

Ц. 3 р. 45 к., пер. 35 к.

2926

РУКОВОДСТВА ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ ВТУЗОВ

621.331
№ 42

В. МЕДЕЛЬ

МАГИСТРАЛЬНЫЕ ДОРОГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЦЕНТРАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ
КАДРАМИ НКПС ОДОБРЕНО
В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ
ДЛЯ ВТУЗОВ



НТБ
ДНУЖТ

О Г И З — Г О С Т Р А Н С И З Д А Т

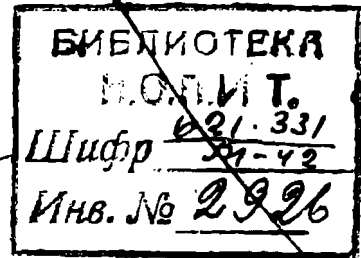
1

9

3

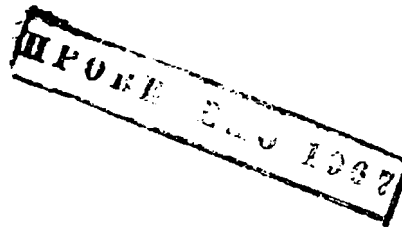
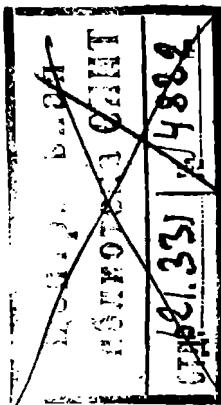
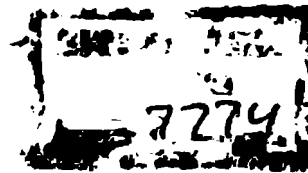
1

В. МЕДЕЛЬ



МАГИСТРАЛЬНЫЕ ДОРОГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЦЕНТРАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ
КАДРАМИ НКПС ОДОБРЕНО
В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ
— для ВТУЗОВ —



МОСКВА

ОГИЗ—ГОСТРАНСИЗДАТ

1931

НТБ
ДНУЖТ

4-я типография ОГИЗв Ленинград.
Улица Правды, 15.
Уполномоченный Главлита № Б-8509.
Тираж 4215 экз. Заказ № 2748.
17 п. л. ОГИЗ Т. 12—460. III кв.

Редактор *Я. Френкель.*
Техн. редактор *В. Дульнев.*

НТБ
ДНУЖТ

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стран.
Предисловие .	5
ГЛАВА I	
Общая часть	
1. Развитие электрических дорог различных систем .	7
2. Электрические дороги смешанной системы	11
3. Преимущества и недостатки электрических дорог различных систем .	14
4. Некоторые замечания к выбору системы тока	16
5. Выбор напряжения	18
6. Питание дорог постоянного тока энергией .	24
ГЛАВА II	
Питание и контактная сеть электрических дорог	
7. Питание контактной сети .	38
8. Расчет сечения проводов .	43
9. Подвод тока третьим рельсом .	46
10. Работа цепной подвески	50
11. Типы цепных подвесок	59
12. Расчет цепной подвески	65
13. Обратный провод	77
14. Конструкция цепной подвески	82
15. Описание контактного оборудования электрифицированных железных дорог	86
ГЛАВА III	
Подстанции	
16. Выбор типа преобразовательной подстанции .	99
17. Подстанции с мотор-генераторами	102
18. Мотор-генераторы железнодорожных подстанций	103
19. Защита мотор-генераторов на случай короткого замыкания . .	106
20. Примеры железнодорожных подстанций с мотор-генераторами	107
21. Автоматические подстанции с мотор-генераторами	113
22. Подстанции с одноякорными преобразователями	115
23. Регулирование напряжения	117
24. Улучшение cos φ установки при работе одноякорного преобразователя	118
25. Пуск в ход одноякорного преобразователя и рекуперация	119
26. Примеры одноякорных преобразователей железнодорожного типа	122
27. Некоторые данные для проектирования подстанции с одноякорным преобразователем	124
28. Параллельная работа одноякорных преобразователей	125
29. Примеры железнодорожных подстанций с одноякорными преобразователями .	126
30. Автоматические подстанции с одноякорными преобразователями	128
31. Подстанции с каскадными преобразователями	131
32. Подстанции с ртутными выпрямителями	134
33. Конструктивное выполнение ртутных выпрямителей . .	137
34. Вспомогательные устройства для ртутных выпрямителей	139
35. Железнодорожные подстанции с ртутными выпрямителями	147
36. Защита подстанций с ртутными выпрямителями	153
37. Параллельная работа ртутных выпрямителей с другими преобразователями	155
38. Подстанции с ртутными выпрямителями франц. Южн. жел. дор.	156

НТБ
ДНУЖТ

39. Автоматические подстанции с ртутными выпрямителями	159
40. Управление подстанциями на расстоянии	165
41. Регулирование напряжения постоянного тока на подстанциях . . .	167
42. Устранение вредных последствий волнообразности постоянного тока	172

ГЛАВА IV

Э л е к т р о в о з ы

43. Типы электровозов	179
44. Электровозы с непосредственной передачей усилий	180
45. Электровозы с зубчатой передачей	182
46. Электровозы с шатунной передачей	193
47. Влияние неправильностей в шатунном механизме	198
48. Электровозы с рамой Кандо	204
49. Тяговые моторы	205
50. Тяговые свойства электромоторов и сила тяги электровоза .	213
51. Пуск моторов и регулирование скорости	217
52. Основные способы рекуперации	219
53. Схема электровоза и приборы управления .	224
54. Вспомогательное оборудование электровозов .	230

ГЛАВА V

Описание выполненных электровозов

55. Электровозы железной дороги Chicago Milwaukee St.-Paul	234
56. Электровозы железной дороги Париж—Орлеан с передачей Buchli	258
57. Электровозы с зубчатым зацеплением	264

НТБ
ДНУЖТ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель настоящей книги — дать возможность лицам, работающим по электрической тяге, углубить свои знания в области магистральных дорог постоянного тока, т. е. той системы, которая принята в СССР для первой электрифицируемой магистральной дороги Сурамского перевала. Дорог остальных систем мы коснулись лишь постольку, поскольку по отношению к ним хотели более или менее рельефно выявить преимущества и недостатки дорог постоянного тока.

Очень часто, в особенности в Центральной Европе, приходится слышать, что лучшим подтверждением преимущества дорог однофазного тока является широкое распространение их. Давая историческую справку развития дорог различных систем, мы хотели подчеркнуть ту мысль, что при выборе системы тока различными государствами приходилось считаться с общим развитием электротехники того времени; так, при электрификации магистральных линий — Симплонского туннеля и Велтлинской жел. дороги можно было говорить лишь о дорогах трехфазного тока, поскольку коллекторы моторов постоянного тока не допускали применения достаточно высокого напряжения в контактном проводе. При последующей электрификации жел. дорог, совпавшей с развитием однофазных коллекторных моторов, многими государствами была принята уже система однофазного тока, как имеющая неоспоримые преимущества перед трехфазной системой.

Возможность значительного повышения напряжения на коллекторах машин постоянного тока в связи с применением дополнительных полюсов выдвинула вопрос о применении постоянного тока высокого напряжения для магистральных жел. дорог. При последующей электрификации жел. дорог эта система стала широко применяться и, более того, некоторые государства, принявшие в свое время систему однофазного тока как стандартную, впоследствии перешли на постоянный ток высокого напряжения. Этому способствовал быстрый рост централей и электропередач общепромышленного значения, которые желательно было использовать и для питания жел. дорог. Поскольку однако до сего времени не удалось преодолеть некоторые затруднения с применением трехфазного тока промышленной частоты в 50 периодов непосредственно в контактном проводе, при питании дорог от централей общепромышленного значения, преимущества остаются на стороне постоянного тока.

Изложенное заставляет думать, что при настоящем развитии электротехники для нас представляют особый интерес жел. дороги постоянного тока, изучению которых и посвящена настоящая книга.

В. Медель

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1. Развитие электрических дорог различных систем

Колыбелью электрической тяги следует считать городские жел. дороги (трамваи). Изобретение электромотора Вернером Сименсом дало возможность широкого развития городских жел. дорог, до того времени почти исключительно применявших конную тягу.

В 1881 г. была открыта первая электрическая дорога в мире в Grosslichterfeld'e около Берлина, после чего началось широкое развитие трамваев в Америке, а затем, в девяностых годах, в Европе. Трамвайная сеть быстро росла не только за счет расширения ее в пределах города, но и благодаря проникновению ее далеко в пригороды, и стала служить соединением пригородов с городом и даже отдельных расположенных поблизости городов; здесь на пригородных и междугородных трамвайных линиях зародилась электрическая тяга пригородного типа с моторными вагонами. Опыт, приобретенный на этих дорогах, перекинулся и на магистральные дороги и дал толчок развитию электрической тяги с отдельными электровозами. Однако если при электрификации пригородного движения преследовались удобства пассажиров, освобождение городов от дыма, то при электрификации магистральных дорог имелось в виду прежде всего удешевление перевозок, почему электрическая тяга стала развиваться в местах дешевой электрической энергии и прежде всего, где возможно было использовать водную энергию.

Первая в Европе ж.-д. линия Milano—Vareso—Porto Ceresio, протяжением 75 км, была электрифицирована в 1901 г. Эта дорога носит характер магистральной дороги и снабжается энергией от тепловой централи, но электрифицированные в последующие годы (1902) магистральная линия Lesso—Colico—Chiavenna с веткой Colico—Sondrio (Велтлинская ж. д.), общим протяжением 106 км, оборудована моторными вагонами и электровозами и питается энергией гидроэлектрической станции. Напряжение в контактном проводе 3000 в, трехфазный ток применен с целью рекуперации энергии. Эта дорога и положила начало широкому развитию впоследствии системы трехфазного тока в Италии. В последующие годы электрическая тяга развивалась главным образом в Швейцарии благодаря богатству водной энергии и отсутствию угля: в 1906 г. был электрифицирован участок протяжением 22 км Brig—Iselle (Симплонский туннель), здесь так же, как и на Велтлинской ж. д., применена была система трехфазного тока.

Развитие коллекторных моторов однофазного тока и связанные с этой системой тока преимущества в смысле простого трансформирования энергии и возможности иметь в контактном проводе высокое напряжение выдвинули вопрос о применении для железнодорожных тяговых целей однофазного тока. В то же время испытанная на Велтлинской и Симплонской ж. д. система трехфазного тока показала свои недостатки, главным

НТБ
ДНУЖТ

образом усложнения в контактной системе, благодаря необходимости иметь два воздушных провода, почему при дальнейшей намеченной электрификации магистральных дорог большого протяжения начинает применяться система однофазного тока, позволяющая обходиться одним проводом и снизить благодаря высокому напряжению в контактном проводе до минимума потери и падение напряжения при передаче энергии на длинных участках между подстанциями. При электрификации в 1907 г. участка Seebach—Wettingen (19,4 км) и в 1910 г. участка Spiez—Frutigen (13,5 км) Лечбергской ж. д. был применен уже однофазный ток. Электрификация этих сравнительно коротких участков должна однако рассматриваться не как самостоятельная работа, а как частичное выполнение плана широкой электрификации магистральных линий.

После опыта на Лечбергской ж. д.¹ однофазная система в Европе стала распространяться очень быстро и была принята как стандартная система на французских южных жел. дорогах², на Швейцарских (С.-Готардский туннель),³ Шведских ж. д.⁴ (между Kiruna—Riksgränsen) и в Германии (электрификация дорог Силезии, Баварии и средней Германии). На всех перечисленных дорогах был принят однофазный ток в $16\frac{1}{3}$ периодов. В Англии на дороге Brighton and South Coast Railway⁵ был принят однофазный ток в 25 периодов в секунду.

В Америке в 1908 г. применен был для магистральных дорог однофазный ток в 25 периодов на дорогах: New-York New-Haven and Hartford R. R.

Выявившийся ряд недостатков однофазной системы привел впоследствии к пересмотру некоторыми государствами вопроса о выбранной системе тока для магистральных дорог и замены однофазной системы постоянным током высокого напряжения, т. е. напряжением 1 500—3 000 в. Развитие этой системы тока способствовали значительные усовершенствования, в конструкции моторов. Снабжение моторов дополнительными полюсами позволило сразу повысить напряжение на коллекторе до 1 500 в и выше⁵, а при последовательном соединении не менее двух моторов иметь в контактном проводе соответственно напряжение 3 000 в и выше, изолируя однако моторы на полное напряжение в контактном проводе.

Постоянный ток высокого напряжения для магистральных жел. дорог был применен впервые в Америке (напряжение 2 400 в) для жел. дороги Butte Anosonda and Pacific Railway в 1913 г. заводом G. E. Co.

Блестящий успех электрификации этой дороги и обилие гидроэлектрических станций в районе дороги Chicago Milwaukee St-Paul выдвинули вопрос об электрификации этой дороги и в первую очередь наиболее трудных участков ее, при чем на основании детальных экономических подсчетов, произведенных заводом G. E. Co. был принят постоянный ток, так как при этом можно было пользоваться энергией от гидроэлектрических станций общего пользования, от Montana Power Co, а именно трехфазным током

¹ Bulletin du Congrès international de chemins de fer. Март 1914.

² Revue Générale de chemins de fer. Март 1919.

³ Bull. de la Société française des Electriciens. Март—май 1919.

⁴ La lumière électrique. 15/IV 1916.,

¹ L'industrie électrique. 10/II 1927.

² Revue Générale d'Electricité. Январь 1920.

³ Engineering 16/IX 1910. 26/I 1912 и 9/II 1912.

⁴ Rivista tecnica delle Fer. Jt. 15/XI 1913.

⁵ Так, в Англии был применен постоянный ток напряжением в 3 000 в на линии Wig—Holcombe—Brook протяжением около 6 км на дороге Lancashire and Yorkshire Ry. Однако, это напряжение было снижено до 1 200 в с целью получить возможность применить третий рельс, работа электромоторных вагонов при напряжении в 3 000 в происходила вполне удовлетворительно. Наконец в Италии на жел. дороге Turino—Lanzo—Cérésio длиной 43 км был применен постоянный ток 3 600—4 000 в.

НТЦ
ДНУЖТ

в 60 периодов. В случае, если бы для электрификации был принят однофазный ток, пришлось бы устанавливать вращающиеся умформеры для получения тока малой частоты 25 или даже 16 периодов в секунду. При этом уменьшалось бы преимущество однофазного тока в отношении простоты трансформирования его.

Электрификация дороги Ch. M. St-Paul протекала весьма быстро. Помимо подвижного состава, контактного оборудования и устройства преобразованных подстанций дорога строила электропередачу на 100 000 в для питания подстанций. Работы начались в ноябре 1914 г. на участке Three Forks—Deer Lodge протяжением 182 км с четырьмя подстанциями; до окончания электрификации этого участка работы начались и на соседних участках. Таким образом в январе 1916 г. паровозы были сняты полностью с участка Three Forks Deer Lodge. В апреле 1916 г. электрическая тяга была продолжена на восток до Harlowton, в ноябре 1916 г. на восток до Alberton, и наконец в феврале 1917 г. весь участок Avery—Harlowton протяжением 706 км был электрифицирован. Затем было решено приступить к дальнейшей электрификации участка Seattle—Othello длиной 304 км. Питание этого участка предвиделось также от гидроэлектрических станций Inter-mountain Power Co. Если первые 44 электровоза и подстанций для участка Avery—Harlowton строила исключительно General Electric Co, то теперь уже приняло участие в постройке и О-во Вестингауз, до сего времени поставлявшее электрическое оборудование для дорог переменного тока. В марте 1920 г. закончена была электрификация и участка Seattle—Othello протяжением 304 км с участком Tacoma—Black River 46 км. Общее протяжение электрифицированных участков дороги Ch. M. St-Paul составляет таким образом 1 056 км, а вместе со станционными путями 1 600 км одиночного пути.

В Европе после войны получили распространение жел. дороги постоянного тока: во Франции, несмотря на то, что перед войной была начата электрификация южных жел. дорог однофазным током $16\frac{2}{3}$ периода, после всестороннего изучения вопроса системы тока в 1918 г. особым комитетом, познакомившимся в различных странах с существующими системами электрических жел. дорог, был принят на основании опыта на жел. дорогах Chicago—Milwaukee St. Paul для электрификации дорог постоянный ток 1 500 в.

В Испании при разработке плана электрификации жел. дорог были уже электрифицированные линии: участок Santa Fé—Gergal трехфазного тока 3 000 в 25 периодов и участок Pamplona—Sanguenza однофазного тока 6 000 в 25 периодов. Однако был поставлен вопрос о пересмотре системы тока и после всестороннего изучения был принят постоянный ток 3 000 в и 1 500 в; последнее напряжение для участков, где предвиделось широкое пользование моторными вагонами, при котором напряжение 3 000 в слишком дорожает стоимость оборудования моторных вагонов.

Принятая система позволяла пользоваться энергией от электропередачи общепромышленного пользования и удачно разрешала вопрос рекуперации энергии.

При решении вопроса об электрификации жел. дорог Явы в 1922 г. (участок Tardjong—Prock Meester Cornelius вопрос о роде тока и напряжении был подвергнут всестороннему обсуждению. В стране имеется возможность широкого использования водной энергии и в то же время уголь приходится ввозить, что и выдвинуло вопрос об электрификации страны. Все гидротехнические сооружения, централи и сеть электропередачи находятся в руках государства, равно как и жел. дороги. Все высоковольтные установки имеют трехфазный ток 50 периодов и напряжение 70 000 в. При выборе системы тока для жел. дорог имелась в виду возможность использования энергии уже имеющихся централей и электропередач, не прибегая к постройке специальных маловыгодных особых централей для питания

НТ
ДНУЖТ

жел. дорог; соображения эти заставили остановиться на постоянном токе высокого напряжения, а именно 1500 в, к тому же на горных участках предвиделась необходимость рекуперации энергии; более высокое напряжение в 3000 в было менее пригодно, в виду малой ширины колеи дорог (ширина колеи 1067 мм), кроме того при малом весе поездов (500 т поезд) напряжение в 1500 в более экономично, несмотря на то, что подстанции были запроектированы с мотор-генераторами, а не одноякорными преобразователями, хотя при выбранном напряжении последние были бы выгоднее.

В Японии при выборе системы тока необходимо было предвидеть питание от централей общепромышленного значения, т. е. трехфазным током, что явилось главнейшей причиной тому, чтобы отдать предпочтение постоянному току 1500 в. К тому же существовавшие дороги постоянного тока (окружная и городская дороги Токио постоянного тока 600 в, которые после войны решено было перевести на 1200 в, и электрифицированная в 1915 г. дорога Токио-Иокогама-Сакурагио постоянного тока 1200 в) дали настолько хорошие результаты, что не имело смысла отказываться от испробованной системы тока и переходить на другую.

Упомянем также, что на жел. дорогах Южной Африки и на дороге Paulista в Бразилии ² принят постоянный ток в 3000 в.

Вместе с перестройкой участков трехфазного тока Great Northern Ry на однофазно-постоянный ток трехфазный ток в проводах на крупных магистралях Америки больше не имеется, но сохранился на магистральных дорогах Италии, где он наиболее распространен. В настоящее время там производятся интересные опыты применения для жел. дорог трехфазного тока, частотой 50 периодов. Если удастся получить удовлетворительные результаты, то отпадет один из крупных недостатков этой системы, необходимость строить для жел. дорог особые централи и электропередачи с низким числом периодов. Однако все же крупный недостаток этой системы, а именно необходимость иметь два провода, остается. Несмотря на преимущество этой системы в смысле дешевых и выносливых моторов, допускающих простое рекуперирование энергии, трудно думать, что эта система сможет занять то же место, что постоянный или однофазный ток.

Стремление пользоваться для электрических жел. дорог энергией от централей общепромышленного значения, т. е. переменным током 50 пер/сек. заставило фирму Крупп вместе с электротехнической фирмой Garbe Lameyer Co в Аахене разработать новый тип электровозов, работающих однофазным током 50 периодов. Электровозы, построенные для шахт бурого угля, Lunawerke I. G. Fattenindustrie, в количестве двух штук, часовой мощностью 640 л. с., и маневровый электровоз, мощностью 450 л. с., оборудованы новым типом однофазного бесколлекторного мотора с промежуточным ротором с короткозамкнутой обмоткой. ³ Как известно, в статоре однофазного мотора образуется пульсирующее поле, которое может быть представлено как равнодействующее двух равных и вращающихся в противоположных направлениях магнитных полей. Назначение промежуточного ротора поглощать паразитное поле. Питание электровоза происходит под напряжением 3000 в. Напряжение может быть повышено, поскольку позволяет обмотка статора индукционных моторов.

¹ Railway Gazette 31/X 1919. „Railway Age 18/XI 1919.

² Railway Age, 23/IV 1920.

Electric Railway Journal. Апрель-июнь 1920.

³ Ein neuer kollektorloser Induktionsmotor für einphasiger Wechselstrom L. Schön. Kruppsche Monatsheft 1925, стр. 233.

Neuartiger Einphasen Wechselstrom-Bahnmotor L. Schön VDI № 38—1926, стр. 1259.

Der neue kollektorlose Einphasenmotor der Firma Krupp. Punga und Schön ETZ №№ 29 и 30, стр. 842 и 877.

НТЦ
ДНУЖТ

Возбуждение обмоток промежуточного ротора постоянным током позволяет работать с $\cos \varphi = 1$ и даже в зависимости от величины возбуждения—опережающим током.

Моторы позволяют рекуперировать энергию при езде под уклон.

Этой системе присущ недостаток, свойственный индукционным моторам: невозможность в широких размерах регулировать скорость, каковая зависит от частоты питаемого тока. На выполненных электровозах предвидено каскадное соединение моторов, чем достигается возможность иметь две скорости. С этим можно мириться в маневровой службе, но для поездной службы это является существенным недостатком. Другим недостатком системы является индуктивное влияние на провода слабых токов, присущее всякой однофазной системе.

Питание однофазной дороги от централей трехфазного тока создает неравномерную нагрузку фаз. Во избежание этого можно устанавливать вращающиеся мотор-генераторы трехфазно-однофазного тока. Однако при этом умяляются преимущества системы однофазного тока.

2. Электрические дороги смешанной системы

В Америке за последние годы была предпринята электрификация следующих крупных железнодорожных линий: Virginia Railway, система однофазно-трехфазного тока, и Detroit—Toledo and Ironton, New-York New-Haven and Hartford Railway и Great-Northern однофазно-постоянного тока и наконец Illinois Central постоянного тока 1500 в.

Особенный интерес представляет электрификация жел. дороги Виргинии (Virginia Railway). Эта дорога работает по перевозке угля из New-River и Pocahontas на восток, до Norfolk, следуя на протяжении около 550 км параллельно жел. дороге Norfolk and Western R. Участок дороги от Mullens до Roanok имеет тяжелый профиль, 20% подъемы, совпадающие часто с кривыми $R = 145$ м. Несмотря на то, что на этом участке в 1921 г. была проложена вторая колея, он все же оказался с меньшей пропускной способностью, чем остальная линия. Дабы этот участок не ограничивал провозной способности всей дороги, на нем были сосредоточены сначала (в 1919 г.) самые мощные в мире паровозы Маллета типа 2—10—10—2 (по американскому обозначению), весом 407 т (с тендером), силой тяги 67 т (при трогании 80 т). Вес поезда был доведен до 5000 т, при чем на 20% подъеме прицеплялся к голове поезда паровоз 2—8—8—2 и два подталкивающие типа 2—10—10—2. Скорость в подъеме достигала 11—12 км/час. После подъема, начиная со станции Clark's Gap, вес поезда увеличивался до 7700 т, и поезд следовал этим составом до Norfolk.

Таким образом в 1922 г. дорога перевезла до 7 млн. т угля, это было однако недостаточно; требовалась провозная способность до 11,5 млн. т в год. Так как от паровой тяги было взято уже все, решено было увеличить пропускную способность участка Mullens-Roanok протяжением 215 км путем электрификации его, увеличивая при этом не столько вес поездов, сколько их скорость. С этой целью и был принят электровоз, состоящий из трех единиц, общей часовой мощностью 6210 л. с., при скорости 22,6 км/час, силой тяги 61,2 т; при скорости 45,5 км/час электровоз развивал силу тяги 41,4 т и мощность 7050 л. с. При трогании с места сила тяги достигала 126 т (нагрузка на ось 35 т, сцепной вес 420 т). На подъеме два электровоза—один в голове, другой в хвосте—везут поезд весом 5400 т со скоростью 22,5 км/час. Мощность обоих электровозов при езде в подъем—12000 л. с., а при трогании и разгоне поезда достигает до 20000 л. с. Само собой разумеется, при такой работе дороги требовалось высокое напряжение в контактном проводе; так как при постоянном токе

такое напряжение исключалось, в то же время трехфазный ток был нежелателен, благодаря необходимости иметь весьма сложную контактную сеть с двумя проводами под каждый путь, принят был однофазный ток в контактном проводе напряжением 11 000 в с последующим переходом на 22 000 в; однако на электровозах однофазный ток трансформировался в трехфазный. Электровозы однофазно-трехфазного тока имеют крупный недостаток. Это - одна и та же скорость при различных нагрузках, если не идти на такие усложнения, как изменение числа полюсов или применение каскадных преобразователей. Кроме того коэффициент полезного действия таких электровозов низок.

Ниже приводим сравнительную таблицу I коэф. п. д. электровозов однофазно-трехфазных и постоянного тока высокого напряжения, заимствованную из статьи А. Carnier „L'électrification de chemins de fer français et l'expérience américaine“ Technique Modern 1921, стр. 167.

ТАБЛИЦА I

Система тока	Однофазно-трехфазный		Постоянный высокого напряжения	
	на площадке	на подъеме	на площадке	на подъеме
Мотор с зубчатой передачей	86,0	89,3	86,0	89,3
Вентиляторы	95,8	97,8	95,9	97,9
Пусковые реостаты	98,0	98,6	99,4	99,2
Преобразование фаз	94,7	96,3	—	—
Трансформаторы	97,0	98,0	—	—
Поправка на неровность диаметра ведущих колес	98,0	98,0	—	—
Поправка на вес электровоза (по сравнению с электровозом постоянного тока)	97,0	98,0	—	—
Общий коэф. п. д.	70,5%	75,7%	82,0%	86,6%

Поправка на неровность диаметра ведущих колес предвидит потери в дополнительных сопротивлениях, служащих для выравнивания нагрузки моторов и обеспечивающих одинаковую периферическую скорость при неодинаковом диаметре движущих колес.

При электрификации участка, прилегающего к заводам Форда, дорожную Detroit, Toledo and Ironton Ry с целью понижения стоимости перевозок были приняты тяжелые поезда и мощность электровоза в 5 000 л. с. при скорости 27,5 км/час. Питание электровоза принято однофазным током 11 000 в; в будущем предвиден переход на 22 000 в. Так как трехфазная система тока на электровозе имеет крупный недостаток, не позволяя снижать скорость при увеличении силы тяги, благодаря чему неизбежны большие пики в нагрузке централи, то при электрификации дороги Detroit, Toledo and Ironton Ry был принят постоянный ток в тяговых моторах; для этого на электровозе установлен мотор-генератор с переменным напряжением постоянного тока, получаемым путем изменения возбуждения генератора. Эта система позволяет иметь целую гамму скоростей, а также рекуперировать энергию при различных скоростях.

НТ
ДНУЖТ

Большим преимуществом системы является также отсутствие пусковых реостатов и возможность регулирования мощности.

При электрификации перевала Cascade Range ж. д. Great Northern, протяжением около 91 км (Skykomish—Leavenworth), с подъемами в обоих направлениях в 22%, была принята система однофазно-постоянного тока. Для того чтобы можно было использовать железнодорожную централь трехфазного тока 25 периодов, построенную при электрификации в 1909 г. для туннеля Cascade Tunnel, решено было питание контактной сети производить однофазным током 25 периодов. Принятая частота тока несколько не усложняла питания по сравнению с питанием от сети трехфазного тока 60 периодов общепромышленного значения, так как все равно и в случае частоты 60 периодов в контактной сети считалась неизбежной установка вращающихся машин во избежание неравномерной нагрузки фаз. В то же время в случае частоты 60 периодов были опасения слишком высокой самоиндукции путевых рельсов, служащих в качестве обратного проводника, что потребовало бы укладки обратных фидеров. Сохранение принятой при электрификации в 1909 г. системы трехфазного тока было нежелательно, так как при этой системе благодаря невозможности регулирования скорости при трогании с места поездов получались высокие пиковые нагрузки и, кроме того, прокладка двух проводов в контактной линии была крайне неудобна и затруднительна, в особенности в туннелях и защищенных от снега галлереях, в большом количестве сосредоточенных на электрифицируемом участке. После электрификации на участке обращаются товарные поезда весом 2500 т, при чем при двойной тяге скорость в подъеме 22% достигает 25 км/час. Сила тяги при трогании с места достигает 83 т, нормальная же сила тяги при разгоне поезда—62 т.

Жел. дорога New-York, New-Haven and Hartford, принявшая однофазный ток в 25 периодов, производит в последние годы (с 1926) опыты с электровозами однофазно-постоянного тока. Кроме линий Illinois Central Railway американцы заметно стали на сторону однофазного тока в проводах и постоянного или трехфазного в моторах. Это однако вовсе не указывает на то, что так широко примененная до 1920 г. система постоянного тока потерпела поражение; скорее наоборот, система однофазного тока полностью перестала удовлетворять американцев; все усовершенствования в постройке коллекторных моторов однофазного тока все же далеко не смогли еще дать мотора, по своим качествам близко стоящего к моторам постоянного или трехфазного тока; однако, с другой стороны, особенно тяжелые поезда, требующие для своего передвижения мощности 8 000 л. с. на Norfolk and Western, 8 600 л. с. на Great-Northern и 12 000 л. с. на Virginia Railway, потребовали передачи по проводам столь огромной мощности, что отказаться от однофазного тока высокого напряжения в проводе (в настоящее время 11 000 в и предполагается перейти на 22 000 в) не было возможности. Вот каким образом практика американских жел. дорог со столь тяжелыми поездами подошла наконец к типу жел. дорог смешанной системы однофазно-постоянного и однофазно-трехфазного тока. Очень возможно, что эта система и окажется наконец, после долгих исканий, более или менее стандартной, по крайней мере, для дорог характера сверхмагистральных¹. Совсем иначе обстоит дело в Европе с ее легкими поездами; здесь пожалуй наиболее правильный выбор—это в зависимости от всех поездов и их частоты постоянный ток 1 500 в или 3 000 в.

¹ Однако осложнения и связанное с этим удорожание электровозов при смешанной системе должны быть достаточно обоснованными; не следует забывать, что Пенсильванские жел. дороги после опытов с системой однофазно-трехфазной перешли на чисто однофазную.

3. Преимущества и недостатки электрических дорог различных систем

Остановимся подробнее на преимуществах и недостатках различных систем тока, применяемых для электрификации магистральных дорог.

Дороги переменного тока имеют самым крупным недостатком пертурбации, вызываемые в телеграфных и телефонных проводах; пертурбации настолько сильны, что для возможности пользоваться этими линиями приходится либо относить их на далекое расстояние от железнодорожного полотна, либо заключать их кабелем под землю (Пенсильванские жел. дор).

При нормальной работе электрической дороги работа линий слабых токов в подземном кабеле протекает вполне удовлетворительно, но при коротких замыканиях в контактной сети самопишущие аппараты, установленные у кабеля, показывают сильные пертурбации в телеграфных и телефонных линиях. Таким образом влияние однофазной линии на телеграфные и телефонные провода продолжает оставаться крупным недостатком электрических дорог этой системы.

Для того, чтобы ослабить вредное влияние переменного тока на провода слабых токов, в Америке на дороге New-York—New Haven and Hartford, были установлены специальные автотрансформаторы-компенсаторы, которые должны были служить одновременно и для уменьшения падения напряжения и для уменьшения вредного индуктивного влияния на соседние провода низкого напряжения.

Увеличение числа компенсаторов считается американскими специалистами таким образом наиболее рациональной мерой для уменьшения вредного влияния однофазной линии.

Другим недостатком дорог однофазного тока являются затруднения при трогании с места тяжелых поездов, вытекающие из того, что моторы однофазного тока не могут продолжительное время находиться не вращаясь под напряжением.

Современный тяговый мотор однофазного тока представляет собою тот же компенсированный мотор постоянного тока с полюсами, набранными из отдельных листов железа с большим числом полюсов и параллельных цепей якоря. Работа обоих моторов различна лишь при очень малом числе оборотов и при состоянии покоя моторов, а именно — у моторов однофазного тока в это время образуются токи короткого замыкания под щетками, которые сильно нагревают коллектор и щетки и исключают возможность продолжительной работы при малых скоростях.

Так как наибольшая сила тяги обычно требуется при разгоне и имеет место при малых скоростях, то и перегрузка моторов требуется главным образом в этом случае. Однако как раз моторы однофазного тока неудовлетворительны при очень малых скоростях; если при известном риске мы можем допустить перегрузку мотора постоянного тока в 100%, то для мотора однофазного тока нам придется допустить лишь 40%.

Таким образом тяговые моторы однофазного тока как в отношении работы, веса их, так и в отношении перегрузок уступают моторам постоянного тока.

Дорогам постоянного тока приписывают часто как крупный недостаток невозможность иметь гамму скоростей без пользования реостатами, понижающими коэффициент п. д., в то время как однофазный ток в этом отношении имеет существенное преимущество. Теоретически это замечание совершенно справедливо, практически же, увеличивая число тяговых моторов и выбирая ряд возможных переключений моторов, а также широко пользуясь шунтированием магнитного поля, мы тем самым можем получить ряд экономических скоростей без пользования реостатами. Число таких скоростей вполне достаточно для эксплуатации дороги и позволяет

НТ
ДНУЖТ

потери в реостатах, имеющие место лишь в период трогания с места, уменьшить до минимума.

Во всяком случае не следует забывать, что в отношении изменения скоростей электровозы постоянного тока находятся в значительно лучших условиях, чем электровозы трехфазного тока, где несколько скоростей можно получить только путем значительного усложнения управления электровозом.

Одним из самых существенных преимуществ дорог постоянного тока является возможность пользования для жел. дорог центрами и электропередачами общепромышленного значения трехфазного тока нормальной частоты (50—60 периодов), тогда как при однофазной системе необходимо строить специальные центры однофазного тока или во всяком случае устанавливать у турбин по два альтернатора: один, дающий ток промышленной частоты, другой—ток в $16\frac{2}{3}$ периодов, что позволяет несколько улучшить использование силовой установки. Однако и в этом случае до сего времени является необходимым иметь особые электропередачи для питания жел. дорог. Если для жел. дорог пользоваться промышленным трехфазным током, частотой в 50 периодов, то на подстанциях придется устанавливать дорого стоящие вращающиеся преобразователи частоты, при этом отпадет одно из главных преимуществ однофазного тока, в смысле простоты трансформирования его.

Возможность пользования для питания жел. дорог энергией от центральных общепромышленного значения позволяет снизить первоначальные затраты по электрификации, улучшить коэффициент использования центральных и, как мы видим, явилась одной из главнейших причин выбора постоянного тока дорогами, начавшими широкую электрификацию к моменту развития крупных центральных.

Важным преимуществом дорог постоянного тока является также и рекуперация энергии. Правда, и на линиях однофазных дорог была применена рекуперация. Укажем, как пример, швейцарские жел. дороги (С.-Готардская ж. д.): на электровозах, построенных на заводе Эрликон, применяется рекуперация по принципу Бен-Эшенбурга; во время работы тяговых моторов на рекуперацию употребляется шунтовое возбуждение моторов с включенной реакционной катушкой в главную цепь моторов¹.

При трехфазной системе рекуперация производится без всяких затруднений, так как асинхронный мотор, как известно, при числе оборотов выше синхронизма становится генератором тока, однако в этом случае рекуперация происходит при неизменной скорости несколько выше скорости синхронизма. Таким образом в случае электровозов с моторами трехфазного тока исключается возможность нагнать опоздание на спуске, так как скорость при рекуперации не может быть изменена, а с другой стороны, если надо уменьшить скорость спуска поезда, то необходимо отказаться от рекуперации и применить механическое торможение.

Совсем иначе обстоит дело при рекуперации на дорогах постоянного тока, где спуск может быть произведен при различных скоростях, варьирующих по желанию в широких пределах. Далее при переменном токе рекуперация происходит при низком $\cos \varphi$, тогда как при постоянном токе вся рекуперированная энергия действительно может быть использована или непосредственно другим поездом с контактного провода, или передана в питающую сеть трехфазного тока. Правда, при моторах трехфазного тока на электровозах рекуперация может быть достигнута без существенных усложнений в конструкции электровоза и без всяких сложных манипуляций, чего нельзя сказать в отношении электровозов постоянного тока.

¹ См. Génie Civil. 2/XI 1919 г.

НТБ
ДНУЖТ

К недостаткам системы постоянного тока относят высокую стоимость подстанции с вращающимися преобразователями (однокорные преобразователи при напряжении до 1 500 в и мотор-генераторы при более высоком напряжении). Коэффициент п. д. таких подстанций также значительно ниже, чем в случае трансформаторных подстанций переменного тока. В последнее время однако для дорог постоянного тока стали широко применяться ртутные выпрямители, дающие тем более высокий коэффициент п. д., чем выше напряжение. На жел. дорогах в настоящее время установлены ртутные выпрямители для получения постоянного тока 4 000 в; работа их не оставляет желать ничего лучшего. На некоторых установках со ртутными выпрямителями некоторая волнообразность тока оказывала вредное влияние на провода слабых токов, однако устройство фильтров в виде параллельных цепей с включением последовательно индукционных катушек и конденсаторов позволяет с небольшими затратами освободиться от гармоник высокой частоты, особенно вредных для телефонных сетей, почему в настоящее время этот вопрос уже не представляет больших затруднений.

4. Некоторые замечания к выбору системы тока

При выборе системы тока для электрификации жел. дорог следует подвергать всестороннему изучению вопросы железнодорожного характера, а также вопросы о снабжении дороги электрической энергией, распределении энергии от централи до подстанций, от подстанций до электровоза, особенности электровозов различных систем тока в отношении характеристики их и соответствия с требованиями железнодорожной эксплуатации.

При определении стоимости сооружений при различных системах тока не следует упускать из виду и эксплуатационные расходы при различных системах тока, так как первоначальные капитальные вложения и процентные отчисления с них, с одной стороны, и эксплуатационные расходы, вызванные электрификацией, с другой стороны, только в совокупности смогут дать понятие о большей или меньшей выгоде той или иной системы.

Ниже приведено сравнение коэффициента п. д. от централи до обода колес электровоза для различных систем электрических дорог, заимствованное из статьи: A. Carnier „L'electrification de chemins de fer français et l'experience americain“, Technique Modern, 1921, стр. 168.

ТАБЛИЦА II

Род тока первичный. Частота. Род тока в контакти. пров. Передача	Трехфазный 25 период. Пост. ток. Зубч. передача.	Трехфазный 25 период. Пост. ток. Непоср. привод.	Трехфазный 25 период. Пост. ток. Зубч. передача.	Трехфазный 50 период. Однофазн. Зубч. передача.	Однофазн. 25 период. Однофазн. Зубч. передача.	Однофазный 25 период. Однофазн. Зубч. передача.	Трехфазный 50 период. Однофазн. Зубч. передача.	Трехфазный 50 период. Пост. ток. Зубч. передача.	Трехфазный 50 период. Пост. ток. Непосредств.	Трехфазный 25 период. Трехфазный Зубч. передача.	Трехфазный 50 период. Трехфазный Зубч. передача.
Генераторы.	93	93	93	93	89	89	93	93	93	92	93
Повыс. трансформ. автотрансформаторы	97	97	97	97	96	89	97	97	97	97	97
Электрпередача	95	95	95	95	95	97	95	95	95	95	95
Пониз. трансформ.	97	97	97	97	96	97	97	97	97	96	97

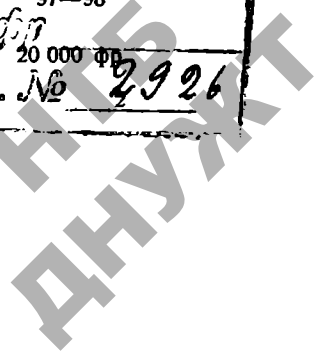
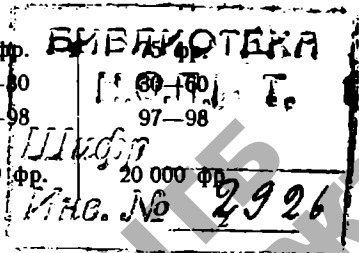
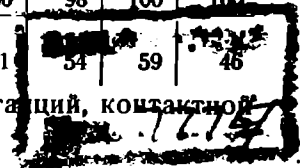
Род тока первичный. Частота. Род тока в контактн. пров. Передача	Трехфазный 25 пе-риод. Пост. ток. Зубч. пере дача	Трехфазный 25 пе-риод. Пост. ток. Непоср. привод	Трехфазный 25 пе-риод. Пост. ток. Зубч. передача	Трехфазный 50 пе-риод. Однофазн. Зубч. передача	Однофазный 25 пе-риод. Однофазн. Зубч. передача	Однофазный 25 пе-риод. Однофазн. Зубч. передача	Однофазный 50 пе-риод. Однофазн. Зубч. передача	Трехфазный 50 пе-риод. Пост. ток. Зубч. передача	Трехфазный 50 пе-риод. Пост. ток. Непосредств.	Трехфазный 25 пе-риод. Трехфазный. Зубч. передача	Трехфазный 50 пе-риод. Трехфазный. Зубч. передача
	Преобраз. частоты.	97	97	97	84	96	97	84	97	97	96
Мотор-генераторы.	97	97	85	84	96	97	84	85	85	96	85
Однояк. преобраз.	91	91	85	84	96	97	84	85	85	96	85
Повыс. трансформ. автотрансформаторы	91	91	85	84	96	97	84	85	85	96	97
Линия передачи между п/с	91	91	85	97	96	97	97	85	85	96	97
Пониж. трансформ.	91	91	85	97	96	97	97	85	85	96	96
Контакт. провод...	90	90	90	97	96	97	97	85	85	96	96
Трансф. на электров.	90	90	90	96	97	97	97	90	90	95	95
Преобразов. фаз ..	90	90	90	97	96	96	96	90	90	96	96
Управление, вент. и пр.	94	94	94	95	96	96	96	94	94	95	95
Моторы	91	93	91	91	88	88	88	91	93	91	91
Поправка на не-одинаковый диам. колес.	95	93	95	95	95	95	95	95	93	94	95
Поправка веса	100	98	100	98	98	98	98	100	98	100	100
Общ. коэф. п. д. в %.	55	58	51	43	57	59	47	51	54	59	46

На таблице приведены стоимости сооружения подстанций, контактной сети и электровозов при различных системах дорог.

ТАБЛИЦА III

Система дорог	Постоянный ток		Однофазный ток 11 000 в	Трехфазный ток 11 000 в
	600 в	1 200 в		
А. Подвижной состав				
Полный вес электровоза (в тоннах)	112	112	144	144
Стоимость его	265 000 фр.	285 000 фр.	385 000 фр.	350 000 фр.
Коэф. п. д. от провода до обода колес (в %)	85	85	79	81
Стоимость содержания и ремонт отнесен. на 1 лок/км.	0,25	0,25	0,50	0,31
Б. Подстанции				
Стоимость за уст. кв.	160 фр.	170 фр.	70 фр.	70 фр.
Коэффициент использования .	20—40	40—70	40—80	40—80
Ср. коэф. полезн. действия .	78—88	87—93	97—98	97—98
Расходы по содержанию и ремонту	40 000 фр.	40 000 фр.	20 000 фр.	20 000 фр.

В. Медель



Система дорог	Постоянный ток		Однофазный ток 11 000 в	Трехфазный ток 11 0 0 в
	600 в	1 200 в		

В. Контактная сеть

	Третий рельс		Воздушный провод	
	Стоимость за 1 км.....	30 а 45 000 фр.	35 а 50 000 фр.	20 а 40 000 фр.
Кэф. п. д. (в %).....	88—92	90—96	93—97	93—97
Расходы по содержанию и ремонту	300 а 500 фр.	400 а 600 фр.	500 а 1 000 фр.	500 а 1 000 фр.

Таблица заимствована из упомянутой выше статьи А. Carnier и представляет интерес в том смысле, что позволяет судить об относительной величине стоимости электрооборудования дорог при различных системах тока.

С экономической стороны все системы дорог более или менее одинаковы и на первый взгляд преимущество как-будто даже на стороне однофазного тока, стоимость первоначального оборудования при котором как-будто дешевле; в действительности однако это не так; при определении стоимости расходов по электрификации следует считать не только так называемые прямые расходы, т. е. расходы по оборудованию подстанций, контактной сети и по приобретению электровозного парка, но и расходы по всякому дополнительному оборудованию, вызванному электрификацией, как-то: меры, принимаемые для ослабления вредного влияния на провода слабых токов, установка, имеющая целью улучшить $\cos \varphi$, специальная электропередача и централи однофазного тока или преобразователи при присоединении питающей сети к сети общепромышленного распределения энергии. Если учесть все эти расходы, их амортизацию, а равно эксплуатационные расходы по содержанию и ремонту перечисленного оборудования, система однофазного тока весьма вероятно окажется уже значительно менее выгодной, чем система постоянного тока.

5. Выбор напряжения

В то время как напряжение постоянного тока в 600 в сделалось стандартным для трамваев, а 1 200—1 500 в для междугородных и пригородных дорог, напряжение постоянного тока для магистральных дорог колеблется в широких пределах.

Дороги постоянного тока с напряжением в 1 200 в и выше стали быстро расти за последнее время, особенно в Америке. Первая дорога в 1 200 в относится к 1907 г. В 1916 г. насчитывалось уже 38 дорог общим протяжением 3 600 км. Большое количество дорог имеется в Америке напряжением 1 500 в, как например Lake Frie and Northern Ry (Ontario); Salt Lake and Utah Ry; Southern Pacific (Portland, Oregon) и др. Из дорог в 2 400 в мы уже упоминали: Butte Anaconda and Pacific Ry, далее: Montana Ganadian Northern Ry, Michigan Ry. Напряжение в 3 000 в было принято впервые для электрификации Ghicago Milwaukee and St-Paul Ry, одной из крупнейших из числа электрифицированных магистральных дорог.

Напряжение в 3 000 в можно считать максимальным, примененным для электрической тяги на дорогах большого протяжения. В 1905 г. Обществом Вестингауз была оборудована для напряжения в 5 000 в дорога Жаскон-Grasse-Lake—Wolf Lake (Michigan) протяжением 19 км. Этот опыт показал, что указанное напряжение технически возможно, не предвещая однако

НТ
ДНУЖТ

вопроса о целесообразности его с экономической точки зрения. Исправная работа в течение ряда лет электрифицированных участков дороги Chicago—Milwaukee and St-Paul как будто указывает на то, что напряжение в 3000 в может быть рекомендовано для магистральных дорог; оно фактически и принято для дорог Бразилии, Мексики, Чили, Сев. Испании и у нас на Сурамском перевале; однако на ряду с ним—стандартным напряжением для магистральных дорог является и напряжение в 1500 в. Это напряжение было принято для французских жел. дорог после детального изучения вопроса Office central d'Études de Matériel des chemins de fer. В Японии и Голландии принято также напряжение в 1500 в. В Англии производились опыты с постоянным током в 3600 в на участке Bury-Holcumb Brook (Lancashire); однако после этих опытов напряжение было понижено до 1200 в. За последние годы в Италии построена линия Torino—Lanzo протяжением в 42,6 км напряжения 4000 в постоянного тока.

Повышенное напряжение имеет свои преимущества и недостатки; при переходе на повышенное напряжение стоимость подвижного состава и подстанций повышается. Вместо однокорных преобразователей, работающих на дорогах с напряжением в 1500 в, приходится устанавливать на подстанциях мотор-генераторы, которые помимо более высокой стоимости имеют коэф. п. д. значительно ниже, чем у однокорных преобразователей; при ртутных выпрямителях, где большую сложность вызывает не напряжение, а сила тока, более выгодным является повышенное напряжение, при котором коэф. п. д. самого выпрямителя выше; контактное оборудование дороги с переходом на повышенное напряжение обходится значительно дешевле.

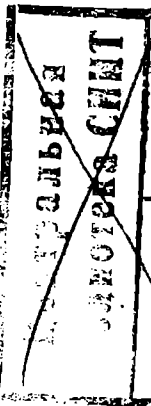
Напряжение в 1500 в позволяет применить третий рельс, что имеет свои преимущества в смысле простоты оборудования и содержания в исправности, однако применить третий рельс при более высоком напряжении чем 1500 в не представляется возможным благодаря слишком высоким перенапряжениям.

Постройка моторов напряжением на коллекторе в 1500 в и с изоляцией на 3000 в для электровозов, при напряжении в контактом проводе в 3000 в в настоящее время не представляет затруднений; однако для средних мощностей электровозы в 3000 в получаются дороже, чем при напряжении в 1500 в; для больших мощностей при высокой стоимости меди стоимость электровозов для обоих напряжений получается почти одинаковой. При электрификации жел. дорог Ch. M. St-Paul заметно стремление заводов, строивших электровозы, увеличивать число моторов, включенных последовательно, что влечет за собою понижение напряжения на коллекторе; однако последнее вовсе не является целью, которую преследовали заводы при увеличении числа моторов электровоза,—увеличение числа моторов позволяет иметь большее число комбинаций различных соединений моторов, а следовательно и позволяет иметь большое число скоростей, при которых электровоз может работать без сопротивлений.

В случае, если предвидится на дороге работа автомоторных вагонов, то и здесь хотя, как показали опыты на жел. дороге Bury Holcumb в Англии, высокое напряжение технически вполне возможно, однако экономически является мало выгодным. Электрические поезда с моторными вагонами требуют для своего управления аппаратуру, составляющую достаточную долю стоимости всего электрооборудования. Стоимость этой аппаратуры особенно быстро растет с повышением напряжения, почему при автомоторной тяге выгоднее применять более низкое напряжение.

Произведем экономическое сравнение двух наиболее распространенных напряжений в 1500 и 3000 в; первое напряжение уже принято у нас для пригородных дорог и напряжение в 3000 в на магистральных дорогах (Сурамский перевал).

14822.



НТБ
ДНУЖТ

Отметим, что переход дальних поездов с 3000 в на пригородные участки 1500 в легко может быть осуществим простым переключением двигателей.

Для того чтобы выяснить, какое из напряжений является более выгодным для магистральных дорог, необходимо определить, каким образом влияет изменение напряжения на себестоимость перевозок, хотя бы в части, зависящей от напряжения в питательных проводах.

Влияние на себестоимость перевозок различно в зависимости от профиля дороги, мощности электровозов, расстояния между поездами и густоты движения. Подсчеты будем производить для некоторого профиля, характерного для большинства наших наиболее загруженных магистральных дорог, где прежде всего можно ожидать введения электрической тяги. Наибольший фиктивный подъем будем принимать в 9%. Наибольшая сила тяги электровоза ограничена прочностью вагонной стяжки, т. е. 20 т, что дает предельный состав поезда около 1600 т. Необходимая мощность электровоза найдена в 2000 в, принимая наибольшую скорость на предельном подъеме в 30 км/час.

