе с разнообразием конструкций делают совершенно невозможным какие-либо сравнения и выводы на основе этих цифр.

Стоимость содержания моторных вагонов

Тип вагона	Год	Стоимость содержания только электр. обор. (Межд. штат торг. ком, счет 320)		Примерная часовая мощн. на кг	Примерная величина пробега в год (в км) мотора и прц.	Примерный средний возраст в годах
		На ваг. км с прицеп.	На 1 000 т. с. на км			
Вагон с двумя моторами без прицепа, постоянный ток 600 V	1926	0,5	2,4	0,0080	43 000	менее 2
Вагон с двумя моторами без прицепа, постоянный ток 600 V	1925	1,4	2,0	0,0066	37 000	более 8
	1926	1,0	2,5	—	—	—
Вагон с двумя моторами без прицепа, переменный ток 11 000 V	1925	—	—	—	—	—
	1926	3,0	6,9	0,0084	48 000	более 8
Вагон с четырьмя моторами в среднем $1^1/_2$ прицепа, переменный ток 11 000 V и постоянный ток 600 V	1925	1,7	6,2	0,0044	37 000	—
	1926	1,6	6,2	—	31 000	более 6
Вагон с четырьмя моторами, 1 прц. постоянный ток 1 500 V	1927	1,6	3,2	0,0095	58 000	2
Вагон с двумя моторами, несколько прицепов, постоянный ток 600 V	1925	1,0	2,1	0,0092	74 000	» 8
	1926	1,0	2,1	0,0092	74 000	—
Вагон с двумя моторами, без прицепа, переменный ток 11 000 V	1925	1,1	3,2	0,0062	87 000	более 8
	1926	2,2	4,7	—	92 000	—

В отношении моторных вагонов, где имеется больше источников для получения статических данных и меньше разнообразных конструкции, казалось бы скорее можно установить влияние на расходы по со-

НТБ ДНУЖТ

держанию факторов: рода тока, числа моторов в вагоне, числа вагонов в поезде и т. п. Но и здесь колебания в числе трогания с места и остановок, величин ускорений, условий нагрузки и профиля пути в соединении с такими, независящими от рода оборудования, факторами, как качество обслуживающего персонала и прочими, делают проблему совершенно неразрешимой. Можно лишь отметить, что вообще стоимость содержания оборудования постоянного тока обычно значительно ниже стоимости содержания оборудования переменного тока.

Данные о влиянии различных типов конструкции на стоимость содержания могут быть выведены скорее на основе знания существующих местных условий, нежели на основе таблиц, подобных приведенным.

Эксплоатационные качества и бесперебойность движения. Необходимость изучения эксплоатационных качеств и надежности работы может быть продиктована различными причинами. В одних случаях оно может производиться с целью сопоставления цифр по одному участку жел. дороги с другим, в другом случае может понадобиться для оценки определенной конструкции и ее эксплоатационных качеств. В первом случае положение чрезвычайно затруднительно, так как имеющееся на практике разнообразие условий делает сравнение невозможным. Чрезвычайно трудным является также выбор показателя для сравнения.

По вопросу выбора критерия для оценки эксплоатационных качеств существует много различных точек зрения. Число задержек поездов, происшедших по вине движущей силы, и длительность задержек имеют большое значение, так как с точки зрения эксплоатации определяют качества этой движущей силы. То обстоятельство, что указанный фактор представляет нечто конкретное, легко поддающееся учету, делает его удобным измерителем эксплоатационной надежности. Недостаток его однако заключается в том, что он отражает не только результат неисправности самой движущей силы, но и результаты, зависящие от общих эксплоатационных условий. Например, если какая-либо авария на линии с небольшим движением вызовет задержку одного-двух поездов, то такая же авария на пригородной линии с большим движением может вызвать задержку 10—20 поездов, нарушив движение на несколько часов. Вопрос о том, каким образом учесть внешний фактор эксплоатационных условий в статистике задержек, должен быть рассмотрен особо в каждом отдельном случае и не может быть разрешен отвлеченным путем. Примером того, какие колебания дают указанные цифры, может служить таблица, иллюстрирующая среднее годовое число поездов-километров на одну минуту задержки для моторных вагонов, обращающихся на главнейших электрифицированных линиях САСШ. Цифры показывают пределы колебаний за несколько лет для различных дорог.

Жел. дор.	Число вагонов км, приходящееся на одну минуту задержки, вызванной неисправностью в моторном вагоне
а	10 000 — 15 000
б	1 000 — 3 000
в	8 000 — 14 000
г	3 000 — 5 000

НТБ ДНУЖТ

Большой диапазон колебаний в значительно большей степени объясняется разнообразием условий движения, различием качества работы персонала и вероятно различием методов статистического учета и пр., нежели различием конструкций и типов оборудования. В виду этого цифры эти не представляют большой ценности с точки зрения изучения самой электрификации, хотя возможно и представляют интерес для определения вопроса о качестве управления и надзора за оборудованием из года в год.

В критической оценке конструкции оборудования следует принимать во внимание, что неисправности, вызывающие задержки движения поездов, составляют только часть общего количества аварий, так как на ряду с первыми могут быть и неисправности, не вызывающие задержек движения, так же как и дефекты, исправляемые прежде, чем произойдет авария. В качестве иллюстрации этого положения можно проследить службу какой-либо детали локомотива.

Сначала идет продолжительный период, в течение которого деталь вполне удовлетворительно выполняет свои функции. В процессе выполнения этих функций она изнашивается или ослабевает от работы и времени, и наступает момент, когда деталь эта должна быть заменена. Если замена эта произведена до того, как деталь отказалась работать, то, хотя данная деталь и прекратила удовлетворительное действие, нельзя считать, что она не выполнила своей службы, как это обычно считается при аварии. В другом случае какое-либо совершенно случайное обстоятельство может ослабить деталь и вывести ее из службы до истечения нормального срока ее износа. Обстоятельство это, если оно не будет обнаружено своевременно, приведет к перебою в работе. Точно так же произойдет авария, если срок нормальной службы детали истек и она не заменена другой. Таким образом можно установить две основных причины поломок детали: одна, вытекающая из неудовлетворительного ухода за оборудованием, вторая—вызванная случайными обстоятельствами, необнаруженными инспекцией, или происшедшими вне сферы наблюдения инспекции.

Поломка одной детали вообще может иметь различные последствия. Деталь эта в момент поломки может быть не связана с другими деталями и таким образом неполадка не отзовется на работе других деталей. Такое положение возможно например при заземлении какой-либо катушки обмотки якоря мотора, питаемого током при обоих изолированных от земли полюсах. Может однако случиться, что в указанный момент работа детали была связана с работой других частей оборудования. Вместе с заземлением якоря может произойти одновременное заземление другого участка цепи и при неисправности выключателя —это угрожает серьезными повреждениями для якоря. Если это произойдет с моторным вагоном, находящимся в составе поезда из нескольких секций, или во время стоянки, причем будет своевременно замечено и вагон немедленно выключен, или, если вагон сам автоматически выключится из сети,—неполадка может не вызвать задержки поезда. Наоборот это приведет к значительной зедержке, если произойдет, скажем, во время мятели на перегоне, где неисправность не сможет быть легко обнаружена и где автоматическое выключение моторного вагона может не произойти.

С точки зрения эксплоатации оборудования было бы пожалуй интересно все же учесть именно число неисправностей, вызвавших задержки

НТБ ДНУЖТ

движения, не касаясь их длительности. Правда, с точки зрения службы движения, мерилом серьезности задержки является именно продолжительность ее, но в вопросе длительности задержки, кроме конструкции источника тяговой силы, участвует столько посторонних моментов, что фактор этот в отношении оценки локомотива не является подходящим измерителем. Возможно, что общее число неисправностей, как вызывающих, так и не вызывающих задержки, было бы более показательно, так как вопрос о том, произойдет или не произойдет в результате данной неисправности задержка, определяется по крайней мере в ряде случаев совершенно посторонними обстоятельствами. Однако, судя по всему, число неисправностей, вызывающих задержку, настолько велико, что соответствующие вопросы могут быть освещены из рассмотрения неисправностей только такого рода. Это дает кроме того конкретную базу для определения вопроса о том, что именно следует рассматривать как неисправность или как аварию, чем ограничивается возможность произвольного толкования самого понятия неисправности.

Классификация неисправностей построена в нескольких разрезах. По одному методу неисправности соединяются по группам и местонахождению дефектов, причем классификация имеет следующий вид:

I. Перегрев

а. Якорные подшипники.
б. Буксы.
в. Прочие подшипники.

II. Поломки

а. Воздухопровод.
б. Ведущие оси.
в. Прочие оси.
г. Бандажи.
д. Рессоры ведущей оси.
е. Прочие рессоры
ж. Ведущие зубчатые колеса.
з. Ведомые » »
и. Подвески рессор.
к. Балансиры.
л. Контактный башмак для третьего рельса.
м. Токосниматель.
н. Прочие поломки.

III. Заземление

а. Главный мотор.
б. Моторные провода.
в. Мотор-компрессор.
г. Мотор-вентилятор.
д. Контакторы.
д. Групповые контакторы.
ж. Автоматы.
з. Сопротивления.
и. Цепь проводов управления.
к. Разная проводка.

IV. Прочие причины

а. Воздушное оборудование.
б. Паровое оборудование.
в. Неисправность реле.
г. Работа контакта башмака третьего рельса.
д. Перегорание предохранителей.
е. Соединительные проводники.
ж. Контакторное управление.
в. Искрение на коллекторе главного мотора.
и. Неисправность автомата.
к. Плохой контакт.
л. Разряженная батарея.
м. Размыкание цепи.
н. Ошибки персонала.
о. Дефекты работы инспекции.

Такая классификация даст возможность легко определить, чем вызвана авария: перегревом, поломкой, заземлением или другими причинами. Дальнейшее изучение статистических данных может показать,

НТБ ДИИЖТ

какая именно деталь оборудования, в одной или нескольких из указанных основных групп, является главным источником неисправностей.

Другой тип классификации производит основное деление по линии различия механических и электрических повреждений оборудования, но этот метод нередко может вызвать разногласия.

I. Неисправности механические

а. Воздушные тормоза.
б. Нагрев букс.
в. Тележки и их части.
г. Полускаты.
д. Упряжной прибор.
е. Зубчатые колеса.
ж. Тормозные колодки.
з. Контроллер (мех. часть).
и. Мотор ( )

II. Неисправности электрические

а. Реверс.
б. Контакторы.
в. Реостат.
г. Автомат.
д. Плавкие предохранители.
е. Реле.
ж. Соединительные провода.
з. Контроллер.
и. Мотор и щеткодержатели.
к. Аккумуляторная баттарея.
л. Контакты, башмаки для третьего рельса.
м. Приборы управления.

Классификация еще одного типа построена исключительно по принципу группировки деталей по принадлежности к тому или иному оборудованию, независимо от причин, вызывающих аварию.

1. Воздушные тормоза

а. Трубы.
б. Тормозные тяги.
в. Компрессор.
г. Клапаны.

2. Тележки

а. Рама.
б. Рессоры.
в. Подшипники осевых букс.
г. Рессорные подвески.
д. Упряжной прибор.

3. Моторы

а. Главный мотор.
б. Якорь.
в. Подшипники.
г. Щетки.
д. Зубчатые колеса.
е. Мотор-вентилятор.
ж. Мотор-компрессор.

4. Управление

а. Токосниматель.
б. Изоляторы.
в. Автомат.
г. Главная цепь.
д. Контакторы.
е. Силовые провода.

Б. Вспомогательное оборудование

а. Контроллер.
б. Мотор-генератор.
в. Баттареи.
г. Контрольные провода.

6. Аварии по вине персонала

Для изучения и улучшения конструкции, надзора за оборудованием или инспектирования наибольшие преимущества дает классификация, указывающая конкретную деталь, вызвавшую повреждение, а также устанавливающая характер повреждения—заземление, перегрев, поломка и пр. По той же приичне простое указание вида неисправности,

НТБ ДГУЖТ

например неисправности пантографа, представляет меньшую ценность, чем указание, соединенное с причиной, вызвавшей неполадку, как например: 1) сломанный пантограф по причине неисправности на воздушной линии, 2) пантограф не касается провода по причине замерзания воздушных цилиндров, 3) сломанный пантограф по причине препятствия на воздушной линии, 4) пантограф не поднимается в виду поломки поршня.

В целях сравнения часто представляется желательным сопоставить данные, характеризующие качество работы оборудования за прошлое время, с такими же данными за наблюдаемый период. Если сравнение охватывает значительное число лет, результаты его покажут, имеются ли улучшения конструкции в течение этого периода.

Ниже приводится таблица, где наглядно объединены все необходимые данные, включая классификацию повреждения с описанием его причины, причем повреждения детали сопоставлены с такими же повреждениями в прежние годы.