Минимальное расстояние между поездами в период интенсивного движения играет огромную роль при выборе расстояния между подстанциями. Чем больше это расстояние, тем дальше друг от друга могут быть расположены подстанции без чрезмерного повышения стоимости рабочей сети. Необходимость иметь возможно большее расстояние между поездами заставляет при принятом весе поезда и заданной густоте движения поддерживать строго равномерным расстояние между поездами. Это является основным требованием электрической тяги, вытекающим из самого характера этого вида тяги. Действительно паровоз и тепловоз являются и генератором, и потребителем энергии, почему их положение на линии ничем не связано; электровозу же приходится пользоваться энергией от подстанций, что и вызывает необходимость распределять поезда и в отношении подстанций таким образом, чтобы питание их было возможно более равномерным по всей дороге. Учитывая, насколько сильное влияние на себестоимость перевозок оказывает наименьшее расстояние между поездами, все сравнительные подсчеты велись для различных расстояний между поездами от 5—40 км и для густоты движения (отношение совершенных $\frac{т}{км}$ (к эксплуатационной длине дороги) от 5 до 25 $\frac{т/км}{км}$).

Как указывалось выше, расчеты себестоимости перевозок для сравнения выгоды того или иного напряжения достаточно вести в отношении той части себестоимости, которая зависит от напряжения; сюда следует отнести следующие расходы:

- а) по амортизации и процентным отчислениям на капитальные затраты на подстанции, контактное оборудование и электровозы;
- б) по ремонту электровозов;
- в) по содержанию и ремонту подстанций и контактного оборудования;
- г) на потери энергии в подстанциях и рабочей сети.

При определении капитальных затрат на подстанции и контактную сеть необходимо предварительно выяснить наивыгоднейшее расстояние между подстанциями. Оно зависит от относительной стоимости подстанций и контактного оборудования; чем выше стоимость подстанций и их обслуживания, тем на большее расстояние следует отставлять подстанции, имея однако в виду, чтобы наибольшее падение напряжения не выходило из пределов допустимого по техническим соображениям. Для подсчетов наибольшее падение напряжения при езде в подъем было принято в 15%. Построение кривых расходов в зависимости от расстояния между подстанциями позволяет найти то наивыгоднейшее расстояние, при котором имеет место минимум расходов.

НТБ
ДНУЖТ

Таковыми расходами, зависящими от расстояния между подстанциями, являются расходы по содержанию и ремонту подстанций, контактного оборудования, а также по амортизации и процентным отчислениям на их капитальную стоимость. В случае напряжения в 1500 в, оборудование подстанций предположено одноякорными преобразователями, а при 3000 в мотор-генераторами, состоящими из синхронного мотора и двух генераторов по 1500 в, соединенных последовательно. Цены за один установленный киловатт мощности одноякорных преобразователей приняты были в 120, 105 и 90 руб. при единичной мощности 1000, 1500 и 2000 в. Стоимость мотор-генераторов принята на 30—35% выше.

Стоимость зданий подстанции подсчитана особо.

Подвод тока к электровозу предусмотрен воздушным проводом; стоимость контактного оборудования в этом случае на 1 км двойного пути может быть принята равной 18—19 000 руб. при сечении проводов в 100 мм² и удорожании на 1 км пути при увеличении сечения на 100 мм² на 2000 руб.

Стоимость ремонта машинного оборудования подстанций принята при 3000 в равной 2% от первоначальной стоимости,¹ а при напряжении в 1500 в—1,5%. Стоимость ежегодного ремонта зданий считаем равной 0,75% от первоначальной стоимости. Расходы по содержанию и ремонту контактного оборудования, согласно данным, дороги Chicago Milwaukee and St-Paul, принимаем в 2—3% первоначальной стоимости оборудования. Средний процент амортизации принимаем для подстанций 2,35%, а для контактного оборудования 4,28%, исходя из 6% годовых и считая срок службы машин 20 лет, зданий 50 лет, проводов 12 лет, железных мачт 25 лет. Процентные отчисления на капитал приняты в 6%. Определенные, в зависимости от расстояния между подстанциями, отдельно на 1 км дороги, все расходы по подстанциям и по контактному оборудованию приведены на кривых на рис. 1 и 2 для напряжения в 1500 и 3000 в. На этих рисунках кривые А обозначают амортизацию и процентные отчисления на капитальные затраты на контактное оборудование, содержание и ремонт его, В—те же расходы по подстанциям и С—сумму расходов А и В; цифры на кривых обозначают расстояние между поездами.

Суммарные кривые расходов (сплошные) дают возможность по минимуму расходов установить наивыгоднейшее расстояние между подстанциями, которое, как и следовало ожидать, зависит в сильной степени от расстояния между поездами. В действительности, по техническим соображениям, приходится располагать подстанции, отступая от наивыгоднейшего расстояния между ними; поэтому интересно знать, каким образом эти отступления влияют на эксплуатационные расходы по подстанциям и сети. Кривые рис. 1 и 2 указывают, что чем больше расстояние между поездами, тем в более широких пределах может изменяться расстояние между подстанциями, не вызывая заметного увеличения расходов; в большей мере это относится к напряжению в 3000 в, что является существенным преимуществом последнего напряжения.

Задавшись наивыгоднейшим расстоянием между подстанциями, определим себестоимость перевозок (на 1000 т/км) в части, зависящей от напряжения рабочего тока, для расстояния между поездами от 5 до 40 км для напряжений в 1500 и 3000 в в функции от густоты движения по дороге. К рассмотренным выше расходам по контактному оборудованию и подстанциям придется прибавить расходы по ремонту электровозов, капитализации и амортизации их, а также по потерям энергии на подстанциях, так как эти расходы зависят от принятого напряжения.

¹ M. Japiot, A. Ferrand. La traction électrique aux Etats Unis.

НТБ
ДНУЖТ

При определении капитальных затрат на приобретение электровозов считаем 1 т веса при напряжении в 1500 в—1500 руб. и при напряжении в 3000 в—1600 руб. Стоимость ремонта на 1 т/км принимаем равной 0,100 и 0,125 руб., соответственно для напряжений в 1500 и 3000 в.

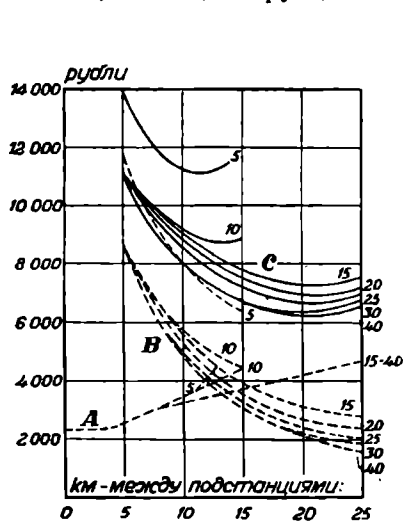


Рис. 1.

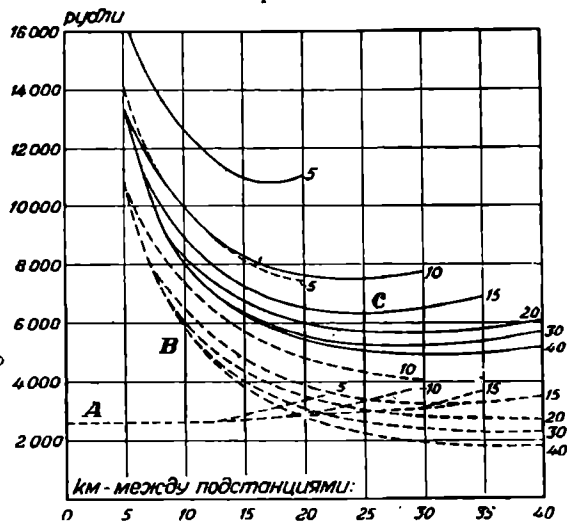


Рис. 2.

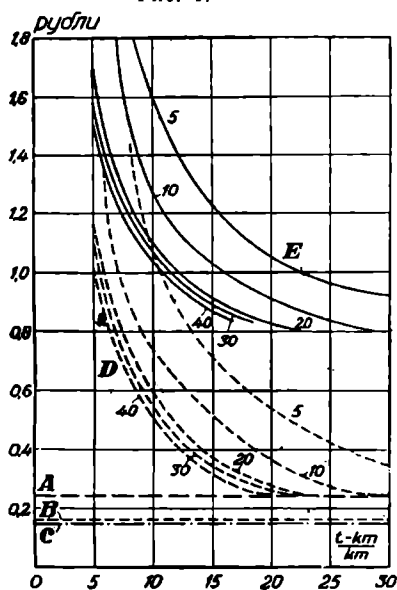


Рис. 3.

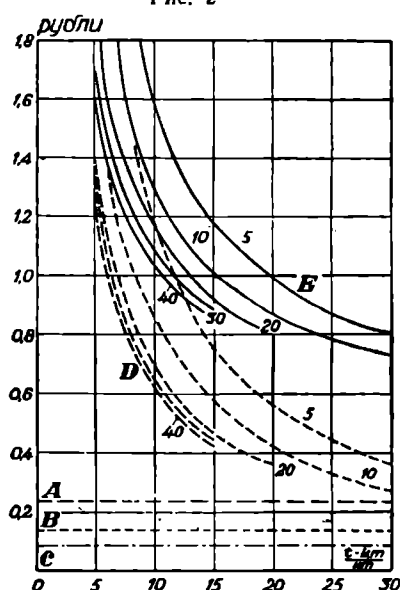


Рис. 4.

На рисунках: 1 и 2 А—кривые обозначают амортизацию и процент отчисления на стоимость контактного оборудования В—на подстанции и С—сумми расходов А и В. Цифры на кривых обозначают расстояние между поездками. На рисунках: 3 и 4 А—амортизация и процент отчисления на стоимость электровозов, В—стоимость ремонта их, С—потери на подстанциях, D—все расходы по контактному оборудованию и подстанциям, E—сумма всех перечисленных расходов. Цифры на кривых обозначают расстояние между поездками.

Эти цифры близки к средним данным дорог постоянного тока¹. При определении энергии, потерянной на подстанциях и в проводах, принимаем потери подстанций, оборудованных одноякорными преобразователями, в 7,3%, а моторгенераторами в 17,3%, потери же в сети—в 8%, что при

¹ The Railway Gaz. 19/III 1925 г. Revue Gen. des chemins de fer. Август 1925.

НТБ
ДНУЖТ

стоимости энергии $2\frac{1}{2}$ коп. за 1 квт/час составляет 9,25 и 15,3 коп. на 1 т/км , считая полезный расход энергии для наших магистральных дорог 24 вт/час на км . Все перечисленные расходы при напряжении в 1500 и 3000 в на 1000 т/км даны на рис. 3 и 4.

Сравнивая суммарные расходы при 1500 или 3000 в, мы получим следующие результаты (рис. 5). При густом движении, выражающемся в $10-30 \cdot 10^6 \text{ т/км}$ на 1 км эксплуатационной длины дороги; и при большой частоте поездов (расстояние между поездами 5-10 км), преимущество лежит на стороне напряжения в 1500 в; при меньшей густоте движения и при возможности отправлять поезда на большем расстоянии друг от друга (15 км и более), следует отдать предпочтение напряжению в 3000 в. К этим выводам пришли и французские жел. дороги, приняв для магистральных дорог с густым движением напряжение в 1500 в и лишь для некоторых веток со слабым движением и большим расстоянием между поездами 3000 в.¹ Параллельные подсчеты с поездами большого веса показывают, что увеличение веса поездов при той же густоте движения увеличивает пределы, при которых более выгодным является повышенное напряжение.

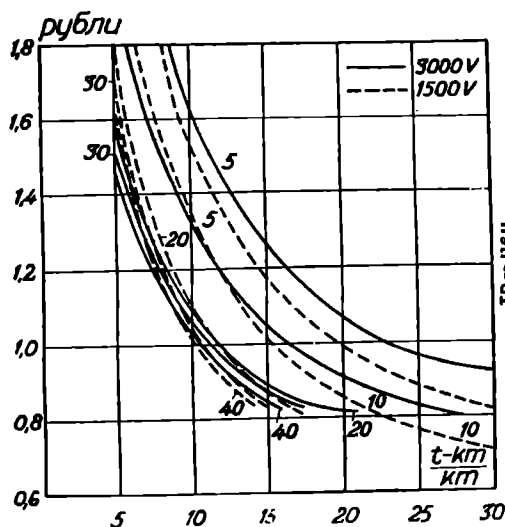


Рис. 5.

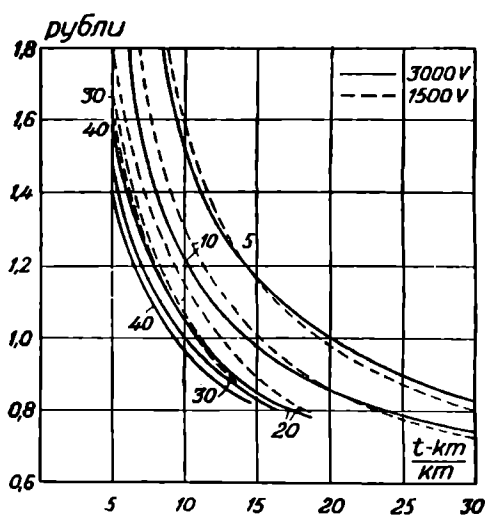


Рис. 6.

При переходе к ртутным выпрямителям условия сильно меняются, так как стоимость первоначального оборудования подстанций и потери на подстанциях заметно понижаются. Применение ртутных выпрямителей дает особенный эффект при повышенном напряжении, при котором амортизация подстанций и потери на подстанциях составляют значительную долю себестоимости перевозок. При опытах на франц. южных ж. д.¹ коэф. п. д. ртутных выпрямителей при напряжении 1500 в был найден:

нагрузка	$\frac{6}{4}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{4}$
коэф. п. д.	96,9%	97,2%	97,4%	97%

При напряжении в 3000 в коэф. п. д. выше на 0,5-1%. Исходя из приведенных цифр и принимая стоимость 1 квт установленной на подстанции мощности в 110 руб., была подсчитана себестоимость перевозок в зависимости от густоты движения и расстояния между поездами для напряжения в 1500 и 3000 в. Сравнение себестоимости перевозок для

¹ Revue Gen. des Chemins de fer. Май 1923.

НТБ
ДНУЖТ

этих двух напряжений показало (рис. 6), что при расстоянии между поездами не менее 10 км, напряжение в 3000 в более выгодно при всякой густоте движения (до 25 $\frac{т/км}{км}$ включительно); при увеличении расстояния между поездами выгодность повышенного напряжения увеличивается. Однако при сильном пассажирском движении получить большое расстояние между поездами при большой густоте движения не всегда может оказаться возможным. Густота движения на наших наиболее загруженных магистральных дорогах достигает $10 \cdot 10^6 \frac{т/км}{км}$ (включая пассажирское движение). При такой густоте движения, если только по условиям пассажирского движения расстояние между поездами удастся держать выше 20 км и более, в случае вращающихся преобразователей выгодным является напряжение в 3000 в. В случае ртутных выпрямителей это напряжение будет выгодней и при вдвое большей густоте движения, так как в этом случае, вообще говоря, можно иметь минимальное расстояние между товарными поездами в 10—12 км.

При выборе напряжения может иметь значение главным образом экономическая сторона, что же касается соображения большей исправности работы подстанции тяговых двигателей и контактного оборудования, то после многих лет исправной работы американских дорог с напряжением 3000 в вряд ли из соображений надежности работы можно теперь говорить о значительных преимуществах напряжения 1500 в перед 3000 в.

6. Питание дорог постоянного тока энергией

Стоимость энергии, затрачиваемой на передвижение поездов, составляет для жел. дороги не малую долю всех расходов. По данным германских ж. д. например они достигают 45—50% при паровой тяге и 18,5—22%—при электрической тяге¹.

При введении электрической тяги увеличиваются расходы по амортизации и погашению дополнительно затраченного капитала, другими словами, происходит известное передвижение в сторону увеличения расходов, не зависящих от движения, за счет расходов, непосредственно связанных с движением; однако расходы на энергию для движения электрических поездов относительно остаются достаточно высокими, и часто стоимость электрической энергии является решающей при исследовании выгодности введения электрической тяги на жел. дороге.

Стоимость электрической энергии складывается из расходов, не зависящих от нагрузки централи, и расходов, зависящих от нагрузки. В случае тепловых централей первая часть расходов включает в себя стоимость топлива и расходы по обслуживанию централи; вторая часть содержит амортизацию и проценты на затраченный капитал. Так как указанные процентные отчисления не зависят от количества выработанной энергии, то чем выше потребление энергии дорогой, тем ниже будут приходящие на 1 квт/час расходы этого рода.

В случае гидроэлектрических централей в стоимости электрической энергии отпадает стоимость топлива, но зато амортизация и процентные отчисления на затраченный капитал значительно выше.

Получение на тепловой централи более дешевой энергии может иметь место при дешевом топливе и при минимальных затратах на перевозку его до места потребления, другими словами, при непосредственном рас-

¹ Dr Landsberg. „Wärme kraftwerken für Bahnzwecke“ Zentralblatt für den elektrischen Zugbetrieb. Апрель 1928.

НТБ
ДНУЖТ

положении централи у места добычи дешевого топлива; помимо того, получение электрической энергии из топлива должно быть при возможно более высоком коэф. п. д. централи, начиная от котельной и до преобразовательной подстанции. Чем больше мощность централи, тем выше ее полный коэф. п. д.

Помимо цены на топливо и общего полезного действия всей установки, на стоимость электрической энергии большое влияние оказывает коэф. использования станции. Это еще в большей мере относится к гидроэлектрическим централям.

Коэффициент использования централи зависит от характера ее нагрузки. В отношении централи, работающей на нужды электрической тяги, можно отметить следующее: чем больше движения на дороге и чем оно равномернее в течение суток и по временам года, тем выше будет коэф. использования подстанции. Однако даже при идеальном расположении поездов в графике, когда в районе питания от одной централи будет одинаковое количество поездов в течение суток, нагрузка ее не будет совершенно равномерной, так как при трогании с места будут резкие повышения силы тока, почему коэф. суточной нагрузки подстанции, т. е. отношение между средней суточной мощностью за год, и за рассматриваемые сутки может падать до 0,25. Чем тяжелее поезд и чем число их соответственно менее, тем ниже коэф. нагрузки подстанции. При дроблении поездов на более мелкие единицы и увеличении их числа, отдельные пики сглаживаются общей нагрузкой. Во всяком случае, раз только централи сооружаются исключительно для нужд жел. дороги — для тяги поездов, нагрузка ее будет весьма низкой.

На основании отчета за март 1919 г. Лочбергской ж. д.	
полный расход энергии в <i>квт/час</i> за март.....	540 180
средняя величина таковой нагрузки из 6 наивысших четвертичасовых нагрузок.....	3 489 <i>квт</i>
коэф. нагрузки станции.....	20,8%.

При таком малом коэф. использования централи цена на электрическую энергию будет слишком высокой. Жел. дороги постоянного тока, имеющие возможность получать энергию от централей общепромышленного значения, находятся в исключительно благоприятных условиях. С одной стороны, при достаточно высокой нагрузке централей общепромышленного значения, присущие жел. дороге пиковые нагрузки не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на общую нагрузку централи, в то же время эта нагрузка, будучи более постоянной по временам года и в течение суток, чем световая и промышленная, улучшает характер полной нагрузки централи, почему стоимость энергии, отпускаемой для жел. дорог, вообще говоря, ниже, чем для прочих клиентов централи и, само собой разумеется, значительно ниже, чем если бы дорога питалась энергией от специальной железнодорожной централи.

Возьмем в качестве примера дорогу постоянного тока *Butte Anaconda and Pacific Ry.* Питание ее производится от гидроэлектрических станций, объединенных в *O-vo Montana Power Co*, при чем расход энергии дорогой составляет лишь 20% всей продукции энергии станций *Montana Power Co*, что вполне гарантирует исправную подачу энергии.

Благодаря разнообразному характеру нагрузки различных клиентов *Montana Power Co*, коэф. использования станций может быть оценен в 75%, тогда как, если бы была построена специальная станция для питания лишь жел. дороги,—коэф. использования ее не превысил бы 30%.

¹ См. *General Electric Review* 7/XI-1914.
Electric Railway 7/XI-1914.

НТБ
ДНУЖТ

Благодаря получению энергии извне, снижаются единовременные капитальные вложения на электрификацию дорог, что несомненно играет не малую роль, если учесть, что без того электрификация дорог требует крупных расходов.

Отметим, что на практике широко применяется искусственное сглаживание пик в железнодорожной нагрузке при трогании поездов с места или при нахождении одновременно нескольких поездов на подъеме. Путем сглаживания пик можно значительно улучшить условия работы централи. Так, в то время как до установки ограничителей мощности на жел. дороге Chicago Milwaukee St-Paul коэф. нагрузки не превышал в среднем 0,40,—после установки ограничителей он выразился в 55—60%.

Все оборудование для ограничения мощности, потребляемой дорогой, состоит в кратких чертах в следующем.

Все пункты питания дороги соединяются между собою контрольной цепью, состоящей из двух проводов, подвешенных к мачтам контактной сети.

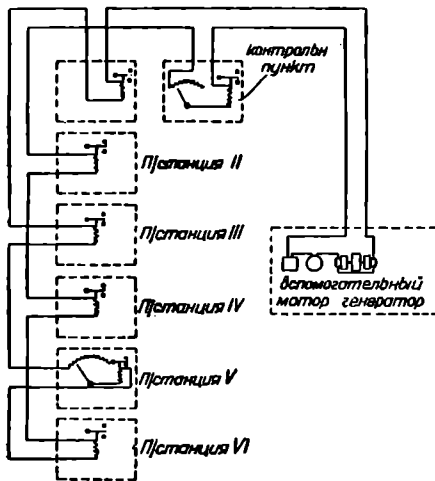


Рис. 7.

Последовательно в эту цепь включены реостаты, регулируемые под влиянием ваттметров. При изменении количества потребляемой энергии изменяется сопротивление этих реостатов, а следовательно и сила тока в контрольной цепи; в зависимости от силы тока и направления тока в контрольной цепи включается или выключается дополнительное сопротивление в цепи возбуждения генераторов на подстанциях с таким расчетом, чтобы при увеличении потребляемой дорогой мощности падало бы напряжение в контактном проводе. Вместе с напряжением падают скорость поездов и расходуемая энергия. Амперметр, включенный в контрольную цепь, будучи градуирован в ваттах, сразу дает потребляемую контрольным участком мощность. На рис. 7 дана схема соединения контрольных пунктов. В цепь контро-

ля включается реостат для корригирования изменения сопротивления проводов от температуры.

Длина контрольного участка на жел. дороге Ch. M. St-Paul достигает 350 км. На практике этот способ смягчения пик себя вполне оправдал. Помимо автоматического действия системы, лицо, следящее за движением на участке и потребляемой мощностью, каждый момент имеет перед глазами аппарат, дающий суммарную мощность всех пунктов питания и имеет возможность судить о степени нагрузки участка в отношении потребляемой мощности, и в зависимости от этого, диспетчер либо задерживает поезда по станциям около наиболее загруженных подстанций с тем, чтобы не превысить чрезмерно не только нагрузку этих подстанций, но и общую нагрузку всех подстанций своего участка, либо наоборот в случае слабой нагрузки своего участка он старается отправить поезда с тех станций, где это не вызовет чрезмерной перегрузки подстанции. В случае, если указанными мерами диспетчер не может предотвратить образования недопустимой пики, начинают действовать, как ранее было указано, автоматические регуляторы, понижающие напряжение в контактном проводе.

При электрификации жел. дороги Central Illinois, казалось бы, выгодно было строить свои централи, так как дорога имеет свои угольные шахты.

НТБ
ДНУЖТ

Однако путем подсчетов было установлено, что собственная централь не сможет вырабатывать энергию столь же дешево, как современные крупные центры, так как, помимо того, что меньшая централь имеет меньший коэф. п. д., пришлось бы иметь большой резерв, что потребовало бы вложения крупных сумм и высоких процентных отчислений, и в то же время был неизбежен низкий коэф. использования установки.

В отношении обеспеченности бесперебойного снабжения дороги энергией жел. дороги с собственной централью находятся в значительно худших условиях, чем дороги, питаемые от мощной сети соединенных между собою мощных станций общепромышленного значения. Таким образом обе указанные причины вынудили дорогу прибегнуть к получению энергии со стороны от Commonwealth Edison Co. Это общество снабжает энергией город Чикаго и его окрестности; питание дороги Central Illinois было предвидено от четырех централей, мощностью соответственно 285, 240, 187 и 131 тыс. квт. Одно это уже показывает, в какой степени обеспечено снабжение энергией дороги, учитывая, что потребная дороге мощность составляет всего 30 000 квт.

Для расчетов дороги с Обществом С. Е. Со было установлено, что стоимость энергии складывается из двух частей: первая зависит от так называемой потребной мощности, вторая — от израсходованной энергии. Под названием „потребная мощность“ понимается наивысшая в пределах одного часа трех различных дней мощность, за исключением так называемой аномальной нагрузки.

Эта часть стоимости нагрузки равна:

1,85 амер. долл. за 1 квт при первых 5 000 квт,
 1,70 „ „ 1 „ при следующих 5 000 квт,
 1,60 „ „ „ при мощности от 10—15 000 квт,
 1,50 „ „ „ „ „ свыше 15 000 квт,

Вторая часть стоимости энергии назначается:

0,65 центов за первые 5 000 000 квт/час.
 0,645 „ „ следующие 2 500 000 квт/час.
 0,64 „ „ энергию свыше 7 500 000 квт/час.

Указанная стоимость энергии установлена из расчета стоимости угля в 5 830 кал/кг в 4 долл. за амер. тонну (907,2 кг).

При иной стоимости угля вторая часть стоимости энергии, зависящая от количества расходуемой энергии, определяется при первых 5 000 000 квт/час по формуле:

$$\frac{P}{10} \cdot \frac{10\,500}{C} + 0,25 \text{ (в центах за 1 квт/час)}$$

для следующих 5 000 000 квт/час

$$\frac{P}{10} \cdot \frac{10\,500}{C} + 0,245$$

и за энергию свыше 7 500 000 квт/час

$$\frac{P}{10} \cdot \frac{10\,500}{C} + 0,24,$$

где:

P —стоимость тонны угля,

C —теплотворная способность его.

При этом дорога должна расходовать не менее 30% энергии, соответствующей так называемой потребной энергии, за исключением случая перерыва движения по причине „force majeure“.

Приведенный расчет стоимости энергии хорошо отражает влияние степени загрузки централи по отношению к ее мощности.

Переходя к самой схеме питания железных дорог энергией, мы должны отметить, что питание подстанций должно быть непременно двусторонним

НТ
ДНУЖТ

с тем, чтобы при коротком замыкании или неисправности, с одной стороны, работа подстанции могла происходить без перерыва, путем питания с другой стороны.

Так как снабжение дорог энергией постоянного тока производится обычно от централей общепромышленного значения, то нередко для питания подстанции пользуются электропередачами, соединяющими отдельные централи, если степень загрузки электропередачи позволяет это.

Однако нередко жел. дорога строит частично свои электропередачи, являющиеся усилением имеющихся уже электропередач общепромышленного значения.

Линия трехфазного тока, сооружаемая жел. дорогой для питания подстанций, иногда подвешивается на мачтах контактного оборудования, если питание не предусмотрено по чисто местным условиям подземным кабелем. В случае высокого напряжения (свыше 20 000 в) и в особенности при трассе железнодорожной линии с множеством закруглений, следует трехфазную линию подвешивать на специальных мачтах, что экономически вполне оправдывает себя, так как сильно искривленная линия вызывает излишние расходы на медь и подвесной материал и помимо того благодаря значительным боковым усилиям требует усиления мачт контактного оборудования.

В электропередачах, служащих для питания трехфазным током подстанций, допускается значительно большее падение напряжения, чем в общераспределительных электропередачах. Отметим, что падение напряжений в питающих электропередачах при пиковых нагрузках достигает 30—35%, и это не считается преувеличенным; к тому же перегрузки, вызывающие указанные падения напряжения, лишь кратковременный не оказывают влияния на средние потери в питающей сети, каковые составляют в среднем 5—10%.

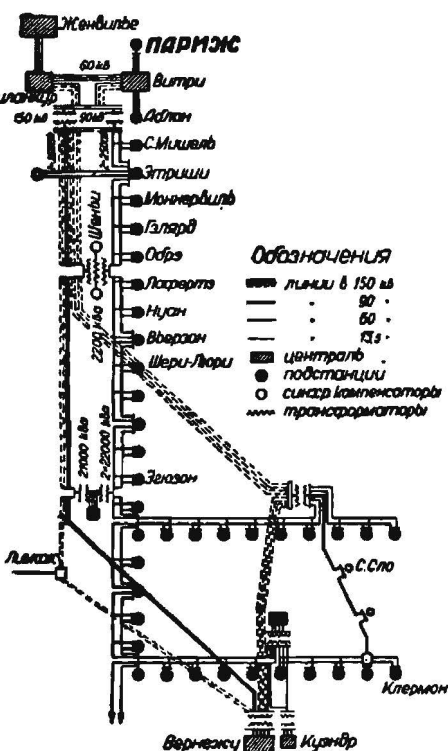


Рис. 8.

Схема питания дорог Р. О.

При электрификации дорог на большом протяжении и необходимости передавать на большом протяжении большую мощность, оказывается необходимым строить электропередачу на высокое напряжение. В таком случае стоимость подстанций значительно повышается, и часто бывает целесообразно иметь параллельно электропередачу пониженного напряжения, через которую и производится питание подстанций. Обе электропередачи соединяются в некоторых пунктах между собой при помощи трансформаторных подстанций. Работу такого рода передач, нагрузку их и расчеты можно проследить на примере питания жел. дороги Париж—Орлеан (Р—О). Схема питания дана на рис. 8.

Между станциями имеется связь при помощи двойной линии, напряжением в 150 000 в (на подстанции Chevilly установлены трансформаторы 150 000/60 000 в, а на Egizon 150 000/10 000 в) и двойной линии напряжением 90 000 в; последняя предназначена для питания преобразовательных подстанций. По высоковольтной линии передается энергия в 50—100 000 квт на расстояние 300—500 км.

Между станциями имеется связь при помощи двойной линии, напряжением в 150 000 в (на подстанции Chevilly установлены трансформаторы 150 000/60 000 в, а на Egizon 150 000/10 000 в) и двойной линии напряжением 90 000 в; последняя предназначена для питания преобразовательных подстанций. По высоковольтной линии передается энергия в 50—100 000 квт на расстояние 300—500 км.

Электропередачи связаны между собою на постах Chevelly, Chaigny, Eguzon и Verpejoux.

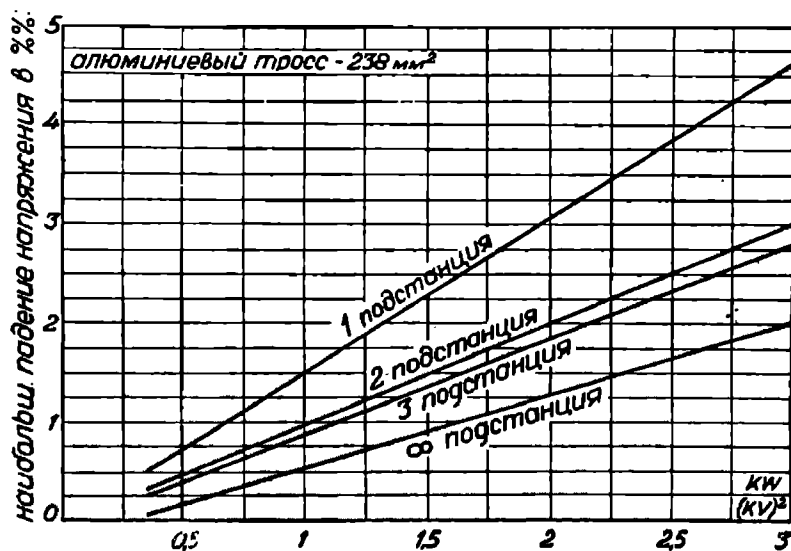


Рис. 9. Расстояние между трансформаторными постами 100 км.

Для определения расстояния между соединениями обеих линий передач были проделаны подсчеты падения напряжения, принимая эти расстояния равными 100 и 200 км. На этих пунктах соединения предполагалось иметь постоянные напряжения автоматической регулировкой альтернаторов на центральных станциях или синхронными компенсаторами на трансформатор-

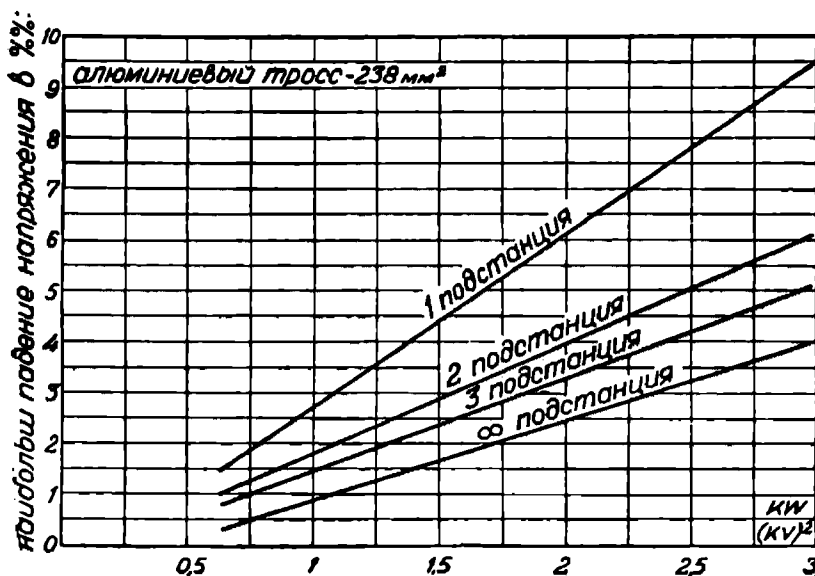


Рис. 10. Расстояние между трансформаторными постами 200 км.

ных подстанциях. На рис. 9 и 10 даны графики падения напряжений для расстояния L , равного 100 и 200 км, в предположении, что нагрузка равномерно распределена между одной, двумя или тремя эквидистантными

преобразовательными подстанциями, или наконец равномерно распределена по всей длине линии на бесконечное число подстанций.

Падение напряжения в процентах дано в функции отношения $M = \frac{\text{квт}}{\text{кв}^2}$ т. е. отношения мощности каждой подстанции к квадрату напряжения. Эти отношения M в зависимости от мощности даны ниже на таблице IV для напряжения в 60 000 и 90 000 в. Из рассмотрения этой таблицы вместе с графиками видно, что при падении напряжения в 2% и при достаточно большом числе подстанций величина M равна 2,7, при расстоянии $L = 100$ км и 1,6 при $L = 200$ км.

ТАБЛИЦА IV

Мощность в квт	Напряжение в		Мощность в квт	Напряжение в		Мощность в квт	Напряжение в	
	60 кв	90 кв		60 кв	90 кв		60 кв	90 кв
3 000	0,385	0,370	11 000	—	1,385	19 000	—	2,345
4 000	1,111	0,494	12 000	—	1,481	20 000	—	2,470
5 000	1,389	0,617	13 000	—	1,605	21 000	—	2,592
6 000	1,667	0,740	14 000	—	1,728	22 000	—	2,716
7 000	1,944	0,864	15 000	—	1,851	23 000	—	2,84
8 000	2,222	0,987	16 000	—	1,975	24 000	—	2,962
9 000	2,500	1,111	17 000	—	2,098	25 000	—	3,086
10 000	2,778	1,234	18 000	—	2,222			

Таким образом мощность трансформаторных подстанций для $L = 100$ км получается:

10 000 квт при напряжении 60 000 в
22 000 " " " 90 000 в

и для $L = 200$ км

6 000 квт при напряжении 60 000 в
13 000 " " " 90 000 в,

т. е. при переходе от напряжения в 60 000 в на 90 000 в можно, при всех прочих одинаковых условиях, удвоить передаваемую мощность линий.

При расстоянии между преобразовательными подстанциями в 15—25 км число их в первом случае ($L = 100$ км) 4—6, и во втором ($L = 200$ км) 8—12; таким образом мощность их при $L = 100$ км не должна превысить:

3 000 — 4 000 квт при напряжении в 60 000 в
6 500 — 9 000 " " " 90 000 в,

а при $L = 200$ соответственно:

800 — 1 200 квт и 1 800 — 2 600 квт.

Если не преувеличивать числа соединений между обеими сетями и остановиться на $L = 200$ км, то напряжение 90 000 в следует признать наиболее целесообразным. К тем же результатам приводят и подсчеты по формуле Стилля, выведенной на основании практики американских электропередач.

НТ
ДНУЖТ

Эта формула, как известно, имеет вид:

$$E = 5,5 \sqrt{\frac{X}{1,609} + \frac{P}{100}},$$

где E — наивыгоднейшее напряжение для передачи мощности P на расстоянии X .

Мощность, потребляемая жел. дорогой, есть функция густоты движения. Если расход угля на 1 км дороги обозначим C и будем считать, что 1 кВт/час заменяет 3 кг угля, то при использовании мощности подстанции в течение 2500 часов в год мощность, отнесенную на 1 км, найдем равной

$$N = \frac{1000 C}{3 \cdot 2500} = \frac{C}{7,5},$$

и формула Стилля переписется в виде:

$$E = 5,5 \sqrt{X \left(\frac{1}{1,609} + \frac{C}{750} \right)}.$$

Напряжение E по этой формуле найдется:

для $C = 1200$ т/км и $X = 125$ км (Париж—Орлеан); $E = 92000$ в;
 „ $C = 600$ т/км и $X = 200$ км (линия на юг от Орлеана); $E = 92000$ в.

Применение формулы Стилля для данного случая не совсем правильно, так как эта формула предусматривает передачу энергии с одного пункта в другой, а не распределение ее по длине участка; однако практически ею можно пользоваться для определения величины напряжения линии питания подстанций.

На основании этих подсчетов распределение трансформаторных постов было запроектировано следующим образом.

В Chaigny устанавливается подстанция для регулирования напряжения; это место является как бы центром тяжести нагрузки подстанций от Парижа до Eguzon. Соединение между обеими линиями намечается на основании приведенных подсчетов в пунктах Париж, Eguzon, Vernejoix и Chaigny.

Двойная линия в 90 000 в допускает возможность передачи всей потребной энергии с Eguzon в Париж, не прибегая к линии в 150 000 в; при этом синхронные компенсаторы в Chaigny достаточны, чтобы регулировать напряжение.

При совместной же работе электропередачи 90 000 и 150 000 в (впоследствии 220 000 в) возможно будет обслуживать трех- и четырехкратный график движения.

Линия в 150 000 и 90 000 в питается через подстанцию Chevelly, куда подводится трехфазный ток в 50 периодов в 6 000 в подземным кабелем от Geanevillers и Vitry.

На подстанции Chevelly установлен один трансформатор 6 000/150 000 в и два трансформатора 6 000/90 000 в, мощностью 25 000 ква каждый. Со стороны Eguzon линия питается от центральной станции Union Hydroelectrique трехфазным током в 50 периодов, напряжением в 10 500 в, трансформируемым в 10,5/150 кв, для коей цели установлен трансформатор в 21 000 ква. Там же имеются две группы трансформаторов по 21 000 ква для преобразования тока с 10 500 на 90 000 в для питания второй (распределительной) сети.

НИИ
ДНУЖТ

На подстанции Chaigny, где производится соединение обеих сетей и регулирование напряжений, установлены два трансформатора с тремя обмотками для 150 000/90 000/6 000 *в*, мощностью 25 000 *кВа* каждый.

Обмотки в 90 000 и 150 000 *в* соединены звездой, а в 6 000 *в* — треугольником, чтобы избежать влияния гармоник. Последняя обмотка питает два синхронных компенсатора в 10 000 *кВа*, возбуждение которых регулируется автоматически регулятором Tirill'я.

Ниже приведена главнейшая характеристика трансформаторов и синхронных компенсаторов (таблица V).

ТАБЛИЦА V

Наименование подстанций и обозн. трансформ. по схеме рис. 11.	Напряжение (<i>кв</i>)	Кажущаяся мощность (<i>кВа</i>)	RJ (<i>в</i> %)	Потери в железе (<i>в</i> %)	Магнетизирующий ток	
Chevelly {	t_1 или $t_2 \dots$	60—90,2	$8,333 \cdot 3 = 25\ 000$	0,94	0,41	4%
	$\Gamma_1 \dots$	65—154	$8,333 \cdot 3 = 25\ 000$	0,96	0,66	4%
Eguzon {	t'_1 или $t'_2 \dots$	10,5—90,2	$7\ 000 \cdot 3 = 21\ 000$	1,12	0,33	3,3%
	$\Gamma'_1 \dots$	10,5—154	$7\ 000 \cdot 3 = 21\ 000$	1,2	0,49	4,6%
Chaigny E_1 или $E_2 \dots$	—	$7\ 500 \cdot 3 = 22\ 500$	—	—	—	
1-я обмотка	90,2	—	—	—	—	
2-я	6,6	—	—	—	—	
3-я	154	—	—	—	—	

Остановливаясь на намеченной схеме питания подстанции от электропередач 150 000 и 90 000 *в* с соединением обеих электропередач, как указывалось на трансформаторных постах Chevelly, Chaigny, Eguzon и Vernejoux, выясним для различных условий нагрузок работу системы питания.

Импеданс Z и адмитанс Y , отнесенные к 1 *км* длины для линии в 90 000 *в*, равны:

$$Z = 0,160 + j 0,400 \text{ ом,}$$

$$Y = +j 2,85 \cdot 10^{-6} \text{ ом,}$$

а для линии напряжением 150 000 *в*

$$Z = 0,124 + j 0,427 \text{ ом,}$$

$$Y = +j 2,665 \cdot 10^{-6} \text{ ом.}$$

Подсчитываем распределение нагрузок между отдельными элементами системы, задаваясь мгновенной мощностью каждой подстанции.

Подсчеты производим в предположении:

1. Тяговая нагрузка на участке Париж — Vierzon достигает 44 000 *квт* и распределяется между 12 подстанциями.

2. Остальная нагрузка (других клиентов О-ва достигает 16 000 *квт*. На рис. 11, 12 и 13 даны приблизительные схемы распределения энергии, передаваемой по электропередачам, в предположении, что регулирующие аппараты автоматически поддерживают напряжение $\pm 3\%$,

Рис. 11 дает схему высоковольтной сети и трансформаторных постов.

Рис. 12 дает схему работы электропередачи в 90 000 в при полной нагрузке (60 000 квт).

Рис. 13 дает схему работы при полной нагрузке всей электропередачи, но с некоторыми включенными участками.

Работа электропередачи. Рассмотрим работу линии длиной 475 км (Егизоп—Париж) напряжением в 150 000 в.

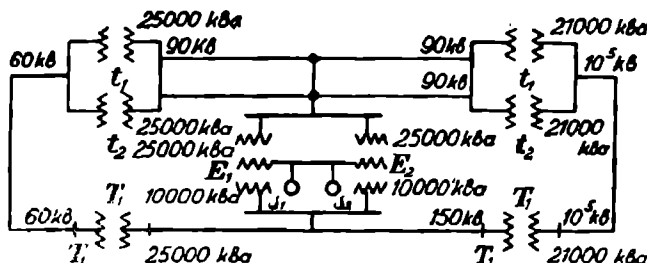


Рис. 11. Схема части высоковольтной сети.

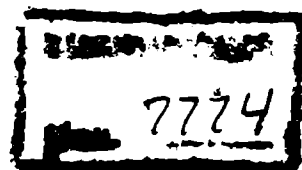
Диаграмма рис. 14 дает в простой форме условия изменения элементов, характеризующих передачу для расстояния 475 км. Это—та же диаграмма Блонделя, но несколько дополненная.

Для того чтобы эту диаграмму сделать независимой от напряжения, приняты были в качестве переменных величин в начале и в конце линии отношения:

$$\frac{\text{мощность в } kW}{(\text{напряжение в } kV)^2}$$

$$\frac{\text{реактивная мощность в } kW}{(\text{напряжение в } kV)^2}$$

$$\frac{\text{потери в } kW}{(\text{напряжение в } kV)^2}$$



Характеристика линий (импеданс) при частоте тока 50 дана была ранее.

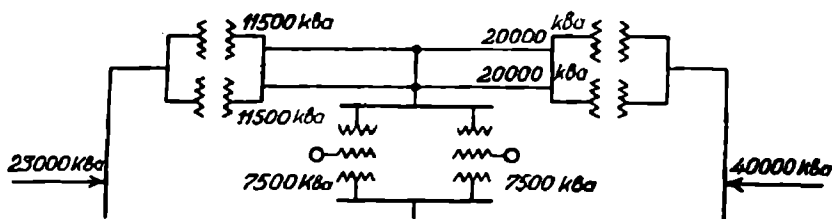


Рис. 12. Схема работы электропередачи 90 000 в при полной нагрузке (60 000 квт).

При помощи этик абак можно например в зависимости от ваттной мощности и угла сдвига фаз в конце линии и напряжении kV_r в конце линии (т. е. зная $\mu = \frac{kW}{(kV_r)^2}$ и $\cos \varphi$) определить:

- 1) потери в квт, определяя отношение $\frac{\text{потери в } kW}{(kV_r)^2}$,
- 2) величину $\cos \varphi_g$ в начале линии,
- 3) напряжение kV_r из отношения $\frac{kV_g}{kV_r}$.

НТБ
ДНУЖТ

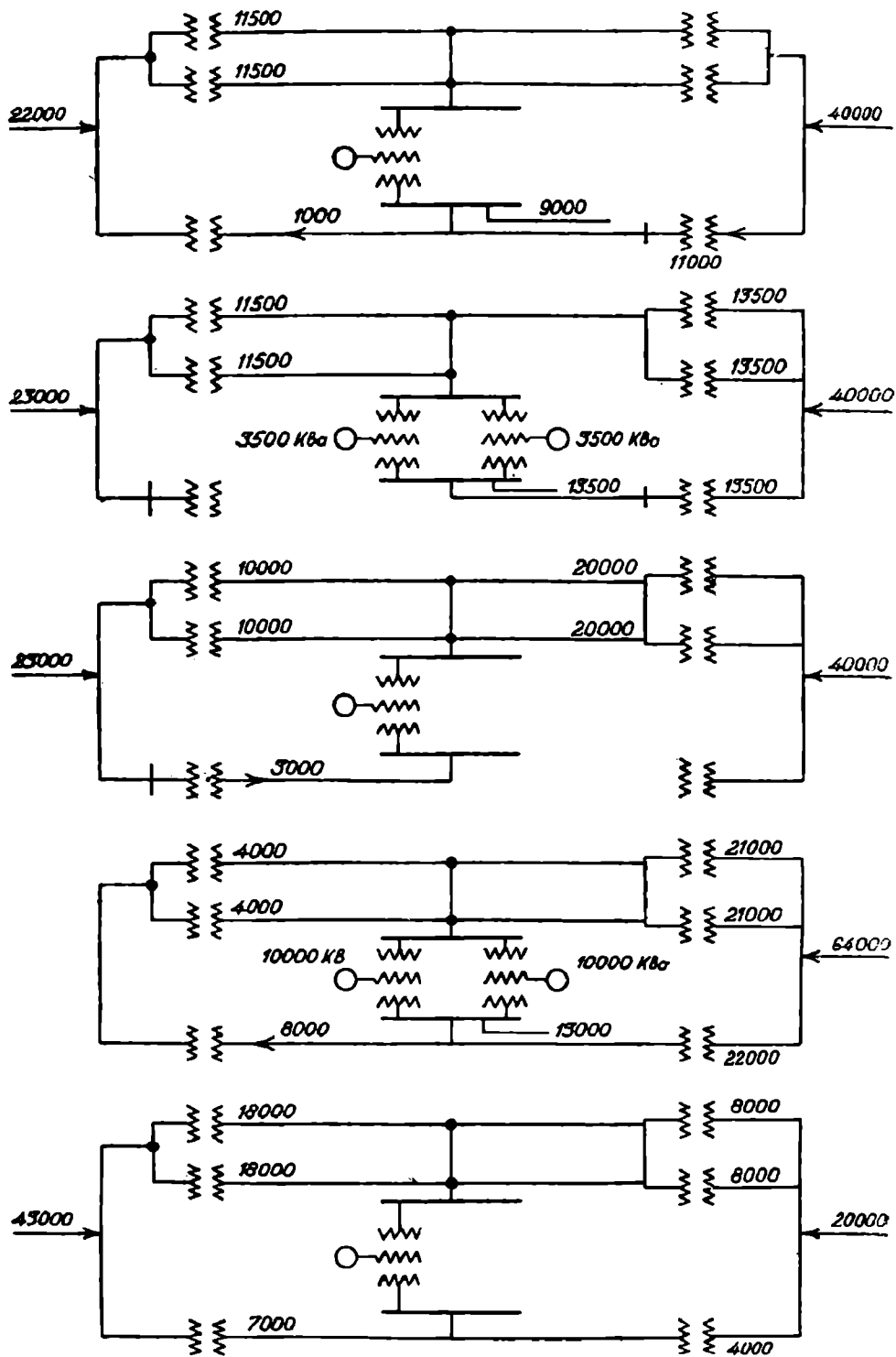


Рис. 13. Схема работы электронпередачи при полной нагрузке.

НТБ
ДНУЖТ

ТАБЛИЦА VI

kV \ kW	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
10 000	0,549	0,533	0,525	0,517	0,510	0,503	0,496	0,489	0,489	0,482	0,476	0,469	0,463	0,457	0,451	0,445
20 000	1,098	1,082	1,066	1,050	1,035	1,020	1,006	0,992	0,978	0,965	0,952	0,939	0,926	0,914	0,902	0,890
30 000	1,647	1,622	1,598	1,575	1,552	1,530	1,509	1,484	1,467	1,447	1,428	1,408	1,389	1,371	1,353	1,335
40 000	2,196	2,163	2,131	2,100	2,070	2,04	2,012	1,984	1,956	1,930	1,904	1,878	1,852	1,828	1,804	1,780
50 000	2,745	2,704	2,664	2,625	2,587	2,550	2,515	2,480	2,445	2,412	2,380	2,347	2,315	2,285	2,255	3,225
60 000	3,294	3,245	3,197	3,150	3,105	3,060	3,019	2,976	1,935	2,895	2,856	2,817	2,779	2,742	2,706	2,670

kV \ kW	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230
20 000	0,433	0,429	0,425	0,421	0,417	0,413	0,409	0,406	0,402	0,398	0,395	0,391	0,338	0,385	0,381	0,378
30 000	0,649	0,643	0,637	0,631	0,625	0,620	0,614	0,609	0,603	0,598	0,592	0,587	0,582	0,577	0,572	0,567
40 000	0,865	0,858	0,849	0,842	0,834	0,826	0,819	0,812	0,804	0,797	0,790	0,782	0,776	0,770	0,762	0,756
50 000	1,082	1,072	1,062	1,052	1,042	1,033	1,024	1,014	1,01	0,996	0,987	0,979	0,970	0,962	0,953	0,945
60 000	1,297	1,286	1,275	1,262	1,251	1,240	1,228	1,218	1,206	1,195	1,185	1,173	1,164	1,155	1,143	1,134
80 000	1,730	1,714	1,699	1,683	1,668	1,653	1,637	1,623	1,608	1,594	1,580	1,564	1,552	1,540	1,524	1,512
100 000	2,163	2,143	2,124	2,104	2,085	2,066	2,047	2,030	2,011	1,992	1,975	1,955	1,940	1,925	1,905	1,890
120 000	2,596	2,572	2,548	2,525	2,502	2,479	2,455	2,435	2,413	2,390	2,370	2,346	2,328	2,310	2,286	2,268

1. Без синхронного компенсатора.
Из приведенной таблицы мы имеем:

$$M = \frac{kW}{(kV)^2} = 2,412.$$

Находим точку пересечения P прямой, проведенной через $M = 2,412$ прямой $\cos \varphi_r = 0,970$.