Задержки движения, вызванные дефектами в электрическом оборудовании

1925 г.

Дата	№ вагона	Продолжительность задержки в минутах	Причина
			Класс IV—автомат
Июнь 19	130	9	Провод № 7 разомкнут при включении, автомат выведен из действия.
1925	.....	9	1 случай
1924	.....	9½	2 случая
1923	.....	8	2 »
1922	.....	31	4 »

Такого рода данные по всем деталям оборудования за год представляют в сжатой форме весьма ценный материал для оценки какой-либо конструкции.

Изучение эксплоатационной надежности различных систем электрификации с точки зрения причин неисправностей и средств для их предотвращения может привести к интересным общим выводам. Обстоятельством, сразу бросающимся в глаза, хотя и не поддающимся цифровому выражению, является огромное значение тщательного и своевременного надзора за оборудованием и сугубо внимательного инспектирования. Несвоевременная замена изношенных частей, отсутствие надлежащей смазки, неудовлетворительная сборка, запоздалое обнаружение различных ненормальных условий работы—все это непосредственно сказывается

НТБ ДГУКТ

на бесперебойности функционирования оборудования. В результате обзора работы различных дорог следует лишь подчеркнуть огромное значение хорошего ухода и строгого надзора за оборудованием.

При рассмотрении отчетных данных для определения относительного удельного веса различных категорий причин, вызывающих аварии, встает вопрос о мериле, которое должно быть положено в основу такой оценки. Представляется, что относительный вес различных причин аварий следует выражать в процентном отношении.

Рассматривая различные части оборудования локомотива, вызывающие перебои, мы вынуждены констатировать, что главными источниками последних являются контакторы, реверс и оборудование для управления источниками тяговой силы. При электровозах постоянного тока на эти детали может падать 30—40% от общего числа аварий, причем большая часть приходится на контакторы. При электровозах переменного тока, включая и элементы управления, трансформаторы и защитные катушки, процент этот несколько ниже и примерно в равной пропорции падает как на групповые контакторы, так и на трансформаторное оборудование. Показательно, что на провода к трансформаторам и на предохраняющие катушки приходится большее число неисправностей, чем на сами трансформаторы. В моторных вагонах, управляемых по системе сочлененных единиц, контакторы и распределительное устройство не дают такого высокого процента неисправносетей, как в электровозах, а всего лишь от 10 до 20%, соединительные же провода обусловливают большое число неисправностей, выражающееся в размере 10%.

В оборудовании постоянного тока значительный процент неисправностей дает перегорание предохранителей; коллекторы дают сравнительно небольшой процент, не выше трех. В оборудовании переменного тока выключатели высокого напряжения дают обычно от 2 до 7% неисправностей. Пантографы имеют тенденцию давать более высокий процент аварий (примерно порядка 4—8), чем бугели.

Неисправности в моторах, как например искрение, заземление и пр., дают значительно больший процент в моторах переменного тока по сравнению с моторами постоянного тока. Определить это соотношени чрезвычайно трудно, но примерно оно выражается как 2 1.

Аварии, связанные с механическим оборудованием по большей части заключаются в поломке воздушных тормозов и разогревании подшипников. Передаточные шестерни дают 1—5% аварий. При упругой передаче с полым валом этот процент увеличивается еще на 5—8%. Интересно отметить, что в пассажирских электровозах от 6 до 10% неисправностей механического оборудования могут быть отнесены за счет оборудования для отопления вагонов.

Факторы, влияющие на стоимость содержания оборудования и качество его работы. Основные принципы простоты конструкции, дающей низкую стоимость содержания и большую надежность работы, в той же мере относятся к источникам тяговой силы, как и ко всякому другому оборудованию. Замена контакторов с кулачковым распределением контакторами, приводимыми в действие индивидуально или с электрической блокировкой, служит иллюстрацией этого. Отказ от масляных выключателей для цепей высокого напряжения в однофазных электровозах является другой попыткой в этом направлении. Аналогичной попыткой является применение выключателей скользящего типа взамен

НТБ ДИИТ

контакторов. Увеличение числа контакторов и выключателей, необходимых в установках постоянного тока высокого напряжения, являются шагом в противоположном направлении, хотя и оправдывается преимуществами, которые дает эта система распределения энергии. Установка вращающихся преобразователей между распределительной системой и моторами представляет другой пример усложнения устройства, тоже в свою очередь оправдываемое известными соображениями.

Другим основным принципом конструирования оборудования с точки зрения низких эксплоатационных расходов и надежности работы является употребление материала с достаточным коэфициентом запаса. Токонесущие части недостаточного сечения, недостаточный размер различных механических частей, подшипников, движущихся частей—все это имеет большое влияние на эксплоатацию. Размеры экономии от применения частей нормального, или, если позволяют условия габарита, увеличенного размера, зависят преимущественно от соотношения между процентами на капитал и стоимостью содержания оборудования, т. е., иными словами, от рентабельности дополнительных первоначальных затрат. Типичным примером, иллюстрирующим сказанное на практике, может служить пассажирский локомотив, стоимостью 150 000 долл., на который ложатся расходы на капитал в размере 5% на пользование капиталом и 4% на амортизацию, итого 13 500 долл. в год. При стоимости содержания и надзора в размере 15 центов на 1 *км* и при величине годового пробега в 120 000 *км* мы имеем ежегодный эксплоатационный расход по локомотиву 18 000 долл. Увеличение первоначальной стоимости локомотива на 10 000 долл. за счет применения более солидных деталей там, где это представляется целесообразным, скажем, могло бы понизить стоимость содержания на 2 цента с 1 *км*. Это означало бы увеличение годовых отчислений на 900 долл. при одновременной экономии в 2 400 долл. на расходах по содержанию оборудования, и в итоге таким образом будет вполне целесообразным, так как снизит годовые расходы на 1 500 долларов, хотя с другой стороны и увеличит размер необходимого первоначального кредита. Такое увеличение капиталовложений не было бы однако оправдано в отношении того же локомотива, если бы он имел годовой пробег лишь 40 000 *км*, так как в этом случае уменьшение стоимости его ежегодного ремонта и наблюдения за исправным состоянием не было бы настолько высоко, чтобы компенсировать увеличение расходов на капитал. Этот пример показывает, что при высокой степени использования локомотива можно с успехом итти на повышение капитальных затрат, применяя более солидные детали, так как этот расход будет окупаться понижением стоимости содержания локомотива.

Что касается отдельных причин, вызывающих износ и ремонт частей, опыт указал на несколько групп последних, непосредственно влияющих на стоимость ухода за оборудованием и на надежность работы последнего. Механический износ поверхностей, находящихся в состоянии постоянного трения между собой, обусловливает для них экономичность обильной и непрерывной смазки. Точно так же значительное увеличение пробега между двумя последовательными сменами бандажей было достигнуто при помощи смазки реборд. Износ подшипников осевых букс также уменьшается при автоматической смазке.

Замена кривошипно-шатунного механизма различного типа индивидуальным приводом повидимому уменьшает как износ подшипни-

НТБ ДНУЖТ

ков, так и механические напряжения, возникающие в раме локомотива. Отказ от кривошипно-шатунной передачи экономит значительную часть расходов на содержание оборудования, связанных с тем, что надлежащая сборка такой передачи требует весьма тщательного надзора и точности выполнения, отсутствие которых приводит к перенапряжениям отдельных элементов и отсюда к поломке шатунов и рам. Введение различных типов индивидуальной передачи вместо этого, однако, вводит новые элементы расходов по надзору за оборудованием, причем в некоторых случаях новые расходы оказываются выше тех статей расходов по содержанию оборудования, которые они должны заменить. Опыт на нескольких жел. дорогах, однако, показал, что при надлежащих методах надзора и ухода за оборудованием и небольших изменениях конструкции эксплоатация таких типов передач в локомотивах с большой скоростью движения может оказаться более рентабельной по сравнению с кривошипной передачей. При упругой передачи с полым валом поломку пружин и шпилек можно уменьшить для нового оборудования применением пружин со свободными концами, а для старого оборудования—расположением полого вала центрально относительно оси. Применение шпилек большого размера и лучшей конструкции оказалось весьма полезным в смысле предупреждения их поломок, вызываемых усталостью материала. Ограничение боковой игры является областью, представляющей большое поле для усовершенствований, поскольку фактор этот связан с большими ремонтными расходами в целом ряде типов современных конструкций.

Что касается электрической части, простота конструкции моторов в соединении с хорошими эксплоатационными характеристиками представляет фактор, понижающий стоимость содержания оборудования. Введение сопротивлений в обмотки якоря, применение компенсационных обмоток в статоре, более сложные соединения обмоток ротера и статора—все это ведет к увеличению расходов по содержанию и надзору за оборудованием по сравнению с моторами простой конструкции. Этих дополнительных расходов можно избежать, развивая и улучшая конструкцию и применение однофазных моторов с простыми обмотками путем увеличения числа полюсов и уменьшения магнитной индукции.

Применение припоев с высокой температурой плавления для сращивания проводов уменьшает количество неполадок от перегрузки. Расположение проводников, изоляции и соединительных частей, обеспечивающее минимум попеременных нагрева и охлаждения, ведет к большей долговечности изоляции, поскольку дело касается ее механической крепости. Применение надежной и хорошей вентиляции дало возможность поддерживать более низкую температуру токоведущих частей, чем это представлялось возможным раньше, и это немедленно понизило отрицательное действие высокой температуры на изоляцию и места спаек проводов. Простая фильтрация воздуха, типа практикуемой на силовых станциях, вводится с той целью, чтобы не приходилось производить чистку моторов и трансформаторов. Предохранение всасывающей трубы для охлаждающего воздуха от возможностей попадания в нее снега и влаги сэкономило бы тысячи долларов на ремонте оборудования в тех случаях, где мера предосторожности такого рода не предусмотрена первоначальной конструкцией. Не исключено, что в бу-

НТБ ДНУЖТ

дущем найдут применение системы с замкнутой циркуляцией и применением инертных охлаждающих газов.

Расходы по содержанию системы управления могут сильно колебаться соответственно, например, простой конструкции с кулачковым приводом для переключения сопротивлений для двух моторов, или в системе с мотор-генератором, с контакторами для многократных ездовых соединений при моторном и генераторном режимах, с понизительным трансформатором, регулировкой поля и пусковым устройством.

При сравнении различных контакторных систем управления весьма экономичным оказалось кулачковое управление с механической блокировкой. Опыт показал преимущества применения деталей с запасом в размерах, с достаточными местами для размещения изоляции и хорошо предусмотренной канализацией для вольтовой дуги. Некоторое уменьшение обгорания контактов было достигнуто при помощи улучшения последовательности действия контакторов и выделения операций с включением и выключением главного тока путем специального контактора, рассчитанного именно для данной цели. При трансформаторном управлении была сделана попытка избежать расходов по ремонту большого числа контакторов путем применения простого скользящего выключателя со щетками и только двумя контакторами, что должно было предупредить короткое замыкание выведенных секций трансформатора. При однофазной системе распределения трансформатор является важной частью оборудования, которая при соответствующей конструкции и надлежащей защите изоляции от сырости и перегрева потребует самого незначительного надзора. Провода высокого напряжения и масляный выключатель, если последний применяется, представляют собой дополнительные элементы по сравнению с системой постоянного тока, которые могут повысить или не оказать влияния на расходы по содержанию оборудования в зависимости от того, сконструированы ли они с надлежащей изоляцией, защищены ли от проникновения сырости и рассчитаны ли на достаточную мощность.

Приборы, а также другие элементы управления, более подвержены повреждениям и быстрее изнашиваются под влиянием посторонних причин, почему путем предохранения их от внешних воздействий можно достигнуть значительной экономии в эксплоатации. Расположение песочниц и труб для песка, чтобы песок не мог попасть в аппаратуру, защита оборудования от пыли с тормозных башмаков или с пути, проводов — от соленой воды, моторов—от проникновения смазочного масла, контактов—от насекомых и т. д.—составляет задачу конструирования, которая должна иметь целью снижение расходов по содержанию оборудования до незначительного уровня и одновременно повысить надежность его работы.

Об отношении эксплоатационных условий к стоимости ухода за оборудованием можно сделать только общие замечания. Перегрузка оборудования вследствие увеличенного потребления или рекуперирования чрезмерной силы тока приводит к сильному разогреванию спаек проводов под изоляцией, что может разрушить места соединения и потребует больших расходов по восстановлению их. Такие перегрузки, одновременно производя нагревание изоляции, легко приводят к порче и последней, что позднее поведет к аварии. Если перегрузка имеет место в моменты трогания с места, оборудование для управления подвергается

НТБ ДНУЖТ

усиленному обгоранию контактов или взрывам, вызываемым вольтовой другой. Увеличение срока службы оборудования сверх того периода времени, окончание которого признается моментом для наступления ремонта его, почти неизбежно приводит к увеличению расходов по содержанию, так как детали, изношенные сверх установленного предела, потребуют больше ремонта, не окупаемого пользой, полученной от удлинения эксплоатационного периода. Так например коллектор, требовавший обточки и использованный свыше определенного времени, может настолько обгореть, что потребует полной замены ламелей. Отсрочка чистки обмотки может привести к заземлению со сгоранием последней, что потребует расходов на ремонт, совершенно не отвечающих доходам от эксплоатации оборудования за увеличенный период времени.