Из этой диаграммы находим для точки P

$$\frac{kV_g}{(kV)^2} = 1,206, \text{ откуда } kV_g = 175\,000 \text{ в}$$

и

$$\cos \varphi_r = 0,996.$$

Далее

$$m = \frac{\text{потери в } kW}{(kV_r)^2} = 0,305,$$

откуда найдем коэф. отдачи

$$\frac{M}{M+m} = \frac{2,412}{2,717} = 0,89.$$

2. При наличии синхронного компенсатора.

Предположим, что мы желаем иметь в начале линии 156 kV .

Проводим PP' до кривой, соответствующей

$$\frac{kV_g}{kV_r} = \frac{156}{144} = 1,083,$$

в точке P' мы имеем:

$$\left. \begin{array}{l} \cos \varphi_r = 0,994 \\ \cos \varphi_g = 0,995 \end{array} \right\} \text{ (опережение)}$$

$$m = \frac{\text{потери в } kW}{(kV_r)^2} = 0,345,$$

откуда коэф. отдачи

$$\frac{M}{M+m} = \frac{2,412}{2,757} = 0,875.$$

Необходимая мощность синхронного компенсатора

$$PP' \cdot (kV_r)^2 = 0,875 \cdot 144^2 = 18\,000$$

$$\left(PP' \text{ измеряется в масштабе } \frac{kVA \text{ реактив.}}{(kV_r)^2} \right)$$

НТБ
ДНУЖТ

ПИТАНИЕ И КОНТАКТНАЯ СЕТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДОРОГ

7. Питание контактной сети

Питание контактной (рабочей) сети от преобразовательных подстанций производится при помощи фидеров, обычно подвешиваемых к тем же мачтам, на которых монтируется вся контактная сеть.

Различают одностороннее и двустороннее питание контактной сети.

1. При одностороннем питании контактная сеть подразделяется на участки по числу подстанций, и каждый участок питается от своей подстанции, располагаемой около середины участка, как показано на схеме (рис. 15-а).

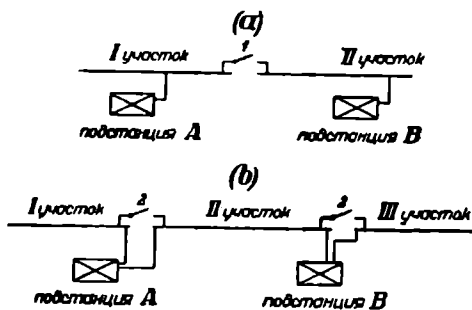


Рис. 15. Схемы одностороннего (а) и двустороннего (б) питания контактной сети.

2. При двустороннем питании подстанции располагаются у границ участков, и каждая подстанция питает оба смежные участка (рис. 15-б).

Помимо того различают раздельное и нераздельное (смешанное) питание каждого направления. При смешанном питании получается некоторая экономия на меди и меньшее падение напряжения в проводах; однако недостаток этого способа питания заключается в одновременном выключении всех направлений в случае какой-либо неисправности в контактной сети, и нахождение неисправной части сети в этом случае более затруднительно и требует большего времени, чем в случае раздельного питания, почему перерыв в движении при коротких замыканиях в сети будет более продолжителен в случае смешанного питания.

При двустороннем питании поддерживается более равномерным напряжение в контактном проводе и, кроме того, является возможность при нагрузке на одном участке питание вести и от соседних подстанций, чем снижается нагрузка подстанции, лежащей в районе загруженного участка, и передается на соседние подстанции, улучшая работу их и позволяя часто в первое время после введения электрической тяги не устанавливать всей намеченной мощности преобразователей на подстанции. Правда, при двустороннем питании в случае короткого замыкания мощность машин, работающих на короткое замыкание, значительно возрастает. На рис. 16 кривой 1 дана сила тока при коротком замыкании в зависимости от расстояния места короткого замыкания до подстанции, в случае двустороннего питания; та же зависимость в случае одностороннего питания дана кривой 2.

НТБ
ДНУЖТ

Так как сила тока короткого замыкания и расстояние места короткого замыкания от подстанции определяют величину вредного влияния (индукцию) в проводах слабых токов, то на том же рис. 16 даны произведения указанных величин (амп/км) для обоих случаев питания (кривые 3 и 4). При проектировании питания контактной сети должна быть предвидена возможность соединения различных участков между собою, чтобы на случай прекращения питания участка с одной стороны можно было бы перевести питание с другой стороны. С этой целью употребляются так называемые участковые выключатели, или разъединители.

При раздельном питании обеих или нескольких линий, между ними необходимо предвидеть связь, допускающую переключение питания одной линии от другой при неисправном питании этой линии; обратно, при смешанном нераздельном питании нескольких направлений необходимо иметь возможность быстрого отключения каждого направления от общего питания, так как этим путем можно обнаружить в случае короткого замыкания, какое направление неблагоприятно.

В обоих случаях выключатели, или разъединители, необходимо устанавливать по линии и непременно около станций или постов, где и сосредоточивается управление разъединителями, или выключателями.

Нашими техническими условиями на устройство контактного оборудования предписывается (п. 2):

«Контактная система каждого пути на перегонах между станциями должна быть электрически независима одна от другой, но при этом должна быть предусмотрена возможность соединения их через посредство установленных в надлежащих местах разъединителей».

Удачно выбранный способ питания линии может значительно снизить падение напряжения в контактной сети при больших нагрузках.

Для правильного выбора схемы питания при проектировании полезно строить кривые падения напряжения в различное время суток для некоторого предполагаемого графика движения поездов, при различных способах питания (одностороннем и двустороннем) с питательными фидерами различных сечений, а также при раздельном и общем питании каждого направления. Существенное уменьшение расходов на фидеры достигается одновременным нераздельным питанием обеих или нескольких направлений; в этом случае при построении кривых падений приходится считаться с нагрузками на всех питаемых направлениях, при чем при достаточно длинных участках нагрузки различных направлений могут так удачно складываться между собою, что потребуют значительно меньшее сечение фидеров, чем если бы необходимо было обеспечить отдельное питание направлений. Сравнение различных вариантов питания в смысле падения напряжения и в отношении стоимости оборудования облегчает значительно правильный выбор схемы питания.

В пределах между подстанциями контактная линия разбивается на отдельные секции, нормально соединенные между собой при помощи

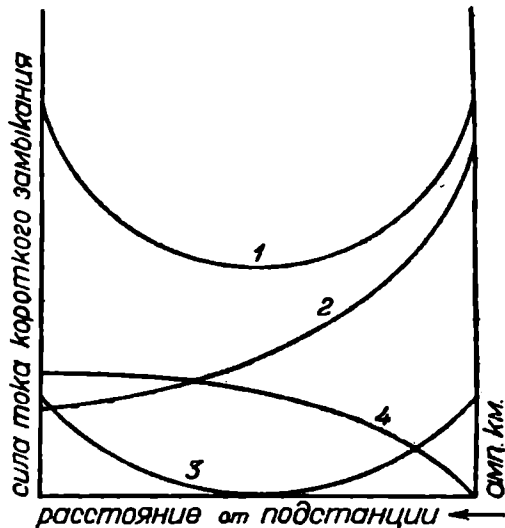


Рис. 16.

секционных разъединителей. Благодаря секционированию участков удается короткое замыкание на контактной сети локализовать на коротком протяжении, т. е. в пределах одной секции. В качестве примера приведем питание линии Париж—Орлеан (франц. ж. д.).

На рис. 17 показано секционирование контактной сети, примененное на указанной жел. дороге.

Подстанции располагаются на расстоянии 15 км в районе, прилегающем к Парижу (до Etampes), и на расстоянии 25 км между Etampes и Juvisy. Подача тока производится при помощи воздушных линий; кроме того на участке Париж—Juvisy и Париж—Bretagne проложен третий рельс; как воздушные линии питания, так и третий рельс могут быть изолированы друг от друга, и таким образом питание каждого пути может производиться совершенно независимо.

Линии питания каждого пути разделены на отдельные участки длиной около 7 км в районе Парижа и до 11 км на остальном протяжении при помощи секционных постов. Эти посты располагаются в пределах подстанций и по крайней мере по

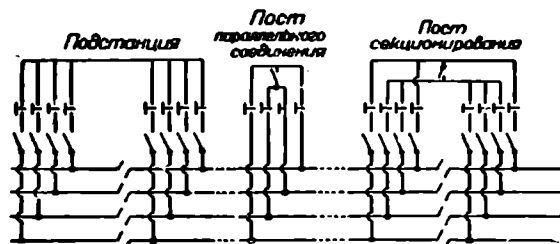


Рис. 17. Секционирование и соединение линий питания.

одному между подстанциями. Для равномерного распределения рабочего тока фидера и контактные провода отдельных путей соединены между собой параллельно через каждые 4 км. Это параллельное соединение предусмотрено у каждого секционного поста и по крайней мере по одному в промежутках между ними.

Секционирование третьего рельса выполнено всюду с нейтральными участками длиной на 25 м более расстояния между башмаками для снятия тока. Секционирование воздушной линии производится при помощи воздушных промежутков.

Секционные посты и посты параллельного соединения располагаются непосредственно за блок-постами с таким расчетом, чтобы предупредить вход с поднятым пантографом с исправного участка на больной, что вызовет размыкание секционного участка под током.

Специальные сигналы должны указывать машинисту, где следует опустить по какой-либо причине пантограф.

Дистанционные автоматические выключатели главных путей могут замыкаться и размыкаться с ближайших преобразовательных подстанций, а выключатели станционных путей — агентами центральных стрелочных постов. Все перечисленные выключатели предусмотрены типа мгновенного действия „ultra rapide“ для надежной защиты умформеров. Для питания электромагнитов-выключателей вдоль линии установлена цепь на 600 в, питаемая мотор-генераторами, установленными на подстанциях.

Для работы на расстоянии (размыкания и замыкания выключателей) применен принцип автоматической телефонии, позволяющий сократить число проводов до четырех для 98 аппаратов, связанных с подстанцией. Для случая же размыкания секционных выключателей с перегона, установлены коробки с выключателями вспомогательной цепи, питающей электромагниты главных выключателей. Эти коробки предвидены каждые 300—500 м, и таким образом при каком-либо происшествии машинист или главный кондуктор поезда, сорвав пломбу, может действием выключателя вспомогательной цепи вызвать функционирование главных выключателей, размыкая данный участок с концов и от параллельных линий.

НТЭ
ДНУЖТ

Нашими техническими условиями на устройство контактного оборудования (§ 9) предписано производить секционирование контактной сети на перегонах и в пределах станционных путей, по которым возможно движение поездов с максимальной или близкой к ней скоростью, предпочтительно путем устройства воздушных промежутков между ветвями обоих участков, при условии, что электрическая схема коммутации не допускает большой разности потенциалов в нормально разъединенных участках.

Секционирование станционных путей производится по преимуществу применением участков изоляторов. В последнем случае должны быть приняты меры к уменьшению провесов рабочего провода под тяжестью изоляторов.

При устройстве контактной сети на стрелках и пересечениях можно пользоваться как простым перекрещиванием цепной подвески сходящихся путей, обеспечивая одинаковое поднятие их токоприемником, так и отводом их в направлении соответствующих участков путей при помощи оттяжек.

Применение жестких соединений допускается только в тех случаях, когда под влиянием температурных изменений не приходится ожидать смещения геометрического центра пересечения, или стрелки.

Для обеспечения регулярного питания контактной сети приходится предъявлять жесткие требования в отношении механической и электрической прочности материалов и уделять особое серьезное внимание тщательной проверке, каким образом выбранная схема питания позволяет при неизбежных повреждениях локализовать в тесных границах выпавший из питания участок и восстановить в непродолжительном времени его питание.

Для выключения неисправного по питанию участка (напр., при коротком замыкании) от остальной сети была применена¹ на С.-Готардской линии швейцарских ж. д.) селективная защита системы Merz—Price.

Однако при этом укладка проводов управления, а также многочисленные реле вызывают значительные издержки; помимо того ремонт реле обходится также весьма дорого, почему некоторые жел. дороги ограничиваются более дешевым оборудованием—секционными разъединителями, с управлением на расстоянии.

Переходим к изучению секционирования рабочей сети на станциях. Дать точные указания, каким образом следует разделять в пределах станции контактную сеть на отдельные участки,—нельзя; как общее правило, главные пути в пределах станции отделяются от станционных, последние в свою очередь очень часто подразделяются на отдельные группы; это неизбежно на больших станциях, где станционные пути имеют большое протяжение. Выделение отдельных путей в особые группы производится исходя от степени вероятности частых коротких замыканий на этих путях, в зависимости от назначения этих путей; это позволяет возможные короткие замыкания локализовать в тесных пределах. Очень часто на больших станциях не только выделяются главные пути от станционных, но и главные пути в пределах станции подразделяются на отдельные секции, чтобы при повреждениях не оставлять без тока вход и выход со станции; наконец можно рекомендовать обгонные пути питать независимо от главных и остальных станционных, чтобы иметь возможность при неисправном питании главных путей пропускать поезда по обгонным путям. Тракционные пути около смотровых канав, а также пути, ведущие в депо, и питание в пределах депо следует выделять в особые группы. Особое внимание

¹ H. Schuler „Ueber die Streckenschaltssysteme in den Fahrleitungsanlagen der Schweiz Bundesbahnen“. Elektrische Bahnen, 1925, стр. 430—437.

должно быть обращено на сигнализацию этих путей с целью предупреждения несчастных случаев с работающим по осмотру электровозов персоналом.

При смешанной тяге (паровой и электровозной) в целях предупреждения несчастных случаев с паровозными бригадами следует избегать прокладки контактного провода над специальными паровозными путями, как-то: на угольных складах, по путям забора воды паровозами и на кочегарных ямах, направляя электровозы по специально уложенным и электрифицированным путям; если же прокладка особых путей невозможна, то контактные провода над специальными путями, где паровозам приходится долгое время простаивать, следует с обеих сторон изолировать и питать особым фидером или от ближайшей группы путей, но непременно через выключатель; нормально эти участки должны быть без тока и заземлены, и при необходимости пропуска по ним электровозов с ближайшего поста подается в них ток.

Точно так же и разгрузочные и перегрузочные пути, если они снабжены контактным проводом, должны давать возможность отключать пос-

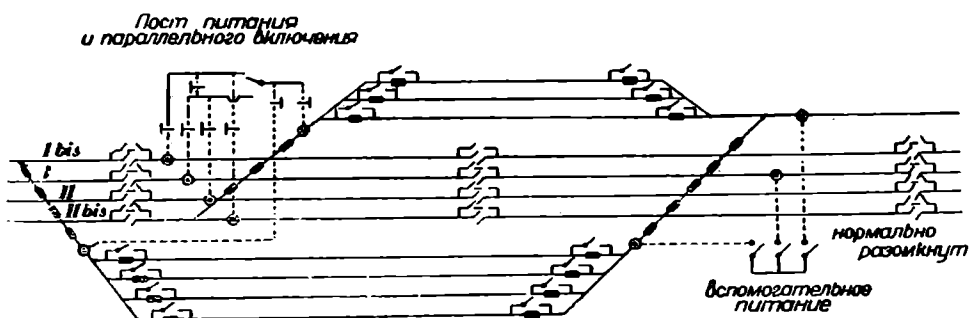


Рис. 18. Питание станционных путей.

ледний в период, когда происходит разгрузка вагонов: нахождение контактного провода под напряжением представляет опасность для работающих.

В зависимости от своего назначения секционные разъединители делятся на:

- а) разъединители питания, при помощи которых присоединяются питающие фидеры к контактной сети,
- б) станционные, отделяющие контактную линию на перегоне от станционной,
- в) связывающие питание обоих путей,
- г) групповые, связывающие отдельные группы станционных путей с главными путями или между собою,
- д) разъединители заземления для путей около депо, смотровых канав, разгрузочных путей.

Разъединители питания устанавливаются вблизи, у присоединения питающих фидеров к контактной сети; даже при небольшой длине питающего кабеля все же их рекомендуется устанавливать, имея в виду, что без этого питающий кабель будет находиться под напряжением даже в том случае, если он будет отключен у подстанции. Если питающий кабель присоединен к нескольким участкам контактного провода, то разъединители устанавливаются у каждого параллельного участка, благодаря чему имеется возможность выключить любые участки, не прекращая питания остальных; при необходимости же выключения питающего кабеля достаточно выключить главный питающий разъединитель, не прибегая

НТ
ДНУЖТ

к размыканию разъединителя параллельного питания. Так как в пределах станций благодаря маневровым движениям и большого количества стрелок нарушение правильного питания значительно чаще, чем на перегонах, как правило, мы указали, что станционные пути по обоим концам станции отделяются от перегонов и лишь на малых станциях это отделение имеет место с одной стороны. Соответствующие разъединители располагаются всегда за входными сигналами, почему оказываются защищенными последними. На некоторых дорогах были даже стремления установить такую зависимость между разъединителями и сигналом, чтобы при открытом положении разъединителя сигнал нельзя было бы открыть.

При коротком замыкании на одном из путей питание последнего выключается, и движение поездов производится по неправильному пути.

Так как при одностороннем питании может оказаться, что следующие за выключенным участки остаются без тока, то для питания их от соседнего пути оба пути имеют через известные промежутки соединения, которые при раздельном питании в нормальном положении разомкнуты.

На рис. 18 дано расположение секционных выключателей в пределах станции на жел. дороге Париж—Орлеан (Р.—О.).

Станционные пути питаются фидерами от собирательных шин постов параллельного включения или секционных постов.

Разъединители снабжаются ручным приводом, допускающим удобное и быстрое их обслуживание с полотна. Однако конструкция привода должна исключать возможность маневрирования разъединителями посторонними лицами.

Широко распространено центральное управление разъединителями посредством механической (гибкой) или электрической передачи, при чем в этих случаях должна быть предвидена возможность обслуживания каждого разъединителя и непосредственно ручным приводом.

8. Расчет сечения проводов

Жел. дороги постоянного тока отличаются от дорог переменного тока сравнительно невысоким напряжением в контактом проводе (1 000 — 3 000 в) и благодаря этому высокой силой тока, при недостаточном сечении проводов и фидеров это может вызвать столь значительное падение напряжения, что поезд не в состоянии будет развивать предусмотренную расписанием скорость.

Хотя из соображений удешевления контактной и питающей сети, и желательно допускать возможно более высокое падение напряжения в фидерах и контактом проводе, однако это связано с дополнительными потерями энергии в проводах и может вызвать опоздание поездов.

Исходя при проектировании питания контактной сети из некоторого допустимого падения в рабочем проводе у места потребления энергии (на электровозе), необходимо учитывать неизбежные колебания напряжения при колебании нагрузки как благодаря падению напряжения в контактом проводе и фидерах, так и падению напряжения в преобразовательной группе. Дабы ограничить силу тока при коротком замыкании, заманчивым кажется иметь достаточно высоким реактанс преобразовательной группы; однако это может вызывать недопустимое падение напряжения на шинах подстанции.

Величина среднего падения напряжения в контактом проводе устанавливается часто на основании экономических подсчетов, учитывая, с одной стороны, стоимость потерянной энергии в проводах, а с другой стороны, дополнительные расходы на усиление контактной сети, необходимое для снижения потерь в проводах. Чем выше стоимость электриче-

НИИ
ДНУЖТ

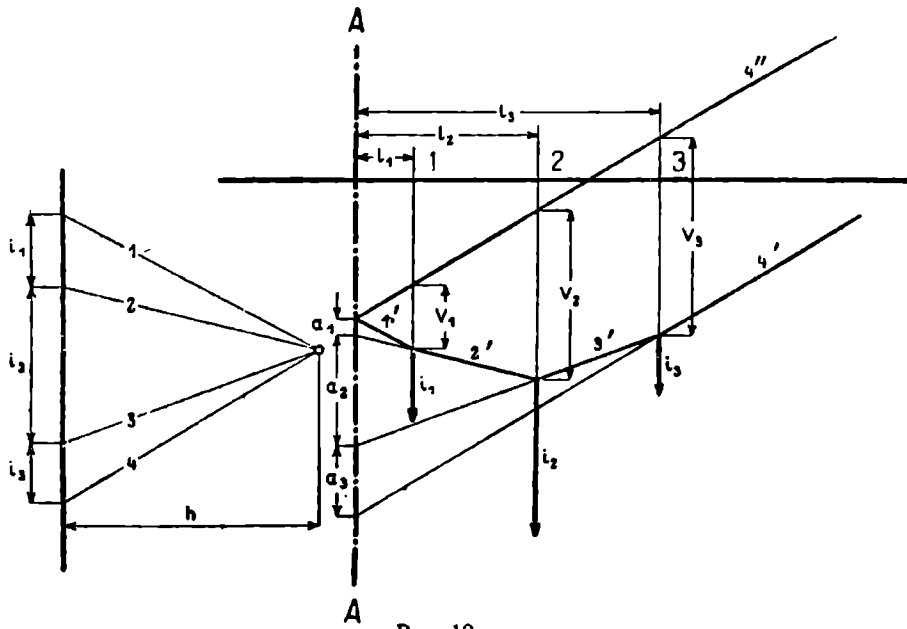


Рис. 19.

ской энергии, тем меньше потери следует допускать в контактном проводе, выбирая большие сечения проводов и уменьшая расстояние между подстанциями. При электрификации франц. южных жел. дорог, расположе-

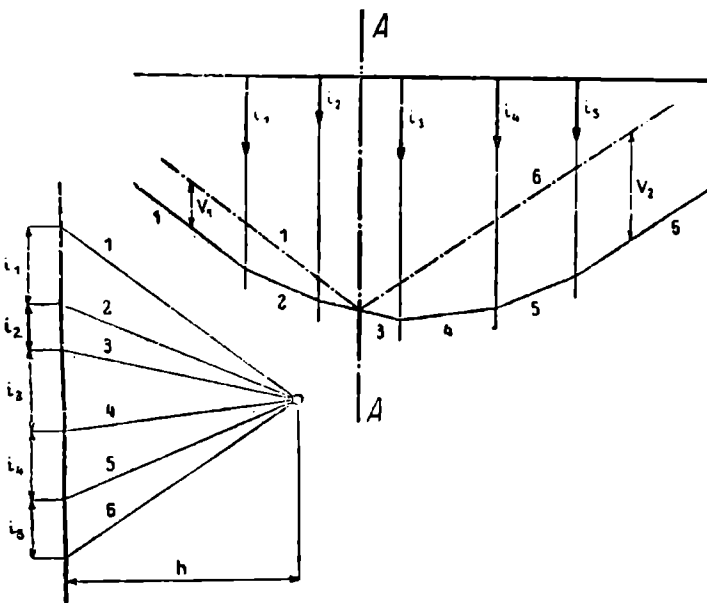


Рис. 20.

ние преобразовательных подстанций и расчет проводов велись, исходя из среднего падения напряжения в контактном проводе, в 20%.

На жел. дороге Париж—Орлеан (Р.—О.) сечение контактных проводов подобрано таким образом, что во время наиболее интенсивного движения среднее падение напряжения не превышает 18%, а максимальное—25% при расстоянии между подстанциями 25 км.

Железнодорожная нагрузка характеризуется постоянными колебаниями; при проверке по участку падения напряжения в подобранном сечении провода обычно исходят из графика поездов и

времени нахождения поездов и их нагрузки, а по этим данным можно уже судить о силе тока, проходящего в различных участках контактного провода для рассматриваемого момента, и падении напряжения в проводах.

НТ
ДНУЖТ

Сечение контактного провода определяется в зависимости от допустимого падения напряжения в контактном проводе по известной формуле:

$$q = \frac{17,5 I}{\Delta V} \quad (1),$$

где I — расчетная сила тока в амперах.

В случае нахождения на перегоне нескольких поездов удобнее пользоваться несколько измененной формулой, а именно:

$$\Delta V = \frac{17,5}{q} \sum i l = R \sum i l$$

где R — сопротивление проводов общим сечением q на единицу длины, а $R \sum i l$ — сумма падений напряжения на различных участках с одинаковой силой тока в проводах.

Для проверки падения напряжения в контактном проводе по формуле

$$\Delta V = R (i_1 l_1 + i_2 l_2 + i_3 l_3 + \dots + i_n l_n)$$

часто пользуются известным в статике веревочным многоугольником. Силы тока, потребляемые на различных пунктах между пунктами питания контактного провода, откладываются в некотором масштабе, а затем из центра O (рис. 19) на расстоянии $h = \frac{1}{R}$ от линии силы тока проводят лучи

1, 2, 3 и 4 и строят собственно веревочный многоугольник, проводя между векторами, обозначающими силу тока, линии 1', 2', 3' и 4' параллельно лучам 1, 2, 3, 4. Теперь достаточно провести линию 4'' параллельно 4' и отрезки между 4' и 4'' дадут падение напряжения в соответствующих пунктах при одностороннем питании участка в пункте АА.

Действительно из рис. 19 не трудно усмотреть:

$$\frac{i_1}{h} = \frac{a_1}{l_1}, \quad \frac{i_2}{h} = \frac{a_2}{l_2} \quad \text{и} \quad \frac{i_3}{h} = \frac{a_3}{l_3}.$$

Таким образом

$$V_3 = a_1 + a_2 + a_3 = \frac{1}{h} (i_1 l_1 + i_2 l_2 + i_3 l_3) \quad (2).$$

Далее:

$$\frac{i_3}{h} = \frac{a_3}{l_3} = \frac{V_3 - V_2}{l_3 - l_2}$$

и

$$V_2 = \frac{1}{h} \left\{ i_3 l_3 + i_2 l_2 + i_1 l_1 - \frac{1}{h} (l_3 - l_2) \right\} = \frac{1}{h} (i_3 + i_2) l_2 + i_1 l_1 \quad (3).$$

Если выбрать полюсное расстояние

$$h = \frac{1}{R},$$

то отрезки

$$V_3 = R (i_1 l_1 + i_2 l_2 + i_3 l_3) \quad (4),$$

$$V_2 = R \{ (i_3 + i_2) l_2 + i_1 l_1 \} \quad (5)$$

дадут падение напряжения в контактном проводе в точках 2 и 3.

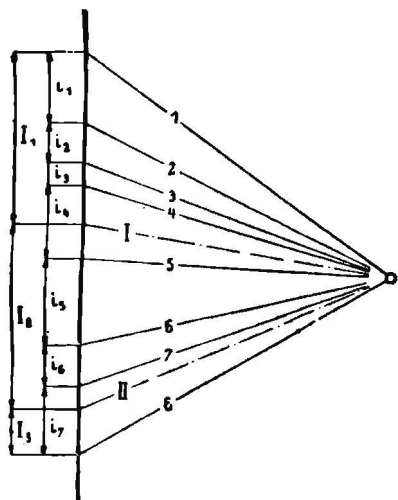
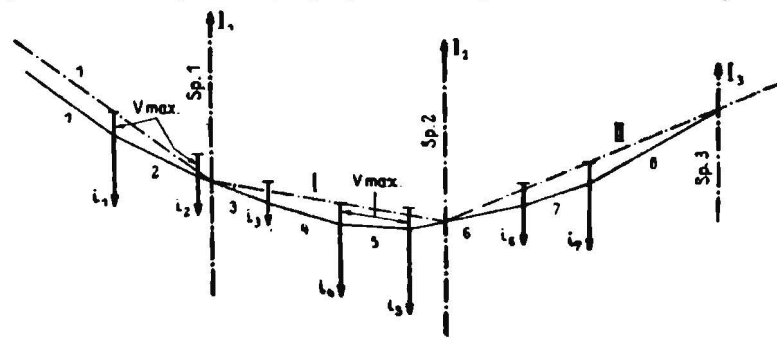


Рис. 21.

НТБ
ДНУЖТ

На рис. 20 дано графическое определение падения напряжения в случае питания участка из середины (АА).

В случае различного сечения контактного провода и фидеров в пределах зоны между подстанциями при построении приходится пользоваться несколькими полюсами с соответствующими полюсными расстояниями $R_1 R_2 \dots$

Более общий случай питания участка в трех точках дан на рис. 21.

Если пункт питания не располагается в непосредственной близости к контактному проводу, приходится учитывать дополнительное сопротивление r в питающей кабеле. Для возможности пользования и в этом случае графическими методами определяется эквивалентная длина контактного провода L , т. е. соответствующая сопротивлению кабеля: величина $L = \frac{r}{R} l_0$, и на величину L относят на диаграмме точку питания контактного провода.

Определив тем или иным способом падение напряжения в характерных пунктах контактной сети, можно построить кривую падения напряжения в течение суток или по временам года и учесть средние падения напряжения и потери в контактной сети, необходимые для ранее указанных экономических сравнительных подсчетов амортизации и погашений на затраты на контактное оборудование, и стоимость потерянной в проводах энергии.

9. Подвод тока третьим рельсом

Различают две основные системы подвода тока к электровозам: при помощи третьего рельса и при помощи воздушного провода.

Применение третьего рельса имеет большое преимущество в смысле простоты конструкции, обслуживания и ремонта; однако некоторые особенности этого способа питания не позволяют применять его при всяких условиях. Третий рельс имеет высокий коэф. самоиндукции. Благодаря этому при колебаниях тока имеют место высокие перенапряжения. В настоящее время считается, что применение третьего рельса может быть допущено для напряжений до 1500 в. В Америке на линиях Michigan Railway был установлен третий рельс для напряжения между рельсом и землей в 2400 в, однако впоследствии пришлось напряжение снизить до 1200 в.

Для возможности применить третий рельс для напряжений свыше 1500 в иногда устанавливаются два рельса-проводника: один — положительный, другой — отрицательный, с разностью потенциалов по отношению к земле 1500 в; между рельсами — 3000 в; путевые же рельсы служат нейтральным проводом. Примером такой подани тока может служить жел. дорога St. George de Commiers à la Muré¹, сооруженная в 1903 г. для постоянного тока 2400 в.

Эта система дорогá благодаря необходимости иметь два провода, и распространения не получила.

На метрополитене Nord—Sud в Париже применено напряжение 1200 в при трехпроводной системе в виде воздушного провода третьего рельса и в качестве нейтрального провода служат путевые рельсы².

При смешанной эксплуатации дороги паровыми и электрическими поездами воздушный провод быстро покрывается копотью, и снятие тока становится весьма затруднительным; помимо того часто при сгорании топлива образуется настолько много сернистого газа, что разрушение подвесного материала происходит очень быстро. Подобное явление на-

¹ L'industrie électrique. 10/XI-1903 и Génie Civil 2/Vf-1906.

² Génie Civil 21/X-1911.

НТБ
ДНУЖТ

блюдалось на франц. южных жел. дорогах. В Англии было отмечено подобное же разрушение подвесного материала, которое приписывается дыму с труб заводов, расположенных в близлежащем районе. На линии Lancashire and Yorkshire на участке Bury Holcombe Brook пришлось остановиться на 1 200 в в третьем рельсе, чтобы избежать вредного влияния дыма на воздушную контактную линию.

Пользование третьим рельсом затруднительно в местностях с большим снегопадом, так как очистка путей от снега при третьем рельсе представляет затруднения. Кроме того третий рельс представляет известную опасность для агентов, находящихся на железнодорожном полотне, в особенности при снятии тока сверху. При снятии тока снизу рельс прикрывается досками с трех сторон и в таком виде не представляет уже той опасности для людей, переходящих железнодорожные пути, как в случае открытых рельсов.

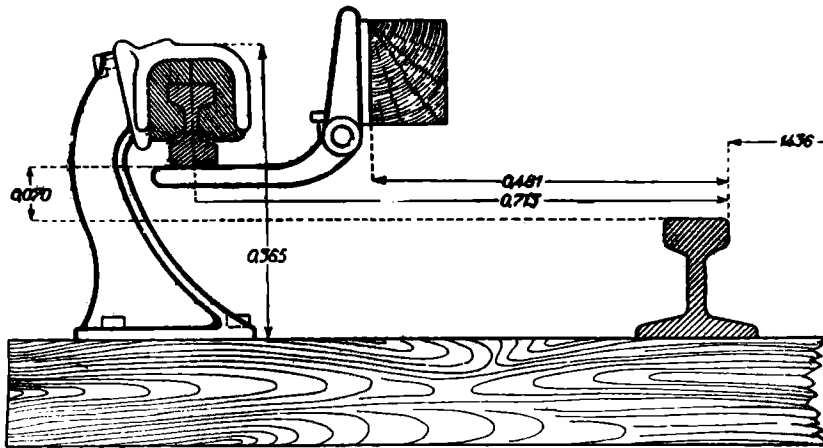


Рис. 22.

Стоимость оборудования дорог подачей тока при помощи воздушного провода зависит в большей степени от цены на медь. Однако, если мы желаем сохранить возможно малое падение напряжения в проводах, равное падению в случае третьего рельса, и иметь удовлетворительное снятие тока при большой скорости, стоимость оборудования дороги системой воздушного провода в этих условиях очень мало будет отличаться от стоимости системы с третьим рельсом.

На жел. дорогах New-York Central постоянного тока напряжением 600 в питание производится при помощи третьего рельса двухголового сечения весом 35 кг/м. Рельс прокатывался из стали специального состава содержанием: С 0,08—0,10%; Si 0,01—0,02%; Ph 0,08—0,09%; S 0,06—0,07%; Mn 0,38—0,40%. Так как сталь указанного состава легко ржавеет, рельс покрывается со всех сторон, за исключением низа (питание с нижним контактом), смолой.

Укрепление рельса производится на удлиненных на 0,50 м шпалах через каждые 3 м, в особых опорах, отлитых из чугуна (рис. 22). Изоляторы составлены из двух половин, стянутых железной скобой. Стоимость содержания и ремонта контактного оборудования составляет 15 долл. в год за 1 км.

На Пенсильванской жел. дор., на участке, примыкающем к Нью-Йорку, для питания поездов постоянным током напряжением в 600 в также принят

НТ
ДНУЖТ

был третий рельс; однако, чтобы избежать фидеров, решено было достаточное сечение придать самому третьему рельсу, а именно: рельс был принят особой формы, весом 75 кг/м , из стали, с малым электрическим сопротивлением (восьмикратное против меди). Укрепление третьего рельса в тоннеле видно на рис. 23. Рельс широкой подошвой укладывается на особые фарфоровые опоры, располагаемые на удлиненных шпалах через каждые 2 м . Сверху третий рельс прикрыт широкой доской. Снятие тока происходит сверху.

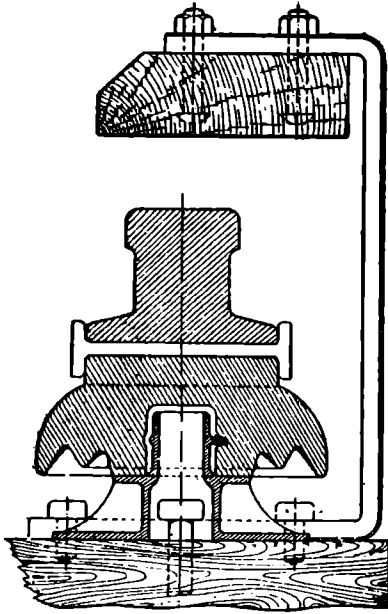


Рис. 23.

Подача тока на жел. дорогах Париж—Лион—Средиземное море (Р.—Л.—М.). Вопрос о наиболее выгодной системе подачи тока для рассматриваемого участка обсуждался очень долго. Выбранное рабочее напряжение в 1500 в допускает возможность применения и третьего рельса, и воздушной надземной системы при помощи одного или нескольких проводов. Однако американская практика показала, что третий рельс имеет большие преимущества, особенно при столь густом движении как на линии Culoz—Modane, почему эту систему и решено было применить на этом опытном участке.

Эта система легко применима на данном участке и в том отношении, что не вызывает больших неудобств при смешанной системе тяги (паровой и электрической), в смысле осаднения на проводах копоти при проходе паровозов, что ухудшает снятие тока.

Для опыта на участке Chambéry—St. Pierre d'Albigny длиной 25 км решено было уложить двуголовые рельсы весом 50 кг/м на изоляторах-опорах,

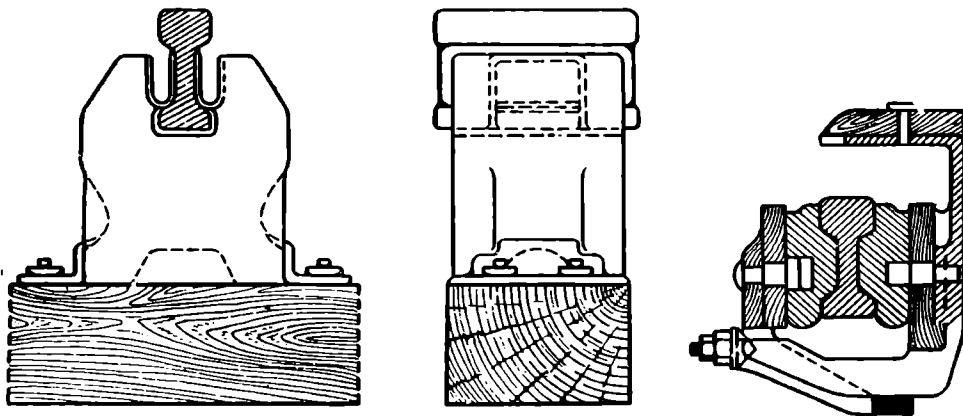


Рис. 24. Третий рельс на жел. дороге Р.—Л.—М.

располагаемых непосредственно на удлиненных поперечинах. Рельсы были прокатаны из специальной стали большой электропроводности. Рельс поддерживается в опорах при помощи двух пружинящих стальных пластинок толщиной 2 мм . Защита этого рельса против попадания посторонних тел на него запроектирована согласно рис. 24, а именно: укладываются две

НТ
ДНУЖТ

доски с боков и одна сверху. Скользящий башмак для собирания тока располагается поверх рельса. Эта система требует особых мер для снятия тока в случаях, когда рельс покрывается слоем льда, поэтому было испытано несколько специальных скользящих башмаков, из коих наиболее

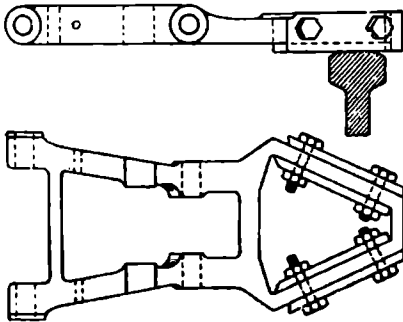


Рис. 25

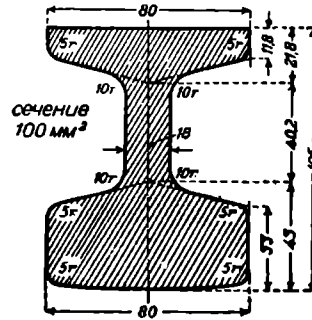


Рис. 26. Профиль третьего рельса Берлинских пригородных жел. дор.

отвечающим своему назначению оказался тип, изображенный на рис. 25. К обычному скользящему башмаку зимой прикрепляются на болтах стальные пластинки, располагаемые под углом 30° к оси рельса, которые очищают рельс. Сила нажатия скользящего башмака может быть регулирована при помощи сжатого воздуха в цилиндрах с поршеньками. Это давление доводилось до 200 кг, что оказалось вполне достаточным.

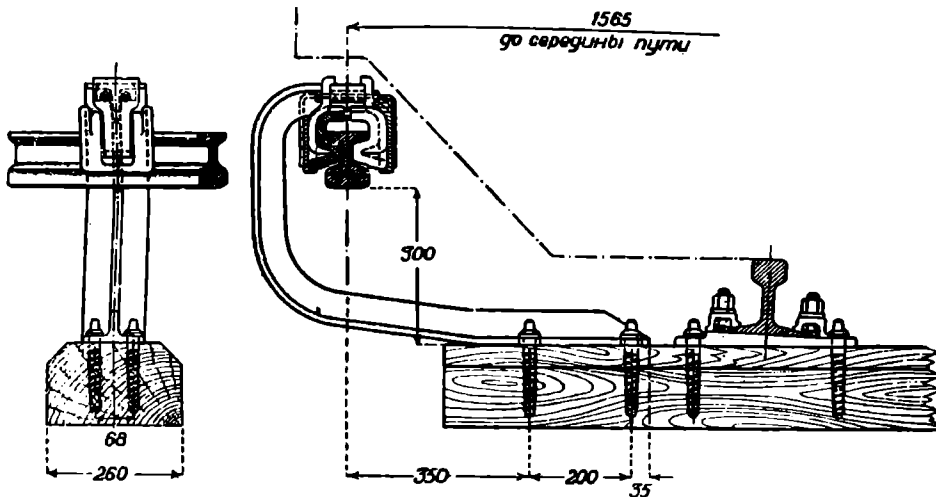


Рис. 27. Укрепление третьего рельса Берлинских пригородных жел. дорог.

При электрификации Берлинских пригородных и городских жел. дорог (постоянный ток 850 в) был применен третий рельс, электропроводимостью около 8,9, весом 40 кг/м, с нижним снятием тока (профиль рельса дан на рис. 26, а прикрепление рельса дано на рис. 27). Рельс длиной 18 м устанавливается на трех опорах из выгнутообразного железа на шурупах, укрепляемого к удлиненным шпалам; рельс подвешивается к опоре через посредство фасонных изоляторов; попытка применить стеклянные изоляторы не увенчалась успехом, так как большие напряжения вызывали

частые поломки их; в настоящее время германские дороги перешли к фарфоровым изоляторам (рис. 28). Температурные колебания вызывают изменения длины третьего рельса: с этой целью каждые 2—3 рельса снабжаются особым стыком со свободным удлинением; электрическое соединение между рельсами производится на этих стыках при помощи медного провода 4×95 мм². На стрелках, переездах и на других местах, где прерывается третий рельс, проложен освинцованный кабель сечением 1×500 мм², снабженный особыми муфтами для соединения с третьим рельсом.

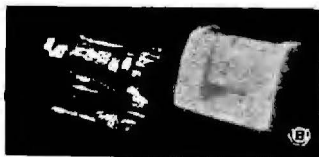


Рис. 28.

10. Работа цепной подвески

Безукоризненное снятие тока при помощи пантографа при больших скоростях требует сохранения определенного положения контактного провода по отношению к токоприемнику, независимо от внешних условий, как-то: температурного влияния, ветра, гололедиц и т. п.

В горизонтальной плоскости пантограф не только в известных пределах допускает отклонение провода от средней оси пути, но для равномерного износа пантографа следует провод располагать по зигзагу.

Согласно нашим техническим условиям (п. 6) на устройство контактного оборудования предвидится, что контактный провод в соответствии с максимальными (полезной шириной токоприемника 1500 мм и полной шириной его 2100 мм) может уклоняться в обе стороны от осевой линии пути при наиболее неблагоприятных условиях не далее чем на 750 мм.

На тех участках пути, где могут образовываться перекосы против нормального положения рельсов свыше 13 мм, предельное отклонение должно быть ограничиваемо 600 мм.

В случае подвески зигзагами нормальный вынос точки подвеса, считая от осевой линии, не должен превышать 500 мм.

Размещение зигзагов на двупутных участках должно обеспечивать возможность безопасно производить ремонтные работы на выключенной контактной системе одного пути при нахождении проводки второго пути под напряжением.

В отношении колебания высоты контактного провода следует учитывать, что пантограф должен работать при небольшом давлении на контактный провод, во избежание большого износа, почему при резких изменениях в высоте провода он не сможет следовать за ним, и отставание пантографа от провода вызовет искрение и образование дуги; поэтому особое внимание должно быть обращено на сохранение по возможности высоты провода с наименьшими отступлениями по всей длине участка. Помимо того не следует недооценивать и того, что контактное оборудование дорог постоянного тока имеет ту особенность, что благодаря сравнительно низкому напряжению в проводах приходится при большой мощности электровоза снимать большую силу тока; при этом для пассажирских электровозов это снятие тока может иметь место при высоких скоростях. Нашими техническими условиями на устройство контактного оборудования для 1500—3000 в постоянного тока предписывается удовлетворительное токоснимание при скорости до 100 км/час, и только на горных участках предельная скорость может быть снижена. Эти условия требуют особой гибкости при подвеске контактного провода.

При электрификации жел. дорог почти исключительно применяется цепная подвеска, состоящая из несущего троса и собственно рабочего

Н
Д
Ж
У
Н
Т

(контактного) провода, подвешиваемого при помощи специальных клемм к несущему тросу.

Несущий трос часто устраивается бронзовым большой электрической проводимости, и тогда, помимо своего прямого назначения—нести контактный провод, он является одновременно и проводником.

Несущий трос подвешивается с большим начальным провесом.

Если принять несущий трос невесовым, то при нагрузке вертикальными силами, в некоторых точках силами P_1 P_2 , он займет положение, изображенное на рис. 29, ломаной линией $abcde$, называемой цепным многоугольником. При равновесии сил сумма проекций их на две перпендикулярные оси должна быть равна нулю. На основании этого мы получаем основные уравнения в виде:

$$H_1 = H_2 \\ V_1 + V_2 = \Sigma P.$$

При равномерном распределении нагрузки по пролету — цепной многоугольник превращается в цепную линию, с уравнением

$$y = -\frac{e}{2} \left(e^{\frac{x}{c}} + e^{-\frac{x}{c}} \right) \quad (6).$$

Последнее уравнение однако часто заменяется уравнением параболы, близко совпадающей с цепной линией. Уравнение параболы имеет вид:

$$y = C + \frac{x^2}{2C} \quad (7).$$

Основной закон цепной линии гласит: натяжение ее в любой точке равно провесу в рассматриваемой точке, умноженному на нагрузку на единицу длины, т. е.

$$S = qu$$

или для середины ее

$$H' = qc.$$

На основании рис. 30 выводится основное уравнение для несущего троса.

Имеем:

$$\frac{2f}{a} = \frac{ap}{H'}$$

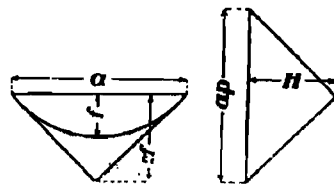


Рис. 30.

где:

$a = L$ — обозначает пролет между точками подвеса несущего троса,
 f — провес троса,
 $p = q$ — равномерную нагрузку на единицу длины,
откуда имеем:

$$f = \frac{L^2 q}{8H'} \quad (8).$$

Найдем теперь уравнение—состояния несущего троса с учетом влияния температуры.

Обозначим:

E — модуль упругости несущего троса,
 α — коэф. температурного удлинения троса,

НТБ
ДНУЖТ

Условимся индекс 1 относить к температуре t_1 , индекс 2 — к температуре t_2 , B — длина несущего троса, b_0 — длина троса (ненатянутого), в пролете L при 0°C

$$B_1 = L + \frac{8f_1}{3L}$$

$$B_2 = L + \frac{8f_2}{3L}$$

(геометрические условия),

$$B_1 = b_0 + \frac{LH'_1}{QE} + Lat_1 \quad (9).$$

и

$$B_2 = b_0 + \frac{LH'_2}{QE} + Lat_2 \quad (10).$$

(физические условия).

Членами второго порядка пренебрегаем, так как расчет приближительный. Отсюда получается уравнение состояния несущего троса без учета влияния контактного провода

$$t_2 = \frac{1}{QE\alpha} (H'_1 + H'_2) - \frac{8}{3L^2\alpha} (f_1^2 - f_2^2) + t_1 \quad (11).$$

В несущем проводе благодаря большому начальному провесу изменение температур совершенно незаметно влияет на провес провода и не может вызвать больших напряжений в проводе, почему несущий провод устраивается без компенсирующих приспособлений. Контактный провод устраивается с натяжным приспособлением, так как иначе при повышении температуры получился бы недопустимый провес, а при понижении температуры — недопустимые напряжения материала. Ранее найденные формулы для определения провеса и натяжения провода не могут распространяться на цепную подвеску без преобразований, так как они не учитывают усилий в контактном проводе вследствие самостоятельного натяжения.

Пусть

q' — вес цепной подвески, относящейся к несущему тросу (кг/м),

q'' — вес цепной подвески, относящейся к контактному проводу,

$q = q' + q''$ — вес цепной подвески,

Q — сечение несущего троса,

H' — натяжение несущего троса,

H'' — натяжение контактного провода,

f' — провес несущего троса,

f'' — провес контактного провода,

$f = f' - f''$ — разница между провесами несущего троса и контактного провода,

L — нормальный пролет.

Если несущий трос подвешен так, что при $t = 10^\circ\text{C}$, контактный провод при натяжении H' находится в горизонтальном положении, т. е. не имеет провеса, то для этого случая $q'' = 0$.

При $t > +10^\circ\text{C}$ или $t = -5^\circ\text{C}$ и одновременной нагрузке гололедью — q'' становится больше 0; т. е. в обоих случаях контактный провод будет иметь провес вниз. Натяжение в контактном проводе влияет таким образом на провес и изменение стрелы провеса в благоприятном смысле. Вес цепной подвески воспринимается в случае $H'' = 0$ одним несущим тросом; при натяжении контактного провода частично также и последним.

НТБ
ДНУЖТ

Если в ур-ние

$$H' = q' \frac{L^2}{8f'}$$

вместо q' подставим его значение из выражения:

$$q - q'' = q' = q - \frac{8H'' \cdot f''}{L^2}$$

или так как

$$\begin{aligned} f'' &= f' - f, \\ q' &= q - \frac{8H''(f' - f)}{L^2}, \end{aligned}$$

то получим зависимость между натяжением провода и провесом в виде

$$H' = \frac{qL^2}{8f'} - \frac{H''f''}{f'} \quad (12).$$

т. е. вследствие натяжения в контактном проводе усилие в несущем тросе становится меньше. Это уменьшение определяется той частью натяжения контактного провода, которая соответствует отношению провеса контактного провода, к провесу несущего троса. Таким образом, чем больше натяжение контактного провода, тем меньше дополнительное натяжение в тросе.

Вышеприведенное соотношение можно представить в более простом виде, а именно:

$$H' = \left(\frac{qL^2}{8} + fH'' \right) \frac{1}{f'} - H'' \quad (13).$$

Если пренебречь натяжением контактного провода, т. е. положить $H'' = 0$, то ур-ние (13) переходит в известную формулу для расчета провеса по заданному пролету и натяжению.

Ур-ние (13) может быть использовано в дальнейшем как исходное для расчета изменения стрелы провеса в изменяющейся внешней температуре и при учете натяжения контактного провода.