ЛИОТ
25302

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА XVIII

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА И ШТАТ ДЛЯ ЭКСПЛОАТАЦИИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Замена паровой тяги электрической на определенном участке жел. дороги означает переход от одной формы тяговой силы к другой, а также эксплоатацию и уход за распределительной сетью и обеспечение источников энергии. С организационной точки зрения это означает расширение прежнего отдела тяги вследствие включения в его функции обслуживания электороборудования и образование нового отдела или подъотделов по производству и распределению энергии.

Функциональная характеристика организации управления. Функции содержания и ремонта в отношении электровозов те же, что и для паровозов. Работа по содержанию оборудования сосредоточивается в определенных пунктах при депо, сараях для осмотра и мастерских, возглавляемых механиками или мастерами. Работа эта заключает в себе ряд разнообразных операций, начиная от ежедневного наружного осмотра в конечных пунктах и кончая сложным ремонтом,производимым в мастерских после длительного эксплоатационного периода или большого пробега. Ремонт и надзор в отношении электрического оборудования в этой части с успехом может быть выполнен в мастерских по механическому ремонту, хотя в отношении самих работ желательно иметь особый штат рабочих, знакомых с этим делом. В то же время весьма целесообразно иметь во главе дела по обслуживанию и ремонту электрооборудования ответственных лиц высокой квалификации, которые не стремились бы автоматически переносить на электрическое оборудование принципы, применяемые при ремонте паровозов. Свойства же эксплоатации и ухода за электрическим оборудованием таковы, что перенесение сюда методов, практиковавшихся в отношении паровой тяги, дает самые плохие результаты и этого следует всячески избегать. В общем же надзор за электрическим оборудованием может быть включен в круг деятельности механического отдела, что и имеет место на большинстве жел. дорог.

Надзор за распределительной системой при электрической тяге существенно отличается от надзора за тяговым оборудованием в том смысле, что этот надзор производится по всей длине электрифицированной дороги. Кроме того работа эта не может быть четко подразделена на текущий и капитальный ремонт с твердо установленными сроками между ремонтами. Неисправность изоляции, повреждения, вызванные молнией и прочее, не могут быть заранее предусмотрены и своевременно предупреждены. Все это обусловливает резкое отличие организации по надзору за распределительной системой от надзора за электровозами, где вся работа может быть выполнена в одном месте, как некоторый производственный процесс промышленного характера. Ремонтные бригады по надзору за распределительной системой должны передвигаться с ме-

НТБ ДНУЖТ

ста на место и должны быть готовы в любой момент прервать работу по нормальному поддержанию системы в порядке и перебросить к месту, где требуется экстренная работа. Это означает, что бригада должна быть хорошо обеспечена транспортными средствами. По этой причине весьма желательно, чтобы надзор за распределительной системой и эксплоатация движения были организационно связаны между собой. С этой целью ряд жел. дорог организует эту работу аналогично линейным подразделениям отделов пути или связи. В тех случаях, когда электрифицированная часть дороги невелика, аппарат, ведающий надзором за ней, может быть подчинен одной из указанных служб. При более крупных размерах электрификации он может быть подчинен соответствующему разделу района, подчиняясь непосредственно начальнику последнего.

Поскольку для правильного движения поездов еще большее значение, нежели состояние самого пути, имеет правильное функционирование распределительной системы, так как последняя не только составляет определенный элемент жел.-дор. движения, но доставляет энергию для поездов, необходима самая тесная связь этой системы со службой движения. Это может быть обеспчено путем контроля распределения энергии электриками-представителями от отдела эксплоатации с одновременным подчинением им же линейного ремонтного персонала. Диспетчер по распределению нагрузки должен находиться постоянно в тесном контакте с поездным диспетчером и, если возможно, находиться в одном с ним помещении. Тесная увязка этих двух функций является фактором первостепенной важности для успешного применения электрической тяги.

Производство энергии, если жел. дорога имеет собственные электрические станции, представляет собой совершенно особую функцию, не родственную ни одной другой функции жел. дороги. Поэтому она не может быть успешно выполнена ни одной из существующих служб и ее лучше всего поручить специалистам этого дела. Принимая во внимание важность этой функции, обусловливающей бесперебойность эксплоатации и учитывая ее особенности, желательно, чтобы ответственное лицо, стоящее во главе, не подчинялось ни одной из прочих служб, но соответственно координировало с ними свою работу.

Если электрическая энергия покупная, большое значение приобретает защита интересов дороги при заключении договоров на энергию. Практика уже заключенных договоров доказала необходимость иметь среди ж.-д. персонала высоко-квалифицированного специалиста в этой отрасли. Лицо это может обслуживать всю дорогу и масштабы его работы требуют, чтобы оно отчитывалось непосредственно перед высшей администрацией.

Тот факт, что все стороны эксплоатации электрической дороги настолько тесно связаны между собой, что успешное выполнение каждой из них сильно зависит от других,—побудил ряд жел. дорог объединить все функции по этой эксплоатации и функции надзора в одном отделе. При крупных размерах электрификации это означает образование совершенно нового отдела, обособленного от отдела тяги, отдела пути и прочих отделов, и подчиняющегося лишь лицу, осуществляющему общее управление дорогой. При участковой организации таким лицом может являться начальник участка, при системе отделов—помощник начальника по вопросам техническим и эксплоатационным. При менее значительных размерах электрификации намечалась тенденция объединить

НТБ ДНУЖТ

всю работу при отделе тяги. Выбор именно этого отдела в известном смысле логичен, так как большая часть работы связана с тяговым оборудованием, в частности же, исходя из затрачиваемых сумм, концентрация ответственности имеет целый ряд преимуществ. Вне зависимости от принятой организационной схемы взаимоотношений по постройке и эксплоатации электрифицированных участков, системы по передаче и распределению энергии, подстанций и электростанций, должна существовать техническая организация значительного масштаба, ответственная за работу всей системы электрификации в целом. Лицо, возглавляющее эту техническую организацию, должно отчитываться только перед высшей администрацией; в его обязанность должно входить внимательное наблюдение за всеми усовершенствованиями в области электрической тяги для определения того, какие из них могут быть использованы компанией, на службе у которой данный работник состоит.

Распределение сил между техническим и строительным отделами в период электрификации линии зависит от многих условий. Важным фактором в этом вопросе является объем строительных работ и размеры вкладываемых сумм, а также то обстоятельство, производится ли работа в связи с другими реконструктивными мероприятиями или самостоятельно. Это может обусловить необходимость в помощнике директора или в специальном инженере при помощнике директора. Проектирование и постройка локомотивов и прочих тяговых средств производятся обычно специальными заводами, так что большая часть работы, падающая на жел. дорогу, приходится на устройство распределительной системы и с успехом может быть включена в круг деятельности технического отдела. Если жел. дорога не желает организовывать временные технический и строительный отделы, работа может быть передана специальной технической конторе под наблюдением ответственных представителей дороги. При всех обстоятельствах весьма желательно поддерживать тесный контакт между эксплоатационными и строительными отделами для того, чтобы потребности первых в транспортных средствах, обусловленные размерами перевозок, были удовлетворены и чтобы эксплоатационный отдел мог точно учитывать свойства оборудования, которым он будет располагать и знать, в какой мере оно соответствует тем или иным требованиям.

Существующие организационные формы. По многим причинам на практике обычно не осуществляется строгое разграничение функций. В целом ряде случаев организации слишком малы, чтобы позволить себе такое диференцирование работы.

Рис. 161 показывает несколько организационных схем на мелких электрифицированных линиях. Нередко случается, что система небольших единиц, ответственных за весь комплекс работ по электрической эксплоатации, дает целый ряд преимуществ, так как при этих условиях одно лицо бывает в курсе всех вопросов и может наилучшим образом координировать работу в целом. При нескольких же лицах нередко возникают разногласия в таких случаях, которые легко могли бы быть решены единолично. Это, пожалуй, является наиболее важным обстоятельством при выработке организационной структуры, так как увязка деятельности всех отделов является основным моментом.

Рис. 163 показывает типичную структуру организации, где все функции по электрической эксплоатации подчинены службе тяги; рис. 162

ЭЛИОТЕ
25302
НТБ ДНУЖТ

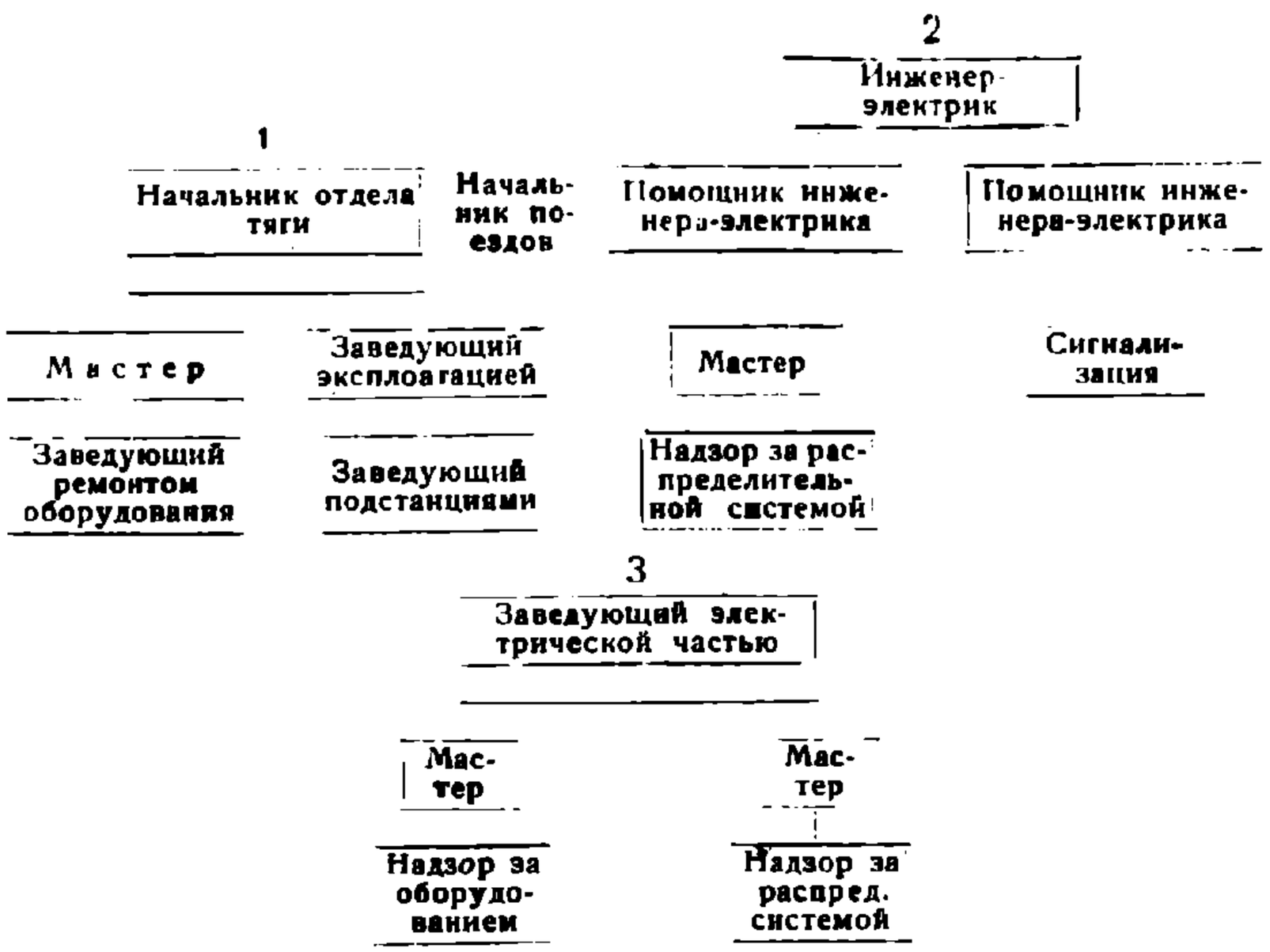


Рис. 161. Схема организации для электрифицированной линии небольших размеров.