Для этого мы в ранее найденную формулу изменения состояния (ф-ла 11) подставим найденные из ур-ния (13) значения H' и f' . Это приводит к ур-нию состояния объединенной цепной подвески

$$\begin{aligned} t_2 = \frac{1}{QE\alpha} (H'_1 + H'_2) + t_1 - \frac{8}{3L^2\alpha} \frac{1}{(H'_1 + H'_2)^2} \left(\frac{q_1L^2}{8} + fH'' \right)^2 - \frac{1}{QE\alpha} \left(\frac{q_1L^2}{2} + fH'_2 \right) \frac{1}{f'_1} + \\ + \frac{8}{3L^2\alpha} f_2^2 \quad (14). \end{aligned}$$

Ур-ние (14), кроме двух переменных t_2 и f_2 , содержит еще неизвестное f , которое считается величиной постоянной, если изменение длины подвесных проводов очень незначительно. Для определения его исходят из условия, что при заданной предписаниями температуре ($t_2 = +10^\circ \text{Ц}$), контактный провод должен быть горизонтальным.

Для этого случая $f'' = 0$, так как $f = f' + f''$, то $f' = f_2$.

Если подставить в ур-ние (14) $t_2 = +10^\circ \text{Ц}$, $t_1 = -5^\circ \text{Ц}$, $f'_1 = f$, то ур-ние, после небольших преобразований, примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{8}{3L^2\alpha} \left(1 - \frac{H_1^2}{(H'_1 + H''_1)^2} \right) f^3 - \frac{2q_1H_1}{3\alpha(H'_1 + H''_1)^2} f^2 + \left(\frac{1}{QE\alpha} H'_1 + t_1 - t_2 - \frac{q_1L^2}{24\alpha(H'_1 + H''_1)^2} \right) f - \\ - \frac{1}{QE\alpha} \frac{q_2L^2}{8} = 0 \quad (15). \end{aligned}$$

НТБ
ДНУЖТ

Из ур-ния (15), которое содержит только одно неизвестное f , можно определить его значение. Если найденную таким образом величину f затем подставить в ур-ние (14), оно будет содержать два переменных t_2 и f_2' и по различным значениям f_2' можно найти соответствующие значения t_2 . Провес контактного провода определяется как разность

$$f_2'' = f_2' - f.$$

На рис. 31 представлены провесы несущего троса для различных пролетов в зависимости от температуры. Постоянная f находится на ординате $t = +10^\circ\text{C}$.

Если в ур-нии положить $H'' = 0$, т. е. не учитывать натяжения контактного провода, то получим общее ур-ние для изменения состояния ненапрянутого провода, Этого было бы для расчета контактного

провода недостаточно. Как показывает рис. 32, влияние натяжения контактного провода на провес троса настолько велико, что им нельзя пренебрегать.

При проектировании цепного подвешивания всегда стремятся увеличивать L расстояние между мачтами, так как это позволяет уменьшить стоимость контактного оборудования благодаря экономии на мачтах, кронштейнах, упорках и изоляторах. Хотя увеличение пролета и вызывает некоторое увеличение высоты мачты, однако это удорожание незначительно по сравнению с вышеуказанной экономией. Увеличение длины свободного пролета имеет своим пределом наибольшее допустимое отклонение контактного провода, вызванное усилием ветра. Это отклонение

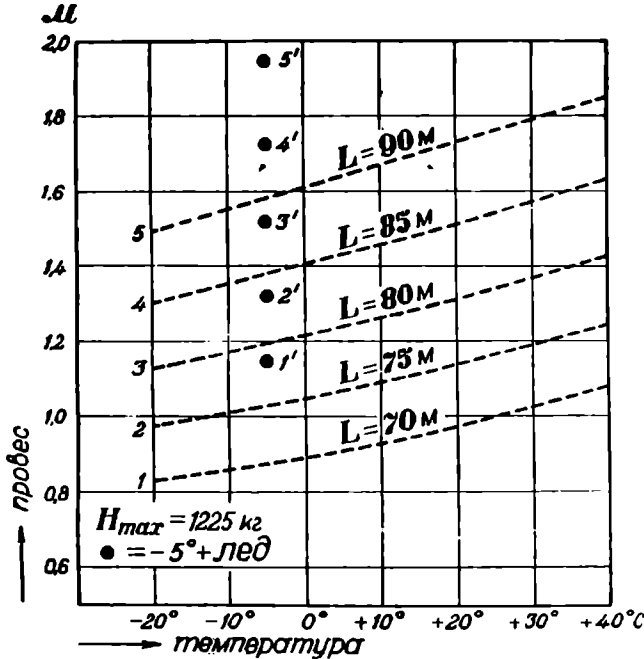


Рис. 31. Провес несущего троса объединенной цепной подвески с учетом влияния натяжения контактного провода.

не должно превышать некоторой величины, в противном случае появляется опасность схода пантографа.

В то время как влияние ветра ограничивает длину пролета, — температурное изменение определяет натяжение и стрелу провеса несущего провода. Обычно регулирование цепной подвески производится таким образом, что при нормальной температуре $= +10^\circ$ рабочий провод лежит горизонтально. При изменениях температур он теряет свое горизонтальное положение и получает провес; кроме того меняется натяжение несущего провода. С поднятием температуры — удлиняются оба провода, однако контактный провод снабжается натяжным приспособлением; несущий же провод жестко закрепляется и при изменении температуры меняет свой провес; с увеличением провеса уменьшается натяжение несущего провода, почему последний благодаря своей упругости несколько уменьшает удлинение, вызванное растягивающей силой. Так как контактный провод прикрепляется при помощи подвесок к несущему проводу, то при

провисании несущего провода провисает и контактный провод на некоторую наибольшую величину посредине, уменьшающуюся до нуля к концам.

Для того чтобы при колебаниях температуры получить возможно меньшее провисание контактного провода, предпочтительно иметь коэф. температурного расширения несущего провода возможно меньшим, а модуль упругости — возможно бльшим.

При понижении температуры провес несущего провода уменьшается и контактный провод поднимается; натяжение несущего провода возрастает. При проектировании подвески исследуются случаи для некоторых предельных температур в Германии $+40$ и -20° . Кроме того, исследуется также цепная подвеска при -5° и гололеди. Этот случай дает наибольшее напряжение материала несущего провода, так как помимо увеличения натяжения провода, благодаря понижению температуры до -5° , увеличивается нагрузка вследствие увеличения веса подвешенного провода под тяжестью льда. Что касается провисания несущего, а с ним и контактного провода, то первая причина вызывает уменьшение провеса, но вторая, при большом количестве льда, может вызвать значительное провисание провода, превышающее первое.

Для исправного снятия тока, и в особенности когда сила тока велика, необходимо, чтобы изменения в высоте контактного провода были возможно меньшими; неизбежные перегибы провода у мачт и постепенное провисание провода к середине пролета могут быть причиной искрения, во избежание чего следует, чтобы переходы были плавными; другими словами, не столь большое значение имеет абсолютный прогиб, как относительный, т. е. величина прогиба, деленная на пролет, принимая, что прогиб имеет вид параболы. Интересно отметить, что в известных пределах с увеличением пролета относительное провисание контактного провода уменьшается, в то время как абсолютное увеличивается.

Следует учитывать еще одно температурное влияние на цепную подвеску. При изменении длины контактного провода вследствие натяжного приспособления происходит перемещение провода по длине рельсового пути при относительно неподвижном несущем проводе, почему подвески устанавливаются наклонно и укорачиваются, изменяя высоту контактного провода; дабы ослабить это явление, короткие подвески у концов компенсированного участка заменяются особыми скользящими треугольниками.

Считается, что перекося подвески не должен превосходить определенной величины. В тех точках подвеса контактного провода, для которых синус угла отклонения подвески от вертикального положения превосходит 0,4, необходимо применение скользящих петлевых подвесок, которые

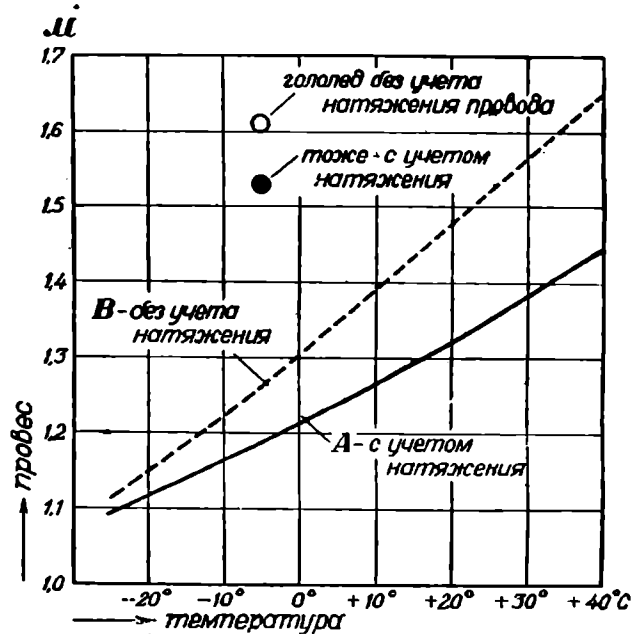


Рис. 32. Влияние натяжения контактного провода на провес несущего троса.

перемещаются с подвижными клеммами по тросу; в этом месте на тросе следует предвидеть защитные гильзы (трубки).

Перекос любой подвески может быть определен из ур-ния:

$$\sin \varphi = \left(\frac{x+x_0}{y} \right) Lt$$

где:

x — расстояние подвески от неподвижной точки натяжного участка,
 $t = \pm 30^\circ$ — наибольшие колебания температур от нормальной ($+10^\circ \text{C}$),

x_0 — запасный допуск в длине на неточность монтажа, растяжение контактного провода, перемещение контактного провода и изгиб анкерной опоры,

y — обозначает длину подвесного провода (рис. 33). Последняя определяется из ур-ния:

$$y = y_0 + \frac{x'^2 q}{2H}$$

в котором y_0 — наименьшее расстояние между контактным проводом и несущим тросом, x' — расстояние подвески от середины натяжного пролета. Для большей надежности рекомендуется принимать x_0 не меньше 100 мм.

Познакомимся ближе с влиянием давления ветра на расстояние между опорами.

При ветре, действующем на цепную подвеску в перпендикулярном направлении, несущий трос колеблется в направлении ветра, около точек закрепления, и контактный провод отклоняется из своего положения покоя.

Действию давления ветра противодействуют вес цепной подвески и натяжение H' в контактом проводе. Действующие на систему силы должны находиться в равновесии.

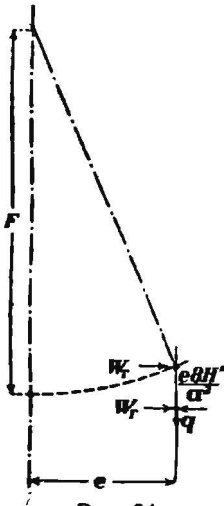


Рис. 34.

Напишем ур-ние моментов (рис. 34).

$$(W_T + W_F) f = qe + e \frac{8H''}{a^2} f$$

откуда

$$e = \frac{(W_T + W_F) f}{q + \frac{8H''}{a^2} f} = \frac{(W_T + W_F) a^2}{8 \left(\frac{qa^2}{8f} + H'' \right)} = \frac{Wa^2}{8(H' + H'')} = \frac{Wa^2}{8z},$$

которое приводит к известной формуле для отклонения ветра:

$$e = \frac{\mu a^2 W}{8z} \quad (16).$$

В этом представляющем параболу, ур-нии

a есть расстояние между опорами,

$W = W_T + W_F$ — давление ветра на цепную подвеску

(кг/м),

$z = H' + H''$ — натяжение в цепной подвеске (кг),

μ — коэф., который учитывает задерживающее действие троса увеличение натяжения и провеса троса вследствие давления ветра, неточность используемых при составлении ур-ния моментов величин.

Произведенные испытания показали, что для применяемых пролетов коэф. μ мало отличается от единицы (0,96 — 0,98). Если кроме того принять

НТЭ
ДНУЖТ

во внимание, что кронштейн поддерживающий трос не может рассматриваться абсолютно неподвижным и при неравномерном распределении давления ветра на отдельные пролеты имеет место некоторое смещение — податливость системы, которое ведет к укорочению пролета, то в целях большей надежности необходимо принимать $\mu = 1$.

Кроме физических условий при определении отклонения по ур-нию (13) необходимо принять еще геометрические условия — путь токоприемника и положение отклоненного провода в общем виде, согласно сильно утрированному рис. 35.

Здесь R — означает радиус кривой пути середины токоприемника, e'_{\max} — наибольшее допустимое отклонение под действием ветра, b_1 и b_2 — вынос контактного провода от оси пути у опор 1 и 2 (зигзаг).

Дуга окружности, которую описывает середина токоприемника на закруглении, может быть с достаточной точностью выражена следующим образом:

Из рис. 35 следует:

$$\frac{a^2}{2} + (R - c)^2 = R^2,$$

так как c^2 по сравнению с остальными членами очень мало, поэтому приблизительно:

$$c = \frac{a^2}{8R}.$$

Для определения параметра p — в общем ур-нии параболы $y = px^2$, подставим $x = \frac{a}{2}$, так как по рис. 35 для этого случая $y = c$,

то
$$c = p \left(\frac{a}{2} \right)^2,$$

или

$$p = \frac{4c}{a^2}$$

Введем этот параметр в ур-ние:

$$y = \frac{4c}{a^2} x^2,$$

или, принимая во внимание полученное выше значение c , получим:

$$y = \frac{x^2}{2R}.$$

Если линию отклонения контактного провода точно так же принять параболой, то она может быть выражена ур-нием:

$$y' = p'x'^2.$$

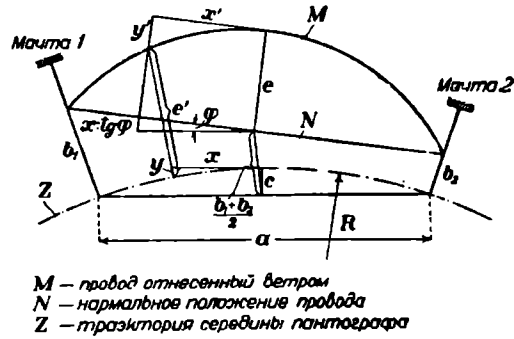


Рис. 35.

НТБ
ДНУЖТ

частые поломки их; в настоящее время германские дороги перешли к фарфоровым изоляторам (рис. 28). Температурные колебания вызывают изменение длины третьего рельса: с этой целью



Рис. 28.

каждые 2—3 рельса снабжаются особым стыком со свободным удлинением; электрическое соединение между рельсами производится на этих стыках при помощи медного провода 4×95 мм². На стрелках, переездах и на других местах, где прерывается третий рельс, проложен освинцованный кабель сечением 1×500 мм², снабженный особыми муфтами для соединения с третьим рельсом.

10. Работа цепной подвески

Безукоризненное снятие тока при помощи пантографа при больших скоростях требует сохранения определенного положения контактного провода по отношению к токоприемнику, независимо от внешних условий, как-то: температурного влияния, ветра, гололеда и т. п.

В горизонтальной плоскости пантограф не только в известных пределах допускает отклонение провода от средней оси пути, но для равномерного износа пантографа следует провод располагать по зигзагу.

Согласно нашим техническим условиям (п. 6) на устройство контактного оборудования предвидится, что контактный провод в соответствии с максимальными (полезной шириной токоприемника 1500 мм и полной шириной его 2100 мм) может уклоняться в обе стороны от осевой линии пути при наиболее неблагоприятных условиях не далее чем на 750 мм.

На тех участках пути, где могут образовываться перекосы против нормального положения рельсов свыше 13 мм, предельное уклонение должно быть ограничиваемо 600 мм.

В случае подвески зигзагами нормальный вынос точки подвеса, считая от осевой линии, не должен превышать 500 мм.

Размещение зигзагов на двупутных участках должно обеспечивать возможность безопасно производить ремонтные работы на выключенной контактной системе одного пути при нахождении проводки второго пути под напряжением.

В отношении колебания высоты контактного провода следует учитывать, что пантограф должен работать при небольшом давлении на контактный провод, во избежание большого износа, почему при резких изменениях в высоте провода он не сможет следовать за ним, и отставание пантографа от провода вызовет искрение и образование дуги; поэтому особое внимание должно быть обращено на сохранение по возможности высоты провода с наименьшими отступлениями по всей длине участка. Помимо того не следует недооценивать и того, что контактное оборудование дорог постоянного тока имеет ту особенность, что благодаря сравнительно низкому напряжению в проводах приходится при большой мощности электровоза снимать большую силу тока; при этом для пассажирских электровозов это снятие тока может иметь место при высоких скоростях. Нашими техническими условиями на устройство контактного оборудования для 1500—3000 в постоянного тока предписывается удовлетворительное токоснимание при скорости до 100 км/час, и только на горных участках предельная скорость может быть снижена. Эти условия требуют особой гибкости при подвеске контактного провода.

При электрификации жел. дорог почти исключительно применяется цепная подвеска, состоящая из несущего троса и собственно рабочего

НТБ
ДНУЖТ

(контактного) провода, подвешиваемого при помощи специальных клемм к несущему тросу.

Несущий трос часто устраивается бронзовым большой электрической проводимости, и тогда, помимо своего прямого назначения—нести контактный провод, он является одновременно и проводником.

Несущий трос подвешивается с большим начальным провесом.

Если принять несущий трос невесовым, то при нагрузке вертикальными силами, в некоторых точках силами P_1, P_2 , он займет положение, изображенное на рис. 29, ломаной линией $abcde$, называемой цепным многоугольником.

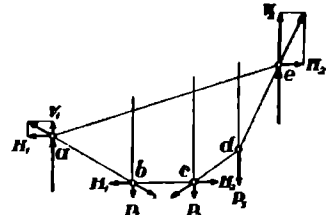


Рис. 29.

При равновесии сил сумма проекций их на две перпендикулярные оси должна быть равна нулю. На основании этого мы получаем основные уравнения в виде:

$$\begin{aligned} H_1 &= H_2 \\ V_1 + V_2 &= \Sigma P. \end{aligned}$$

При равномерном распределении нагрузки по пролету — цепной многоугольник превращается в цепную линию, с уравнением

$$y = \frac{e}{2} \left(e^{\frac{x}{c}} + e^{-\frac{x}{c}} \right) \quad (6).$$

Последнее уравнение однако часто заменяется уравнением параболы, близко совпадающей с цепной линией. Уравнение параболы имеет вид:

$$y = C + \frac{x^2}{2C} \quad (7).$$

Основной закон цепной линии гласит: натяжение ее в любой точке равно провесу в рассматриваемой точке, умноженному на нагрузку на единицу длины, т. е.

$$S = qu$$

или для середины ее

$$H' = qc.$$

На основании рис. 30 выводится основное уравнение для несущего троса.

Имеем:

$$\frac{2f}{a} = \frac{ap}{H'}$$

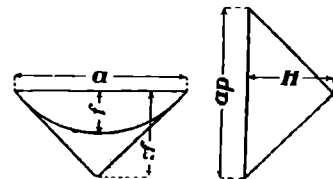


Рис. 30.

где:

$a = L$ — обозначает пролет между точками подвеса несущего троса,

f — провес троса,

$p = q$ — равномерную нагрузку на единицу длины,

откуда имеем:

$$f = \frac{L^2 q}{8H'} \quad (8).$$

Найдем теперь уравнение—состояния несущего троса с учетом влияния температуры.

Обозначим:

E — модуль упругости несущего троса,

α — коэф. температурного удлинения троса,

НТБ
ДНУЖТ
4*

Для определения параметра ρ' следует отметить, что для

$$x' = \frac{a}{2}, \text{ имеем } y' = e$$

и по подстановке получаем:

$$e = \rho' \left(\frac{a}{2} \right)^2$$

параметр $\rho' = \frac{4e}{a^2}$ и окончательно получаем:

$$y' = \frac{4e}{a^2} x^2;$$

так как по ур-нию (16)

$$e = \frac{a^2 W}{8z},$$

то

$$y' = \frac{W}{2z} x^2 \quad (17).$$

С достаточной точностью, принимая во внимание утрировку, из рис. 35 можно для отклонения e' контактного провода от пути середины токоприемника написать:

$$e' = e - y' + x' \operatorname{tg} \varphi + \frac{b_1 + b_2}{2} - c + y,$$

так как $\operatorname{tg} \varphi = \frac{b_1 - b_2}{2}$, и если для e , y' , c и y подставить найденные выражения, то получим:

$$e' = \frac{a^2}{8} \left(\frac{W}{z} - \frac{1}{R} \right) - \frac{x^2}{2} \left(\frac{W}{z} - \frac{1}{R} \right) + \frac{b_1 + b_2}{2} + \frac{b_1 - b_2}{2} x \quad (18).$$

Чтобы получить наибольшее e' (e'_{\max}), надо первую производную ур-ния (18) приравнять нулю, тогда:

$$x = \frac{b_1 - b_2}{a \left(\frac{W}{z} - \frac{1}{R} \right)} \quad (18a)$$

Так как e'_{\max} определяется конструкцией токоприемника, то при помощи ур-ния (18), после подставки вместо x найденного значения из производной, наибольшее допустимое расстояние между опорами находится решением ур-ния:

$$a_1 = \sqrt{\frac{2z}{W_1 - \frac{z}{R}} [2e'_{\max} - b_1 - b_2 + \sqrt{2e'_{\max} - b_1 - b_2)^2 - (b_1 - b_2)^2}] \quad (19).$$

$$a_{11} = \sqrt{\frac{2z}{W_1 + \frac{z}{R}} [2e'_{\max} - b_1 + b_2 + \sqrt{2e'_{\max} + b_1 - b_2)^2 - (b_1 - b_2)^2}] \quad (19a).$$

Направлению ветра (от центра кривой) величине W_1 соответствует расстояние между опорами a_1 , противоположному же направлению W'' — расстояние a_{11} .

Согласно нашим техническим условиям, конструкция всей системы подвески должна быть такова, чтобы при действии ветра наибольшее боковое отклонение системы от осевой линии пути не превышало предела (750 мм).

На кривых допускается сдвиг несущего троса наружу кривой с наклонным расположением подвесок. В целях ослабления влияния ветра, не-

НТБ
ДНУЖТ

сущий трос может быть подвешен зигзагообразно, с наклонным расположением подвесок, так же и на прямых участках.

На кривых с повышенным наружным рельсом за осевую линию пути в настоящих технических условиях принимается нормаль к плоскости головок рельсов, проведенная через середину колеи.

В случае применения грузовых компенсаторов для регулирования натяжения контактного провода, такое при неизношенном проводе не должно превышать $\frac{1}{4}$ сопротивления разрыву; грузы должны быть расчленены на отдельные части с таким расчетом, чтобы по мере износа провода растягивающее напряжение в нем не повышалось более 20% против вышеуказанного.

На станционных путях участки провода длиной до 200 м могут вовсе не иметь натяжного приспособления.

На участках длиной от 200 до 750 м компенсаторы могут быть поставлены с одной стороны. Предельная длина с двусторонней компенсацией на прямых участках устанавливается в 1500 м.

Посредине такового участка, а равно на противоположном компенсатору конце участка с односторонней компенсацией, контактный провод должен иметь неподвижную точку, для чего он надлежащим образом закрепляется.

В случае применения системы с компенсированным несущим тросом и рабочим проводом, величина натяжений их определяется условиями прочности и по наибольшему допускаемому отклонениям при ветре.

В случае неподвижного закрепления подвесок на компенсированном контактом проводе (или вспомогательном тросе) и на несущем тросе, при отсутствии компенсации последнего, наибольшее отклонение подвесок от вертикали при колебаниях температуры в пределах $+40$ и -30°C , не должно превышать 30° . В местах, где соблюдение этого условия невозможно вследствие малой длины подвесок, подвески нормального типа заменяются скользящими, конструкции коих должны исключать возможность повреждения и износа несущего троса.

Применяемые в местах с ограниченной конструктивной высотой специальной конструкции подвески, при отсутствии анкеровки в данном месте, должны обеспечивать свободное продольное перемещение контактного провода при колебаниях температуры.

11. Типы цепных подвесок

Различаются два основных вида цепной подвески:

- а) с вертикальными подвесками и
- б) с наклонными подвесками.

Система с наклонными подвесками получается из первой, благодаря смещению у мачт рабочего провода относительно несущего при помощи упорков, почему подвески лежат наклонно в зависимости от величины указанного смещения.

Познакомимся подробнее с каждой системой.

Пусть система с вертикальными подвесками подвергается действию ветра. Основным требованием каждой системы, как мы видели, является зигзагообразное расположение контактного провода по отношению к средней линии пути, для равномерного износа пантографа по всей ширине. Контактный провод нормально занимает положение в пути, указанное на рис. 36 сплошной линией. При вертикальных подвесках несущий провод в плане занимает то же положение, что и контактный провод.

На том же чертеже пунктиром показано положение обоих проводов при действии ветра; так как для исправного снятия тока важно, чтобы

отклонение контактного провода от средней оси пути не превышало определенной величины, то не трудно видеть, что благодаря зигзагообразному расположению цепи абсолютное отклонение ее от средней оси пути при действии ветра более, чем у цепи, расположенной по средней оси пути,



Рис. 36. Расположение контактного провода по зигзагу.

и это отклонение тем больше, чем больше наклон зигзагообразной линии к оси пути. Если при пролете между опорами в 75 м отклонение цепи, расположенной параллельно оси пути, составляет 60 см, то для зигзагообразной цепи оно составит уже 81,5 см.

Если обозначим расстояние между закрепленными точками провода L и силу ветра на 1 м длины провода обозначим W , то при условии постоянства силы натяжения провода наибольшее отклонение провода получим равным

$$v = \frac{1}{8} \frac{W}{H} L^2,$$

при чем отклоненный провод имеет вид параболы (провод мы принимаем невесомым). Чтобы понять работу системы с наклонными подвесками, рассмотрим сначала чисто теоретический случай работы двух параллельных проводов, расположенных в горизонтальной плоскости и соединенных между собой поперечными жесткими связями (рис. 37). Натяжение проводов обозначим через H_1 и H_2 , а силу от действия ветра на провода обозначим соответственно равной W_1 и W_2 . Благодаря жесткому соединению системы работа ее аналогична работе системы, состоящей из одного провода с натяжением $H_1 + H_2$ находящегося под действием ветра с силой

$W_1 + W_2$; отклонение системы таким образом будет равно:

$$v = \frac{1}{8} \frac{W_1 + W_2}{H_1 + H_2} L^2.$$

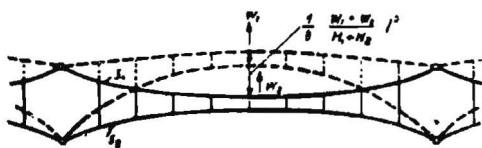
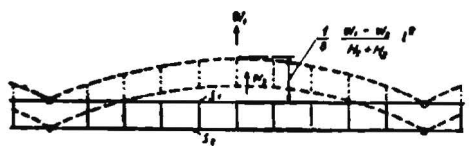
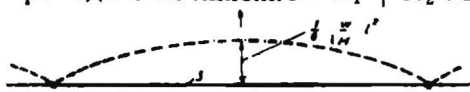


Рис. № 37.

Поперечные связи между проводами выравнивают неодинаковое отклонение обоих проводов, но в случае, если $\frac{W_1}{H_1} = \frac{W_2}{H_2}$, они очевидно не несут никакой нагрузки.

Теперь рассмотрим невесомую систему из двух проводов, лежащих как и прежде, в горизонтальной плоскости, но предварительно изогнутых в противоположные стороны, как показано на рис. 37 сплошными линиями; между обоими проводами представим себе бесконечное число жестких поперечных свя-

зей. В этом случае поперечные связи имеют усилия даже в том случае, если нет ветра. Пусть теперь на систему действует ветер с силой W_1 на один и W_2 на другой провод. Система под влиянием ветра займет некоторое положение, показанное на том же чертеже пунктиром. Эти кривые легко получить, если отклонение проводов в различных точках их, полученное на рис. 37-в, перенести и отложить в одну сторону (рис. 37-с). Так как силы от действия ветра должны уравновеситься усилиями системы, вызванными отклонением ее, то не трудно видеть, что усилие системы, компенсирующее действие ветра, в обоих случаях одинаковое, и таким

НИИ
ДНУЖТ

образом для построения положения отклоненной под действием ветра системы достаточно все точки проводов, соответствующие нормальному положению системы, перенести по направлению действия ветра на расстояния, равные ординатам параболы, максимальная ордината которой равна

$$v = \frac{1}{8} \frac{W_1 + W_2}{H_1 + H_2} L^2.$$

В случае $\frac{W_1}{H_1} = \frac{W_2}{H_2}$, поперечные связи не нагружены, или имеют то же напряжение, что и при нормальном положении системы. Это свойство, как мы увидим ниже, представляет большой интерес при цепной подвеске с наклонными подвесками, к изучению которых мы сейчас и переходим.

Система с наклонными подвесками дана на рис. 38.

Применяя предыдущие рассуждения к этому случаю, мы должны помнить, что соединение между проводами не жестко и в нашей схеме может быть представлено пружинами. При действии ветра контактный и несущий провода отклоняются, вообще говоря, различно, ибо соединения между ними не являются абсолютно жесткими. Однако если $\frac{W_1}{H_1} = \frac{W_2}{H_2}$, то напряжения в соединительных подвесках между проводами не меняются и следовательно длина их не меняется, оба провода отклоняются на одну и ту же величину и наибольшее отклонение системы, как указывалось ранее, равно:

$$v = \frac{1}{8} \cdot \frac{W_1 + W_2}{H_1 + H_2} L^2$$

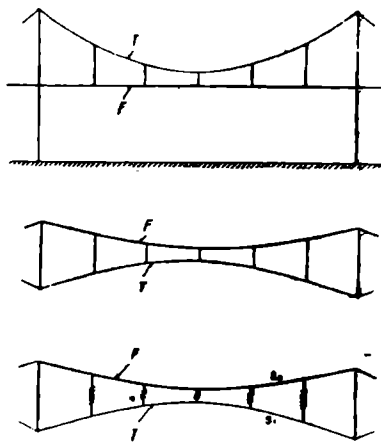


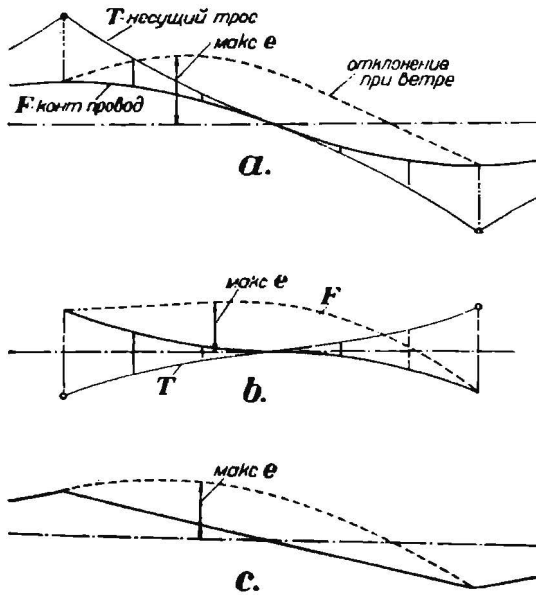
Рис. 38. Цепь с наклонными подвесками.
F—контактный провод
T—несущий трос.

принимая при этом, что усилия H_1 и H_2 не меняют при ветре своей величины. Возникает вопрос, какой практический интерес представляет указанный случай, справедливый лишь при определенных предположениях. Первое предположение, что при действии ветра величины H_1 и H_2 не меняются, близко к действительности, так как изменение натяжения H_1 несущего провода при ветре незначительно; натяжение же H_2 контактного провода поддерживается постоянным натяжным приспособлением. Другое условие $\frac{W_1}{H_1} = \frac{W_2}{H_2}$ обычно на практике не выполняется; однако, как показывает опыт над моделями, даже большие отступления от этого условия не влияют в сильной мере на отмеченное ранее свойство системы; здесь допустимы тем большие отступления, чем более наклонно расположены подвески. Чтобы судить, насколько близко в действительности выполняется равенство $\frac{W_1}{H_1} = \frac{W_2}{H_2}$, укажем, что при $+40^\circ\text{C}$ и натяжении несущего троса $H_1 = 740 \text{ кг}$, контактного провода $H_2 = 1000 \text{ кг}$ при $W_1 = 0,7 \text{ кг}$ и $W_2 = 0,9 \text{ кг}$, имеем $\frac{W_1}{H_1} = 0,94510^{-3}$ и $\frac{W_2}{H_2} = 0,9 \times 10^{-3}$, т. е. весьма близкие между собою величины.

Это позволяет при исследовании работы системы с наклонными подвесками применять методы, описанные выше. На рис. 39а и б приведены две системы с наклонными подвесками; в обоих случаях контактный провод располагается по зигзагу, несущий же провод, в первом случае (рис. 39-а) располагается по ту же сторону от средней оси пути, что и контактный

НТ
ДНУЖТ

провод; во втором же случае (рис. 39-б) оба провода располагаются по обе стороны средней линии пути. При сравнении примем натяжение и провес проводов (равно как пролет и наклон контактного провода к средней оси пути) одинаковыми. Пользуясь ранее рассмотренным методом, определяем положение контактного провода при действии ветра. Это положение дано на чертеже пунктирной линией. Не трудно видеть, что отклонение контактного провода в цепи с одно-



сторонним расположением контактного и несущего проводов (рис. 39-а) более чем в цепи, у которой контактный провод и несущий трос располагаются по разным сторонам от средней линии пути (рис. 39-б). Для лучшего выявления достоинства цепи последней системы на рис. 39-с приведено отклонение нормальной цепи, которое занимает по отклонению контактного провода среднее место между обеими системами цепной подвески с наклонными подвесками.

Рис. 39. Сравнение трех систем при ветре.

Сравнение цепных подвесок всех трех систем в отношении отклонения ветром и в отношении влияния температур дано на рис. 40. Для всех трех систем длина пролета принята в 80 м, провес несущего провода в 1,15 м, при наименьшем расстоянии

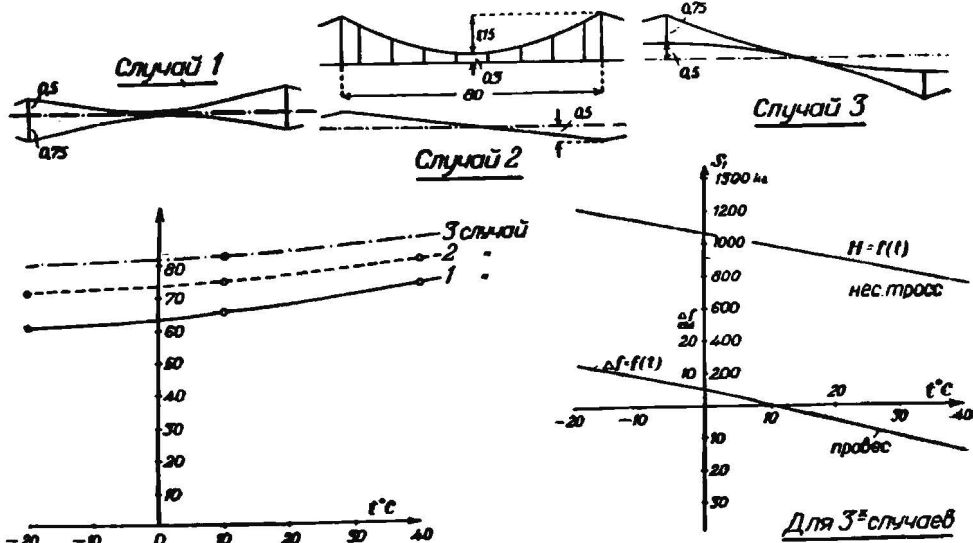


Рис. 40. Сравнение различных типов подвесок в отношении влияния ветра (левая сторона рисунка) и температур (правая сторона).

между несущим и контактным проводами посредине пролета в 0,3 м: натяжение контактного провода в 1000 кг, несущего провода — 970 кг при +10° Ц.

НТЭ
ДНУЖТ

Приведенные три системы носят название симметричных систем, благодаря симметрии их в отношении средней линии пути, в пределах одного пролета.

Несимметричный тип подвески дан в плане на рис. 41; этот тип более употребителен в кривых, чем на прямых участках пути.

Положение цепной подвески этой системы и нормальной в кривой дано на рис. 42. Две concentрические дуги представляют предельные допустимые отклонения контактного провода от оси пути $00''$, для обеих систем дано положение контактного провода без ветра и при ветре. В то время как при нормальной подвеске имеем предельное допустимое отклонение контактного провода, положение цепи с наклонными подвесками еще далеко до предельного; таким образом в последнем случае можно еще увеличить расстояние между опорами. На рис. 43 дана зависимость длины пролета от радиуса кривой в случае нормальной цепной подвески и цепи с наклонными подвесками, при этом принято отклонение зигзага $0,5 м$.



Рис. 41.

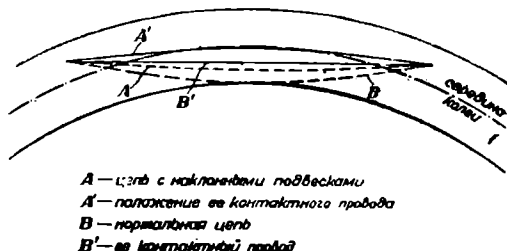


Рис. 42. Положение нормальной цепи и цепи с наклонными подвесками в кривой.

Цепные подвески с промежуточными опорами

а) Нормальные цепи. Здесь можно отметить два выполнения подвески, а именно:

1) контактный провод около промежуточной опоры пересекает среднюю линию пути (рис. 44-а);

2) контактный провод отводится промежуточной опорой в сторону от средней линии пути, концы же у основных опор располагаются по другую сторону пути (рис. 44-б).

Отличительным признаком первого вида подвесок является отсутствие напряжения в промежуточной опоре, когда на подвеску не действует ветер,

в то время как во второй системе промежуточная опора работает и в том случае, когда отсутствует ветер. На рис. 44а и б пунктиром показано отклонное положение контактного провода при действии ветра; при одинаковых условиях стрелы хорд ab и $a'b'$, дающие отклонение контактного провода от первоначального положения, при действии

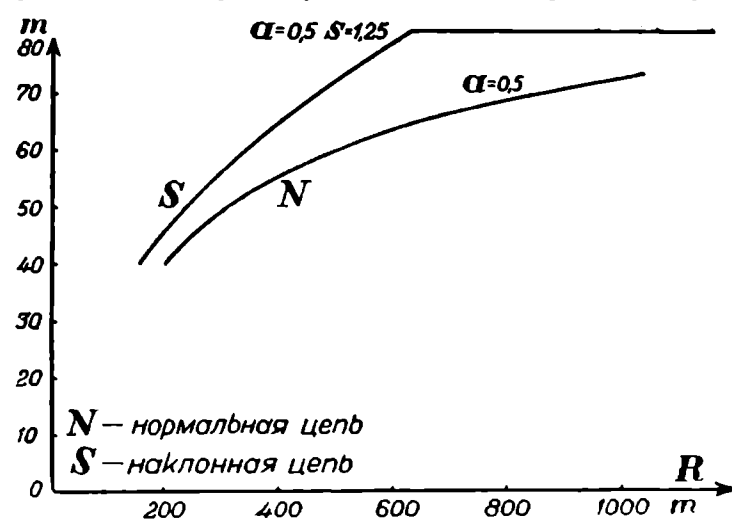


Рис. 43.

НТЭ
ДНУЖТ

ветра одинаковы; однако отклонение от средней оси пути, которое является основным критерием для сравнения систем, в первом случае

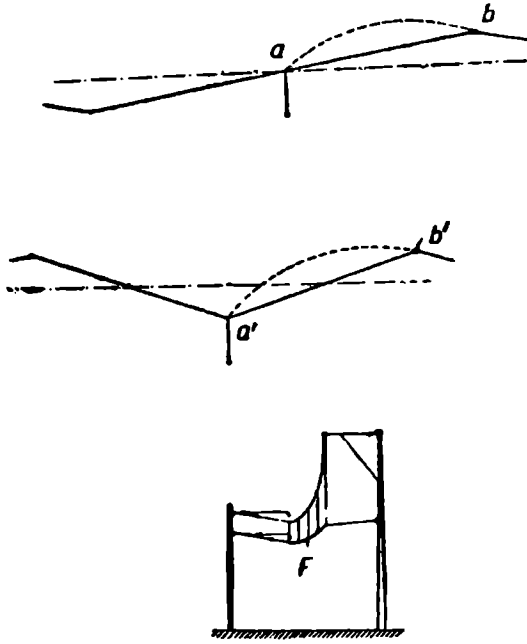


Рис. 44.

больше, чем во втором. В этом не трудно убедиться, если обратить внимание на то, что положение $a'b'$ легко получить из положения ab , оставляя неподвижной точку b и перемещая точку a в положение a' по другую сторону средней линии пути, симметрично точке b' . Таким образом вторая система подвески с отведенной серединой цепи при помощи промежуточной опоры имеет крупное преимущество перед первой системой. Так, если нормальная цепь первой системы при пролете 125 м имеет при ветре отклонение 71 см, то цепь второй будет при том же ветре иметь отклонение всего в 58 см. Это позволяет увеличить пролет цепи до 150 м при том же отклонении 71 см. Вторая система цепи имеет преимущества и при температурных изменениях; так, при повышении температуры вместе с увеличением провеса несущего и контактного

проводов обе упорки займут (рис. 44-с) не горизонтальное положение, а

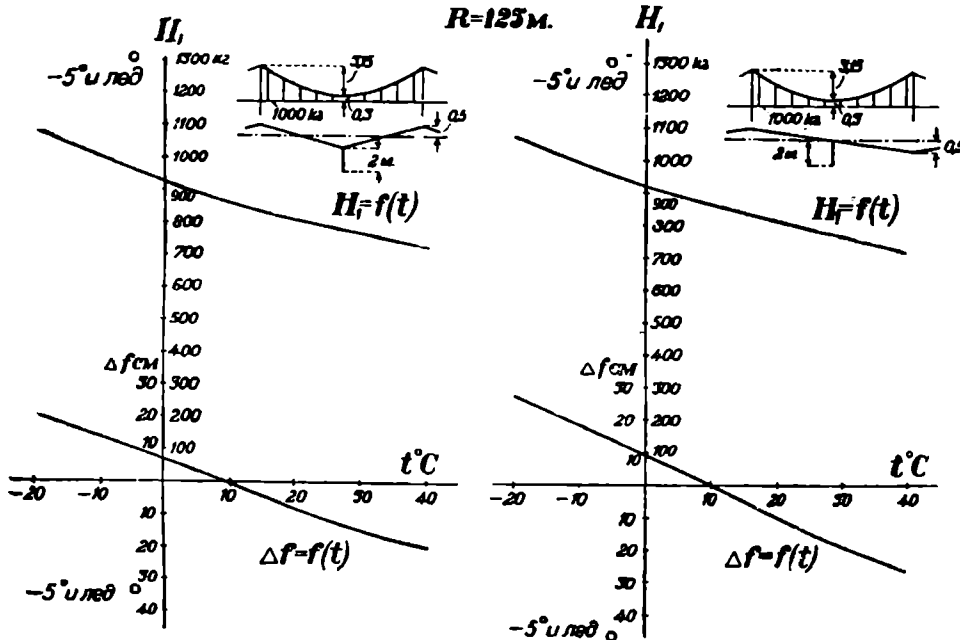


Рис. 45.

наклонное вниз. Раскладывая усилие, направленное по упорке, получим некоторую вертикальную составляющую, направленную вверх, которая уравно-

НИИ
ДНУЖТ

вешивает частично вес цепи и уменьшает провес проводов, вызванный поднятием температуры. В первой системе подвески, как мы отметили, при отсутствии ветра усилие в упорке равно нулю, почему и вертикальная составляющая его равна нулю, если не считать некоторого усилия, появляющегося благодаря дополнительному провесу проводов. На рис. 45 даны температурные характеристики обеих систем подвесок при одинаковых геометрических размерах их (пролет 125 м). В случае отклонения цепи по направлению к промежуточной опоре вторая система обладает, благодаря большому натяжению в горизонтальной плоскости, большой устойчивостью, тогда как первая система уже при небольших усилиях выводит упорки из горизонтального положения и меняет свою высоту.

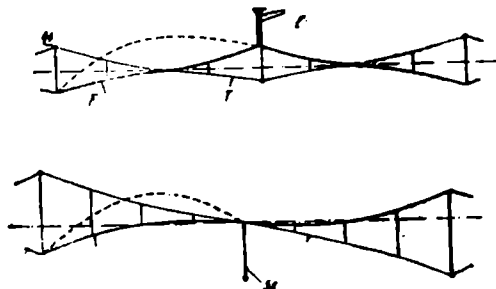


Рис. 46.

Здесь следует особенно подчеркнуть, что цепная подвеска должна быть запроектирована та-

ким образом, чтобы упорки у промежуточных опор ни в коем случае не работали на сжатие, ибо при ветре, направленном от цепи к промежуточной опоре, работа ее будет весьма неустойчивой. Помимо того при температурных изменениях неизбежен большой провес проводов, так как вертикальная составляющая усилия упорки направлена в этом случае вниз.

б) Цепи с наклонными подвесками. Установка промежуточных опор у цепи с наклонными подвесками не рациональна. При выполнении подвески по типу, данному на рис. 46-а, одна упорка работает на растяжение, другая—на сжатие. Однако последнее, как мы ранее видели, вызывает при колебании температуры большие изменения провеса, а равно обладает малой устойчивостью при направлении ветра от цепи к промежуточной опоре.

Цепная подвеска по типу (рис. 46-в) имеет также крупный недостаток при изменении температуры. Вместо этих подвесок лучше установить нормальную цепь с промежуточной опорой и оттяжкой проводов в сторону от оси пути.

12. Расчет цепной подвески

Выведенные в п. 10 формулы применимы к расчету цепной подвески.

Контактная система рассчитывается на действие нижеследующих сил:

1. Собственный вес контактного провода несущего троса и вспомогательного троса, если таковой имеется, зажимов, подвесок, изоляторов, поперечной поддерживающей конструкции (консоли, поперечные балки, тросы), добавочных проводов и опор с их фундаментами.

2. Вес гололеди на вспомогательном тросе, подвесках, несущем тросе, рабочем проводе и поперечной поддерживающей конструкции, а равно на добавочных проводах, причем:

а) на проводах и тросах круглого сечения вес гололеди определяется по формуле $0,028 (d + 10) \text{ кг пог. м}$, где d — диаметр провода или троса в миллиметрах;

б) вес гололеди на жесткой поперечной поддерживающей конструкции принимается равным 50 кг/м^2 верхней поверхности железных частей.

3. Неуравновешенные тяжения всех проводов на кривых и зигзага рабочего провода на прямых участках от анкеровки цепной подвески и добавочных проводов, а равно и тяжения поперечных тросов.

4. Давление ветра, принимаемое горизонтальным и направленным вообще нормально к пути, если это особо не оговорено.

Давление ветра рассчитывается по формуле $p = a V^2$,
где V — скорость ветра в м/сек.

p — давление в кг на м² проекции поверхности, на которую дует ветер, на плоскость нормальную к ветру;

a — коэф., зависящий от формы поверхности, на которую дует ветер:
для плоских поверхностей..... $a = 0,90$,
для проводов и тросов..... $a = 0,07$,
для круглых опор..... $a = 0,045$.

Расчетная скорость ветра принимается в 15 и 30 м/сек, чему соответствуют нижеследующие давления (таблица VII).

ТАБЛИЦА VII
Давление в килограммах

Скорость ветра в м/сек V	На 1 пог. м. пров. diam. d мм	На 1 м ² нормальной к направлению ветра поверхности	
		плоских поверхностей	круглых опор
15	0,016d	20	10
20	0,063d	80	40

При гололеди за расчетный диаметр провода принимается наружный диаметр ледяного цилиндра.

При определении давления ветра на сквозные железные конструкции влияние поверхности, расположенной позади, оценивается 50%, прибавкой к площади передней поверхности.

Расчетная площадь решеток в предварительных расчетах принимается равной 50% площади их наружного периметра.

5. Колебания температуры в пределах от -30° до $+40^{\circ}$ Ц.

При расчете контактного провода производятся нижеследующие проверки:

а) Проверка на наибольший вертикальный провес при нагрузке собственным весом контактного провода, вспомогательного троса, если таковой имеется, подвесок, несущего троса, поперечных тросов при гибкой поперечной конструкции и прочих составных частей цепной подвески.

1. При гололеди согласно п. 2 температуре -5° Ц и скорости ветра 15 м/сек.

2. При температуре $+40^{\circ}$ Ц и отсутствии ветра.

б) Проверка на наибольшее горизонтальное отклонение при нагрузке собственным весом перечисленных в пункте (а) частей при температуре $+5^{\circ}$ Ц и скорости ветра 30 м/сек.

Возвышение питательных проводов (фидеров) над головкой рельса в точках наибольшего провеса при наименее благоприятных условиях на переездах не должно быть, согласно нашим техническим условиям, меньше 6 000 мм.

¹ Если для района, в котором предполагено сооружение линии контактного оборудования, имеется достаточно продолжительный и надежный ряд наблюдений над скоростью ветра и его направлением, над температурой воздуха и над интенсивностью гололеди, могущей образоваться на проводах, то при определении невыгоднейшего сочетания внешних сил, действующих на контактное оборудование, надлежит исходить из означенных данных.

НТ
ДНУЖТ

В остальных местах расстояние в 6 000 мм должно быть соблюдено по отношению к земной поверхности, по которой возможно перемещение людей.

При наибольшей амплитуде раскачивания проводов под действием ветра должны быть соблюдены требуемые зазоры как между отдельными проводами, так и для прочих частей контактного оборудования и вообще заземленных частей сооружений.

Фидера могут быть использованы в качестве несущих и вспомогательных тросов для подвески контактного провода.

Проверка их на наибольший провес производится в нижеследующих предположениях:

а) нагрузка собственным весом при температуре + 40° Ц и отсутствии ветра,

б) нагрузка собственным весом и гололедью при температуре — 5° Ц и ветре 15 м/сек.

Проверку прочности проводов и тросов надлежит производить для нижеследующих случаев:

а) случая температуры — 30° Ц и отсутствия ветра и гололеда,

б) случая гололеда, ветра скоростью 15 м/сек. и температуры — 5° Ц.

Допускаемое напряжение в контактных проводах при отсутствии грузовых компенсаторов, питательных проводов и тросов из нержавеющей стали не должно превосходить 1/2,5 временного сопротивления на разрыв и для стальных тросов 1/3.