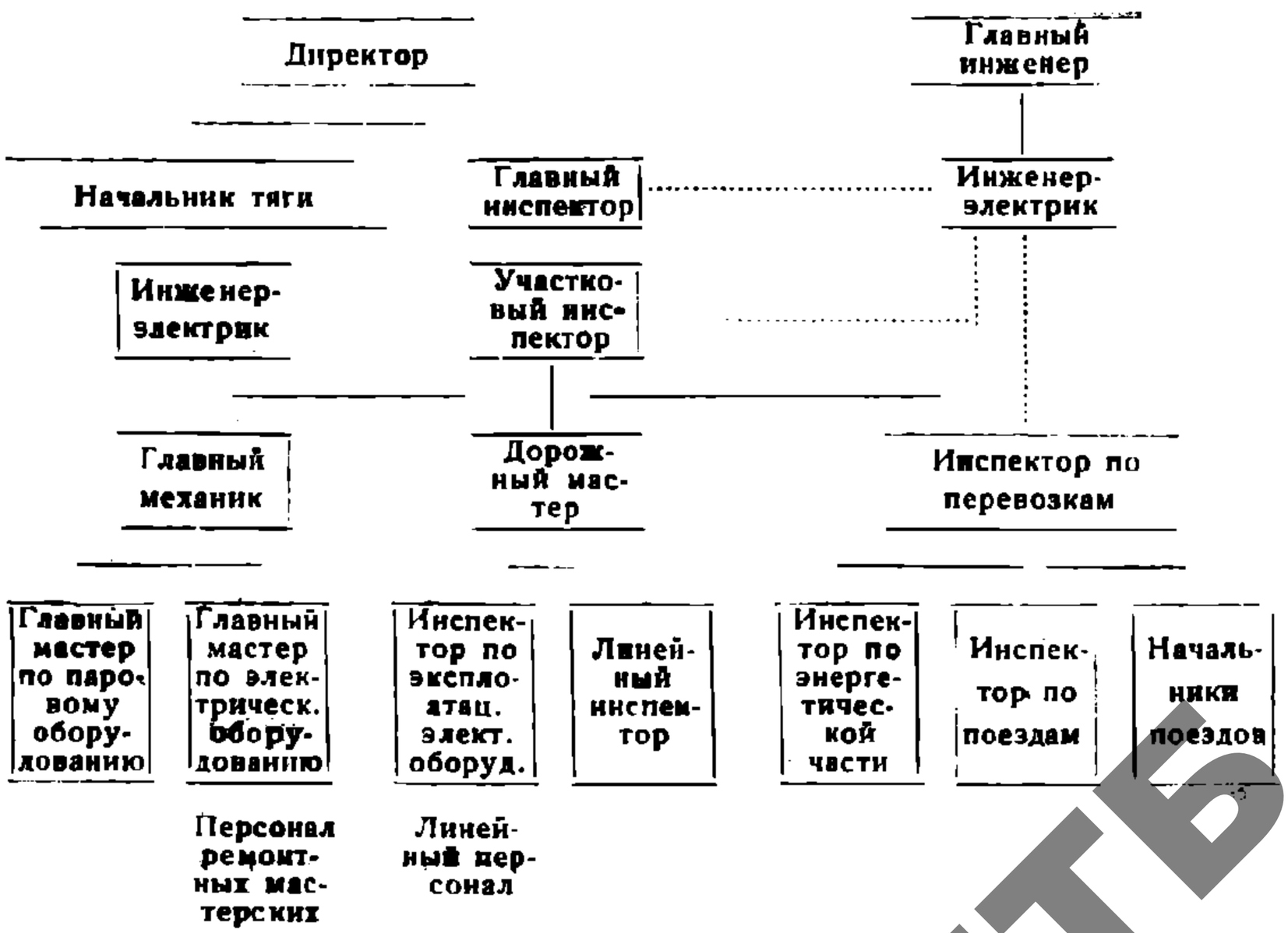


Рис. 162. Схема организации электрифицированной линии, подчиненной различным отделам.

НТБ ДНУЖТ

* В виду неодинаковой организации ж. д. в СССР и САСШ понятия должностей, названия которых приведены на схемах, не все отвечают соответствующим должностям на ж. д. СССР.