Для наших подсчетов примем:

а) Постоянные:

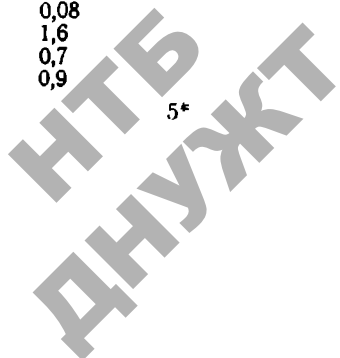
Модуль упругости несущего троса из бронзы	$E_t = 1,22 \cdot 10^6$ кг/см ²
То же, из стали с медн. броней	1,56 · 10 ⁶
Контактного провода	$E_f = 1,3 \cdot 10^6$
Коэф. температурного удлинения несущего троса из бронзы	$\alpha_t = 18 \cdot 10^{-6}$
То же, из стали с медной броней	$\alpha_f = 14,3 \cdot 10^{-6}$
Контактного провода	$\alpha_y = 17 \cdot 10^{-6}$

б) Веса:

Вес несущего троса 50 мм ² из бронзы	0,445 кг/м
То же, из стали с медной броней	0,415 "
Вес контактного провода 100 мм ²	0,900 "
Вес подвесных проводов на 1 м цепной подвески .	0,0107 "
Вес клемм на 1 м цепной подвески	0,0192 "
Вес дополнительных проводов с клеммами	0,015 "
Вес цепной подвески	1,3899 "
или кругло	1,4 "
Диаметр несущего троса	9,2 мм
То же, контактного провода	11,8 "
Нагрузка от гололеда на несущем тросе	0,546 кг/м
То же, на контактном проводе	0,618 "
" подвесных проводах	0,04 "
" клеммах	0,04 "
Нагрузка от гололеда на цепной подвеске	1,244 "
То же, с округлением	1,25 "
Вес цепной подвески с гололедом 1,4 + 1,25	= 2,65

в) Нагрузка от ветра:

Давление ветра на несущий трос $70 \cdot 0,0092$	= 0,65 кг/м
То же, на контактный провод $70 \cdot 0,0118$	= 0,83 "
$70 \cdot 0,005 \cdot 1,5 \cdot 8$	
Давление ветра на подвески $\frac{100}{100}$	= 0,04
Давление ветра на клеммы	0,08
Общее давление ветра на цепную подвеску	1,6
То же, отнесенное к несущему тросу	0,7
" " " контактному проводу	0,9



Ур-ния (19) и (19а) являются основными для расчета цепной подвески. Пусть имеем германскую нормальную подвеску. С целью равномерного износа скользящей дуги токоприемника в ф-лах. (19) и (19а), принимается b_2 равным 0,6 м. Наибольшее допустимое отклонение под действием ветра 0,75 м. W_1 и W_2 — определяется по наибольшей скорости ветра 31 м/сек.

В ур-нии (19) $Z = H' + H'' = 800 + 1000 = 1800$ кг задается предписаниями монтажа (при $t = 5^\circ \text{C}$), R — в каждом случае известно. Для случая одинакового выноса провода в обоих направлениях $b_2 = \pm 0,6$. На диаграмме (рис. 47) нанесены для различных значений

$$W_1 - \frac{z}{R} \text{ и } W_2 + \frac{z}{R},$$

соответствующие обоим направлениям ветра кривые $a_1 = F(b_2)$ и $a_{11} = F(b_2)$. Вспомогательные кривые $\frac{z}{R} = F'(R)$ представлены на рис. 48 для различных радиусов кривых.

Диаграмма дает возможность для определенного отклонения b_2 найти расстояние между опорами a при определенной силе ветра в обоих направлениях. Из обеих полученных величин берется меньшая. Внутри рассматриваемого предела b_2 линии $a_1 = F(b_2)$ и $a_{11} = F'(b_2)$ будут пересекаться или не пересекаться. В первом случае точка пересечения дает для обеих линий наибольшее допустимое расстояние между опорами и соответ-

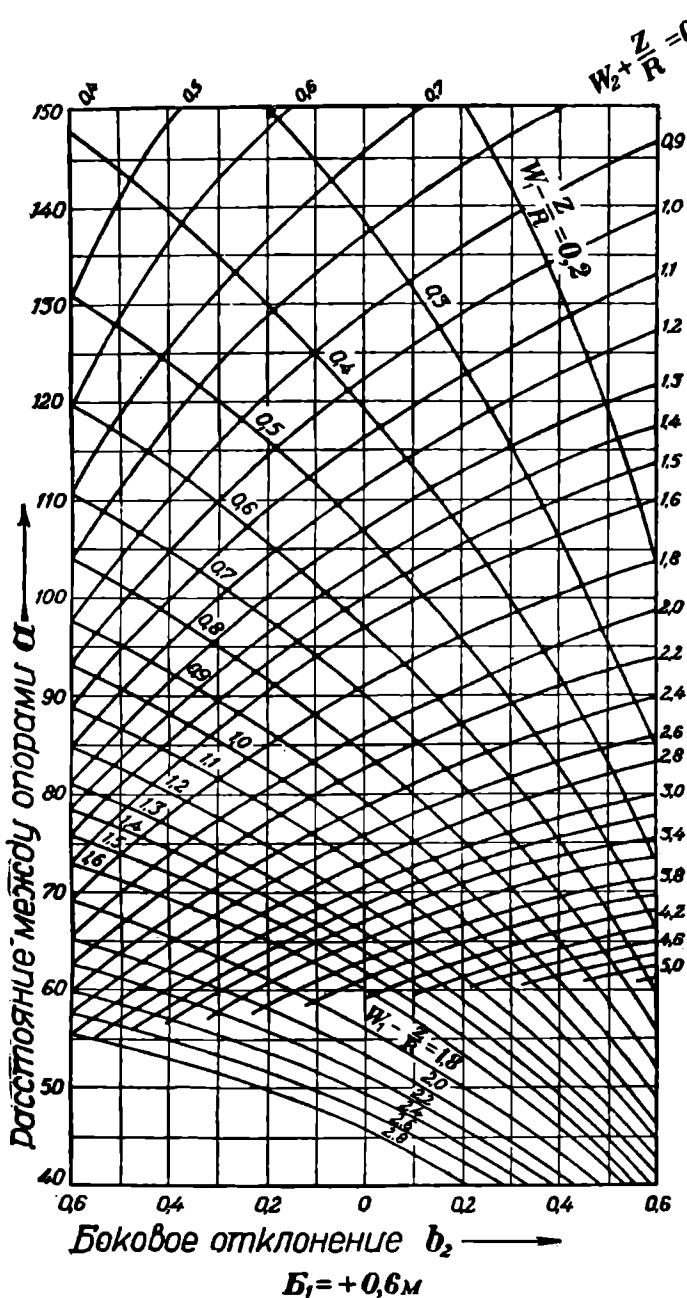


Рис. 47. Диаграмма для определения расстояния между опорами по условию отклонения под действием ветра.

ствующее значение b_2 . Если линии не пересекаются, то наибольшее значение a будет или при $b_2 = -0,6$ или при $b_2 = +0,6$. Первое имеет место только тогда, когда

$$\left(W_2 + \frac{z}{R}\right) < \left(W_1 - \frac{z}{R}\right),$$

НТБ
ДНУЖТ

т. е. при очень большом радиусе кривой и большой разнице в силе ветра обоих направлений.

При кривых малого радиуса, когда не происходит пересечения линий $a_1 = F(b_2)$ и $a_{11} = F'(b_2)$,

наибольшее значение a будет при $b_2 = +0,6$. В этом случае также $b_1 = b_2$. Поэтому, ур-ние (19) упрощается:

$$a_1 = 2 \sqrt{\frac{2z}{W_1 - \frac{z}{R}} (e'_{\max} - b_1)}$$

$$a_2 = 2 \sqrt{\frac{2z}{W_2 + \frac{z}{R}} (e'_{\max} + b_1)}$$

Эти упрощенные соотношения позволяют представить графически расстояние между опорами для случая $b_1 = b_2$ в зависимости от радиуса кривой.

Последняя зависимость представлена на рис. 49 для различных значений силы ветра W_1 и W_2 . Ветер W_1 , который, как показывает рис. 50, отклоняет контактный провод к пути пантографа, следует рассматривать лишь в том случае, если радиус переходит определенную границу.

Последняя определяется условием

$$a_1 = a_{11}, \text{ или } \frac{z(e'_{\max} - b_1)}{W_1 - \frac{z}{R}} = \frac{z(e'_{\max} + b_1)}{W_2 + \frac{z}{R}}$$

Предельное значение R определяется по данным W_1 и W_2 формулой:

$$R = \frac{2ze'_{\max}}{(e'_{\max} + b_1)W_1 - (e'_{\max} - b_1)W_2}$$

Эти границы $R = F(W_2)$ даны для определенных значений W_1 на рис. 49. Так как эта диаграмма справедлива только для $b_1 = b_2 = +0,6$, то для каждого значения R , которое больше данной границы $R = F(W_2)$, допустимое расстояние между опорами следует определять по рис. 47. Это относится также к прямым участкам, т. е. к случаю, когда $R \cong$ или $\frac{z}{R} = 0$, причем следует принимать наибольшую силу ветра W_2 , так как при выводе формулы предполагалось, что направление W_2 противоположно смещению b_1 или радиусу R .

Для одинаковой силы ветра в обоих направлениях ($W_1 = W_2$) и $R = \infty$ пересечение линий $a_1 = F(b_2)$ и $a_{11} = F'(b_2)$ на вертикальной линии, соответствуют $b_2 = -0,6$;

Примеры пользования диаграммами:

а) Прямой участок дороги, идущий под уклон и защищенный с одной стороны от ветра. Наибольшая ветровая нагрузка с одной стороны 31 м/сек;

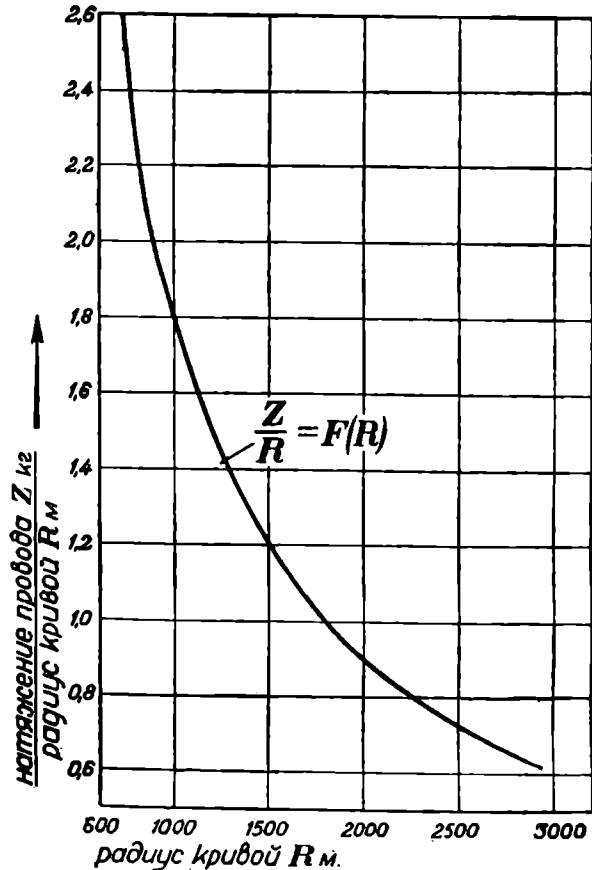


Рис. 48.

НТ
ДНУЖТ

$W_2=1,6 \text{ кг/м}$, с другой стороны $W_1=0,5 \text{ кг/м}$ соответствует давлению ветра $17,3 \text{ м/сек}$. На рис. 47 и 49 линии $W_2=1,6 \text{ кг/м}$ и $W_1=0,5 \text{ кг/м}$ пересекаются в одной точке, для которой $a=92,5 \text{ м}$ и $b_1=0,13 \text{ м}$. Если, несмотря на за-

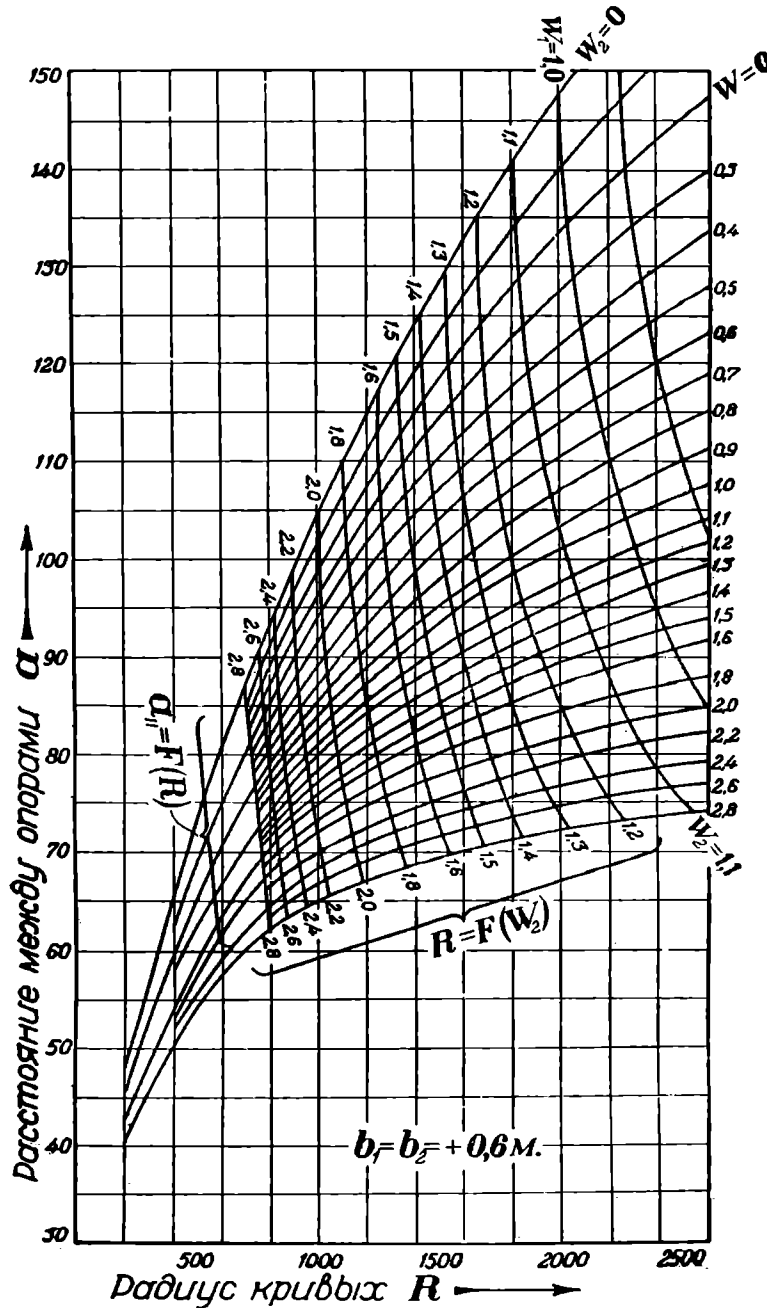


Рис. 49.

щищенное от ветра положение, b_2 делается равным $-0,6 \text{ м}$, то расстояние уменьшается до 73 м . Таким образом W_1 могло бы в этом случае увеличиться до $W_1=1,6 \text{ кг/м}$. Защищенное от ветра положение участка не исполь-

НТ
ДНУЖТ

зуются для $b_2 = -0,6$ м. Применение одинакового выноса зигзагов должно бы поэтому окупаться уменьшением расстояния между опорами на 26,5 м.

β. Закругление, с одной стороны защищенное от ветра $R = 1800$ м; $W_1 = 1,6$ кг/м, $W_2 = 0,8$, $\frac{z}{R} = 1,0$; таким образом $W_1 - \frac{z}{R} = 1,6 - 1,0 = 0,6$ кг/м; $W_2 + \frac{z}{R} = 0,8 - 1,0 = 1,8$ кг/м. На диаграмме 47 получается пересечение линий $W_1 - \frac{z}{R} = 0,6$ и $W_2 + \frac{z}{R} = 1,8$ в точке, соответствующей расстоянию между опорами $a = 93$ м при выносе $b = 0,08$ м. Если как обычно, закругление выполняется с $b_2 = +0,6$, то расстояние между опорами уменьшается до 60 м.

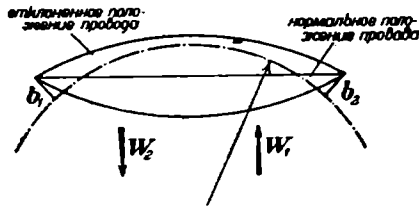


Рис. 50.

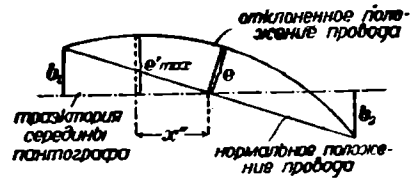


Рис. 51.

γ) Если сторона защищена с противоположной примеру β стороны так что $W_1 = 0,8$ и $W_2 = 1,6$, то получается $W_1 - \frac{z}{R} = 0,8 - 1,0 = 0,2$ кг/м, $W_2 + \frac{z}{R} = 1,6 - 1,0 = 2,6$ кг/м, линии $(W_1 - \frac{z}{R})$ в начерченной до 150 м расстояния между опорами диаграмме не содержится; решающей для расстояния поэтому является линия $W_2 + \frac{z}{R}$; эта линия засекает на ординате $b_2 = +0,6$ м расстояние 86,5 м. Это непосредственно можно было бы прочесть по рис. 47 для $R = 1800$ и $W_2 = 1,6$ кг/м, потому что граница линии $W_1 = 0,8$ кг/м соответствует большему значению, чем $R = 1800$ м.

δ) Прямой участок с возможной одинаковой ветровой нагрузкой на обе стороны: $W_1 = W_2 = 1,6$ кг/м; из диаграммы получается $a = 73$ м при $b_2 = -0,6$ м. Если линия так прокладывается, что содержит закругления радиуса $R = 1400$ м, то из диаграммы рис. 47 получается для этого радиуса и $b_2 = 0,6$ м расстояние 82 м; при одинаковой силе ветра в обоих направлениях можно таким образом расстояние между опорами на этом закруглении выбрать больше, чем на прямой. Это объясняется тем, что в предыдущем случае положение контактного провода в середине пролета совпадает с путем середины токоприемника (касательная в плане) и кроме того наибольшее отклонение контактного провода находится не в середине пролета, а как показывает рис. 51, смещено с середины на расстояние x'' , которое определяется из ур-ния (18), если подставить $b_2 = -b_1$ и $R = \infty$:

$$x'' = \frac{2b_1z}{aW}$$

Предыдущие примеры выяснили влияние величины выноса зигзага на расстояние между опорами. Если на прямых и участках с большими радиусами закруглений из соображений равномерного износа дуги токоприемника удерживается по обе стороны одинаковый зигзаг 0,6 м, то это с точки зрения отклонения ветром оправдывает себя тогда, когда $W_1 = W_2$. Во всех случаях, когда $W_1 < W_2$ можно путем уменьшения выноса b значительно повысить расстояние между опорами и повизить таким образом расходу железа на оборудование участка. Уменьшение зигзага сводится практи-

чески к смещению провода против направления наибольшей ветровой нагрузки.

Переходим к изучению влияния бокового смещения и натяжения контактного провода на расстояние между опорами.

Это исследование может быть использовано там, где при устройстве контактной сети должно быть учтено с особой предосторожностью влияние ветра на цепную подвеску, вследствие местных условий. Влияние изменения

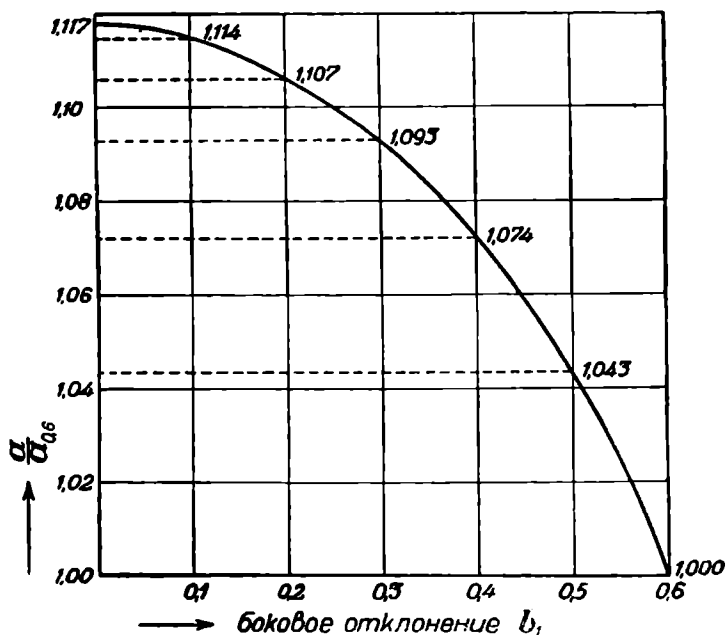


Рис. 52.

выноса на прямом участке показывает рис. 52, на котором дано отношение $\frac{a}{a_{0,6}}$, в зависимости от выноса b_1 . Эта зависимость определяется из ур-ния (19) подстановкой $R = \infty$; $W_1 = W_2$; $b_1 = -b_2$ и $e'_{\max} = 0,75$ м

$$a_1 = 2\sqrt{\frac{z}{W}(0,75 + \sqrt{0,5625 - b_1^2})} \quad (20),$$

откуда, принимая $b_1 = 0,6$ м, находим отношение для различных значений b

$$\frac{a}{a_{0,6}} = \frac{\sqrt{0,75 + \sqrt{0,5625 - b_1^2}}}{1,2}$$

Влияние величины натяжения H' определится из упрощенного для случая прямого участка ур-ния (20); отношение $\frac{a}{a_{0,6}}$ путем подстановки $H' + H'' = 800 + H''$, получится в виде:

$$\frac{a}{a_{1800}} = \sqrt{\frac{800 + H''}{1800}}$$

НТБ
ДНУЖТ

На рис. 53 даны отношения $\frac{a}{a_{1800}}$ для различных натяжений в контактом проводе. Опасность слишком большого отклонения от ветра контактного провода может быть устранена повышением натяжения в контактом проводе, где коэф. прочности допускает повышение натяжения контактного провода.

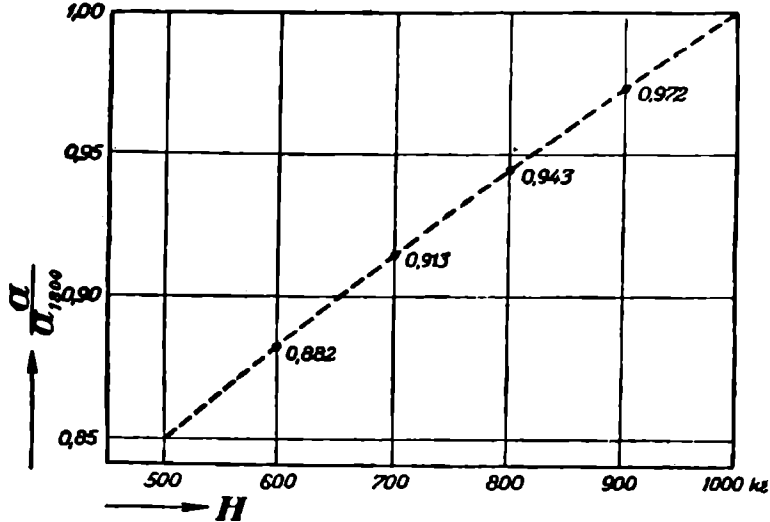


Рис. 53. Влияние натяжения в проводе на расстояние между опорами.

Расчет бокового крепления на натяжение провода и ветер

Чтобы удержать поперечное положение провода в границах, определяемых токоприемником и отклонением ветра, служат боковые крепления. Их конструкция должна допускать перемещение контактного провода вследствие температурных колебаний, и изменение в положении провода по высоте, вследствие давления токоприемника. Расчетное усилие P складывается из действия натяжения контактного провода и давления ветра на провод

$$P = K + aW_f$$

Нагрузка K — определяется из рис. 54.

$$K = 2H'' \cos \alpha.$$

Определяя $\cos \alpha$ из ур-ния

$$(R + b_2)^2 = (R + b_1)^2 + a^2 - 2a(R + b_2) \cos \alpha$$

и пренебрегая членом $(b_1^2 - b_2^2)$, который по сравнению с K — очень мал, получим ур-ние для усилия бокового крепления

$$P = H'' \frac{a^2 + 2R(b_1 - b_2)}{aR} + aW_f \quad (21).$$

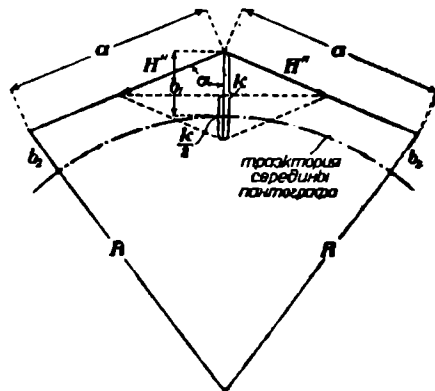


Рис. 54.

НТБ
ДНУЖТ

Для случая одинаковых выносов, т. е. $b_1 = b_2$, получим:

$$P = H'' \frac{a}{R} + aW_F \quad (21a),$$

для прямого участка пути, получаем ур-ние

$$P = H'' \frac{2(b_1 - b_2)}{a} + aW_F \quad (22).$$

При принятой для объединенной подвески наибольшей нагрузке ветром (31 м/сек) на рис. 55 нанесены расчетные усилия бокового крепления для различных радиусов пути токоприемника в зависимости от расстояния опор. Нанесенная для $e'_{\max} = 0,75$ м пограничная линия получилась из наибольшего допустимого расстояния между опорами.

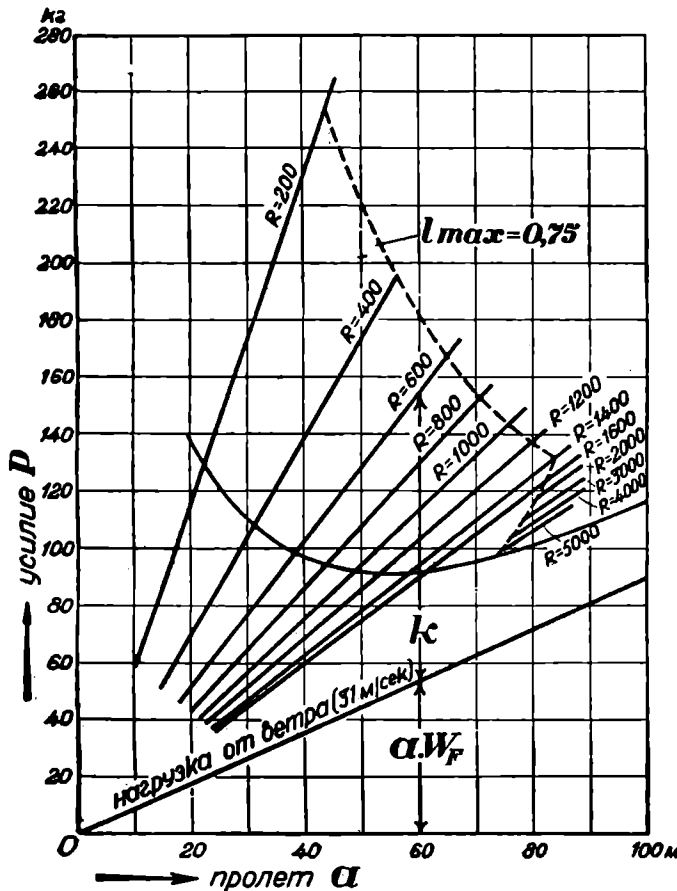


Рис. 55. Усилие на боковые упорки.

Формула, определяющая давление ветра (опыты Геттингенского ун-та), имеет вид:

$$W_F = C_W F \frac{V^2}{2} \gamma \quad (23),$$

где:

V — скорость ветра м/сек,
 F — проекция провода на плоскость, перпендикулярную действию ветра,
 γ — плотность воздуха,
 g — ускор. силы тяжести.

Отношение $\frac{\gamma}{g}$ может быть принято равным $\frac{1}{8}$,

C_W — опытный коэф. (рис. 56).

Благодаря натяжению провода и действию ветра усилие P от провода передается жесткому боковому креплению AB (рис. 57). Разложим силу P на составляющие P_1 и P_2 ; последняя сила обезгруживает или дополнительно нагружает поддерживающий трос, сила же P_1 так мало отличается от P , что в дальнейшем вместо P_1 можно брать силу P .

Благодаря внецентренному приложению силы P_1 , в упорке, помимо сжимающих или растягивающих усилий, имеет место изгиб; таким образом полное напряжение получится равным:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{P}{\omega},$$

где M — изгибающий момент, равный

$$M = P \cdot y$$

НТБ
ДНУЖТ

и W и ω — момент сопротивления и площадь сечения упорки. Сжимающие или растягивающие усилия $\frac{P}{\omega}$ одинаковы во всех сечениях, напряжение же от изгиба зависит от величины y ; отсюда следует, что σ_{\max} соответствует y_{\max} . Дифференциальное уравнение упругой линии, как известно, имеет следующий вид:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = Py \quad (24)$$

Здесь P обозначает положительную силу, т. е. силу растяжения; в случае сжатия следует подставить отрицательную величину. Интегрируя приведенное уравнение (24), получим:

$$y = \frac{y_1 - y_0 \cos \alpha l}{\sin \alpha l} \sin \alpha x + y_0 \cos \alpha x,$$

где

$$\alpha = \sqrt{\frac{-P}{EI}} \quad (25)$$

Для определения y_{\max} найдем первую производную y по x и приравняем ее нулю: получим:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_1 - y_0 \cos \alpha l}{\sin \alpha l} \alpha \cos \alpha x - y_0 \sin \alpha x = 0,$$

откуда

$$\frac{y_1 - y_0 \cos \alpha l}{\sin \alpha l} = y_0 \frac{\sin \alpha x}{\cos \alpha x} \quad (26)$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha x = \frac{y_1 - y_0 \cos \alpha l}{y_0 \sin \alpha l}$$

Таким образом, найдем:

$$y_{\max, \min} = y_0 \frac{\sin^2 \alpha x + \cos^2 \alpha x}{\cos \alpha x} = \frac{y_0}{\cos \alpha x} \quad (27)$$

Для исключения неизвестного x , заменяем

$$y_{\max, \min} = y_0 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha x},$$

что с уравнением (27) дает:

$$y_{\max, \min} = \frac{y_0}{\sin \alpha l} \sqrt{y_0^2 \sin^2 \alpha l + (y_1 - y_0 \alpha l)^2} = \frac{1}{\sin \alpha l} \sqrt{y_0^2 + y_1^2 - 2y_0 y_1 \cos \alpha l}$$

или, принимая во внимание уравнение (25),

$$y_{\max, \min} = \frac{1}{\sin \left(l \sqrt{\frac{-P}{EI}} \right)} \sqrt{y_0^2 + y_1^2 - 2y_0 y_1 \cos \left(l \sqrt{\frac{-P}{EI}} \right)} \quad (28)$$

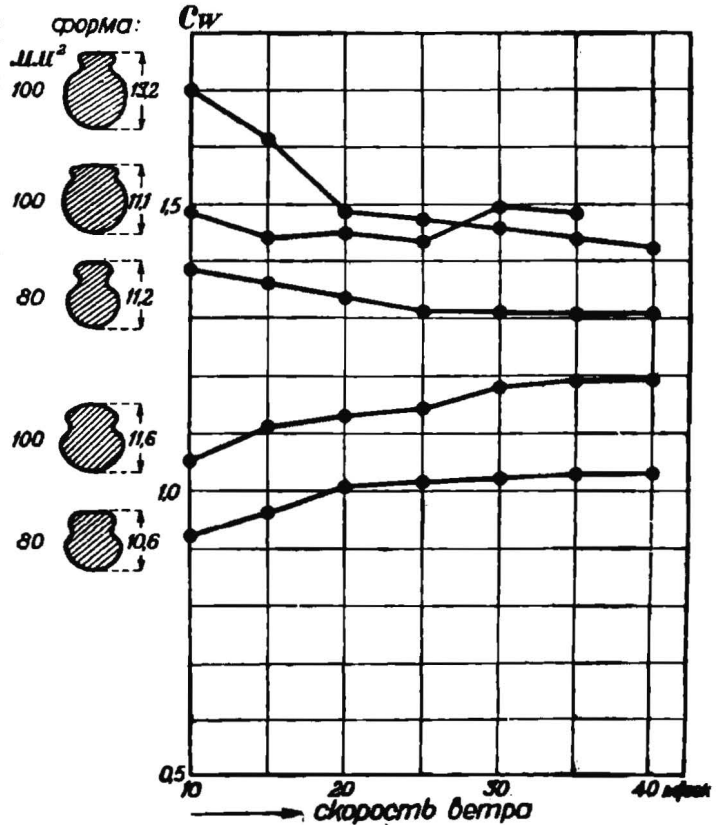


Рис. 56.

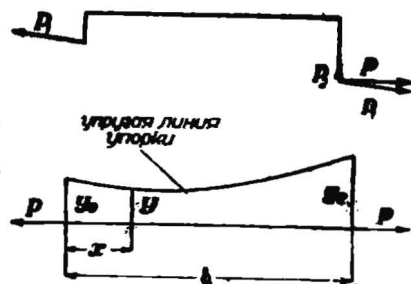


Рис. 57.

НТБ
ДНУЖТ

Так как упругая линия имеет вполне определенную длину l , то найденная величина y_{\max} может быть применена для расчетов только в том случае, если она соответствует значению x между нулем и l , т. е. если y_{\max} имеет место на рассматриваемой длине l .

При $x=0$ из ур-ния (27) имеем:

$$y_1 = y_0 \cos al$$

и для $x=l$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} al &= \frac{y_1 - y_0 \cos al}{y_0 \sin al} \\ y_0 \left(\frac{\sin^2 al}{\cos al} + \frac{\cos^2 al}{\cos al} \right) &= y_1 \text{ или } y_1 = \frac{y_0}{\cos al} \end{aligned}$$

Дальнейшие исследования показывают — названная величина x лежит между $x=0$ и $x=l$ в том случае, если величина $\cos al$ положительна и величина y_1 удовлетворяет неравенству:

$$y_0 \cos al < y_1 < \frac{y_0}{\cos al}$$

или в случае, если $\cos al$, когда y_1 не лежит между $y_0 \cos al$ и $\frac{y_0}{\cos al}$.

Исследование второй производной

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \left[\frac{y_1 - y_0 \cos \left(l \sqrt{\frac{-P}{EI}} \right)}{\sin \left(l \sqrt{\frac{-P}{EI}} \right)} \sin \left(x \sqrt{\frac{-P}{EI}} \right) + y_0 \cos \left(x \sqrt{\frac{-P}{EI}} \right) \right] \frac{P}{EI}$$

показывает, что в случае отрицательной величины, т. е. сжатия стержня, имеет место максимум, а в случае положительного P — растяжения, имеем минимум.

Когда ур-ние (24) дает y_{\max} или y_{\min} для x , лежащих вне рассматриваемой длины стержня l , то при определении σ_{\max} следует брать наибольшую величину y_0 или y_1 .

Наибольшее напряжение материала стержня при сжатии его будет

$$\sigma_{\max} + \frac{P}{W \sin \left(l \sqrt{\frac{-P}{EI}} \right)} \cdot \sqrt{y_0^2 + y_1^2 - 2y_0 y_1 \cos \left(l \sqrt{\frac{-P}{EI}} \right)} + \frac{P}{\omega} \quad (29).$$

если $\cos al$ положительно и y лежит между $y_0 \cos al$ и $\frac{y_0}{\cos al}$ или если $\cos al$ отрицательно и y не лежит в указанных пределах; в противном случае

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{W} y_0 + \frac{P}{\omega}$$

или

$$\sigma_{\min} = \frac{P}{W} y_1 + \frac{P}{\omega}$$

в зависимости от того, какая величина, y_0 или y_1 , больше.

Пример. Имеем упорки в виде трубы наружного диаметра 26 мм и внутреннего 19 мм, длиной 2,5 мм, модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^8$ кг/см². Сила, вызывающая сжатие стержня $P = 160$ кг. Для данного сечения трубы имеем:

$$l = 1,604 \text{ см}; W = 1,234 \text{ см}^3 \text{ и } \omega = 2,474 \text{ см}^2$$

и далее:

$$\cos \left(l \sqrt{\frac{-P}{EI}} \right) = \cos \left(250 \sqrt{\frac{160}{2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,604}} \right) = -0,1516$$

и

$$\sin \left(l \sqrt{\frac{-P}{EI}} \right) = 0,9884.$$

НТБ
ДНУЖТ

Рассмотрим четыре следующих случая:

а) $y_0 = 8,5$ см и $y_1 = 10,0$ см,

б) $y_0 = 8,5$ " $y_1 = 10,0$

в) $y_0 = 0$ " $y_1 = 10,0$ "

г) $y_0 = 0$ " " $y_1 = 12,0$

Из ур-ния (25) имеем:

для случая (а)

$$\sigma_{\max} = -\frac{160}{1,234 \cdot 0,9884} \sqrt{8,5^2 + 10^2 + 2 \cdot 8,5 \cdot 10 \cdot 0,1516} - \frac{160}{2,474} = -1911 \text{ кг/см}^2$$

для (в) из ур-ния 25 имеем

$$\sigma_{\max} = -\frac{160}{1,234} \cdot 10 - \frac{160}{2,474} = -1361 \text{ кг/см}^2.$$

Точно так же из ур-ния (29) найдем для (с) $\sigma_{\max} = -1376$ и для (д)

$$\sigma_{\max} = -1638 \text{ кг/см}^2.$$

Приведенные примеры показывают, что для уменьшения σ_{\max} следует стремиться величину y_1 у свободного конца упорки делать возможно малой, однако с таким расчетом, чтобы не могло последовать удара токособирателя об упорку; величину y_1 следует стремиться также уменьшать и даже давать отрицательную величину. Предварительный изгиб стержня в противоположном направлении делать не рекомендуется, так как для сохранения необходимого расстояния между стержнем и токособирателем придется увеличивать y_0 и y_1 , что вызовет увеличение изгибающего момента и напряжений.

Если на концах трубки получаются высокие напряжения, не следует для укрепления концов делать нарезку для муфт.

13. Обратный провод

В качестве обратного провода пользуются путевыми рельсами, за исключением тех случаев, когда по особым местным соображениям (разрушение водопроводных, канализационных труб) не желательна большая утечка тока. В этом случае в качестве отсасывающих проводов устанавливаются медные фидера.

Сопротивление путевых рельсов, служащих в качестве обратного провода, определяется по формуле (на 1 км длины).¹

$$W = \frac{1}{G} \text{ в ом/км}$$

где G — вес рельса в кг на 1 пог. м.

Несмотря на малую удельную проводимость рельсового пути, общая проводимость рельсовых путей, благодаря большим сечениям, является в достаточной мере высокой. Например, рельсовый путь, уложенный из рельсов весом 42,5 кг/м, соответствует сечению меди около 720 мм².

Сопротивление рельсового пути в большой мере зависит от сопротивления стыков. Как мы увидим ниже, во избежание больших блуждающих токов, весьма опасных в смысле электролитического действия на проложенные в земле трубопроводы, кабель и т. п., стремятся не допускать большого падения напряжения в путевых рельсах и принимают все меры к уменьшению сопротивления в рельсовых стыках путем перекрытия их медным проводником. В разное время предложено много различных спо-

¹ Seefehlner. Elektrische Zugforderung, стр. 46.

НТБ
ДНУЖТ

соединения рельсов. Основными требованиями, предъявляемыми к таким соединениям, являются:

а) высокая электрическая проводимость стыков,
б) прочная конструкция, сопротивляющаяся сотрясению от проходящих по путям с большими скоростями поездов,

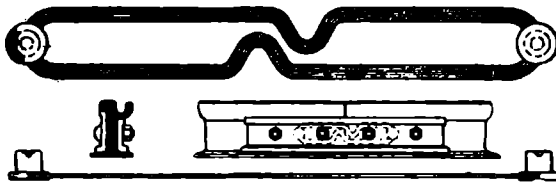


Рис. 58.

в) простота конструкции и возможность легкого обнаружения неисправности их при осмотре пути.

Удовлетворяющих всем перечисленным требованиям конструкций электрических соединений, вообще говоря, не существует.

Ниже мы приведем нашедшее наибольшее распространение соединения рельсовых стыков.

На рис. 58 изображено стыковое соединение, помещаемое под накладками; состоит оно большей частью из тонких проволочек, диаметром 3—5 мм; концы проволок запрессовываются в общую головку, прикрепляемую заклепкой к рельсу. Накладки должны быть особой формы для возможности помещения под ними описанного стыкового соединения.

Иногда электрическое соединение стыка производится поверх накладки, как показано на рис. 59. Концы проволок заканчиваются конической головкой, входящей в отверстие, просверливаемое в рельсе. В случае перекрытия стыка поверх накладки длина перекрытия доходит до 800—900 мм против 250—300 мм в случае расположения электрического соединения рельсов под накладкой. Очень широкое распространение полу-

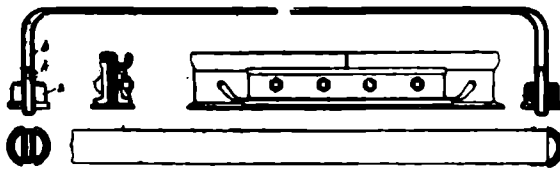


Рис. 59.

чило приваривание электрических соединений к рельсам — к подошве или головке (рис. 60).

Каждый наконечник состоит из цельнотянутой отожженной трубки красной меди, плотно охватывающей кабель и заделанной в трубку из мягкого железа.

Голый гибкий медный кабель имеет поперечное сечение 95 мм² и состоит из 259 проволок, хорошо отожженных.

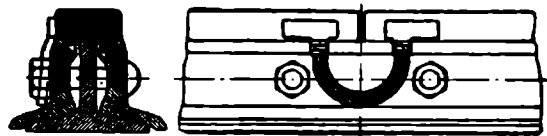


Рис. 60.

Согласно нашим временным техническим условиям приварные рельсовые соединения должны состоять из гибкого медного кабеля, снабженного двумя наконечниками для приварки к рельсам.

На рис. 61 изображено перекрытие стыка по способу Scheipig'a с прокладкой свинца. При этом способе не требуется применения медного перекрытия.

Нередко употребляется покрытие стыков тонким слоем цинка. Концы рельсов и накладки очищаются струей песка и посредством особого распылителя покрываются слоем цинка. Этот способ (способ Shoop'a) удобен лишь при укладке нового верхнего строения, когда оцинкование концов рельсов может быть произведено в штабелях рельсов; на уложенном же пути оцинкование можно производить по способу Сименса при помощи

НТЭД
ДНУЖТ

роликов; в этом случае поверхность рельса, к которой прилегают накладки, очищается при помощи вращающихся стальных щеток и затем проводят по очищенному месту быстровращающимся валиком, состоящим из олова со сплавом цинка, сильно прижимая его, чтобы на покрываемых поверхностях оставался слой металла.



Рис. 61.

Сопротивление рельсовой нити, как указывалось выше, зависит от способа перекрытия рельсовых стыков. При перекрытии при помощи медных соединений сечением 100 мм² сопротивление собственно стыка составляет при весе рельсов в 42,5 кг/м 2,72 м рельсового пути (или 0,000093 ом). Таким образом при длине рельсовых звеньев в 12 м стыки увеличивают сопротивление на 23,2%.

При рельсовых соединениях по способу Scheinig'a сопротивление стыка составляет всего 0,000085 ом, или 0,258 м рельсового пути, т. е. увеличение сопротивления рельсовой нити от стыков составляет 2,15%.

При большой силе тока в путевых рельсах, когда ими пользуются для возвращения силового тока при электрической тяге, имеет место сильное изменение потенциала, который меняется от нуля не только до положительной величины, но и до отрицательной.

Сущность явлений заключается в следующем: пусть А (рис. 62) является пунктом питания и у В приложена нагрузка — электрический поезд; для простоты примем, что на участке расположен лишь один поезд, и примем далее, что сопротивление рельсов и сопротивление перехода тока в землю более или менее равномерны по длине пути.

Обозначим: I_0 — полную силу тока и i — силу тока, проникающего в землю, E — падение напряжения на длине, W — сопротивление пути на единице длины, w — сопротивление при переходе тока от рельсов в землю на единицу длины; в этом случае имеем дифференциальное уравнение в виде:

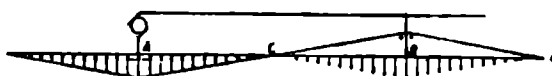
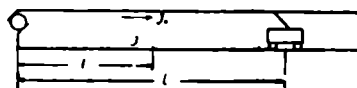


Рис. 62. Распределение напряжения в третьих рельсах.

$$\frac{dI}{dx} = \frac{IW}{w} = 0$$

Интегрирование этого уравнения дает:

$$I = \frac{I_0}{l + e^{l\sqrt{\frac{W}{w}}}} \left(e^{l\sqrt{\frac{W}{w}}} + e^{(l-l)\sqrt{\frac{W}{w}}} \right)$$

Падение напряжения на участке будет:

$$E = 2I_0\sqrt{Ww} \cdot \frac{e^{l\sqrt{\frac{W}{w}}} - 1}{e^{l\sqrt{\frac{W}{w}}} + 1}$$

НТБ
ДНУЖТ

кажущееся сопротивление рельсов, как проводников:

$$W' = \frac{E}{I_0} = 2\sqrt{Ww} \cdot \frac{e^{L\sqrt{\frac{W}{w}}} - 1}{e^{L\sqrt{\frac{W}{w}}} + 1}.$$

Путем разложения в ряд и пренебрегая членами малой величины, получим:

$$i = I_0 \frac{L-l}{2} l \frac{W}{w},$$

а также:

$$E = I_0 WL \left(1 - \frac{L^2 W}{12w}\right).$$

На середине длины L сила тока, проходящего через землю, имеет максимальную величину, сила же тока, проходящего через рельс,—минимальную; первая величина равна:

$$i_{\max} = \frac{I_0 L^2 W}{8w}.$$

Из приведенных уравнений следует, что падение напряжения по длине рельсового пути зависит не только от сопротивления рельса, но и от отношения сопротивления рельса к сопротивлению перехода тока в землю. Известно, что большая доля сопротивления рельсового пути приходится на сопротивление в стыках, а именно: можно принять, что сопротивление непрерывного рельсового пути относится к сопротивлению той же длины рельсового пути с неперекрытыми стыками как 1:5 или даже 1:6. Отсюда видно, какое важное значение имеют меры, направленные к увеличению проводимости стыков. Изолирование рельсов от земли не может считаться совершенным, и таким образом отношение сопротивления рельсового пути к сопротивлению перехода тока в землю имеет влияние на падение напряжения в обратном проводнике, которым являются таким образом не только путевые рельсы, но и земля.

Указанное отношение не может быть изменено путем параллельного включения нескольких путей, так как при этом в одинаковой мере растут и числитель и знаменатель отношения.

Если принять, что рельсы изолированы от земли, что до некоторой степени имеет место при сухом балласте и деревянных шпалах, или при сильном морозе, то в этом случае нельзя установить, каково соотношение потенциала рельсового пути к потенциалу земли, но как только имеет место переход тока с рельсов в землю, то не трудно видеть, что в этом случае при соединении положительной шины с контактным проводом или третьим рельсом токи направляются в месте нахождения электрического поезда из путевых рельсов в землю и обратно у места питания; таким образом около поезда путевые рельсы имеют по отношению к земле положительный потенциал, а у места питания—отрицательный; где-то у середины между этими пунктами располагается нейтральный пункт, где ток, идущий через землю, имеет максимальное значение, а ток, идущий по путевым рельсам,—минимальное. Этот нейтральный пункт движется вместе с поездом с два раза меньшей скоростью, чем поезд. Таким образом при движении поезда в различных местах меняется потенциал рельсов по отношению к земле с плюса на минус. Если принять падение напряжения в обратных проводах $n\%$ (5—10%), то в местах нагрузки на перегоне разность потенциалов достигает $\frac{n}{2}\%$ по отношению к земле. ¶

Эта разность потенциалов достаточна, чтобы аннулировать работу контрольных батарей сигнализационных и блокировочных устройств, как вые должны иметь таким образом свой отдельный обратный проводник

Так как часть тока проникает в землю, то и в земле имеет место падение напряжения, что оказывает сильное влияние на телефонные провода. Изменение потенциала в различных пунктах по пути токов в земле зависит от проводимости почвы, т. е. зависит от влажности и времени года; район влияния может распространяться на очень большое протяжение благодаря лежащим в земле трубопроводам. Так как телеграфные передачи выполняются однопроводными, то ничего не остается другого, как относить заземление телеграфных линий далеко вне пределов токов в земле.

Неодинаковая проводимость земли в различных участках может иметь своим следствием появление в некоторых участках токов большой силы, способных расплавить свинцовую оболочку близлежащего кабеля. Особенно часто это имеет место при сильных морозах, когда замерзшая земля дает большие сопротивления; токи при помощи проложенных в земле трубопроводов подводятся к одному пункту и в случае нахождения тут кабеля устремляются далее по свинцовой оболочке его, вызывая расплавление свинца.

Очень много хлопот причиняет электролитическое действие токов в земле на кабели слабых токов, расположенных вблизи железнодорожной линии постоянного тока. Средством борьбы является изолирование рельса от сырой земли. Заземление рельса не должно иметь места; таким образом металлические мосты могут быть соединены с рельсами, но ни в коем случае не должны быть заземлены. Водопроводные и газовые трубы покрываются изолирующим покрытием. Гораздо сложнее обстоит дело с телефонными кабелями, проложенными в земле; свинцовая оболочка их не может быть

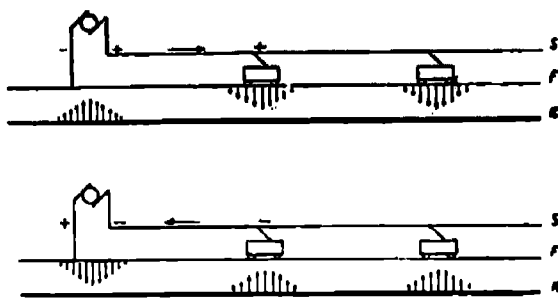


Рис. 63. Питание рельса с различными потенциалами.

защищена от соприкосновения с мокрой землей и является проводником для блуждающих токов в земле; при заземлении на подстанции отрицательного полюса ток с путевых рельсов (около электрического поезда), проникает в землю и течет по свинцовой оболочке кабеля и около подстанции идет в заземленный отрицательный полюс.

Само собою разумеется, что электролитическому действию подвергаются все трубопроводы в земле. Для ослабления этого влияния иногда рекомендуют отрицательные шины подстанции соединять с контактным проводом или третьим рельсом, так как в этом случае, как видно из рис. 63, место выхода тока распределяется на большем числе участков под электрическими поездами, почему разрушающее действие токов не концентрируется в одном месте, как в случае заземления отрицательного полюса на подстанции; однако эта мера вряд ли уже столь существенна, так как участки трудного профиля или места трогания поездов все же являются постоянными пунктами сосредоточенного тока с вредными последствиями его. Американцы предложили другой способ, заключающийся в ежедневной перемене полюсов заземления на подстанциях; однако в этом случае является опасность неодинакового переключения на всех подстанциях.

Как следует из вышеприведенных уравнений, напряжение путевых рельсов по отношению к земле, а вместе с тем и токи, проходящие через землю, пропорциональны квадрату расстояния до пункта питания; таким образом уменьшение расстояния между пунктами питания является ради-

кальной мерой борьбы против вредного действия тока дорог постоянного тока. Однако увеличение числа подстанций влечет удорожание их, но вместе с тем уменьшает стоимость фидеров питания контактной сети и удешевляет мероприятия по борьбе с электролитическим воздействием блуждающих токов. Экономические подсчеты могут дать правильное суждение как далеко рационально идти в уменьшении расстояния между пунктами питания.

14. Конструкция цепной подвески

В предыдущих параграфах мы указывали те требования, которые предъявляются цепной подвеске для возможности безукоризненного снятия тока при больших скоростях. Первое основное требование—сохранение постоянной высоты контактного провода—может быть в известных пределах выполнено. Как мы видели, если контактный провод подвешивать к несущему тросу, имеющему достаточным начальный провес, то температурные влияния на изменение провеса крайне ничтожны. Для того чтобы компенсировать изменения длины контактного провода, последний, как мы видели, устраивается с натяжным приспособлением.