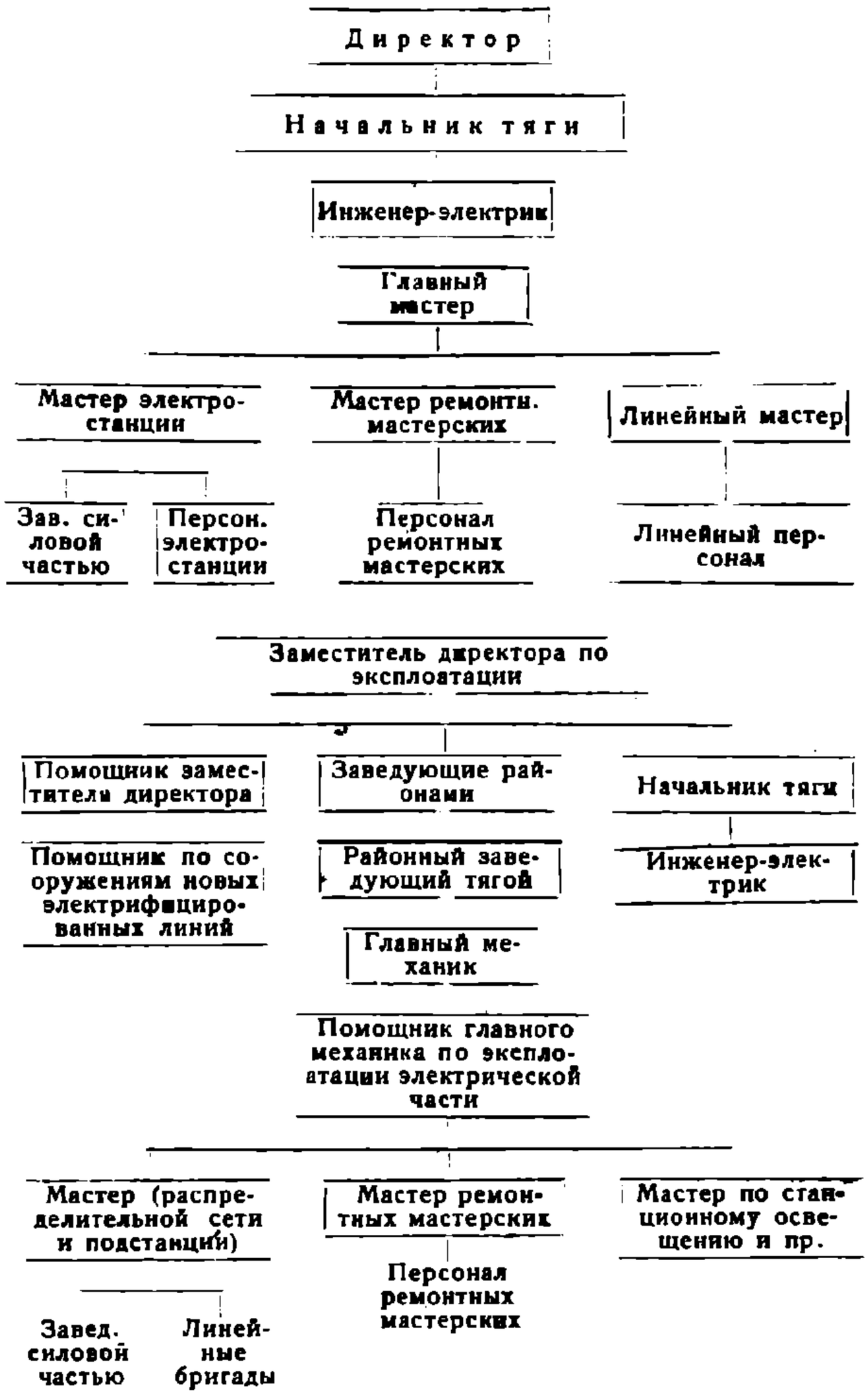


Рис. 193. Две схемы организации управления электрифицированной линией при подчинении Отделу тяги.

представляет схему, где указанные функции разбиты между различными службами.

Абстрактное сравнение эффективности этих схем совершенно лишено практического значения, так как эффективность эта в большей мере определяется личными качествами персонала, чем организационной схемой.[1]

---

[1] Это обстоятельство вообще не является препятствием к выработке такой организационной схемы, которая была бы наиболее приемлемой при прочих равных условиях.

НТБ ДНУЖТ

ЖЕЛДОРИЗДАТ—КНИГООБЪЕДИНЕНИЕ

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

Выбор системы тока для электрификации железных дорог СССР. Сб. 1. Разд. 1. Под ред. проф. С. И. Курбатова. Материалы к 1-й всесоюзной конференции по электрификации ж. д. СССР. (Труды Научно-исследовательск. ин-та электрификации ж. д.). Стр. 148. Т. 3225. Ц. 3 р.

Выбор системы тока для электрификации жел. дор. СССР. Сб. 1. Разд. 2. Под ред. проф. С. И. Курбатова. Материалы к 1-й всесоюзной конференции по электрификации ж. д. СССР. (Труды Научно-исследоват. ин-та электрификации ж. д.). Стр. 48. Т. 3225. Ц. 1 р.

Выбор системы тока для электрификации железных дорог СССР. Сб. 2. Разд. 1. Под ред. проф. С. И. Курбатова. (Труды Научно-исследоват. ин-та электрификации ж. д.). Вып. I. Стр. 44. Т. 3225. Ц. 1 р. 30 к.

Выбор системы тока для электрификации железных дорог СССР. Сб. 2. Разд. 2. Под ред. проф. С. И. Курбатова. (Труды Научно-исследоват. ин-та электрификации ж. д.) Вып. 1. Стр. 92. Т. 3225. Ц. 2 р. 50 к.

ИВАНОВ, И.—Контактная сеть железных дорог. Стр. 70. Т. 3250. Ц. 1 р. 20 к.

ПЕЧАТАЮТСЯ

АЛЬБАЦ, М.—Токоснабжение и токораспределение на американских электрических железных дорогах. Под ред. Безгрешнова В. (Руководство для студентов втузов). 20 л. Т. 7000.

МАРТИ и ВИНОГРАД—Ртутные выпрямители электротяговых подстанций. Перевод с английск. Альбац. 25 л. Т. 5000.

Опыты по выяснению влияния линий электропередач на провода связи. (Научно-исследоват. ин-т сигнализации и связи). 13 л. Т. 2000.

СНАРСКИЙ, А. и ШЛЕЙСНЕР, Р.—Руководство по измерению воздушных линий связи. 5 л. Т. 10000.

С заказами обращаться во все отделения и магазины Книгообъединения на местах. Высылку единичных экземпляров наложенным платежом производят: «Книга—почтой», Москва, 64; «Дом книги», «Книга—почтой», Ленинград, просп. 25 Октября, 28.

НТБ ДНУЖТ

ЖЕЛДОРИЗДАТ—КНИГООБЪЕДИНЕНИЕ

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

ГЕРЛИВАНОВ, Г и ИВАНОВ, И. Электрификация железных дорог Западной Европы. Стр. 276 + 3 вкл. л. Т. 8 225. Ц. 4 р. 50 к., пер. 75 к.

ЗИЛЬБЕРТАЛЬ, А.—Рекуперация энергии на электрических железных дорогах и трамваях. Стр. 197. Т. 10 255. Ц. 4 р., пер. 40 к.

Исследование контактной сети электрических железных дорог. Сборник статей под ред. проф. В. А. Шевалина. (Труды Научно-исслед. ин-та электрификации ж. д. СССР НКПС.) Стр. 86. Т. 3 475. Ц. 2 р. 75 к.

Курс электрических железных дорог. Ч. 4. Г. А. Герливанов. Подвижной состав электрических железных дорог. С р. 173. Т. 8 330. Ц. 2 р. 25 к.

ЛУЧАЙ, Г.—Тяговые расчеты при электрической тяге. (Постоянный ток). (Серия „Руководство для транспортных втузов"). Стр. 103. Т. 4 250. Ц. 1 р. 75 к.

СТАЛЬ, И. и СИДОРЕНКО, Г.—Контактное оборудование пути под электрическую тягу. Сб. 12. Стр. 35. Т. 1 145. Ц. 75 к.

ХУДАДОВ, А.—Технико-экономические предпосылки электрификации железных дорог СССР. Стр. 94. Т. 6 250. Ц. 1 р. 20 к.

ШИРОКОГОРОВ, Б.—Теоретические основы электрической тяги. С 116 черт. и фото в тексте. Стр. 337. Т. 3 250. Ц. 3 р.

С заказами обращаться во все отделения и магазины Книгообъединения на местах. Высылку единичных экземпляров наложенным платежом производят: «Книга—почтой», Москва, 64; «Дом книги», «Книга—почтой», Ленинград, просп. 25 Октября, 28.

НТБ ДНУЖКТ

Цена 5 руб.

Переплет 60 коп.

ЖЕЛДОР ИЗДАТ

Издания Гострансиздата продаются в магазинах Книгообъединения ОГИЗа

Единичные экземпляры высылает наложенным платежом „Книга - почтой". Москва, 64.

НТБ ДНУЖКТ

Сканировала Шевченко О. Г.