Подвешенный при некоторой температуре к несущему тросу контактный провод все же не сохраняет абсолютно горизонтального положения при других температурах, поднимаясь несколько вверх посредине пролета при понижении температуры. Для того чтобы, несмотря на указанные неизбежные колебания высоты провода, имело место удовлетворительное снятие тока, необходима гибкость всей системы и особенно податливость провода в узлах.

Конструкция подвесок должна допускать поднятие провода пантографом, если это понадобится в местах провисания. Поэтому, если подвеска, соединяющая контактный провод с несущим тросом, сама по себе жесткая, она устраивается в виде петли, в которой свободно может перемещаться в вертикальном направлении несущий трос (рис. 64).



Рис. 64.

Широкое распространение получили гибкие подвески из многопроволочного троса, подвешиваемого при помощи клемм к несущему тросу; внизу подвески несут специальные клеммы для прикрепления контактного провода.

В отношении клемм, применяемых при монтаже контактного оборудования, следует отметить, что фирмы разрабатывают каждая свою конструкцию подвесного материала, которую она и применяет при устройстве контактной сети.

Нижняя клемма обычно состоит из двух лап, входящих в желобки провода; обе лапы соединяются при помощи специальных болтов или полых заклепок. Верхняя клемма большей частью состоит из цилиндрической части, в которой скользит несущий трос, и ушка, к которому прикрепляется подвеска.

Конструкция клемм приведена в п. 15 при описании выполненного на различных дорогах контактного оборудования.

Нашими техническими условиями на контактное оборудование предвидится контактный провод из твердотянутой меди специального профиля с желобками. Площадь поперечного сечения не менее 100 мм^2 или двух по 80 мм^2 на главных путях и 80 мм^2 на второстепенных.

НИИ
ДНУЖТ

Для несущего троса допускается применение кабелей из бронзовой, медной, оцинкованной стальной, а равно стальной с медной оболочкой, проволоки.

Для зажимов и прочих частей цепной подвески применяются нержавеющие металлы и сплавы, преимущественно бронза и латунь различного состава, причем применения болтовых соединений, легко разрушаемых окислением, следует по возможности избегать.

В изделиях, служащих для связи и закрепления контактных проводов или тросов, не должно наблюдаться заметного продергивания проводов или тросов при нагрузке до 85% разрывного усилия закрепляемых частей.

ТАБЛИЦА VIII
Примерный химический состав изделий

Род изделия	Химический состав (в процентах)		Случайные примеси не более	Цинк
	медь	свинец		
Отливки.....	64—67	3	0,70	Остальное
Изготовление горячей штамповкой.....	57—61	2	0,70	

Несущий трос прикрепляется к консоли или поперечине при помощи опорного или подвесного изолятора; для удержания же контактного провода против окового отклонения служат, как мы видели, боковые упорки, прикрепляемые к мачтам. В отношении подвешивания несущего провода применяются две системы цепной подвески:

1. Несущий трос устраивается разрезным и прикрепляется к опорным изоляторам на каждой опоре, как показано на рис. 65. У мачт располагаются и подвесные изоляторы, при помощи которых несущий трос изолируется от мачты; указанное расположение изоляторов дает двойную изоляцию несущего троса по отношению к мачтам.

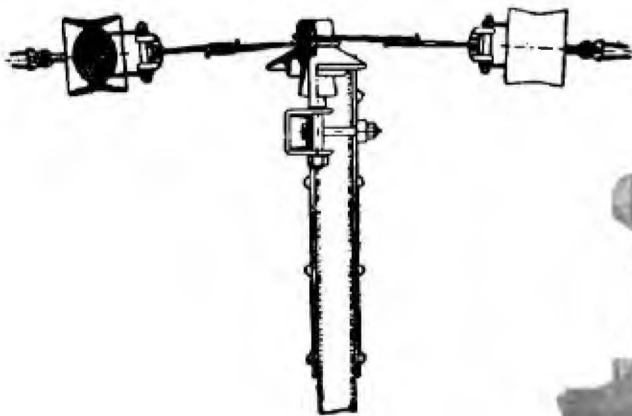


Рис. 65.



Рис. 66.

При этой системе не может быть применена компенсация несущего троса. В случае пользования несущего троса в качестве проводника при выполнении его из бронзы эта система очевидно не применима.

2. Система с непрерывным несущим тросом, лежащим на специальных колоколообразных изоляторах, или подвешанным при помощи подвесных

изоляторов, большую часть обычного типа, применяемого на электропередачах. На рис. 66 приведен изолятор колоколообразной формы завода АЕГ для 3000 в. Средний изолятор насаживается на горизонтально расположенный стержень, опирающийся в свою очередь через посредство концевых изоляторов. Все это монтируется на общей плите.

При подвешивании несущего троса к жестким поперечинам или к поперечному тросу вместо жестких боковых упоров применяются удерживающие поперечные тросы.

При большей силе токи и высоких скоростях для получения удовлетворительного токоснимания устанавливаются подвески с двойным контактным проводом, оба провода располагаются параллельно друг другу на расстоянии 100—150 мм и удерживаются при помощи особых дистанционных клемм или держателей.

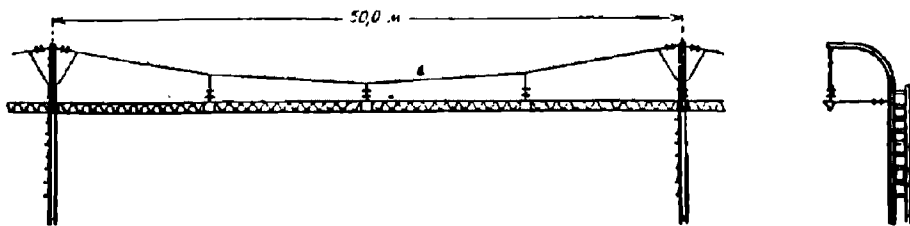


Рис. 67.

Сложная цепная подвеска состоит из несущего троса, обычно заземленного; к нему прикрепляется при помощи расположенных на большом расстоянии друг от друга подвесок с изоляторами так называемый вспомогательный провод; к вспомогательному проводу прикрепляется уже контактный провод (рис. 67)¹.

Нашими техническими условиями на устройство контактного оборудования указывается, что изоляция контактной проводки от опор вообще может быть одиночной; под путепроводами же на искусственных сооружениях и на участках с ограниченной конструктивной высотой подвески необходима двойная изоляция.

В качестве материала изоляторов для поддерживающего троса и контактного провода должен быть применен фарфор и стеатит; в случае двойной изоляции в качестве второй изоляции может быть применен другой изолирующий материал.

При железных и железобетонных опорах все части контактной проводки, расположенные между изоляторами и землей, должны быть надежно заземлены.

При деревянных опорах можно обойтись без заземления, при чем в случае применения оттяжек в таковые включается изолятор, расположенный на недоступной для публики высоте.

Опоры на перегонах заземляются посредством соединения с путевыми рельсами оцинкованным проводом.

Опоры на станциях, ремонтных путях и в местах, доступных для публики, равно опоры, несущие участковые и станционные разъединители, а также металлические части сооружений, коих в случае обрыва может коснуться провод контактного оборудования, должны быть также заземлены.

Переходим к рассмотрению расположения контактного оборудования в пределах железнодорожного габарита.

¹ См. описание подвески на французских южных жел. дорогах.

НТБ
ДНУЖТ

Расстояние частей контактного оборудования, находящихся под напряжением, не следует устанавливать от габаритов приближения строений и подвижного состава менее чем на 200 мм; в исключительных случаях нашими техническими условиями на устройство контактного оборудования допускается уменьшение этого расстояния по особому разрешению НКПС в каждом отдельном случае.

На открытых местах, на перегонах, на станциях, а равно под сооружениями легкого типа на перегонах (сигнальные мостики, пешеходные мостики) высота контактного провода над уровнем головки рельса при наиболее неблагоприятных условиях температуры и нагрузки не должна быть меньше 6 350 мм.

Максимальное повышение контактного провода на перегонах под сооружениями легкого типа (сигнальные мостики, пешеходные мостики на перегонах) не должно превышать 7 000 мм.

Под пешеходными мостиками на станциях и платформах высота контактного провода при всех условиях температуры и нагрузки не должна быть меньше 5 750 мм и больше 5 900 мм в приподнятом давленном токоприемника положении.

Под капитальными сооружениями (путепроводами, мостами и в тоннелях) высота контактного провода над головкой рельса при самых неблагоприятных условиях не должна быть меньше 5 750 мм и больше 5 850 мм.

Для сооружений, постройка коих для соблюдения этого условия связана с чрезмерными затратами, и для всех существующих сооружений допускается понижение указанных высот соответственно до 5 500 и 5 600 мм, а в особых случаях, с разрешения НКПС, до 5 350 мм. При пропуске контактного провода под такими сооружениями обусловленный наименьший зазор в 200 мм между частями проводки, находящимися под напряжением, и частями сооружения, должен быть сохранен и при поднятом вследствие давления токоприемника контактом проводе.

В случае необходимости ограничить это поднятие, в виду малой конструктивной высоты, устраиваются особые приспособления, ограничивающие вертикальную игру токоприемника.

В случае полной невозможности расположить контактный провод на высоте 6 350 мм над головкой рельса, соответствующие участки провода не должны находиться под напряжением, представляя собою лишь механический путь для токоприемника.

Соединение участков с различной высотой контактного провода производится уклоном не свыше 5‰ (считая этот уклон по геометрической линии). Уклон этот может быть повышен до 10‰ на участках пути, где движение поездов происходит со скоростью не свыше 30 км/час.

При размещении опор должно соблюдаться условие сохранения достаточной видимости сигналов и пути.

Нашими техническими условиями (п. 16) предписывается—расстояние в свету от опоры до оси ближайшего пути на перегонах, на уровне головки рельса, на прямом пути—не менее трех метров; на кривых расстояние увеличивается соответственно выносу подвижного состава на нижеследующие величины:

При радиусе от 1 200 м до 2 000 м — на 170 мм.			
•	•	• 1 000	• 1 200 — " 200
"	"	" 800	" " " 250
"	"	" 600	" " " 300
"	"	" 500	" " " 350
"	"	" 400	" " " 400
"	"	" 300	" " " 450
"	"	" 250	" " " 500
"	"	" 200	" " " 600
"	"	" 150	" " " 700
"	"	" 125	" " " 800

НТБ
ДНУЖТ

Определение размеров промежуточных опор и их поперечной поддерживающей конструкции надлежит производить для более тяжелого из нижеследующих сочетаний, действующих на опору сил:

а) собственного веса и давления ветра скоростью 30 м/сек, действующего на опору непосредственно — и через посредство проводов и тросов при температуре $+5^{\circ}\text{C}$, или

б) собственного веса, гололеди и давления ветра скоростью 15 м/сек, действующего на опору непосредственно, а также через посредство проводов и тросов.

Для опор, установленных на кривой, должно быть принято во внимание равнодействующее тяжение проводов и тросов в обоих смежных пролетах при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ в случае (а) и -5°C в случае (б).

Если при сооружении контактного провода над тремя и более путями применяется подвеска на поперечных тросах, таковая должна иметь два верхних поддерживающих троса, из которых каждый должен быть рассчитан на полную нагрузку, с допущением в нем напряжений в $1/2$ от временного сопротивления на разрыв.

Для получения горизонтального положения контактного провода при температурных колебаниях через каждые 1,2—1,8 км устанавливаются натяжные приспособления, а именно: на расстоянии 40—60 м друг от друга устанавливаются усиленные мачты с поперечным перекрытием, на котором наверху производится анкеровка несущего троса, а внизу укрепляются ролики, через которые пропускаются провода и цепи с подвешенным грузом. В промежутке между анкерными мачтами идут два контактных провода, при чем они, начиная с середины пролета, несколько поднимаются к своим концам, чем и достигается постелевный переход пантографа с одного контактного провода на другой.

Посредине участка, между двумя натяжными приспособлениями, контактный провод обычно прикрепляется неподвижно (анкеруется).

Согласно нашим техническим условиям на устройство контактного оборудования предвидится анкеровка с таким расчетом, чтобы расстояние между анкерными опорами не превышало 1500 м.

Анкерные опоры рассчитываются в предположении одностороннего тяжения всех проводов, крепленных на них подвижным и неподвижным способом, при наиболее неблагоприятном сочетании нагрузок.

При расчете промежуточных и анкерных мачт и кронштейнов напряжения в их частях, работающих на растяжение и изгиб, принимаются равными 1—2,5 временного сопротивления железа на разрыв.

В расчетах принимается во внимание ослабление сечений заклепками и другими отверстиями.

15. Описание контактного оборудования электрифицированных железных дорог

В этом параграфе мы приведем описание контактного оборудования некоторых электрифицированных жел. дорог постоянного тока, представляющих большой интерес в смысле развития конструкции.

А. Железная дорога Butte Anaconda and Pacific Ry

Образцом весьма простой воздушной линии питания может служить контактная сеть жел. дороги Butte Anaconda and Pacific.

Контактный провод (рабочий), сечением 105 мм^2 , круглого сечения с желобками, подвешивается к несущему стальному тросу диаметром 12,7 мм при помощи железных плоских подвесок, оканчивающихся на верхнем конце петлями, позволяющими при прохождении пантографа подниматься подвескам, не увлекая за собой несущего троса, что придает всей цепной подвеске большую эластичность. На нижнем конце подвески находятся

клеммы, при помощи которых захватывается рабочий провод. Клеммы зажимаются при помощи одного болта.¹

На прямых участках пути несущий трос подвешивается к кронштейнам мачт или к поперечному тросу, расположенному между двумя деревянными мачтами. Мачты на прямых участках пути располагаются через 45 м. Небольшое расстояние между мачтами принято с целью получения меньшей стрелы прогиба несущего троса, а следовательно и меньшей длины подвесок, что придает особую гибкость проводу при прохождении пантографа. В кривых частях пути устанавливаются дополнительные мачты с внешней стороны кривой, направляющие при помощи оттяжного троса воздушную линию по средней линии железнодорожного пути.

При секционировании участков применено изолирование одного участка от другого при помощи так называемого воздушного промежутка (air gap): провода соседних участков следуют на некотором протяжении рядом друг с другом (однако между ними находится воздушный прослойка), затем концы поднимаются постепенно кверху и прикрепляются при помощи изолятора к поперечине.

Благодаря описанному устройству, перерыва провода фактически нет, при прохождении пантографа искрение не наблюдается. С этой же целью на стрелках, где примыкает параллельный путь, рабочий провод продолжается некоторое время параллельно с проводом главного пути и затем уже отходит от него; в некоторых местах пантограф проходит по шести проводам одновременно. Благодаря отсутствию стыков, сильно утяжеляющих воздушную проводку, последняя оказывается весьма эластичной при прохождении пантографа.

Контактный провод соединяется с фидерами через 300 м.

Свинцовые разрядники устанавливаются на мачтах через 500—600 м. Стыки рельсов перекрываются медными кабелями сечением 105 мм^2 . Обратным проводом, кроме путевых рельсов, служит фидер сечением 105 мм^2 , уложенный на столбах цепной подвески и соединенный со стыками рельсов через 300 м.

Стоимость содержания воздушной линии за 1916—1919 гг. в среднем, включая и электрические стыки составила 85 долл. в год за 1 км.

Эти расходы распределяются следующим образом:

	Работа	Материал	Всего
Столбы с принадлежностями.....	16,85	3,55	20,40
Фидера	2,90	0,45	3,35
Рабочий провод	20,10	6,00	26,10
Эл. стыки	7,30	10,25	17,55
Рабочие поезда	—	—	17,60
			85,00

Б. Железная дорога Chicago Milwaukee and St.-Paul

На жел. дороге Chicago Milwaukee and St.-Paul применен двойной контактный провод, подвешенный при помощи легких подвесок к несущему стальному тросу, при чем подвески, чередуясь, удерживают то один провод, то другой, как показано на рис. 68. Как и на жел. дороге Butte Anacouada and Pacific, здесь применены петлевые подвески; при прохождении пантографа они легко поднимаются, не увлекая за собою несущего троса.

¹ Electric Railway Journal. 31/VIII 1912
General Electric Review, Август 1915.

НТБ
ДНУЖТ

Точно так же для придания большей легкости цепной подвеске расстояние между опорами назначено всего лишь 45,7 м; по всей этой длине расположено 20 подвесок, по 10 на каждый провод. Несущий трос представляет собою стальной гальванизированный трос, диаметром 12,5 мм, состоящий из 7 проволок. Контактный провод — медный сечением около 105 мм², обычного сечения с желобками. Подвески выполнены из полосового железа 16 × 3,2 мм; клеммы, при помощи которых захватывается контактный провод, состоят из двух частей, стягиваемых одним болтом.

Благодаря небольшому расстоянию между мачтами длина подвесок не превышает 660 мм. Рабочий провод подвешен на высоте 7365 м над головкой рельса. Мачты поставлены высотой 12 м из кедра, пропитанного креозотом; такие мачты, как предполагает жел. дорога Ch. M. St. Paul, могут служить до 10 лет, после чего такая мачта может быть втоплена в бетонное основание и прослужить снова 10 лет. На прямых участках пути мачты располагаются с одной стороны пути. Несущий трос подве-

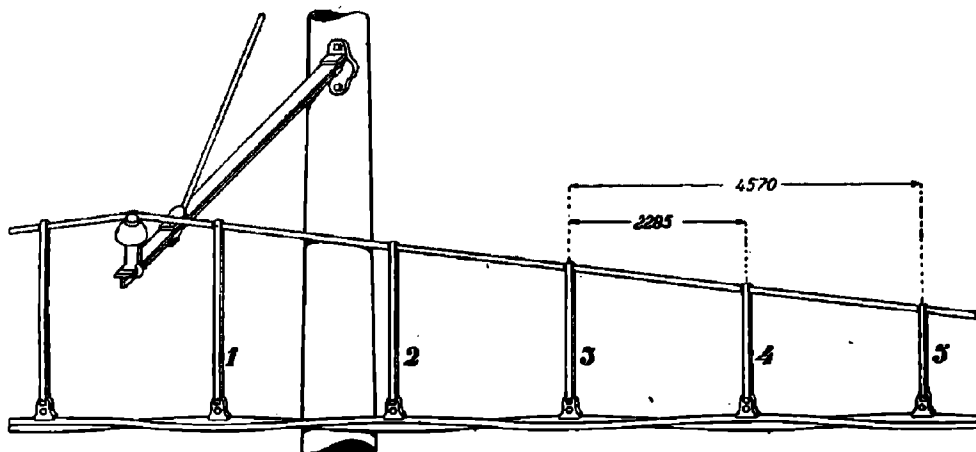


Рис. 68. Цепная подвеска жел. дороги Ch. M. St. Paul.

шивается на фарфоровом изоляторе высотой 90 мм и диаметром 115 мм (напряжение испытания 40 000 в). Изоляторы приклепляются к горизонтальному кронштейну из таврового железа.

На закруглениях малого радиуса для сохранения вертикального положения подвесок несущий и рабочий провод подвешиваются к поперечному тросу, расположенному между двумя мачтами; так как провода не изолированы от поперечного троса, то последний изолируется по отношению к мачтам при помощи подвесных изоляторов, выдерживающих 55 000 в в сухом виде и 14 000 в при дожде. Помимо того между мачтами, расположенными с внешней стороны кривой, протягивается так называемый отводящий трос, при помощи которого оттяжными проводами как несущий трос, так и рабочий провод устанавливаются по средней линии пути.

Контактный провод поставлялся намотанным на барабанах в кусках, длиной по 1 600 м.

Вся цепная подвеска выполнена без компенсаторов; для автоматического натяжения проводов имеются лишь винтовые стяжки, располагаемые вблизи станций; при помощи их возможно регулирование длины проводов в случае, если окружающая температура выходит из пределов — 15° и + 35° Ц. При прокладке первоначального провода натяжение производилось в зависимости от температуры, как дано на таблице IX.

ТАБЛИЦА IX

Температура	Натяжение рабочего провода (в кг)	Натяжение несущего провода (в кг)	Провес линии при $l = 45,7$ м
— 40	1 725	2 100	350
— 20	1 235	1 835	400
0	920	1 565	465
+ 20	755	1 350	545
+ 40	600	1 215	610

Анкеровка несущего и рабочего провода производится у концов станций и на перегонах через каждые 1,5 км.

На станциях применено подвешивание несущего троса к поперечному тросу. При примыкании путей нет жестких соединений. Контактный провод бокового пути некоторое время идет рядом с проводом главного пути и далее анкеруется у мачты.

Вдоль пути на кронштейнах, прикрепленных к мачтам, уложены фидера в виде медного троса, соединенного с рабочим проводом через каждые 300—320 м (каждый седьмой пролет). Сечение фидеров на различных участках меняется в пределах 105—350 мм². Соответственно секционным участкам контактного провода, ограждаемым мертвыми участками, питание фидеров разделено по длине разъединителями, нормально закрытыми. Открытие треншальтеров необходимо при изолировании поврежденного участка. Обратными проводниками являются рельсы и фидера, подвешенные к мачтам, рядом с фидерами питания. Рельсы весом 42 кг/м на стыках перекрыты медным кабелем сечением 125 мм², длиной 900 мм. Фидера сечением 105 мм² соединяются с путевыми рельсами каждые 3,4 км, иногда и через 2,4 км, дабы, в случае неисправности в стыках, не было слишком высокой разности потенциалов у прерванной рельсовой нити.

Помимо того на мачтах располагаются провода для управления и сигнализации.

Содержание и текущий ремонт контактного оборудования на участке Скалистых Гор производится тремя колоннами, состоящими каждая из старшего рабочего, его помощника и двух ремонтных рабочих. Помимо того группа из двух человек непрерывно проверяет состояние стыков путем выяснения сопротивления стыков по сравнению с рельсом при помощи переносных приборов.

В. Питание дороги Париж—Орлеан

Нормальное питание дороги предвидено при помощи воздушного провода. Третий рельс устанавливается лишь на некоторых пригородных участках.

Воздушная линия цепного типа с двумя контактными проводами дана на рис. 69.

Нормальный пролет в прямых участках 63 м; в кривых с уменьшением радиуса пролет уменьшается с тем, чтобы избежать слишком сильного отклонения контактного провода в плане.

Пролеты на различных кривых и отклонения провода от продольной оси приведены ниже:

ТАБЛИЦА X

Прямой участок (в м)	Пролет (в м)	Отклонение от продольной оси пути	
		у опор (в см)	в середине пролета (в см)
Прямой участок.....	63	± 10	± 5
Кривая R=2 000.....	63	17	8
" R=1 400.....	63	25	10
" R=1 200.....	54	20	10
" R=1 000.....	45	17,5	8
" R=800.....	45	21,5	10
" R=700.....	36	15	8
" R=600.....	36	18	9
" R=500.....	36	22,5	10
" R=400.....	27	15	8

При расчетах были приняты следующие максимальные натяжения:
 Несущего троса 1 760 кг или 15,18 кг/мм²
 Дополнительного провода 554 " 5,17 "
 Контактных проводов 975 " 9,1 "

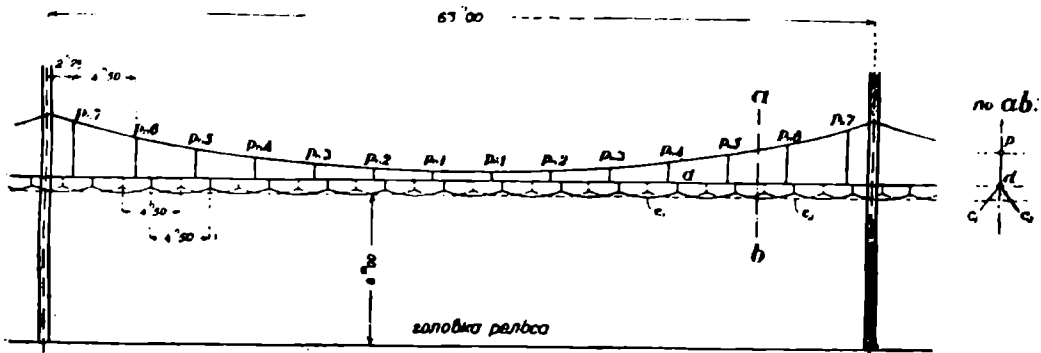


Рис. 69. Воздушная цепная линия жел. дор. Р.—О.

ТАБЛИЦА XI

Наименование	Несущий трос	Дополнитель- ный провод	Контактный провод	Фидер
Конструкция.....	37 пров. 2 мм	провод круг. сеч.	фасонное сеч.	37 витей по 3 мм
Материал.....	Cu—99% Cd—1%	медь	медь	медь
Сечение.....	116 мм ²	104 мм ²	107 мм ²	262 мм ²
Сопротивление при 0°.....	2,28	1,64	1,64	1,64
Температура коэф.	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
Диаметр. провод. мм.....	14	11,5	12,2	21
Вес 1 пог. м. в кг.....	1,096	0,923	0,950	2,46
Разрывн. усилие кг/мм ²	63	36	36	38
Предел. упруг. кг/мм ²	57	29	29	—
Коэф. лин. расшир.	$1,8 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-5}$
Коэф. упругости.....	$8,44 \times 10^8$	$11,10^8$	$11,10^8$	$11,10^8$
Запас прочности.....	3	3	2	—

Подвески между несущим тросом и дополнительным проводом до длины 50 см выполнены простыми; более же длинные подвески состояются из двух частей, допускающих перемещение одной относительно другой. Короткие подвески между рабочими проводами и дополнительным спроектированы двух типов: прямоугольного сечения (медные) 20×3 мм и круглого — 5 мм.

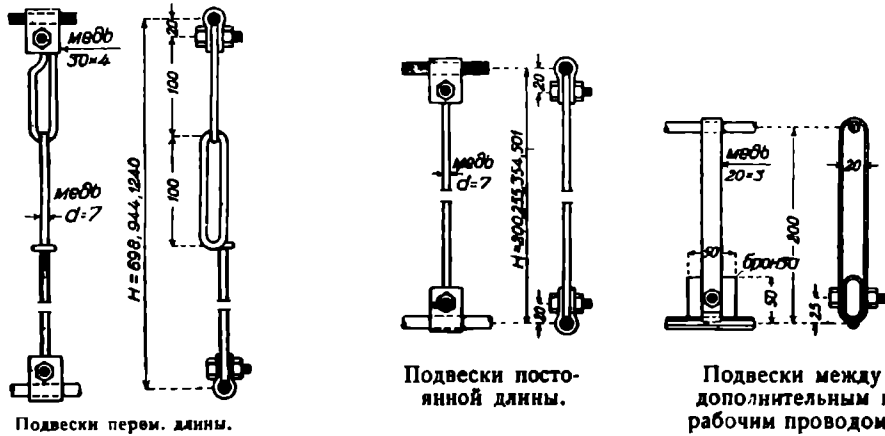


Рис. 70. Подвесной материал жел. дороги Р. — О.

Чертежи подвесок и способы укрепления их приведены на рис. 70. Провес несущего троса при температуре 15° и пролете между опорами 63 м равен 1 206 м. Изменение провеса с температурой дано на таблице XII.

ТАБЛИЦА XII

Пролет между опор (в м)	Несущий трос						Дополнительный провод					
	провес (в м)			натяжение (в кг)			провес (в м)			натяжение (в кг)		
	- 20°	+ 15°	+ 50°	- 20°	+ 15°	+ 50°	- 20°	+ 15°	+ 50°	- 20°	+ 15°	+ 50°
63	0,997	1,206	1,454	2,097	1,760	1,500	0,0064	0,014	0,0465	1,210	554	165
54	0,725	0,885	1,066	2,147	1,760	1,456	0,0064	0,014	0,0465	1,210	554	165
45	0,504	0,615	0,741	2,201	1,760	1,410	0,0064	0,014	0,0465	1,210	554	165
36	0,322	0,394	0,475	2,225	1,760	1,354	0,0064	0,014	0,0465	1,210	554	166
27	0,154	0,221	0,267	2,305	1,760	1,300	0,0064	0,014	0,0465	1,210	554	164

Натяжение проводов регулируется винтовыми натяжными приспособлениями, расположенными через каждые 120 м. Длина винтовой нарезки выбрана в 40 см.

Вся система цепной подвески прикрепляется к консолям опор при помощи двух изоляторов Hewlett диаметром 220 мм, как показано на рис. 71.

Сухое разрядное напряжение их 55 000 в и мокрое 20 000 в, а для двух изоляторов 100 000 и 40 000 в.

В целях более равномерного износа трущейся части пантографа отклонение контактного провода в плане равно ± 10 см через каждые три пролета.

НТБ
ДНУЖТ

Против боковой качки проводов применено прикрепление дополнительного провода поперечным тросом к опорам при помощи изоляторов. В кривых кроме поперечного удерживающего троса установлены специальные боковые фиксаторы (рис. 72).

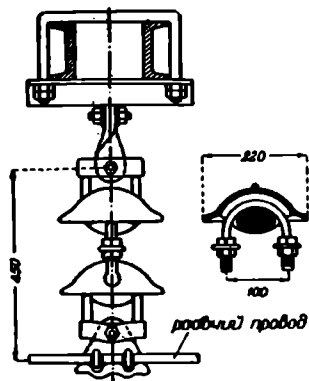


Рис. 71. Подвеска рабочего провода жел. дор. Р.—О.

Отклонение подвески под действием ветра и температуры изучено опытным путем. Из этих опытов выяснилось, что при пролете в 90 м и натяжении в 14 кг/м^2 при ветре в 120 кг/м^2 отклонение от продольной оси не превышало 55 см, т. е. предельную величину по ширине пантографа. На основании этих результатов и был принят нормальный пролет в прямых участках пути в 63 м.

Опытные данные для этого пролета (63 м) при ветре в 120 кг/м^2 были получены следующие:

ТАБЛИЦА XIII

Тип подвески	Температура	Натяжение (в кг)			Отклон. бок. контактного провода	
		несущего троса	дополнительного провода	контактного провода	у опор	в середине пролета
P_1	+ 50°	1,350	230	2 × 720	11	99
	+ 15°	1,590	850	2 × 1 000	7	56
	- 20°	1,850	1 350	2 × 1 700	4	28
P_2	+ 50°	1,790	800	2 × 775	4,2	55,5
	+ 15°	2,120	1 160	2 × 1 030	4,2	42,5
	- 20°	2,540	1 690	2 × 1 600	3,5	30,5

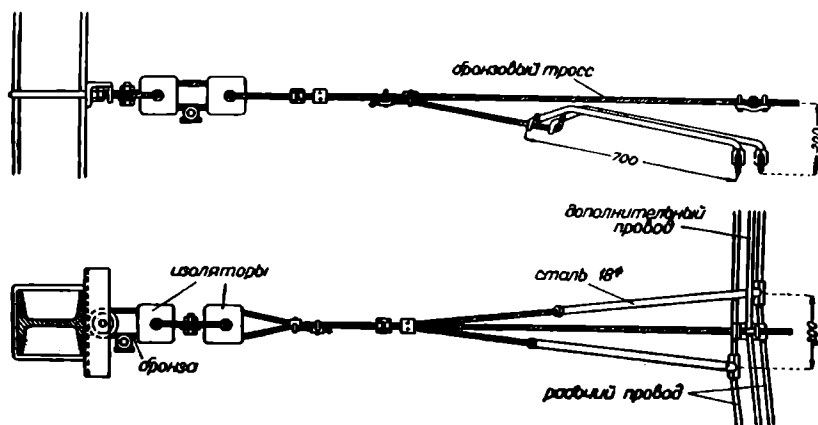


Рис. 72. Боковые фиксаторы воздушной линии жел. дор. Р.—О.

НТБ
ДНУЖТ

Г. Голландские железные дороги¹

При проектировании контактного оборудования для голландских жел. дорог (постоянный ток 1500 в) было поставлено условие: безукоризненное снятие тока при скорости 100 км/час при сильных температурных колебаниях и сильном боковом ветре. Наибольшая сила тока в 1200 амп должна сниматься при помощи двух пантографов. Пантографы снабжены двумя скользунами; давление каждого пантографа 12 кг. При 600 амп на пантографе необходимо было иметь 2 рабочих провода. Таким образом каждый пантограф имеет четыре пункта соприкосновения с давлением 3 кг и снятием тока в 150 амп. Цепная подвеска, примененная заводом Бергманн (Берлин), состоит из несущего бронзового троса, из 19 проволок диаметра 1,83 мм, общим сечением 50 мм². Разрывное напряжение каждого провода 70—75 кг/мм² и проводимость около 30% меди. Контактные медные провода с желобками (рис. 73) применены сечением по 100 мм², сопротивлением на разрыв 36 кг/мм², при удлинении 3,5%. Омическое сопротивление на 1 км длины и 1 мм² сечения при 20°С равняется 17,84 ом с максимальным увеличением этого сопротивления при увеличении температуры на 1°С не свыше 0,068 ом. Бронзовые подвески состоят из 49 проволок диаметра 0,51 мм, общим сечением 10 мм² и разрывное усилие около 50 кг/мм². Клеммы у несущего провода, мостики между контактными проводами и клеммы для захвата контактных проводов выполнены из прессованной латуни содержанием 60% меди, 39% цинка и 1% свинца; соединение лап клемм производится полыми медными заклепками, головки коих раздаются при помощи особых щипцов. На рис. 74 дана клемма, примененная заводом Бергманн на голландских жел. дорогах. Общая высота цепи равняется 2,9 при провесе несущего троса в 2,1 м; расстояние между опорами 75 м.

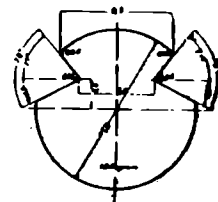


Рис. 73.

Контактное оборудование выполнено по принципу раздельного подвешивания рабочего провода для каждого пути. Каждая цепь лежит на консоли, непосредственно приболченной к мачте; к верхушке мачты прикреплена тяга, поддерживающая консоль.

Мачта состоит из двух швеллеров, связанных распорками из уголков, благодаря чему мачты оказались, несмотря на большой вес подвешенного материала, весьма устойчивыми. При этом видимость сигналов благодаря раздельному подвешиванию провода получилась вполне удовлетворительной. Всюду применена двойная изоляция при помощи колоколообразных изоляторов. Между изоляторами расположены дистанционные распорки, а на среднем изоляторе— особое седло, которое выполнено таким образом, что служит не только подушкой для несущего провода, но через него пропущен предохранительный провод (рис. 75), который позволяет несущему тросу перемещаться по своей длине в изоляторе лишь в определенных пределах.

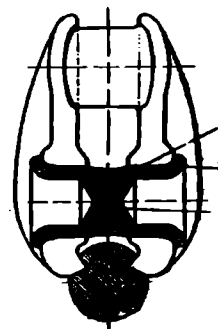


Рис. 74. Клемма с полый заклепкой.

Кроме того предохранительный трос предотвращает падение цепи в случае обрыва несущего троса в наиболее напряженном сечении, т. е. на месте перегиба. Во все места соприкосновения изоляторов с металлическими частями (как-то: у полого вала и около шеек изоляторов, входящих в уши стоек) проложены промежуточные кольца из свинца, дающие

¹ Bergmann. Mitteilungen, № 2, 1926 „Die Fahrleitungsanlage der holländischen Staatsbahnenstrecke Haag—Leiden“ H. Westphal.

НТБ
ДНУЖТ

более равномерное распределение усилия между фарфором и арматурой, в особенности при неизбежных неровностях на поверхностях

На рис. 76 виден способ укрепления изоляторов к поперечным траверсам.

Те же изоляторы применяются при прикреплении фиксаторов, удерживающих рабочий провод у середины пути во время бокового ветра.

Фарфоровые изоляторы поставлены германской фирмой Hermsdorf-Schomburg и покрыты зеленой глазурью. Испытание изоляторов произведено на заводе поставщика. С целью выяснения напряжения перекрытия всей системы изоляторов, последние были собраны вместе с арматурой совершенно так же, как они должны быть в пути, и поставлены под искусственный дождь. Проводимость воды составляла $50 \mu S/cm$ при высоте дождя 3 мм. Угол наклона дождя 45° к горизонт по направлению оси изоляторов, при этом среднее мокрое разрядное напряжение было получено в 42 кв.

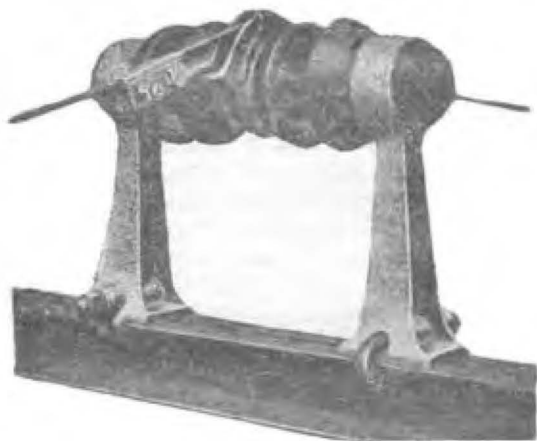


Рис. 75. Подвешивание несущего троса на Голландских железных дорогах.

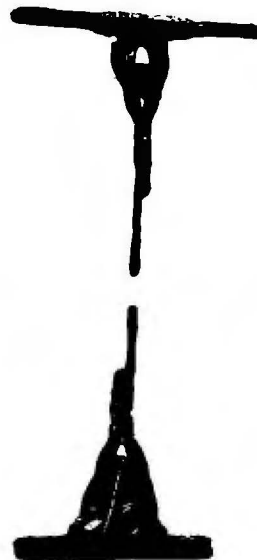


Рис. 76. Подвесной материал.

Все изоляторы были испытаны на пробивание под напряжением на 5% ниже мокрого разрядного напряжения в течение 15 минут; все пробитые при этом изоляторы были исключены из поставки.

Помимо того были проделаны испытания на стойкость изоляторов в отношении температурных колебаний, а именно: изоляторы подвергались трехкратному переменному нагреванию и охлаждению в водяных ваннах при температуре 90 и 15° , при этом на глазури не было обнаружено никаких изменений, ни трещин, и в дальнейшем они снова подверглись испытанию под напряжением. Поглощение влаги изолятором было проверено погружением свежотколотых кусочков изоляторов в раствор фуксина на 10 час. под давлением до 300 атм; по истечении указанного срока части изолятора были разбиты и было установлено, что фуксин совершенно не проник в тело изолятора.

Натяжные приспособления установлены через 1,2—1,4 км; помимо того посредине участка устанавливаются мачты для анкеровки контактного провода, на которой производится натяжение провода; длина прохода равна 600—700 м. Одновременно производится и анкеровка 10 кв трехфазной линии, установленной на тех же мачтах, что и контактная линия.

НИИ
ДНУЖТ

В пределах станции применено подвешивание контактного провода на поперечных тросах. Между мачтами протягиваются по два поперечных бронзовых троса, толщина коих определяется весом прикрепляемых к ним проводов и длиной перекрываемого пролета. Верхний поперечный трос заземляется; нижний же прикрепляется при помощи изоляторов к мачтам и изолирован таким образом от последних. Указанная изоляция выполнена двойною, для коей цели установлено по два обычных подвесных изолятора с шаровой головкой завода Hermsdorf-Schomburg; при испытании оба изолятора вместе при дожде под 45° и 3 мм, при проводимости $50 \mu S/cm$ дали разрядное напряжение около 65 кВ. Подвешивание контактных проводов в пределах станции к поперечному тросу имеет большое преимущество в смысле обеспечения достаточной видимости сигналов.

Д. Железная дорога Ludwigshafen a/Rh—Оррау (Германия)

На участке Ludwigshafen до Оррау контактное оборудование, поставленное фирмой Бергманн, было выполнено для постоянного тока 1200 в в виде цепной подвески. Расстояние между опорами было выбрано в 70 м; несущий провод—бронзовый, состоит из 7 проволок диаметром в 3,02 мм. Общее сечение троса 50 мм^2 , сопротивление разрыву 50 кг/мм^2 , или на все сечение 3250 кг; проводимость составляет 70% проводимости меди. Контактный провод состоит из твердотянутого троллейного провода сечением 80 мм^2 из электролитической меди, сопротивлением разрыву 39 кг/мм^2 и проводимостью 97%.



Рис. 77.

Для получения равномерного износа скользунов пантографа цепь в плане расположена по зигзагу с наибольшим отклонением $\pm 400 \text{ мм}$; натяжение его 640 кг. Провес несущего троса 1,05 м, при наименьшей длине подвески в 0,75 м, общая наибольшая высота цепи составляет 1,80 м. Расстояние между подвесками 14 м, подвески выполнены из бронзового троса из 49 проволок диаметром 0,51 мм, сопротивлением на разрыв 50 кг/мм^2 . Обращают на себя внимание в высшей степени гибкие подвески.

Подвеска с клеммами дана на рис. 76. Для прикрепления контактного провода применены те же клеммы, состоящие из двух частей, с полыми заклепками, что и на голландских жел. дорогах (рис. 74). Клемма у несущего провода состоит из медного фартука толщиной 2 мм с усиком; фартук загибается особыми щипцами вокруг троса. Эта конструкция исключает возможность саморазболчивания, а следовательно и соскакивания подвесок с несущего троса вниз. Это имеет большое значение, так как соскочившие с несущего провода подвески легко могут запутаться при прохождении электровоза о пантограф и вызвать нежелательные последствия.

Все кауши и соединительные клеммы изготовлены из меди.

Для прикрепления контактного провода к фиксаторам служат клеммы из прессованной латуни, показанные на рис. 77. Они состоят из двух половин, соединяемых также полыми заклепками.

Компенсационные аппараты при помощи груза установлены через 1,2 км, а посредине этого пролета произведена анкеровка. Таким образом примененный для компенсации контактного провода груз 325 кг поддерживает постоянное натяжение контактного провода на длине 600 м. Опоры, отстоящие нормально друг от друга на 70 м, выполнены из двух

швеллеров с раскосами из полосового железа. Оба пути для лучшей видимости сигналов имеют отдельную подвеску. Несущий трос подвешивается к особым мотор-изоляторам, укрепленным на наклонной консоли из одно-таврового железа; нижний конец его также прикрепляется скобой к мачте. Упорка для контактного провода выполнена круглого сечения и прикрепляется при помощи изолятора того же типа к мачте.

Упорки работают исключительно на растяжение, почему в кривых частях пути у внутреннего пути тавровое железо, несущее на верхнем своем конце несущий провод, выгибается таким образом, что образует

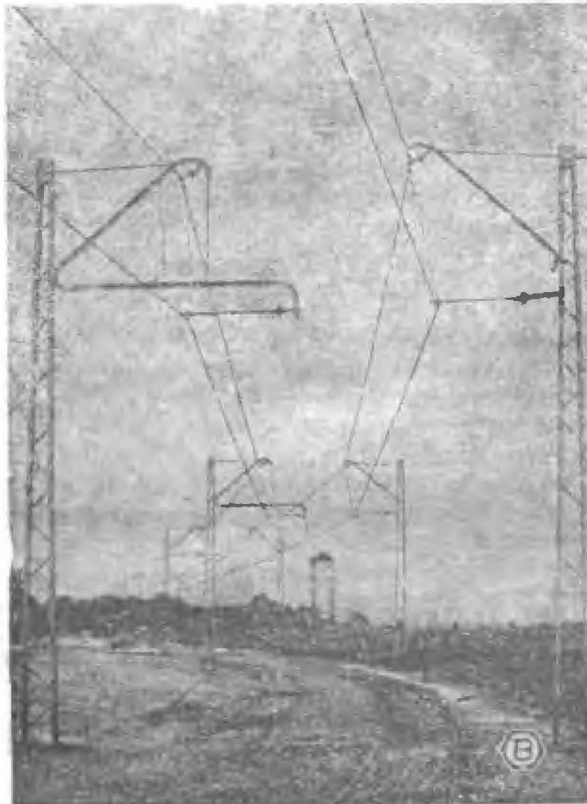


Рис. 78. Контактная сеть в кривой.

вынос над контактным проводом, к которому и прикрепляется упорка того же типа, что и в прямых частях пути, работающих на растяжение (рис. 78).

Изоляторы поставлены заводом Стеатит-Магнезия (Германия) из стеатита.

Так как при этих изоляторах совершенно исключается возможность пробивания, то всюду применена одинарная система изоляции, т. е. установлено по одному изолятору. Изолятор указанного типа изображен на рис. 79. Для увеличения разрядного напряжения, телу изолятора придана форма юбки диаметром 150 мм. Оба конца имеют коническую форму и несут литую оцинкованную шапочку. Промежуток между шапкой и телом изолятора заливается свинцом.

НТБ
ДНУЖТ

При заводском испытании изоляторы дали при вертикальном подвешивании мокрое разрядное напряжение около 25 кВ, при горизонтальном — 35 кВ. При испытании их механической прочности на разрыв среднее разрывающее усилие было получено в 7000 кг; таким образом механическая и электрическая прочность их чрезвычайно высока. Способ подвешивания несущего троса виден из рис. 80. К тавровому железу изо-

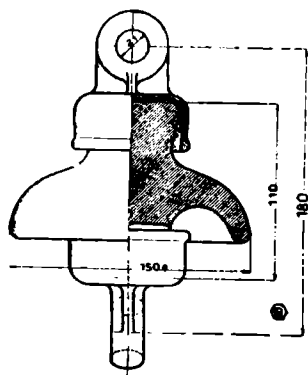


Рис. 79. Мотор-изолятор.

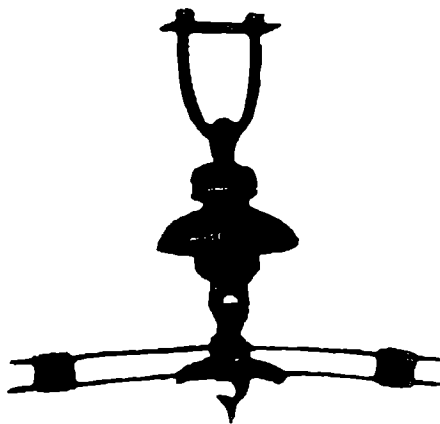


Рис. 80. Подвешивание несущего троса на мотор-изолятор.

лятор прикрепляется при помощи особой скобы. На нижнее ушко изолятора надевается особая клемма, поддерживающая несущий трос с предохранительным (запасным), и на нижнем крючке подвеску, поддерживающую контактный провод.

На рис. 81 дана упорка, выполненная, как ранее было указано полого круглого сечения; на конце имеется резьба и на ней укрепляется особый ниппель, исключающий возможность попадания во внутрь упорки воды. Особая клемма, хорошо видимая на чертеже, надевается на упорку и служит для укрепления контактного провода, наверху имеется крюк для прикрепления нижнего конца подвески. Шарнир *A* перед изолятором дает возможность вертикального перемещения упорки вместе с контактным проводом, а шарнир *B*, расположенный за изолятором, обеспечивает перемещение всей системы в горизонтальной плоскости. Такая двоякого рода подвижность дает возможность уменьшить до минимума жесткость рабочего провода около опор, т. е. в местах, где чаще всего провод оказывается малоупругим.

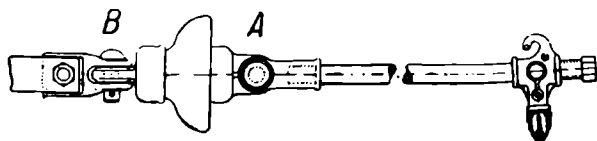


Рис. 81.

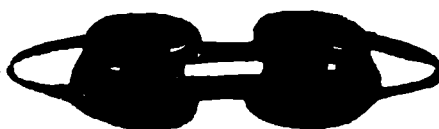


Рис. 82. Седельчатые изоляторы.

Для оттяжки проводов имеется система седлообразных изоляторов, изображенная на рис. 82; изоляторы из стеатита между собою соединены бронзовой полосой.

Примененный секционный выключатель изображен на рис. 83. Швеллеру *a*, прикрепленный при помощи болтов к мачте, несет рычаг *b*,

B. Медь.

на верхнем конце коего укреплен на изоляторе контактный нож с рогом; через нижний конец рычага *b* пропущена ось, на которой укреплен изолятор с проводником *c*, несущим на верхнем своем конце челюсти, в которые входит контактный нож; вращение оси с описанными деталями производится рычагом *d* посредством тяги *e*. На рис. 83 видны оттяж-

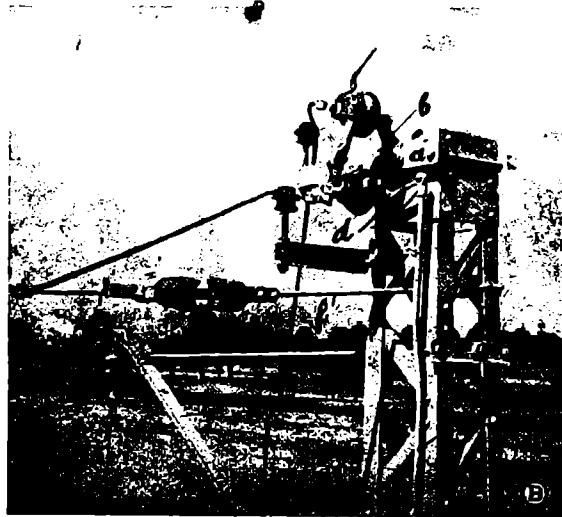


Рис. 83. Секционный выключатель на мачте.

ые изоляторы, состоящие из двух седлообразных изоляторов, связанных бронзовой лентой. При помощи этих изоляторов контактный провод изолирован от троса, на котором укреплен компенсирующий натяжение контактного провода груз. На рис. 84 дано изолирование участков контактной сети, принятое на голландских жел. дорогах.

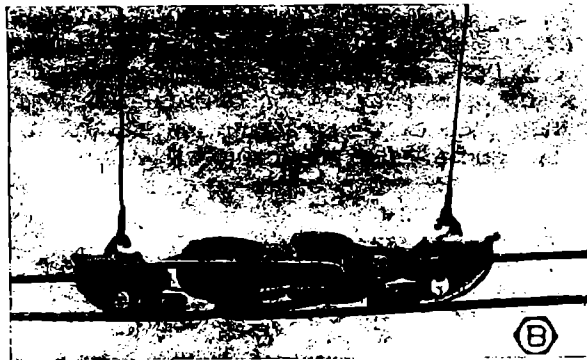


Рис. 84. Изолирование контактного провода при помощи двух седельчатых изоляторов.

НТБ
ДНУЖТ

ПОДСТАНЦИИ

16. Выбор типа преобразовательной подстанции

Жел. дороги постоянного тока питаются от централей трехфазного тока общепромышленного значения, и на подстанциях трехфазный ток преобразуется в постоянный. Особые условия работы жел. дорог предъявляют соответствующие требования к преобразователям. Железнодорожные преобразователи должны давать возможность получения постоянного тока высокого напряжения, начиная от 750—800 в для пригородного движения и до 4500 в для магистральных дорог. Работа железнодорожных подстанций характеризуется наличием значительных перегрузок, достигающих до 200% нормальной; наконец не следует недооценивать неизбежных в практике коротких замыканий; все это заставляет по отношению к преобразовательным подстанциям применять особо жесткие требования.

Преобразование трехфазного тока в постоянный производится при помощи вращающихся машин: одноякорных преобразователей, мотор-генераторов и каскадных преобразователей, и при помощи ртутных выпрямителей.

Каждый из способов получения постоянного тока имеет свои преимущества и недостатки, и в зависимости от особенностей той или иной машины определяется сфера применения их.

При выборе типа преобразователя для железнодорожных подстанций приходится считаться со следующими условиями:

1. Предвидится ли рекуперация энергии или нет; в случае, если рекуперация энергии для данной линии оправдывается экономически и ею предусмотрено пользоваться, приходится, в виду невозможности производить рекуперацию энергии при ртутных выпрямителях, выбирать какой-либо вращающийся преобразователь.

2. При выборе типа преобразователей играет большую роль напряжение рабочего тока. В настоящее время одноякорные преобразователи строятся для напряжения до 1500 в, почему в случае более высокого напряжения следует переходить к установке на подстанциях мотор-генераторов, каскадных преобразователей или ртутных выпрямителей. Предельные напряжения отдельных типов преобразователей зависят от условий, при которых происходит работа в машине и главным образом на коллекторе. Обозначим E электродвижущую силу на коллекторе машины постоянного тока. Величина E может быть выражена при помощи величин, характеризующих размеры коллектора и условия коммутации, в следующем виде:

$$E = \frac{K}{2p} \varepsilon,$$

где:

K — число пластин коллектора,

НТБ
ДНУЖТ

$2p$ — число полюсов машины; величина $\frac{K}{2p}$ обозначает число пластин, находящихся между соседними щетками,

ϵ — среднее напряжение между пластинами в вольтах.

Если обозначим расстояние между серединами пластин коллектора, равное толщине пластины и изоляции, через β в мм, число оборотов машины в минуту через n , то окружная скорость U_k в м/сек выразится в виде:

$$U_k = 1000 K \frac{n}{60}.$$

Далее мы можем написать

$$E = \frac{1000\epsilon U_k}{2\beta f} \quad (31),$$

где f — частота, выражаемая, как известно, ур-нием:

$$f = \frac{pn}{60}$$

Ур-ние (31) напишем в несколько ином, более удобном для дальнейших исследований виде:

$$E = 1000 \left[\frac{50}{f} \cdot \frac{5}{\beta} \cdot \frac{\epsilon}{15} \cdot \frac{U_k}{33,3} \right]$$

Выражение, стоящее в скобках, переписано таким образом, что для нормальных условий каждый множитель равен единице; действительно можно считать расстояние между пластинами коллектора $\beta = 4 + 1 = 5$ мм; скорость на коллекторе $U_k = 33,3$ м/сек, величину ϵ не следует допускать более 15 в, тогда при частоте трехфазного тока $f = 50$ напряжение одноякорного преобразователя получается равным 1000 в; допуская некоторое повышение величины ϵ до 16,5 в и U_k до 40 м/сек. и уменьшая величину β до $3 + 1 = 4$ мм, получим предельное напряжение одноякорного преобразователя, равное 1650 в, это напряжение следует считать предельным при $f = 50$; в случае необходимости иметь более высокое напряжение следует переходить к каскадному преобразователю, у которого частоту следует считать равной половине частоты питающего тока, а следовательно напряжение постоянного тока для него при $\beta = 5$ мм, $U_k = 33,3$ м/сек и $\epsilon = 15$ в получается равным $E = 2000$ в, а для предельных допускаемых величин $\beta = 4$ мм; $U_k = 40$ м/сек и $\epsilon = 15$ в, величина E получается 3000 в.

Само собою разумеется, что частота трехфазного тока не имеет никакого значения для выбора напряжения постоянного тока мотор-генератора, ибо переменный и постоянный токи здесь электрически не связаны между собою.

Значительно менее точно определяется предельная мощность каждого из трех типов преобразовательных машин. В исследованиях будем исходить из основной формулы

$$Np = 3A\epsilon U_a.$$

В эту формулу помимо ранее встречавшихся величин ϵ и n входит величина A в амп/см, характерная для коммутации машины, а также скорость якоря U_a ; указанное ур-ние перепишем в виде:

$$N = 1200 \cdot \frac{1000}{n} \left[\frac{A}{500} \cdot \frac{\epsilon}{15} \cdot \frac{U_a}{50} \right] \text{ (в квт)} \quad (32)$$

для одноякорного и каскадного преобразователя и в виде

$$N = 1500 \cdot \frac{1000}{n} \left[\frac{A}{500} \cdot \frac{\epsilon}{20} \cdot \frac{U_a}{50} \right] \quad (32 \text{ bis})$$

для мотор-генератора.

НТБ
ДНУЖТ

Наиболее часто на практике принимаются и оправдали себя следующие величины:

для одноякорного и каскадного преобразователей . $A = 500$; $\epsilon = 16$;
 для мотор-генератора . $A = 500$; $\epsilon = 20$.
 Окружная скорость якоря 50 м/сек.

Эти величины следует однако считать, как некоторые ходовые, но вовсе не твердо установленные; так, например, скорости U_a выбираются часто меньшими, почему для выполнения соотношений:

для одноякорного преобразователя $p_n = 60f$;
 для каскадного преобразователя $(p_g + p_n) \cdot n = 60f$

число полюсов должно быть соответственно увеличено, и машина становится более легкой. Мотор-генератор может иметь для обеих машин независимое друг от друга число полюсов, и наибольшее допустимое по механической прочности число оборотов.

Принимая для одноякорного и каскадного преобразователей $U_a = 60$ м/сек. для мотор-генератора $U_a = 50$ м/сек. на основании вышеприведенных формул построены и приведены на рис. 85 кривые зависимости мощности от числа оборотов машины. Эти кривые показывают, что обычные для железнодорожной службы мощности 1 000 — 3 000 квт могут быть получены на каждом из трех преобразователей.

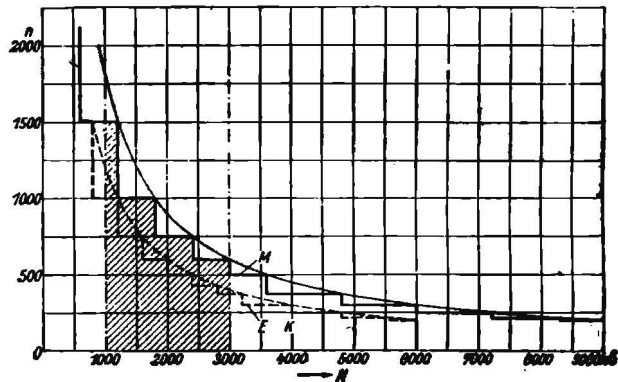


Рис. 85. Предельные мощности в зависимости от числа оборотов мотор-генераторов (M), одноякорных (E) и каскадных (K) преобразователей.

Когда по условиям предстоящей работы технически возможным является применение не одного какого-либо определенного типа преобразователя, то окончательный выбор преобразователя решается экономическим подсчетом, учитывая стоимость оборудования подстанций при различных преобразователях, содержание и ремонт их и коэф. п. д.

В последующем изложении мы подробнее остановимся на каждом типе преобразователей; здесь же пока приведем только их краткую сравнительную экономическую оценку.

Из всех врашающихся машин одноякорный преобразователь имеет наивысший коэф. п. д.; он занимает очень мало места, но должен всегда иметь трансформатор; последний однако может быть установлен в стороне от умформера вне машинного здания.

Мотор-генераторы благодаря двойному трансформированию энергии имеют более низкий коэф. п. д., чем одноякорный преобразователь, большие размеры и вес.

Среднее место между одноякорным преобразователем и мотор-генератором занимает каскадный преобразователь. Машина постоянного тока является частично (наполовину) генератором постоянного тока и частично одноякорным преобразователем, тогда как машина трехфазного тока является одновременно асинхронным мотором и трансформатором, почему коэф. п. д. более низок, чем у одноякорного преобразователя, но выше, чем у мотор-генератора.

НТБ
ДНУЖТ

Как мотор-генератор, так и каскадный преобразователь могут питаться непосредственно трехфазным током напряжением 6—10 000 в, что позволяет обходиться без трансформатора при указанном напряжении питающей сети.

Ртутные выпрямители способны выдерживать большие перегрузки, и в этом отношении они особенно отвечают условиям железнодорожной службы; в то же время ртутные выпрямители имеют небольшой вес, занимают немного места, не требуют такого ухода, как вращающиеся машины, и легко позволяют применять управление на расстоянии и даже устройство автоматических подстанций.

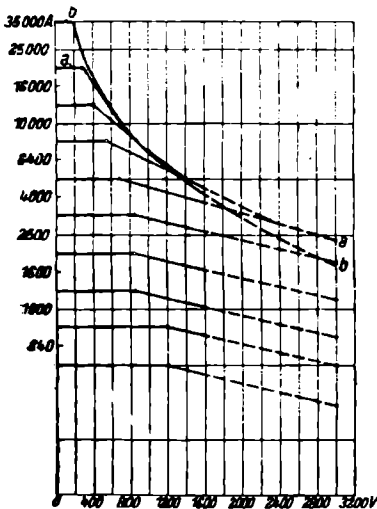


Рис. 86. Зависимость между напряжением и силой тока ртутного выпрямителя (aa) и мотор-генератора (bb).

Недостатком их однако является невозможность улучшения $\cos \varphi$ установки и рекуперации энергии, хотя не следует упускать, что рекуперация оправдывается лишь на гористых участках при достаточно крутых уклонах.

Ртутные выпрямители в настоящее время строятся для напряжений до 4 000 в постоянного тока, и повышение напряжений не вызывает особых затруднений, хотя во избежание обратных зажигания приходится с повышением напряжения понижать силу тока, однако не в той мере, как растет напряжение. При одном и том же размере преобразователя мощность его несколько выше при более высоком напряжении, чем при низком. Предположительные кривые силы тока ртутных выпрямителей в зависимости от напряжения нанесены на рис. 86 по Reichel'ю.¹

Из этой кривой видно, что о достигнутой в настоящее время мощности 7 000 квт указанная зависимость силы тока и напряжения ртутных выпрямителей очень близка к той же зависимости мотор-генератора.

17. Подстанции с мотор-генераторами

В предыдущем параграфе, давая общие указания, которыми следует руководствоваться при выборе типа преобразовательной подстанции, мы уже определили, при каких условиях работы подстанции следует останавливаться на мотор-генераторах.

До распространения ртутных выпрямителей мотор-генератор был единственным преобразователем переменного тока в постоянный высокого напряжения (свыше 2 000 в). Ртутные выпрямители вытесняют мотор-генераторы, если только на дороге не предвидится рекуперация энергии. В случае рекуперации и высокого напряжения мотор-генератор остается единственным преобразователем. Однако область применения мотор-генераторов не определяется только упомянутыми условиями; очень часто приходится останавливаться на мотор-генераторах благодаря их особым свойствам (устойчивой работе, возможности широкого регулирования напряжения и др.).

Большая устойчивость в работе мотор-генератора объясняется тем, что обе машины (генератор постоянного тока и трехфазный мотор) связаны между собою только механически, будучи совершенно независимыми

¹ См. Gleichstromversorgung der Deutschen Reichsbahn insbesondere durch Gleichrichteranlage, ETZ 1928, стр. 903.

НТБ
ДНУЖТ

электрически. Трехфазный мотор позволяет работать с большой перегрузкой, иметь простой способ пуска в ход и регулировать при необходимости в широких пределах $\cos \varphi$.

Если при работе подстанции ожидаются сильные и неожиданные колебания напряжения со стороны переменного тока и предвидится необходимость регулировать напряжение постоянного тока в широких пределах, — там целесообразна установка мотор-генераторов. Не следует забывать, что хотя в железнодорожной службе допустимы большие колебания напряжений в питательной сети, однако и здесь не следует переходить предела, при котором намеченная расписанием скорость уже не выдерживается и происходит запаздывание поездов.

Очень часто с повышением движения на электрической дороге для поддержания требуемого напряжения устанавливаются промежуточные подстанции, которые по своему назначению должны работать при большом колебании напряжения. Эти подстанции оборудуются мотор-генераторами.

На New York Central жел. дор., при напряжении 660 в были установлены такие вспомогательные подстанции с мотор-генераторами. Подробнее эти подстанции описаны в п. 21.

18. Мотор-генераторы железнодорожных подстанций

При проектировании генераторов приходится считаться с необходимостью получения большой силы тока и регулирования в широких пределах напряжения.

Генераторы снабжаются всегда вспомогательными полюсами и компенсационной обмоткой.

Часто рекомендуется при большой мощности устанавливать по два генератора.¹ Эти два генератора соединяются параллельно. При напряжениях в контактной сети 2000—3000 в должно быть всегда установлено по два генератора, соединенные последовательно; напряжение на коллекторе каждой машины равно половине напряжения в контактной сети. Генераторы изолируются на полное напряжение. Нередко и в случае более низких напряжений на железнодорожных подстанциях устанавливается по два генератора, которые соединяются последовательно; так, на подстанциях электрифицированных линий жел. дорог Явы, при напряжении в контактном проводе в 1500 в, генераторы выполнены для напряжения 750 в каждый и соединены последовательно.

Генераторы имеют независимое возбуждение; почти исключительно применяется возбуждение от отдельного возбудителя.

Моторы могут быть асинхронными и синхронными. Вообще говоря, при мощности до 300—400 квт асинхронный мотор оказывается дешевле и пуск его проще; при большей мощности и необходимости работать с $\cos \varphi = 1$ или даже с опережающим током следует брать синхронный мотор.² При резких колебаниях напряжения в сети безваттные токи достигают большой величины и могут даже вызвать действие максимального реле, резкие же колебания частоты могут вызвать выпадение синхронного мотора. Асинхронный мотор имеет в этом отношении преимущества перед синхронным. Для улучшения $\cos \varphi$ асинхронные моторы устраиваются с компенсатором, дающим возможность иметь не только $\cos \varphi = 1$, но и опережающий ток.

¹ См. BBC Mitteilungen, № 5 1927. Die neuere Entwicklung der Motorgeneratoren.

² См. Gleichstrom — Drehstrom Umformerwerke für Bahnzwecke, Idelberger, Elektrische Kraftbetriebe u. Bahnen №-16, 1912.

НТБ
ДНУЖТ

В отношении наибольшего, допускаемого со стороны переменного тока напряжения оба мотора одинаковы. Пуск агрегата с синхронным мотором наиболее просто производится со стороны постоянного тока, если таковой имеется в распоряжении; в противном случае пуск производится со стороны трехфазного тока при помощи специального пускового асинхронного мотора, с меньшим числом полюсов, чем у синхронного мотора, для получения необходимого числа оборотов. Кроме того, как известно, синхронный мотор, снабженный демпферной обмоткой,¹ может быть пущен непосредственно со стороны переменного тока при пониженном до $\frac{1}{3}$ нормального напряжении. Возбуждение мотора производится в большинстве случаев от особого возбудителя постоянного тока с компаундной обмоткой, по которой протекает постоянный ток, даваемый генератором; благодаря этому при нагрузках толчками мотор оказывается перевозбужденным, его крутящий момент увеличивается и получается более устойчивая работа.

В качестве примера приведем схему мотор-генераторов, примененную заводом General Electric Co для подстанций жел. дор. Chicago Milwaukee and St. Paul (рис. 87). Мотор-генератор имеет два независимых возбудителя.

Дорогой были поставлены следующие условия: синхронный мотор должен выдерживать большие перегрузки и работать иногда как генератор; в случае рекуперации кратковременные перегрузки в течение пяти минут могут достигать 200% выше нормальной нагрузки. Моторы, будучи приключены к общей сети, должны иметь коэф. мощности, близкий к единице как при половинной нагрузке, так и при трехкратной нормальной. Приняв, что при трехкратной нагрузке может иметь место 15% падения напряжения, было определено необходимое возбуждение мотора в зависимости от его нагрузки.¹

Для того чтобы в действительности иметь необходимое возбуждение мотора G , полюса H были снабжены четырьмя обмотками, а именно (рис. 87):

а) обмоткой x , питаемой возбудителем генераторов (125 в);
б) обмоткой y , действующей в противоположном направлении (шунтовая обмотка возбуждения H);

в) главной последовательной обмоткой— a , включенной в цепь генераторов FF ; при нормальной работе мотора магнитное поле, образуемое ею, имеет то же направление, что и обмотки x , при рекуперации благодаря реле обратного тока h ; она замыкается коротко, при помощи контактора e ;

г) последовательной обмоткой b , включенной в цепь генераторов, но действующей в противоположном направлении обмотке x (при нормальной работе мотора).

Обмотки x и b имеют реостаты w и z , регулируемые от руки, обмотки же a и v имеют лишь шунты, устанавливаемые один раз на все время работы подстанции.

В действительности оказалось, что можно обойтись без обмотки y и реостата.

Что касается возбуждения генераторов, то их полюса имеют по две обмотки: последовательную обмотку L и шунтовую обмотку M , с реостатом N , регулируемым от руки.

Оба генератора соединены последовательно; это две динамо компаунд с независимым возбуждением, с вспомогательными полюсами и компен-

¹ Мотор завода Вестингауз работает при нагрузке 25% нормальной с $\cos \varphi = 1$, при нормальной же нагрузке и перегрузке в 200% при работе, как мотор и при рекуперации $\cos \varphi$ от 1 до 0,9—с опережением тока.

сационной обмоткой. Все последовательные обмотки (VP —компенсационная, дополнительных полюсов T и главных полюсов R) располагаются между якорем и землей, благодаря чему уменьшается потенциал их по отношению к железу машины и удешевляется изоляция их.

В обмотки независимого возбуждения S генераторов включается реостат U , позволяющий распределять нагрузку между генераторами; с другой стороны, у обмотки независимого возбуждения, идущей от динамо E , устанавливается специальный реостат (не показанный на чертеже), служащий для автоматического регулирования нагрузки подстанции.

Следует иметь в виду, что благодаря необходимости поместить дополнительные полюса и компенсационную обмотку желательно возможно упростить обмотку полюсов генераторов; в этом отношении интересно отметить, что завод Вестингауз выбросил совсем последовательную обмотку.

Благодаря огромным перегрузкам, которые должны выдерживать в железнодорожной службе мотор-генераторы, вопрос о вентиляции их играет огромную роль, и смело можно сказать—в той же мере, как и для тяговых моторов.

Вентиляторы иногда ставятся на самом якоре; как, например, у первых мотор-генераторов жел. дороги Chicago—Milwaukee St.—Paul, однако предпочтение следует отдать независимой вентиляции от особого вентилятора, работающего от электромотора. В этом случае может быть установлен автоматический пуск в ход вентилятора, раз температура машины превысит определенную величину. На подстанциях вышеупомянутой жел. дороги заводом General Electric Co были поставлены также и мотор-генераторы с независимой вентиляцией, работающей как только температура генераторов превысит $80—85^{\circ}C$, при температуре машинного помещения $20—25^{\circ}C$.

Заводом Вестингауз для подстанций жел. дороги Ch. M. St.—Paul установлены мотор-генераторы с независимой вентиляцией, с автоматическим пуском в ход, как только температура якоря превысит 75° , с этой целью в один из проводников статора включается маленькая катушка, принимающая температуру статора. С возрастанием температуры сопротивление катушки увеличивается и вызывает размыкание реле и пуск в ход мотора вентилятора. Реле отрегулировано таким образом, что начинает функционировать как только температура якоря (а не статора, к которому при-

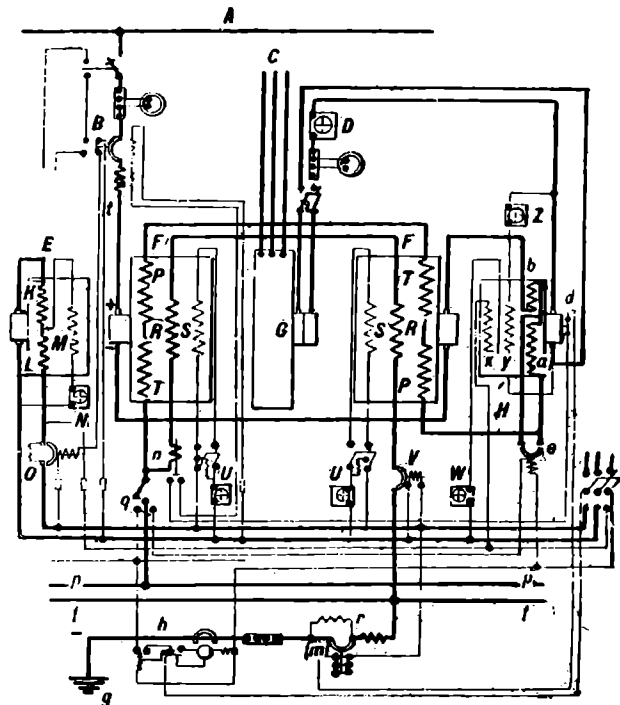


Рис. 87. Схема мотор-генератора жел. дороги.
Ch. M. St.—Paul.

A —положит. шина постоянн. тока 300 в. B —главный выключатель
 D —реостат у цепи возбужд. мотора. E и N —возбудители генерат. и мотора. L и M —последов. и паралл. обмотки возбудителя E . K —обмотка доп. полюсов возб. E , N —реостат обмотки. M , O —контакты. PP —компенсационная обмотка генерат. RR —послед. обмотка генераторов F . SS —отдельная обмотка возбужд. ген. F , TT —обмотка добав. полюсов генерат. F . UU —реостаты на обмотке. d —ограничитель скорости f —огрицат. шина 3000 в, g —заземление. h —реле обратного тока. t —быстродействующий выключатель. p , l —максимальные реле.

НТ
ДНУЖТ

ключена малая катушка) превысит 75° . Независимая вентиляция позволяет, по подсчетам жел. дороги, уменьшить расход энергии на 500 квт-ч в сутки на каждый мотор-генератор мощностью 2000 квт .

Обычно струя воздуха подается со стороны, противоположной коллектора, в две параллельные струи, из коих одна проходит по каналам внутри железа якоря, другая же пропускается в междужелезном пространстве. Каналы в якоре устраиваются или по направлению оси General Electric Co) или радиально (Westinghouse); последнее расположение вентиляционных каналов имеет некоторое преимущество в том отношении, что при вращении мотора создается естественная тяга воздуха, почему в случае неисправности независимой вентиляции машина может работать даже при полной нагрузке и температура якоря не превышает 60°Ц , и только при длительных перегрузках оказывается необходимой искусственная вентиляция.

19. Защита мотор-генераторов на случай короткого замыкания

Короткие замыкания вызывают увеличение силы тока в течение нескольких тысячных секунд до предела насыщения дополнительных полюсов генераторов, коммутация становится неудовлетворительной, и между пластинками коллектора и щетками появляются отдельные дуги, образующие в конечном итоге круговой огонь (flash). При заземленном кожухе мотора часто дуга переходит на кожух мотора. При образовании кругового огня количество энергии, развиваемой на коротком пространстве, весьма велико и может вызвать серьезные повреждения частей. Для предотвращения появления кругового огня принимаются следующие меры:

- 1) в сеть включаются сопротивления,
- 2) ставятся на коллекторе экраны,
- 3) ставятся быстродействующие выключатели.

Обычные выключатели начинают функционировать лишь спустя около $0,1 \text{ сек.}$ после короткого замыкания; сюда необходимо прибавить некоторое время для удаления контактов и задувания дуги, почему общее время, необходимое для окончательного размыкания, составляет в среднем $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5} \text{ сек.}$ Для того чтобы воспрепятствовать чрезмерному возрастанию тока в течение указанного промежутка времени, часто довольствуются тем, что в цепь включают достаточное сопротивление, а именно, в виде питающих фидеров большого сопротивления (железные провода), как это было сделано на жел. дороге Butte Anaconda and Pacific Ry. При электрификации дороги Chicago Milwaukee and St.-Paul вначале предполагалось было включить на каждой подстанции последовательно большие сопротивления, однако от этой меры отказались в виду больших потерь, имеющих место при постоянно включенных сопротивлениях.

Вторая мера—установка радиально на коллекторе экрана (flash barrier) из пластинок слюды толщиной 15 — 20 мм является вспомогательной мерой и служит для удаления дуги от коллектора и понижения ее температуры, с этой целью General Electric Co устанавливает одну или две металлические пластинки на экране.¹

Помимо этого, для того чтобы дуга не перебросилась на каркас машины, вокруг коллектора по обе стороны его часто ставятся кольца из пластинок слюды. Защитные экраны поставлены на мотор-генераторах дороги Ch. M. St.-Paul, а равно и на одноякорных преобразователях на подстанциях франц. Южных жел. дор.; однако они работают там вместе с быстродействующими выключателями, являясь как бы вспомогательной мерой.

¹ См. General Electric Review 1918, стр. 499.

НТБ
ДНУЖТ

Наиболее распространенной мерой и наиболее радикальной является установка быстродействующих выключателей, которые не дают возможности возрасти току до опасных размеров, благодаря быстрому размыканию цепи с промежуточным включением сопротивления (система General Electric Co) или мгновенные контакторы (система Westinghouse).

20. Примеры железнодорожных подстанций с мотор-генераторами

Примером подстанций постоянного тока, оборудованных мотор-генераторами, могут служить подстанции жел. дороги Ch. M. St.-Paul. Типовая станция дана в плане на рис. 88 и в разрезе на рис. 89.

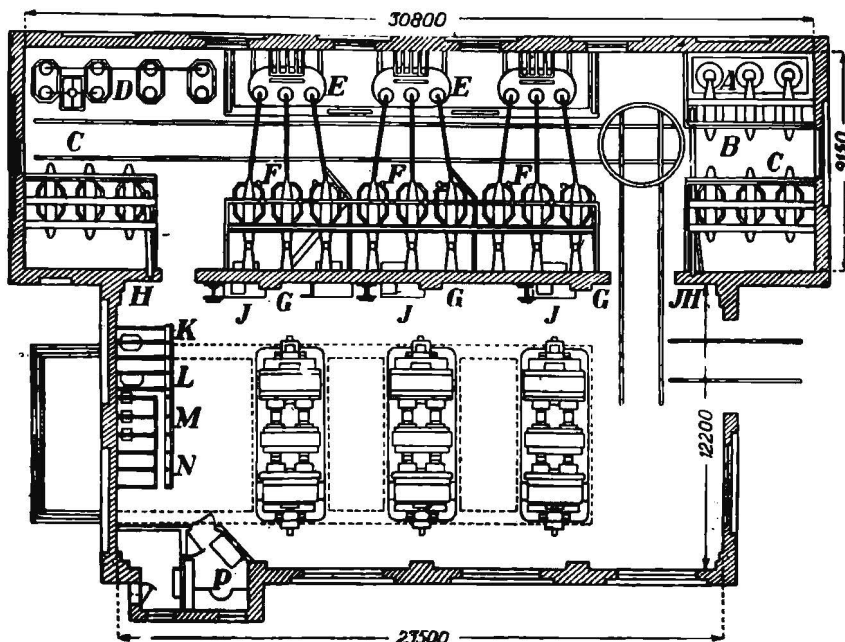


Рис. 88. План подстанции Piedmont жел. дороги Ch. M. St.—Paul.

- A—трансформаторы тока для 100 кв. Montana Power Co.
- B—масляники между этой линией и шинами 100 кв. подстанции.
- CC—масляники между шинами и линиями 100 кв. отходящими к соседним подстанциям.
- D—электролитический разрядник.
- E—трансформаторы 100 2,3 кв.
- масляники у трансформаторов.

- G—щиты управления масляниками F
- H— " " " " C
- I— " " " " B
- J— " " синхр. моторами.
- K—измерит. аппаратура Montana Power Co.
- L—сеть сигнализации и освещения
- M—щиты генераторов 3 000 в.
- N—щиты фидеров 3 000 в.
- P—бюро,

Одноэтажное здание подстанции разделяется на две половины; в части, обращенной к полотну жел. дороги, располагаются мотор-генераторы и распределительные щиты, в другой части находятся трансформаторы и аппаратура высокого напряжения: шины 100 000 в, масляники и электролитические разрядники. Ввод линии высокого напряжения производится при помощи вертикальных проходных изоляторов; при вводе располагаются треншалтеры и роговые свинцовые разрядники.

На подстанциях, которые питаются непосредственно от электропередач и станций Montana Power Co, на каждом вводе включены трансформаторы тока и масляные выключатели, позволяющие выключать шины 100 000 в от электропередачи. Кроме того на обоих концах здания нахо-

НТ
ДНУЖТ

дится по одной группе из трех масляников, через которые подстанция соединяется с двумя соседними подстанциями электропередачи на 100 000 в.

Все масляники управляются на расстоянии, но помимо того они снабжены максимальными реле (overload relay), выключающими линию в случае короткого замыкания на ней. Масляники, установленные у ввода высоковольтной сети, снабжены также реле обратной мощности (reverse power relay), которые отключают подстанцию, как только ток обратного

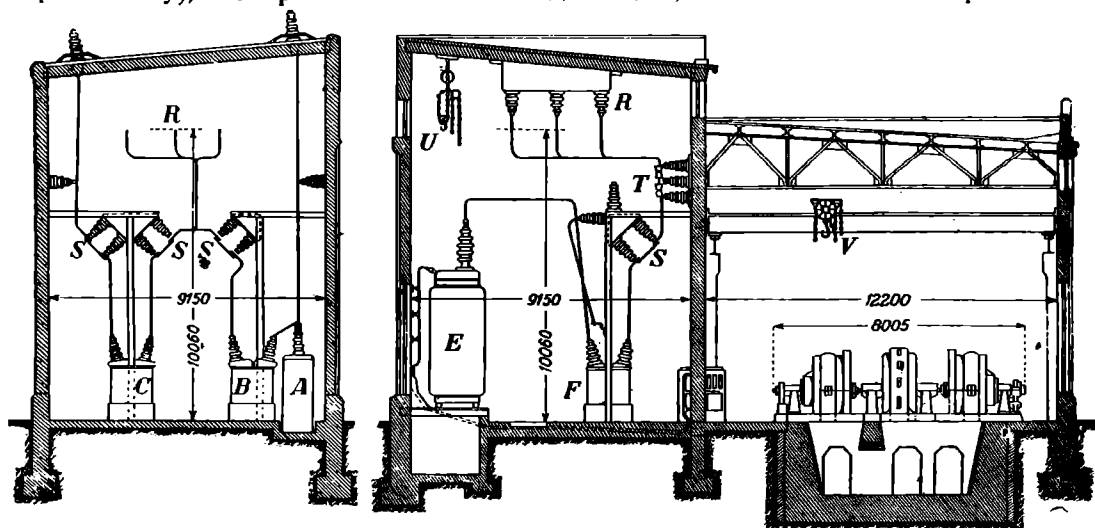


Рис. 89. Подстанция жел. дороги Чикаго—Мильвоки.
А, В, С, Е, F см. фиг. 88. К—шины 100 кв. S—трэншалтеры.

направления достигнет определенной величины (случай короткого замыкания на электропередаче). Эти реле устанавливаются на некоторую силу тока с таким расчетом, чтобы при рекуперации они в нормальных условиях не вызвали бы размыкания цепи. Необходимость этого реле видна из схемы питания (рис. 90).

Пусть короткое замыкание *cc* имеет место на одной из высоковольтной линии питания А. Масляники, расположенные у начала линий *a*, выключаются благодаря действию максимального реле. Однако, если бы не было реле обратной мощности *b*, ток устремился бы по высоковольтной линии питания В—В, идущей вдоль жел. дороги через шины подстанции к месту короткого замыкания, что вызвало бы размыкание масляников *c* с обеих сторон шин, и вся подстанция оказалась бы выключенной.

На подстанциях, не связанных непосредственно с центральями, питание коих производится от электропередачи в 100 000 в, расположенной вдоль жел. дороги, вместо масляников в некоторых местах установлены только трэншалтеры.

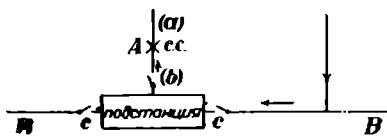


Рис. 90.

Медные шины на 100 000 в, диаметром 19 мм, расположены на высоте 10 м над полом, на расстоянии 1,50 м друг от друга. К шинам присоединены электролитические разрядники, расположенные в трансформаторном помещении.

Трехфазные трансформаторы отдельные для каждого мотор-генератора располагаются у канавы для спуска масла, на некотором возвышении над полом, благодаря чему трансформатор может быть легко установлен на тележку,двигающуюся по пути, проложенному перед трансформаторами.

НТБ
ДНУЖТ

При помощи платформы трансформаторы подаются в машинный зал, где краном на 9 тонн они грузятся на железнодорожные вагоны, подаваемые на путь R (рис. 88). Мощность трансформаторов равна 2500 *кв*а для мотор-генераторов в 2000 *квт* и 1900 *кв*а для мотор-генераторов на 1500 *квт*, коэф. трансформации 102 000/2 300, но для возможности регулирования напряжения имеются выводы, кроме 102 000 *в*, также 97 200 и 94 200 *в*. Управление масляниками на расстоянии. Между масляниками и шинами включены реактивные катушки. Треншальтеры располагаются между шинами и масляниками у вводов линии и между шинами и масляниками у электропередач, соединяющих подстанцию с соседними подстанциями, а также между масляниками и указанными электропередачами, и наконец между масляниками трансформаторов и реактивными катушками.

Обмотка низкого напряжения у трансформаторов имеет выводы на 2300 и 1150 *в*, благодаря чему пуск в ход мотор-генераторов производится под половинным напряжением и затем уже мотор переключается на нормальное напряжение—2300 *в*.

Большинство подстанций жел. дороги Chicago Milwaukee St.-Paul оборудовано двумя мотор-генераторами по 2000 *квт*, из коих один в резерве; на участках с затяжными подъемами большой крутизны установлено по три мотор-генератора, по 1500 *квт* мощности каждый, из коих один является резервным (участок Rock Mountains). Наконец на перевале Cascade Range установлено два рабочих и один резервный мотор-генератор по 2000 *квт* каждый. Все мотор-генераторы выдерживают перегрузку 50% в течение двух часов и 200% (тройная нагрузка) в течение 5 минут.

Мотор-генераторы для жел. дороги Ch. M. St.-Paul были поставлены заводом General Electric Co и Westinghouse. Мотор-генераторы завода GE Co мощностью 2000 и 1500 *квт* отличаются лишь размерами и числом оборотов (в первом случае 514, а во втором 600 об./мин.) посредине агрегата установлен синхронный мотор, по обеим сторонам его генераторы постоянного тока напряжением на коллекторе по 1500 *в*, соединенные последовательно и дающие таким образом напряжение 3000 *в* (изолированы генераторы на 3000 *в*). На свешивающихся концах вала насажены возбудители, из коих один служит для возбуждения синхронного мотора, другой для возбуждения обоих генераторов. От генераторов идут по два кабеля на изоляторах в фундаменте. Положительный кабель соединяется с фидерами, питающими рабочие провода. Отрицательный же кабель соединен с путевыми рельсами или обратным кабелем через посредство быстродействующего выключателя, служащего защитой генераторов при коротких замыканиях на контактной линии или на фидерах 3000 *в*.

Фидера 3000 *в* защищены электролитическими разрядниками. Фидера, отходящие на обе соседние подстанции при помощи треншальтеров соединяются с положительной шиной постоянного тока, и таким образом все подстанции работают параллельно. Вся аппаратура и распределительные щиты заземлены. К цепи трехфазного тока, питающей мотор-генераторы, присоединены два трансформатора: один 2300/110 *в* мощностью 10 *кв*а для освещения, а другой—2300/4400 *в*, дающий однофазный ток для сигнализации.

Как видно из рис. 88, кабинет заведующего подстанцией располагается в углу машинного помещения, около распорядительного щита, и несколько выступает наружу общего здания, что позволяет легко видеть не только машины и распределительные щиты, но и примыкающие линии электропередачи.

Обслуживающий персонал подстанции состоит из трех агентов: механика и двух помощников его, дежурящих по 8 часов. Для очистки и сушки трансформаторного масла и испытания его имеется подвижная установка, обслуживающая все подстанции поочередно.

НТБ
ДНУЖТ

Преобразовательные подстанции дороги постоянного тока 2400 в Butte, Anaconda and Pacific Ry (подстанции Butte Hill и Sinelter Hill) оборудованы мотор-генераторами мощностью 1000 квт на стороне постоянного тока. Каждый агрегат состоит из трехфазного синхронного мотора 1450 или 720 об./мин., на одном валу с ним; по обе стороны от него находятся два генератора-компаунд постоянного тока в 1200 в. Оба генератора соединены последовательно и дают напряжение постоянного тока в 2400 в (изолированы они на 2400 в). Генераторы снабжены компенсационной обмоткой и дополнительными полюсами. Обмотки соединены между собою в следующем порядке: возбуждение первого и второго генератора, вспомогательные полюса первого и второго генератора, якоря

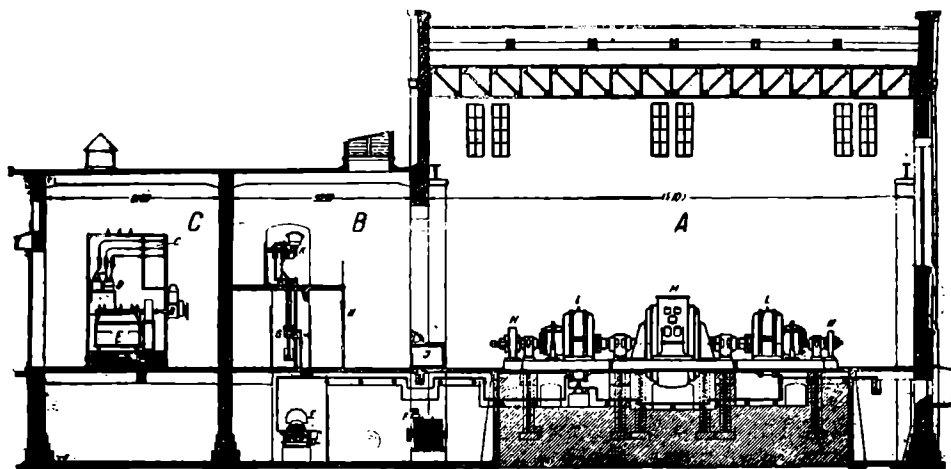


Рис. 91. Подстанция Antjol жел. дор. Явы.

В—пусковой выключатель.
 Р—магнитный регулятор.
 В—шины постоянного тока.
 Н—распределительный щит.

К—максимальный выключатель.
 Г—генератор постоянного тока.
 М—трехфазный мотор.
 N—возбудитель.

генераторов, шины постоянного тока; другой конец соединен с путевыми рельсами. Основная обмотка возбуждения генераторов питается от особого генератора 50 квт (по-одному на каждой подстанции) напряжением 125 в. Такой же агрегат служит и для возбуждения синхронного мотора. Реле, установленные на четырехкратную нормальную нагрузку, защищают мотор от перегрузки, выключая в течение 2 сек. мотор в случае медленного возрастания нагрузки и мгновенно—при коротком замыкании.

Генераторы выдерживают перегрузку 50% в течение двух часов и 200% (трехкратную нормальную) в течение 5 минут.

Для преобразования трехфазного тока в постоянный напряжением в 1500 в на жел. дорогах Явы применены мотор-генераторы. Трехфазный ток подводится напряжением в 70000 в. Каждая подстанция состоит собственно из двух подстанций: одной понизительной трансформаторной 70000/6000 в и собственно преобразовательной подстанции, которая только и находится в ведении жел. дороги. В качестве примера такой преобразовательной подстанции опишем подстанцию Antjol. Разрез подстанции дан на рис. 91.

В машинном зале А установлены три мотор-генератора мощностью 4500 квт; каждый мотор-генератор состоит из двух компаунд-генераторов постоянного тока напряжением в 712/750/825 в, соединенных последовательно для получения напряжения 1500 в. Генераторы снабжены дополнительными полюсами и компенсационной обмоткой. Мощность генераторов

НТ
ДНУЖТ

по 750 *квт*. Синхронный мотор трехфазного тока *ESD* напряжением в 6 000 *в* 50 периодов, имеет возбуждение постоянным током 125 *в* (110/164 *в*) от особого возбудителя *E₁*. Мотор, оба генератора, компаунд-динамо 125 *в*, служащий для возбуждения главных генераторов, и возбудитель мотора соединены друг с другом при помощи муфт и образуют агрегат весом около 62 *т*. Схема агрегата изображена на рис. 92.

Для получения автоматического регулирования возбуждения синхронного мотора, а следовательно и его $\cos \varphi$, возбудитель мотора *E₁*, кроме собственного возбуждения *CD* и возбуждения *KJ* от возбудителя *E₂* главных генераторов, имеет еще две обмотки возбуждения *K₁* и *K₂*, дающие магнитные потоки противоположного направления и питаемые от силового тока главных генераторов. Наличие двух обмоток, включенных одна

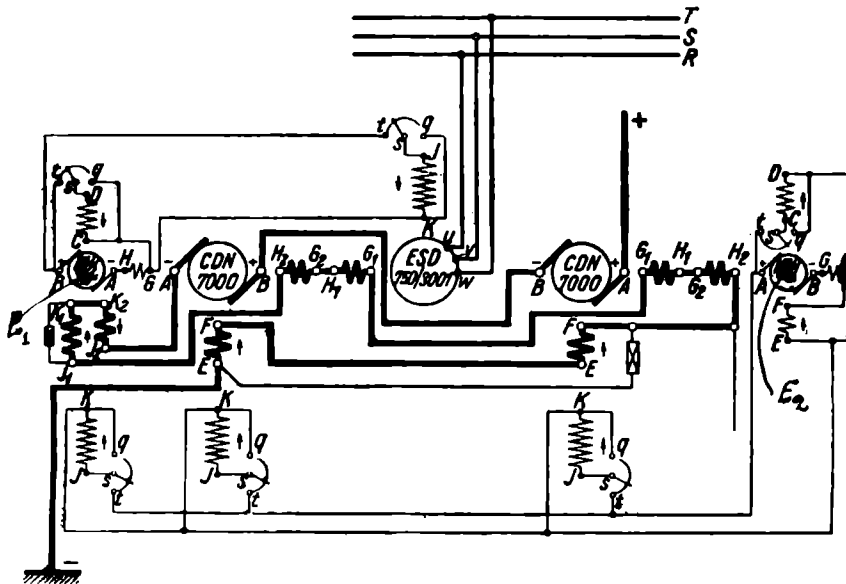


Рис. 92. Схема мотор-генератора подстанции жел. дороги Явы.

противоположно другой, объясняется желанием впоследствии с небольшим добавлением получить возможность рекуперации энергии. Мотор-генераторы выдерживают перегрузку в 50% в течение двух часов и в 200% (т. е. 4500 *квт*) в течение 5 минут. Наибольшее поднятие температуры над окружающей при длительной нагрузке в 1500 *квт*, составляет 35°, после перегрузки—в 50% в течение двух часов вслед за первой нормальной нагрузкой—температура поднимается до 55° выше окружающей. Установка имеет электрическое сигнальное оборудование, дающее возможность не только читать температуру машин каждый момент, но и подающее сигналы в случае перегрева машин. Коэф. мощности установки, благодаря описанному выше способу возбуждения мотора, регулируется автоматически в пределах от 0,89 (опережающий ток) до 1,0 при нагрузках от 10—300%. Пуск моторов производится под напряжением в 30% нормального при помощи пускового трансформатора и выключателя, управление которым производится с распределительного щита. Пусковой выключатель имеет четыре ступени; на первой ступени мотор подключается к пониженному напряжению и вращается по достижению синхронизма приблизительно около 100 *сек.* синхронно, так что сила тока падает до величины холостого хода; после этого производится переключение на проме-

НТ
ДНУЖТ

жучную ступень, и мотор оказывается переключенным на рабочее напряжение через сопротивление; спустя несколько секунд, его переключают непосредственно на 6 000 в. Подстанция работает от общей промышленной сети, почему приняты меры к ослаблению пускового тока.

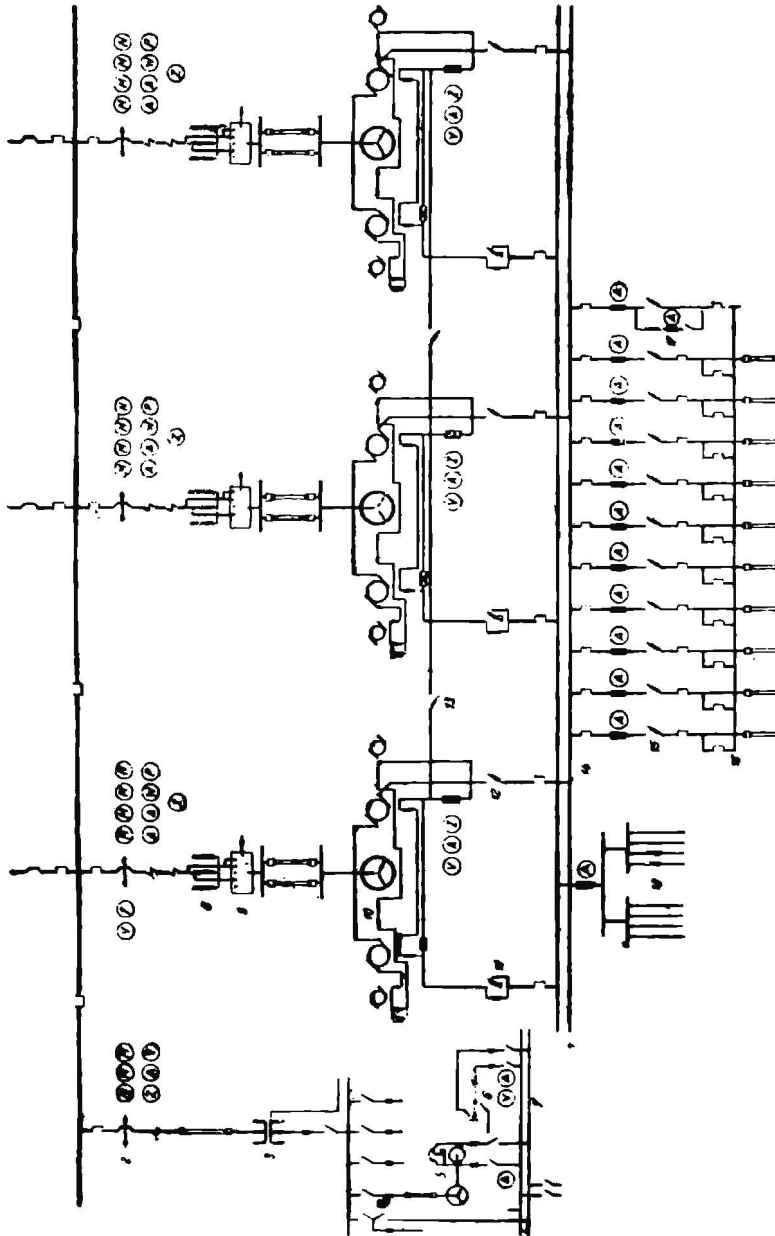


Рис. 93. Схема подстанции жел. дороги Явы.

Распределительное устройство для постоянного тока помещается рядом с машинным залом в помещении В, а для трехфазного—в помещении С. (Рис. 91). Распределительное устройство постоянного тока располагается в трех этажах; в подвальном этаже помещаются отрицательная шина, максимальные быстродействующие выключатели, магнитные и шунтовые регуляторы; в первом этаже установлены пульты, распределительные щиты и положи-

Н
Д
Ж
У
Ж
Т

тельная шина, а еще выше на галерее—максимальные выключатели. Помещение *B* отделено от помещения *C*, где располагается аппаратура трехфазного тока 6000 в, капитальной стеной. У прохода со стороны машинного зала вынесены приводы выключателей, однако управление ими производится со щита.

Для трехфазного тока в 6000 в имеется одиночная система шин, которые при помощи треншалтеров разбиваются на 4 части (рис. 93); питание шин производится тремя линиями в 6000 в. Синхронные моторы присоединены к шинам через треншалтеры и масляники с реле максимального тока и нулевого напряжения, через пусковой трансформатор и пусковой выключатель. На подстанции имеется умформерная установка для зарядки аккумуляторных батарей. В цепи постоянного тока включены, кроме максимальных выключателей, также быстродействующие выключатели. От положительной шины отходят десять ответвлений питания секционных участков, каждое ответвление имеет автомат максимального тока; кроме того имеется одиннадцатый запасный автомат, который может быть приключен благодаря вспомогательной шине к любому ответвлению. Через ту же вспомогательную шину производится и испытание участков при выпадении масляников; новое включение выпавшего участка производится лишь после того, как путем включения его через сопротивление с амперметром обнаружено, что короткое замыкание устранено. Каждый питающий фидер, равно и каждая машина защищены от перегрузки при помощи электролического разрядника.

21. Автоматические подстанции с мотор-генераторами

Автоматические подстанции с управлением на расстоянии были построены в 1923 г. в Америке на жел. дороге New York Central и имели специальное назначение: они располагались между ранее построенными основными подстанциями и должны были в часы повышенного движения по дороге поддерживать достаточное напряжение в контактной сети, так как последнее настолько падало (с 660 до 400 в), что нарушался график движения.

В виду того, что новые подстанции по своему назначению уже должны были работать при напряжении в контактном проводе, колеблющемся в широких пределах, необходимо было установить мотор-генераторы, причем это позволяло приключить агрегат к сети в 11000 в непосредственно, тогда как однокорные преобразователи потребовали бы установки промежуточного трансформатора. Мотор-генераторы мощностью в 2000 квт выдерживают перегрузку в 50% в течение двух часов и кратковременную—в 100%. Пуск в ход производится с основной подстанции замыканием цепи, питающей серво-мотор коммутатора, расположенного на вспомогательной подстанции; при вращении этого коммутатора устанавливаются необходимые соединения силовой цепи для автоматического пуска агрегата, а именно (рис. 94):

а) замыкание масляника *C* и соединение главного мотора *I* с пусковыми шинами;

б) замыкание масляника *B* и питание пусковых шин под пониженным напряжением в 4400 в при помощи автотрансформатора *D*, пока скорость мотора не достигнет близкой к синхронизму;

в) замыкание масляника *F* и переключение мотора непосредственно к шинам 11000 в, одновременное включение масляников *B* и *C*. замыкание цепи возбуждения мотора *I* от возбудителя *M*, расположенного на конце вала, путем замыкания выключателя *K*, работающего от реле синхронизма *J*.

В течение этого времени напряжение на борнах шунтового генератора постепенно растет вместе со скоростью; когда напряжение окажется несколько выше напряжения на шинах постоянного тока, особое реле напряжения присоединяет благодаря замыканию контактора *d* генератор к ши-

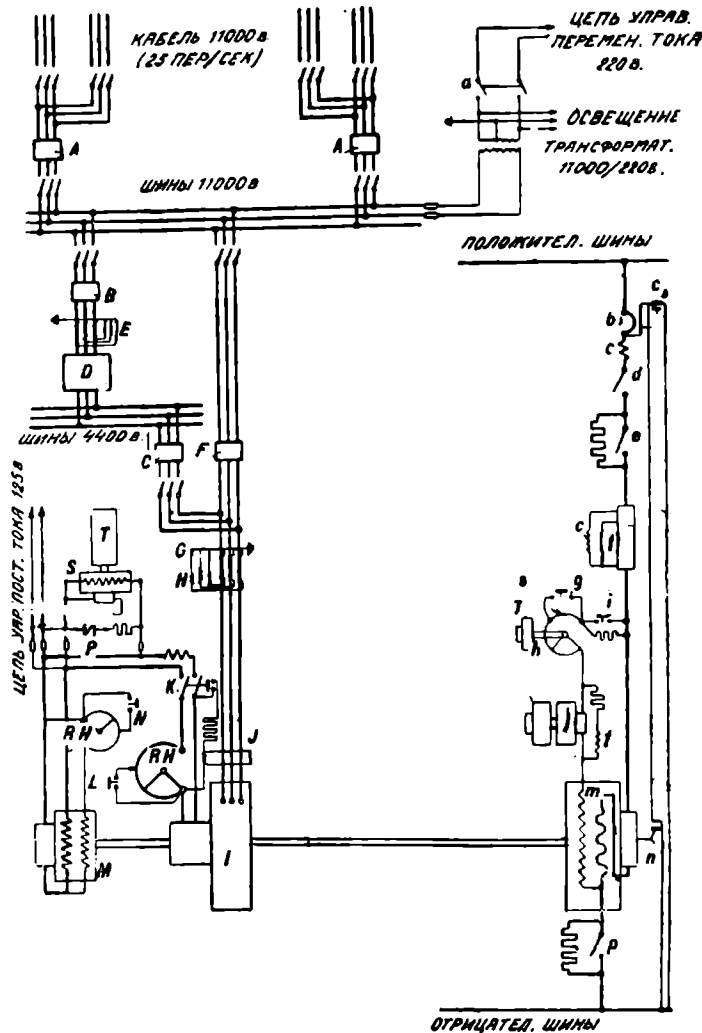


Рис. 94. Полуавтоматическая подстанция 110-й улицы. Нью-Йорк Центральная жел. дорога.

АА—масляные выключатели на вводах 11 000 в.
АС—масляные выключатели пусковые.
Д—автотрансформатор.
Е—максимальное реле масляного выключателя *В*.
Ф—масляный выключатель, рагочий.
Г—реле, выключающее масляник *Ф* при перегреве мотора.
Н—максим. реле, выключающее масляник *Ф* (включается только от рук.).
И—синхронный мотор.
Л—синхронизирующее реле.
К—контактор возбужд. синхронного мотора.
Л—реле реостата возбужд. синхронного мотора.
М—возбудитель.
Н—реле реостата возбуждения возбуждат.
Р—выключатель для пуска мотора *С*, управляемого цилиндр. коммутатор.
РН, RH—реостаты возбуждения синхронного мотора и его возбудителя.

а—главный выключатель цепей управления.
б—главный выключатель генератора.
с, с, с—реле обратного тока.
д—контактор присоединения генератора к положительной шине.
е—ограничительное сопротивление.
г, г—катушка реле автом. регулятора.
д—реле, выключающее в случае перегрева генератора.
н—реостат мотора для автоматического регулирования возбуждения.
и—реле, понижающее возбуждение генератора.
ж—вольтодобавочная машина.
м—шунтовой генератор с дополнительными полюсами.
п—реле, защищающее от разноса.
р—быстродействующий выключатель.

НТБ
ДНУЖТ

нам постоянного тока; это имеет место лишь тогда, когда полюса генератора соответствуют полюсам шин, что контролируется особым реле. С этого момента работа коммутаторного вала заканчивается, серво-мотор останавливается и в цепь возбуждения генератора включается автоматический регулятор. Этот регулятор состоит из группы вольтодобавочных машин (\cdot), регулирующих напряжение как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, и реостата с серво-мотором h . Указанный регулятор, управляемый несколькими реле, поддерживается постоянным напряжением в 700 в при нагрузках от 0 до 150% нормальной, а при нагрузке свыше 150% нормальной он понижает напряжение, не допуская нагрузку подыматься выше нагрузки 150% нормальной, мотор генератор в состоянии выдерживать в течение двух часов; по истечении этого срока машина нагревается настолько, что термическое реле действует на регулятор, который понижает напряжение до нормальной нагрузки. Если температура продолжает все же возрастать, другое реле (термическое) отключает мотор-генератор от сети. Генераторы защищены на случай короткого замыкания на линии быстродействующим выключателем p , установленным со стороны отрицательного полюса. Этот выключатель установлен на 5000 ампер; при коротком замыкании он, размыкая цепь, включает большое сопротивление, понижающее силу тока в цепи, и обыкновенный выключатель b размыкает окончательно цепь. Специальное реле предвидено для выключения генератора на случай перемены направления тока; в этом случае после некоторого времени генератор снова включается в цепь при условии, что напряжение на борнах его выше напряжения на шинах. Ряд реле предусмотрены для выключения группы мотор-генератора в случае, если подшипники нагреваются выше предельной температуры и в случае перегрева обмотки мотора; в последнем случае агрегат снова включается автоматически, как только температура обмоток снизится. В случае длительной перегрузки агрегат окончательно выключается специальным реле со стороны трехфазного тока и не может быть автоматически снова приключен к сети; в этом случае необходим приезд механика на подстанцию для включения. Это единственный случай, когда необходима работа человека на месте; наблюдение же за работой ведется с распорядительной подстанции по амперметру, показывающему подачу тока в сеть генератором; если амперметр показывает ненормальную работу агрегатов, соответствующий агрегат выключается с распорядительной подстанции. ¹

22. Подстанции с одноякорными преобразователями

Особенности работы одноякорных преобразователей

Характерной особенностью одноякорного преобразователя является наличие одной обмотки якоря, по которой протекают в противоположных направлениях переменный и постоянный ток; благодаря этому суммарная сила тока в обмотках значительно ниже, чем, например, у генератора постоянного тока той же мощности, а вместе с тем и более низки потери на нагревание. Машина работает с более высоким коэф. п. д. Однако всякие колебания в сети трехфазного тока передаются в полной мере и на сеть постоянного тока и, обратно,—колебания тока в сети постоянного тока почти без всякого сглаживания передаются через умформер и трансформатор на питающую сеть трехфазного тока.

В отношении работы одноякорный преобразователь является более чувствительным к переменным условиям работы (напряжению, нагрузке), чем мотор-генератор, работающий в высшей степени устойчиво.

¹ Более детальное описание подстанции можно найти в *Electrical Railway Journal* от 26 мая 1923 г.

НТБ
ДНУЖТ

Так как одноякорный преобразователь механически и электрически представляет соединение динамо и синхронного мотора, он обладает рядом свойств, присущих той и другой машине. Будучи синхронным мотором, он имеет вполне определенное число оборотов, зависящее от частоты переменного тока, и так же, как и синхронный мотор, выпадает из синхронизма при перегрузках и коротких замыканиях, что сопровождается часто со стороны постоянного тока образованием кругового огня, если не приняты меры для предотвращения этого явления.

Кроме того, в зависимости от возбуждения, он может работать с опережающим и отстающим током. Со стороны постоянного тока одноякорный преобразователь можно рассматривать как генератор с параллельным возбуждением, что, как мы увидим далее, позволяет применять его там, где предвидится рекуперация энергии. Однако в отличие от генератора постоянного тока напряжение постоянного тока его не зависит от возбуждения, а исключительно от напряжения переменного тока, а именно, независимо от того, будет ли со стороны переменного тока подводиться трехфазный или шестифазный ток; двойное максимальное фазовое напряжение равно напряжению постоянного тока, или, переходя к эффективному междуфазному напряжению, будем иметь следующее соотношение между напряжением постоянного тока U_c и между эф. междуфазным напряжением U_e .

В случае трехфазного тока $U_c : U_e = 1 : 0,612$

„ шестифазного „ $U_c : U_e = 1 : 0,354$

Указанное соотношение справедливо лишь для синусоидального тока, и в случае если переменный ток будет иметь форму отличную от синусоиды, эти соотношения несколько меняются.

Так как для питания подстанций на жел. дорогах служит трехфазный ток напряжением 30, 60 и 110 *кв*, то на умформерных подстанциях всегда устанавливаются трансформаторы. Обычно несколько умформеров работают параллельно на сеть; однако каждый умформер следует снабжать особым трансформатором, во избежание появления больших выравнивающих токов.

Помимо того установка отдельных трансформаторов для каждого одноякорного преобразователя или для каждой группы улучшает условие параллельной работы преобразователей.

В последнее время строятся умформеры мощностью до 3000 *квт* при 370 об./мин., до 1000 *квт* при 750 об./мин. до 500 *квт* при 1000—1500 об./мин. при 50 пер./сек.

Предельная нагрузка умформера определяется не столько нагреванием проводников, сколько условиями удовлетворительной коммутации.

Наивысшее напряжение, для которого может быть построен одноякорный преобразователь, как мы ранее видели, зависит от числа коллекторных пластин между двумя щетками и от допустимой разности потенциалов между соседними коллекторными пластинками и, при переменном токе 50 пер., может быть доведено до 1600—1700 *в*.

Если преобразовательная группа содержит по два одноякорных преобразователя, соединенных последовательно для получения двойного напряжения, — они снабжаются одним трансформатором, но с двумя отдельными вторичными обмотками.

Особенное внимание должно быть обращено на предотвращение образования кругового огня при перегрузке и коротком замыкании.

Мерами, применяемыми против образования кругового огня, служат:

1) установка на коллекторе экрана в непосредственной близости к коллектору, что как мы видели ранее и при мотор-генераторах, препятствует

образованию дуги как между щетками, так и между коллектором и кар-касом машины;

2) применение дополнительных полюсов.

Дополнительные полюса были применены впервые фирмой Сименс-Шуккерт в 1906 г. на двух умформерах по 100 *квт* напряжением 550 в для рудничной дороги в Ulkingen-Grosshettingen. На первый взгляд может показаться, что при столь небольшой реакции якоря, которая имеет место в одноякорных преобразователях, добавочные полюса излишни; однако, как показала практика, они дают возможность переносить большие перегрузки, которые часто встречаются в железнодорожной службе, без искрения и при правильном выполнении, предотвращают появление кругового огня на коллекторе при коротких замыканиях. При нормальной работе одноякорных преобразователей реакция якоря в большей мере уничтожается под влиянием протекающего постоянного и переменного токов. Остается результирующее поле всего лишь в 15% ампервитков постоянного тока; при коротком замыкании соотношения меняются коренным образом. Со стороны переменного тока в цепи имеется трансформатор, дроссельная катушка, имеющие большой реактанс, почему при коротком замыкании энергия, идущая со стороны переменного тока, меньше энергии, образующейся со стороны постоянного тока, и разница покрывается за счет живой силы вращающихся частей машины, скорость которых несколько падает. Благодаря указанному изменению соотношения между постоянным и переменным токами число ампервитков со стороны постоянного тока значительно возрастает по сравнению с ампервитками переменного тока, и во избежание неудовлетворительной коммутации, что может легко повлечь к образованию кругового огня на коллекторе, необходимо добавление до 100—130% ампервитков постоянного тока против расчетных для нормальной работы.

Следует отметить большое влияние, оказываемое формой кривой напряжения переменного тока на коммутацию одноякорного преобразователя. Как только кривая отклоняется от синусоиды (напр., в сложной сети электропередачи), благодаря поглощению высших гармоник (хотя бы генераторы и давали напряжение по синусоиде), сейчас же ухудшается коммутация приключенных к этой сети одноякорных преобразователей. Правда, включение дроссельной катушки часто дает возможность исправить указанный недостаток.

23. Регулирование напряжения

Изменение напряжения одноякорного преобразователя в пределах $\pm 5\%$ может быть достигнуто весьма просто при помощи изменения возбуждения. Между трансформатором и умформером включается дроссельная катушка. Напряжение на кольцах умформера дается вектором, равным геометрической сумме вектора напряжения вторичной обмотки трансформатора и вектора падения напряжения в дроссельной катушке; последнее отстает от тока на 90° .

При изменении возбуждения одноякорного преобразователя изменяется угол между током и напряжением машины; одновременно с этим изменяется и угол между вторичным напряжением трансформатора и падением напряжения на борнах дроссельной катушки, почему величина результирующего напряжения меняется; не трудно видеть (рис. 95), что с увеличением возбуждения напряжение возрастает, и обратно. Само собою разумеется, что при некотором определенном вторичном напряжении трансформатора и падении напряжения в дроссельной катушке, определяемом нагрузкой умформера и величиной коэф. самоиндукции, требуемое напряжение постоянного тока может быть достигнуто только при вполне определенном угле сдвига между напряжением и силой тока, другими словами

НТ
ДНУЖТ

регулирование напряжения не может быть независимым от $\cos \varphi$. Сдвиг фаз вызывает значительное увеличение потерь и требует больших размеров как трансформатора, так и самого преобразователя. Другие способы регулирования напряжения в более широких пределах, общие для всех преобразовательных подстанций, описаны в п. 41. При необходимости регулирования напряжения в очень широких пределах, свыше 30—40%, рекомендуется устанавливать мотор-генераторы.

24. Улучшение $\cos \varphi$ установки при работе одноякорного преобразователя

Потери одноякорного преобразователя быстро возрастают с уменьшением $\cos \varphi$. Отношение потерь одноякорного преобразователя к потерям в якоре машины постоянного тока той же мощности, т. е. к величине $i_a^2 r_a$, носит название коэф. потерь K . Величина K в зависимости от величины $\cos \varphi$ дана на рис. 96 для трех- и шестифазного умформера (кривые a и b). Так как потери энергии в

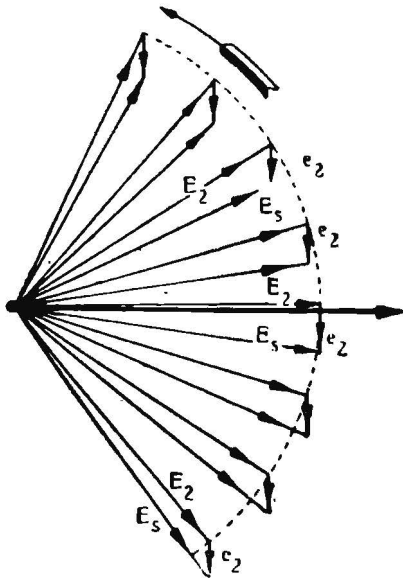


Рис. 95.

трансформаторе невелики и сдвиг фаз, вызываемый потерями в нем, ничтожен ($\cos \varphi = 0,98-0,99$), то, увеличивая несколько возбуждение машины для получения $\cos \varphi = 1$, мы будем иметь некоторые дополнительные потери, благодаря безваттным токам внутри одноякорного преобразователя. Это следует иметь в виду, если одноякорным преобразователем хотят воспользоваться для улучшения $\cos \varphi$ в сети большой мощности и машина должна давать высокий безваттный опережающий ток. Так как потери одноякорного преобразователя растут быстро с увеличением

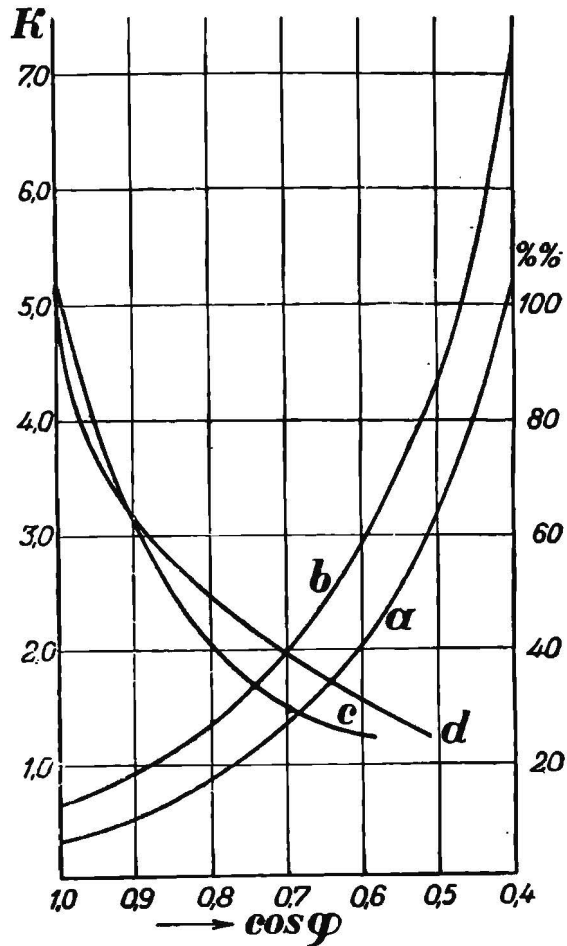


Рис. 96.

НТЭ
ДНУЖТ

безваттных токов (с уменьшением $\cos \varphi$), то, прежде чем решиться воспользоваться одноякорным преобразователем для улучшения $\cos \varphi$ всей установки, должны быть взвешены, с одной стороны, выгоды, получаемые от улучшения $\cos \varphi$ в сети, и, с другой стороны, учтены дополнительные потери в одноякорном преобразователе. Само собою разумеется, что с увеличением безваттных токов и связанных с ними потерь соответственно должна быть понижена и нагрузка одноякорного преобразователя. На рис 96 кривые c и d дают зависимость нагрузки в процентах от нормальной (т. е. при $\cos \varphi = 1$) при различных величинах $\cos \varphi$ для шести- и трехфазного умформера. Эти кривые позволяют судить, насколько должна быть увеличена номинальная мощность одноякорного преобразователя при увеличении безваттных токов. Практически при неполной загруженности подстанции можно считать экономически выгодной работу одноякорного преобразователя с $\cos \varphi = 0,95-0,90$ и даже может быть выше, если это не вызывает установки машин более высоких мощностей, при большей безваттной нагрузке: при $\cos \varphi = 0,8$ и менее начинается уже область, где выгоднее применять мотор-генераторы.

Там, где одноякорный преобразователь должен служить для улучшения $\cos \varphi$ сети, необходима установка вращающего трансформатора, так как необходимо иметь возможность в соответствующих пределах менять возбуждение.

25. Пуск в ход одноякорного преобразователя и рекуперация

Пуск в ход одноякорного преобразователя, как известно, может быть произведен как со стороны постоянного тока, так и со стороны переменного тока. В первом случае, пуск ничем не отличается от пуска шунтового мотора постоянного тока: при достижении скорости синхронизма одноякорный преобразователь может быть присоединен к сети переменного тока при соответствующем напряжении. Однако благодаря жесткому соотношению между напряжением постоянного и переменного тока пуск одноякорного преобразователя должен происходить при вполне определенном напряжении постоянного тока. Эти условия благодаря весьма значительным колебаниям постоянного тока как-раз в железнодорожных установках делают пуск со стороны постоянного тока неудобным.

На железнодорожных подстанциях особенно часто встречается пуск одноякорного преобразователя как асинхронного мотора. Силовые трансформаторы снабжаются дополнительными выводами для получения пониженного напряжения в период пуска. К этому напряжению присоединяется ротор своими кольцами; в роторе образуется магнитное поле, вращающееся с постоянной скоростью по отношению к ротору, по отношению же к статору скорость его все время уменьшается по мере увеличения скорости вращения самого ротора, приближаясь к нулю при приближении к синхронизму. Магниты статора вместе с амортизационной (демпферной) обмоткой действуют подобно короткозамкнутому якорю обычного асинхронного мотора. Вращающее магнитное поле, пересекая обмотки ротора, в том числе и те, которые соединены с коллектором, создает высокую силу тока на щетках и требует поднятия их над коллектором; на коллекторе остаются только две щетки, необходимые для снятия тока возбуждения. Однако некоторые фирмы утверждают, что при удачном конструировании машины эти токи могут и не вызывать опасного для коллектора искрения, и тогда поднятие щеток, что сопряжено с не малым усложнением конструкции, оказывается излишним.¹

¹. См. Die Verfahren zum Anlassen von Einankerumformern Fr. Emmerich & BC Mitteilungen 3 1925.

НТБ
ДНУЖТ

Вращающееся магнитное поле создает в обмотках статора благодаря высокому числу витков высокое напряжение, почему эти обмотки выполняются либо в виде многих отдельных открытых обмоток во время пуска, что требует устройства сложных выключателей, либо во время пуска их замыкают накоротко.

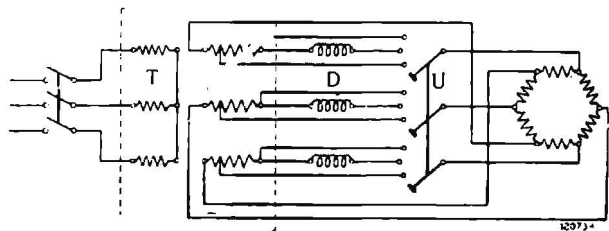


Рис. 97. Схема включения дроссельной катушки (D) между одноякорным преобразователем (E) и трансформатором (T).

При переключении ротора с пониженного напряжения на полное, почти неизбежно резкое повышение силы тока во избежание чего в цепь часто предварительно включается одновременно с переключением питающего тока на полное напряжение дроссельная катушка, почти целиком сглаживающая толчок тока, и затем уже происходит переключение машины к сети непосредственно без дроссельной катушки. Схема присоединения умформера с промежуточным включением дроссельной катушки дана на рис. 97.

Иногда одноякорный преобразователь уже в начале пуска приключается к полному напряжению переменного тока через дроссельную катушку и при достижении синхронизма дроссельная катушка замыкается накоротко.

Очень часто пуск в ход одноякорного преобразователя производится при помощи особого пускового асинхронного мотора, число полюсов коего обычно на одну пару менее числа полюсов, отвечающего синхронизму, и число оборотов пускового мотора регулируется реостатом, включенным в цепь мотора.

При малом числе полюсов этот способ имеет тот недостаток, что трудно бывает установить число оборотов машины, соответствующее синхронизму и, кроме того, при невнимательном отношении обслужива-

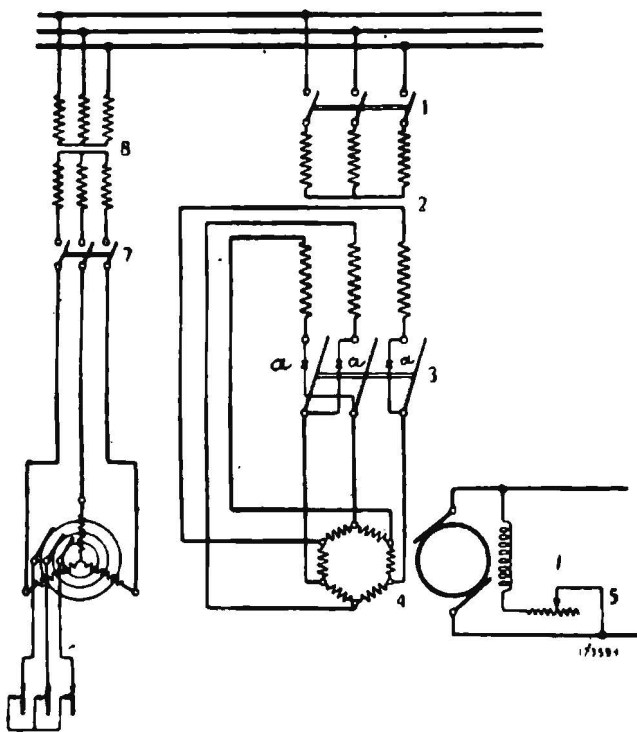


Рис. 98. Схема пуска одноякорного преобразователя от асинхронного мотора.

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1—выключатель, | 5—шунтовый регулятор. |
| 2—трансформатор. | 6—пусковой мотор. |
| 3—выключатель синхронизации. | 7—пусковой выключатель к 6. |
| 4—одноякорный преобразователь. | 8—трансформатор к 6. |
| | a—синхр. лампочки. |

ющего персонала скорость может подняться до опасной в смысле механической прочности машины. При достижении скорости синхронизма одноякорный преобразователь приключается без толчков к сети. На рис. 98 дана схема, соответствующая разобранному способу пуска. На схеме указаны «

НТ
ДНУЖТ

лампочки синхронизации. Присоединение к переменному току может быть произведено независимо от расположения фаз при приключении через так называемую синхронизирующую дроссельную катушку, что однако сопровождается неизбежными толчками тока. Нет необходимости, чтобы число оборотов одноякорного преобразователя вполне соответствовало синхронизму, так как при небольших отклонениях его умформер входит в синхронизм при приключении к цепи, почему и пусковой мотор может быть выполнен с одинаковым числом полюсов, что и одноякорный преобразователь; однако при большом скольжении неизбежен и большой толчок силы тока при приключении к цепи. Асинхронный мотор удобно приключать к вторичному напряжению трансформатора, и схема получает вид, показанный на рис. 99. Мощность пускового мотора может быть уменьшена, если при пуске одноякорный преобразователь уже приключается к сети переменного тока через синхронизирующую дроссельную катушку.

В заключение краткого обзора условий пуска в ход одноякорного преобразователя скажем несколько слов по поводу возбуждения его и полюсности со стороны постоянного тока. Как уже выше упоминалось, во избежание опасных напряжений в обмотках магнитов, последние при пуске не оставляют открытыми. При пуске одноякорных преобразователей, как асинхронных моторов, при независимом возбуждении сразу устанавливается возбуждение на нормальный ток; при самовозбуждении магнитный

регулятор устанавливается в начале пуска в положение, соответствующее $\cos \varphi = 1$. В случае пуска при помощи особого пускового мотора при независимом возбуждении сила тока возбуждения устанавливается вначале возможно малой, чтобы не увеличивать мощности пускового мотора, и только при синхронизме до выключения синхронизирующей катушки дается полная сила тока возбуждения во избежание толчка тока.

В случае независимого возбуждения полюсность на клеммах, будучи раз установлена, не меняется при новых пусках в ход, почему такой одноякорный преобразователь может быть приключен к сети постоянного тока, раз только скорость достигла синхронизма. При самовозбуждении же одноякорного преобразователя одни и те же борны могут быть и положительными и отрицательными, и в случае, если, по указанию двухстороннего вольтметра, полюсность не соответствует требуемой, надо на короткое время отключить умформер от сети переменного тока и дать якорю проскользнуть на полюсное расстояние и снова приключить.

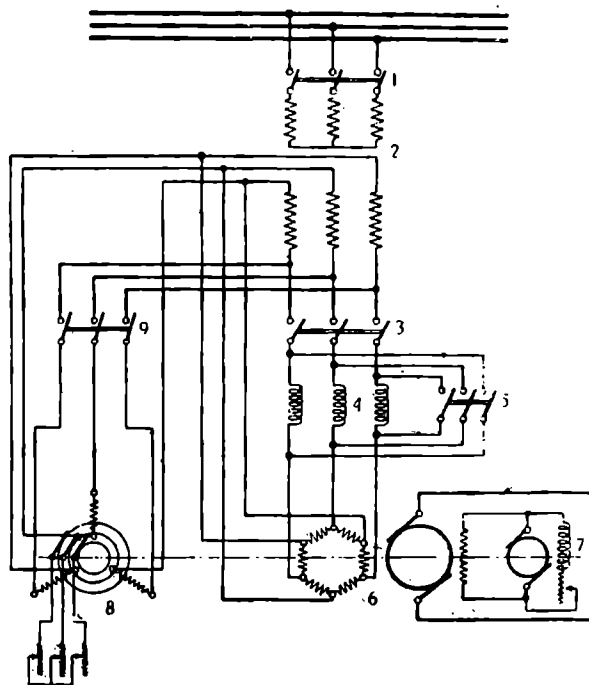


Рис. 99. Схема одноякорного преобразователя с синхрон. дроссельной катушкой.

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1—трансформаторный выключатель. | 5—выключатель. |
| 2—трансформатор. | 6—одноякорный преобразоват. |
| 3—главный выключатель. | 7—возбудитель к б. |
| 4—синхр. дроссельная катушка. | 8—пусковой мотор. |
| | 9—выключатель к 8. |

НТБ
ДНУЖТ

Рекуперация при одноякорных преобразователях

При рекуперации число оборотов одноякорного преобразователя, вообще говоря, не остается постоянным; в этом отношении он обладает свойствами мотора постоянного тока, меняющего число оборотов вместе с изменением возбуждения. Кроме того число оборотов его меняется вместе с изменением безваттных токов. Для уменьшения колебания скорости одноякорного преобразователя применяется возбудитель с весьма слабым насыщением железа полюсов; с увеличением числа оборотов агрегата увеличивается напряжение на борнах возбудителя, вследствие чего увеличивается и возбуждение одноякорного преобразователя, и скорость последнего падает. Таким способом происходит автоматическое регулирование числа оборотов преобразователя, вместе с тем и частота рекуперированного тока.

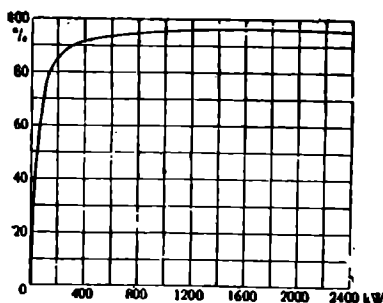


Рис. 100. Коэф. п. д. одноякорного преобразователя 750 квт 1 650 в.

В случае рекуперации необходима установка центробежного выключателя, который при чрезмерном увеличении числа оборотов одноякорного преобразователя выключил бы последний при помощи автоматического выключателя. Установка центробежного выключателя необходима и в том случае, если одноякорный преобразователь работает параллельно с генераторами или преобразователями тока со стороны постоянного тока, так как в случае прекращения питания со стороны переменного тока он начнет работать как мотор постоянного тока и может развить опасную скорость вращения. При рекуперации потери одноякорного преобразователя покрываются со стороны постоянного тока, почему меняется и соотношение

напряжений постоянного и переменного токов и должны быть приняты меры для регулирования напряжения со стороны переменного тока.

26. Примеры одноякорных преобразователей железнодорожного типа

Одноякорный преобразователь напряжением 1 650 в, построенный заводом Броун-Бовери для франц. Южных жел. дор., имеет следующие основные данные —

Длительная мощность	750 квт	} считая после работы на длительной мощности.
Двухчасовая мощность	1 125	
Пятиминутная мощность	2 250	
Число оборотов в минуту	750.	
Частота переменного тока	... 50 пер./мин.	

На валу, на консоли одноякорного преобразователя, установлен особый возбудитель постоянного тока. Пуск в ход производится при помощи трехфазного мотора, эластично связанного с умформером. Во время пуска кольца умформеры замыкаются на синхронизирующую дроссельную катушку. Благодаря независимому возбуждению вопрос о полюсности одноякорного преобразователя отпадает.

Небезынтересно отметить результаты заводских испытаний описанного одноякорного преобразователя, во время которых были, насколько возможно, созданы условия, близкие к тем, каковые имеют место в повседневной железнодорожной работе.

Умформер работал при испытании на длительную мощность под напряжением 1 800 в. Потери холостого хода были определены, включая и пусковой мотор, в 33 квт.

НТ
ДНУЖТ

Путем нахождения отдельных потерь был определен коэф. машины при различных нагрузках, который и дан в виде кривой (рис. 100). Коэф. п. д. при нагрузке в 50% несколько низок. Однако следует иметь в виду, что указанная мощность 750 *квт* определяется как средняя мощность, при которой придется преобразователю работать; она была найдена на основании графика движения; в действительности типу машины соответствует длительная мощность 1 200 *квт*; если исходить из указанной мощности, коэф. п. д. для 50% нагрузки и 100% получится вполне удовлетворительным. Потери холостого хода, отнесенные к этой мощности, составляют всего 2,75%.

Продолжительность пуска одноякорного преобразователя при помощи пускового асинхронного мотора с синхронизирующей дроссельной катушкой составляет всего 70 сек., включая время на выключение мотора и замыкание коротко синхронизирующей катушки.

Условия рекуперации энергии при одноякорном преобразователе были изучены путем включения в цепь постоянного тока двух машин постоянного тока соответствующего напряжения. Путем изменения напряжения машин удалось менять условия рекуперации.

Особенное внимание при испытании одноякорного преобразователя было уделено опытам с коротким замыканием. При этих испытаниях был установлен быстродействующий выключатель, и короткие замыкания со стороны постоянного тока были повторены свыше 20 раз с промежутками времени около 1". Короткие замыкания производились при полном напряжении машины. Никаких повреждений на коллекторе не было обнаружено. Испытуемый одноякорный преобразователь снабжен был добавочными полюсами.

На тех же франц. Южных жел. дор. были установлены и умформеры с напряжением на коллекторе 750 *в*, соединенные последовательно по два для получения 1 500 *в* рабочего напряжения. При оборудовании подстанций жел. дороге Париж—Орлеан (Р.—О.) были установлены исключительно умформеры с напряжением 750 *в* на коллекторе, соединенные по-два последовательно; 10-полюсные по 100 *квт* на полюсе вместе с вспомогательными полюсами и компаундной обмоткой.

Обмотка-компаунд позволяет иметь напряжение, слегка меняющееся с нагрузкой. Выравнивающие соединительные шины позволяют автоматически распределять нагрузку между параллельно включенными умформерами. Амортизационная обмотка умформеров позволяет пуск в ход со стороны переменного тока и в то же время уменьшает колебания при коротком замыкании.

Для пуска в ход при пониженном напряжении трансформаторы имеют выводы, дающие напряжение в 50% нормального. Если полюсность, полученная на умформере при пуске его в ход, как асинхронного мотора, получается не соответствующая шинам, можно при помощи переключателя магнитного поля заставить якорь проскользнуть на полюсное расстояние.

Во время пуска в ход поднимаются щетки с коллектора, что до минимума уменьшает износ коллектора, так как в это время остаются лишь две щетки слабого сечения для подачи тока возбуждения.

Против образования кругового огня (flash) установлены вокруг щеток на очень коротком расстоянии от коллектора экраны из слюды.

Проверка нагревания умформера дала следующие результаты. После 10-часовой работы при нормальной мощности 1 000 *квт* было обнаружено, что температура установилась в якоре на 31° Ц (при гарантии в 40°) выше окружающей, на 24°— в главной обмотке полюсов, 19,5° компаунд-обмотке и на добавочных полюсах.

НТБ
ДНУЖТ

После 2-часовой работы с нагрузкой в 1 500 *квт* (2 000 *амп* при 750 *в*) и после предварительного нагревания до выше приведенных температур новое повышение температуры дало 51° Ц выше окружающей среды в якоре (гарантировано было 55°), 21° Ц в шунтовых, 29,5° Ц в компаунд-обмотке главных полюсов и 39,6° Ц в обмотках дополнительных полюсов.

В течение пяти минут машины могут выдерживать перегрузки до 200% (т. е. развивать мощность 3 000 *квт*).

Потери и коэф. п. д. при различной нагрузке даны ниже в таблице XIV.

ТАБЛИЦА XIV

Нагрузка	0	500 <i>квт</i>	750 <i>квт</i>	1 000 <i>квт</i>	1 250 <i>квт</i>	1 500 <i>квт</i>
Потери (в <i>квт</i>).....	3,2	35,2	38,7	43,5	49,5	56,8
Кэф. п. д.	0	93%	95%	95,8%	96,2%	96,3%

27. Некоторые данные для проектирования подстанции с одноякорными преобразователями

При проектировании подстанций с одноякорными преобразователями следует обращать внимание на следующее.

Выключение одноякорного преобразователя целесообразно иметь не только со стороны переменного тока, но и со стороны постоянного тока. Возбуждение одноякорного преобразователя следует приключать непосредственно к борнам машины так, чтобы при выключении автомата постоянного тока возбуждение не прерывалось.

Если на подстанциях по каким-либо причинам предвидится пуск со стороны постоянного тока и на каждом полюсе имеется свой автомат,— возбуждение приключается сначала через шины постоянного тока, и после пуска машины в ход переключается непосредственно к ее борнам. Для указанной цели применяются однополюсные переключатели без перерыва тока; само собою разумеется, переключение может быть допущено лишь тогда, когда на обеих сторонах напряжение одинаково, другими словами, когда замкнут автомат постоянного тока. Необходимо предвидеть со стороны переменного тока нулевое выключение, так как, после того как линия несколько времени была без напряжения, и одноякорный преобразователь перестал вращаться со скоростью синхронизма, возобновление напряжения со стороны переменного тока опасно. Во избежание неправильных манипуляций при пуске или выключении одноякорного преобразователя, рекомендуется устанавливать жесткую зависимость между выключателем со стороны переменного тока, автоматом постоянного тока, переключателем и т. п.

При расчете кабелей можно руководствоваться следующей таблицей XV соотношений силы тока при полной нагрузке и $\cos \varphi = 1$.

ТАБЛИЦА XV

Показатели	Трехфазный преобразователь	Шестифазный преобразователь
Соотношение между напряжением на кольцах и со стороны постоянного тока.....	0,65—0,69	0,74—0,76
Соотношение между силой тока на кольцах и на стороне постоянного тока....	0,94	0,47

НТБ
ДНУЖТ

Грубо можно рассчитывать при $\cos \varphi = 1$ (для трехфазного преобразователя) подводящие кабели со стороны переменного тока на полную силу постоянного тока, а при шестифазном умформере – на половинную. По возможности следует подвод со стороны переменного тока производить голый медью. При употреблении одножильных кабелей необходимо учитывать высокое нагревание их индуцированными токами, почему следует избегать армировки кабелей.

Кабели для асинхронного пуска могут быть благодаря кратковременной нагрузке их малого сечения до $1/4$ — $1/8$ сечения главного подвода со стороны переменного тока, при этом при выборе пускового напряжения на дополнительных выводах трансформатора должно быть учтено падение напряжения. На рис. 101 дан план и разрез подстанции, оборудованной однокорными преобразователями, в виде одноэтажного здания. В случае недостатка свободной площади трансформаторы могут быть установлены в подвальном помещении, а распределительное устройство бывает выгодно разбить в нескольких этажах.

Приближением трансформаторов к преобразователям можно уменьшить длину проводников, что бывает выгодно благодаря большой нагрузке их. Масляные выключатели и автоматы постоянного тока, пусковые реостаты и регуляторы напряжения в таком случае управляются на расстоянии. Особенно следует рекомендовать аппаратуру высокого напряжения, с одной стороны, и аппаратуру переменного тока низкого напряжения и постоянного тока, с другой стороны, устанавливать в разных местах, однако так, чтобы наблюдение за ними не представляло бы затруднений. Регулирование можно сосредоточить на панелях постоянного тока, а пусковые аппараты желательно устанавливать вблизи самого преобразователя.

При питании подстанции от электропередачи, напряжение коей меняется в зависимости от времени года или может впоследствии понизиться с включением новых потребителей, следует снабжать трансформаторы дополнительными выводами со стороны высокого напряжения.

28. Параллельная работа однокорных преобразователей

Падение напряжения между холостым ходом и полной нагрузкой однокорного преобразователя, включая трансформатор, колеблется в пределах 4 — 6% . Параллельная работа нескольких однокорных преобразователей происходит без всяких затруднений. В случае параллельной работы умформера с мотор-генератором приходится считаться с тем, что напряжение мотор-генератора, тем более при синхронном моторе, не зависит от напряжения переменного тока, тогда как у однокорного преобразователя колебания со стороны переменного тока передаются целиком на сторону постоянного тока. При сильных колебаниях переменного тока бывает необходимо для равномерного распределения нагрузки между мотор-генератором и однокорным преобразователем регулирование напряжения.

Компаундирование машины дает возможность регулирования машины при включении между трансформатором и однокорным преобразователем дроссельной катушки. Однако, как уже ранее отмечалось, этот способ регулирования имеет недостаток в смысле ухудшения $\cos \varphi$ установки. При необходимости изменения напряжения в широких пределах приходится пользоваться вращающимся трансформатором; в таком случае перестановка трансформатора может быть произведена под влиянием реле, включенного со стороны постоянного тока. Однако перестановка трансформатора требует некоторого времени, и коротковременные колебания напряжения переменного тока таким способом не могут быть выравнены на стороне постоянного тока.

НТБ
ДНУЖТ

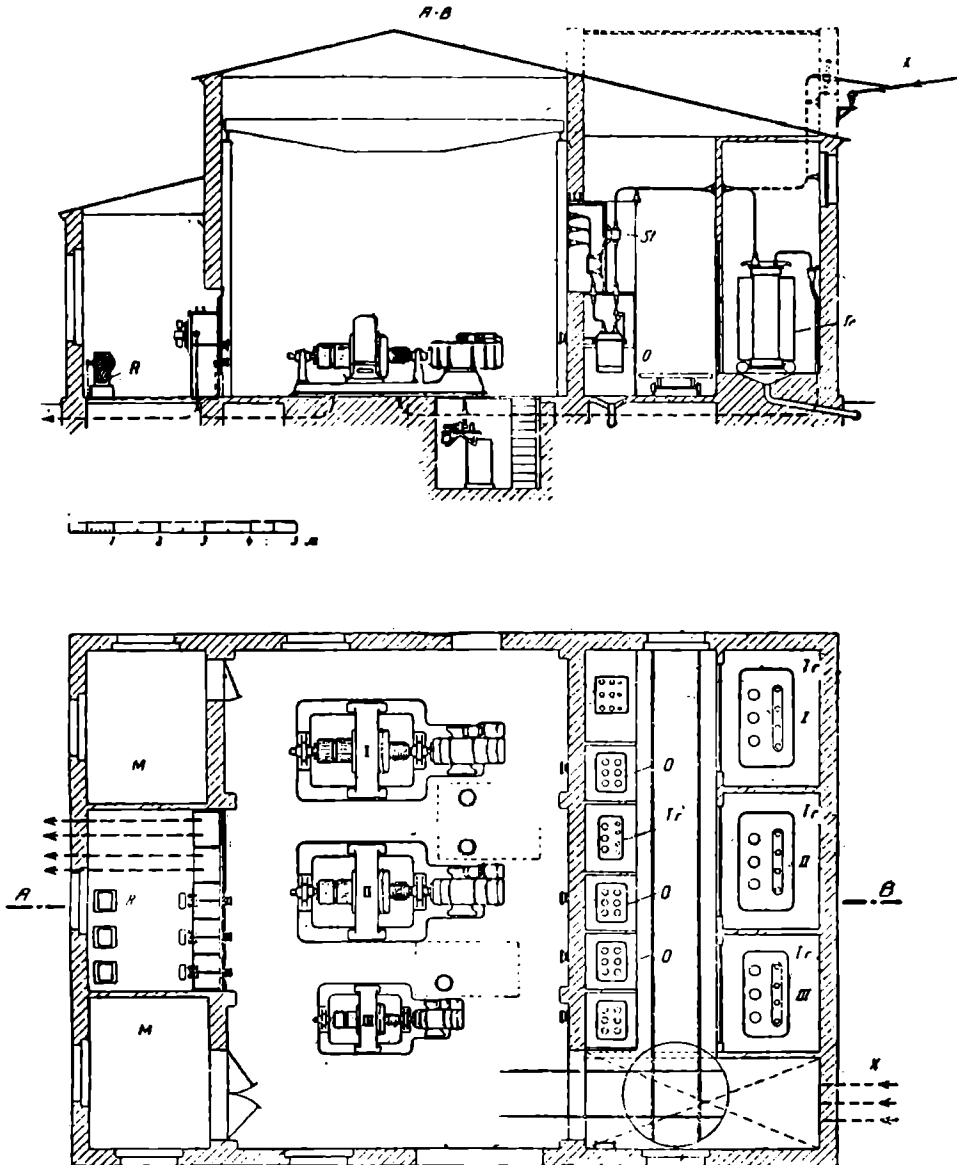


Рис. 101. Умформерная подстанция.

St—трансформатор тока
O—масляник
Tr—трансформатор
R—регулятор

M—мастерские
X—ввод высокого напряжения
Y—питающие фидера

29. Примеры железнодорожных подстанций с одноякорными преобразователями

Подстанции французских Южных жел. дорог. При расчете мощности подстанций и расстояния между ними принято было падение напряжения не свыше 20%, а нормальное напряжение на сборных шинах подстанций—1500 в.

Для преобразования трехфазного тока 60000 в и 50 периодов в постоянный 1500 в имеются, кроме подстанций с ртутными выпрямите-

НТБ
ДНУЖТ

лями, подстанции с одноякорными преобразователями, по своему оборудованию, двух типов:

1) с трансформатором и двумя умформерами по 750 в, соединенных последовательно;

2) с трансформатором и одним умформером в 1500 в.

Трансформаторы располагаются вне здания, а в самом здании помещаются умформеры, причем число их определяет длину крытого помещения.

В первом случае трансформаторы выполнены с двойной вторичной обмоткой, каждая обмотка соединяется с умформером. Мощность каждого умформера 750 квт, машина может выдержать перегрузку в 50% в течение двух часов (температура не поднимается более чем на 55° Ц выше окружающей) и 200% перегрузки в течение 5 минут.

Пуск в ход производится под пониженным напряжением, как у асинхронного мотора (умформеры завода Шнейдер и завода Жемонт). У машины Co Française Thomson-Houston применен принцип самосинхронизации.

Напряжение остается постоянным при нагрузке от 0 до перегрузки сверх нормальной на 100%; для этой цели имеется индукционная катушка между трансформатором и умформером. Катушки имеют масляное охлаждение.

Коэф. п. д. при нагрузке от нормальной до 50% нормальной варьирует от 93,8 — 90%.

Трансформаторы с естественным охлаждением масла, как указано выше, рассчитаны на установку на открытых подстанциях. Напряжение может меняться в пределах $\pm 5\%$ от нормального, изменением числа витков. Трансформаторы выдерживают ту же перегрузку, что и умформеры. Коэф. п. д. их для нагрузок от нормальной и до 50% нормальной варьирует в пределах 98,5 — 97,8%, при $\cos \varphi = 1$. Мощность их 1600 ква завода Жемонт, 1700 ква завода Co Française Thomson-Houston и 1140 ква завода Шнейдер.

Подстанции с умформерами в 1500 в (завода Броун-Бовери), по сравнению с подстанциями с группой из последовательно соединенных двух умформеров по 750 в, в смысле монтажа значительно проще, конструкция трансформаторов их также проще.

Трансформатор мощностью 840 ква располагается вне здания, первичные обмотки соединены звездой, вторичные имеют открытые фазы. Охлаждение масла естественное. Шесть борн трансформатора низкого напряжения связаны с индукционными катушками и с умформером. Индукционная катушка помещается в масляном баке и рассчитана на индуктивное понижение напряжения до 12% и на то же перенапряжение, что и вся группа.

Шестифазные умформеры с шунтовым возбуждением снабжены отдельными возбудителями для независимого от нагрузки возбуждения. Во время колебания напряжения переменного тока эти возбудители увеличивают или уменьшают безваттный ток, чем выравнивается до известной степени изменение напряжения. Реостат возбуждения позволяет регулировать напряжение в пределах 1500 — 1600 в. Падение напряжения при полной нагрузке (750 квт) не превышает 5% холостого хода. Скорость вращения 750 об./мин. (восемь полюсов). Пуск в ход производится при помощи трехфазного асинхронного двигателя, эластично связанного с умформером. Скорость синхронизма 1000 об./мин. Пуск до нормальной скорости умформера продолжается 1 — 1½ мин.

При увеличении скорости выше 15% нормальной центробежный механизм выключает умформер. Машина рассчитана на рекуперацию до 75% энергии в сеть. Умформер этого типа установлен на подстанции Toynau Coaraze-Nau и должен работать параллельно с ртутными выпрямителями

НТ
ДНУЖТ

ближайших подстанций. Добавочные полюса установлены для улучшения коммутации, что почти исключает возможность образования кругового огня на коллекторе при перегрузке. Как известно, образование кругового огня зависит не только от величины тока при коротком замыкании, но и от продолжительности короткого замыкания, поэтому на умформерных подстанциях устанавливается мгновенный выключатель, действующий автоматически в течение 0,01" при повышении тока, при этом производится задувание дуги сильным магнитным полем. Коэф. п. д. умформера при полуторной, нормальной и 50% нагрузке при испытании получен равным: 96,1 — 95,1 и 93,7%.

На чертеже (приложение I) дана схема подстанции с открытой установкой трансформаторов и аппаратуры высокого напряжения.

Питание подстанций со стороны переменного тока производится с обеих сторон, за исключением подстанций, расположенных в конце линий; таким образом, если линия с одной стороны подстанции будет выведена из работы, работа подстанции не прекращается.

Присутствие на подстанциях выключателей линии в 60 000 в позволяет размыкать здесь линию. Эти трехполюсные масляные выключатели располагаются вне здания. Расчитаны они на нормальную нагрузку 300 амп и могут производить выключение при максимальном токе 3 000 амп. Разрыв тока происходит между шестью контактами.

30. Автоматические подстанции с одноякорными преобразователями

На автоматических подстанциях должны быть предвидены следующие выполняющиеся автоматически манипуляции:

а) выключение агрегатов в случае короткого замыкания на стороне постоянного тока;

б) выключение агрегата в случае продолжительного отсутствия напряжения со стороны переменного тока;

в) повторные включения агрегатов через некоторый промежуток времени после выключения, согласно пунктов а и б.

г) окончательное отключение с подачей сигналов, если после ряда попыток—включить труппы окажется, что неисправности не устранены.

Помимо указанного, в случае периодически работающих подстанций, пуск в ход, включение и выключение машин может быть произведено в определенные часы при помощи специальных часов.

Все перечисленные манипуляции достигаются комбинированием различного рода реле, контакторов и приборов управления на расстоянии.

Само собою разумеется, что при проектировании автоматической подстанции должно быть обращено особое внимание, чтобы необходимые замыкания и размыкания контакторов, выключателей следовали строго в требуемой последовательности. На рис. 102 дана схема автоматической подстанции завода Броун-Бовери.

Для получения необходимого тока управления устанавливается однофазный трансформатор 9 в первичной цепи, питающей преобразователь, и аккумуляторная батарея 12 напряжением 60 в.

а) Пуск в ход. Пуск в ход производится при помощи замыкания контакта 10 или от специальных часов 11 (рис. 102), вследствие чего шины 14 оказываются под напряжением. Реле R_1 приводится в действие через три секунды и замыкает цепь питания моторного привода M_1 ; благодаря этому выключатель 1 трансформатора 2 оказывается выключенным и его контакты C_2 замкнутыми, а C_1 и C_3 —открытыми.

При замкнутых контактах C_2 , C_3 и C_4 цепь питания моторного привода M_2 замкнута. Контакты C_3 и C_4 закрываются при открытом выключателе.

НТ
ДНУЖТ

чателе 4 и автомате 5. Пусковой выключатель 4, передвигаясь вправо, замыкается действием моторного привода M_2 . Контакт C_6 оказывается запертым, и спустя 100 сек, начинает функционировать реле R_2 .

В течение 30 сек однокорный преобразователь приобретает скорость, близкую к синхронизму; к этому времени так называемый поляризатор R_3 при неправильной полярности на клеммах преобразователя начинает функционировать и прерывает цепь возбуждения; одновременно с этим оказывается отключенным и реле R_2 ; последнее может замкнуть свой контакт, если полярность преобразователя правильна, т. е. если контакты поляризатора R_3 все время замкнуты. При замыкании контакта реле R_2 оказывается замкнутой цепь питания моторного привода M_2 , который переводит пусковой выключатель 4 в рабочее положение (приключение преобразователя на полное напряжение); при этом оказываются замкнутыми контакты C_6 . Реле R_4 начинает функционировать, спустя 3 сек при открытом выключателе 5, т. е. при закрытом контакте C_7 ; выключающий магнит M_3 оказывается под напряжением и приключает преобразователь к главной шине постоянного тока 16. Так как при этом магнит привода M_4 находится под напряжением, то выключатель отходящего фидера запирается, если контакты реле R_6 и связанного реле R_7 не разомкнуты. Присоединение питающего фидера к главным шинам постоянного тока зависит от сопротивления рабочей сети: если последняя заземлена и имеет короткое замыкание, то контакты реле R_6 и R_7 оказываются разомкнутыми. Действительно выключатель 6 шунтирован через реле R_6 ; если сопротивление рабочей сети ниже некоторого установленного предела, то постоянный ток определенной силы течет через катушки реле R_6 и последовательно с ним соединенным сопротивлением 13 и втягивает сердечник реле R_6 ; цепь реле R_7 размыкается, и вместе с этим оказывается разомкнутой цепь включающего магнита M_4 .

В. Медейко

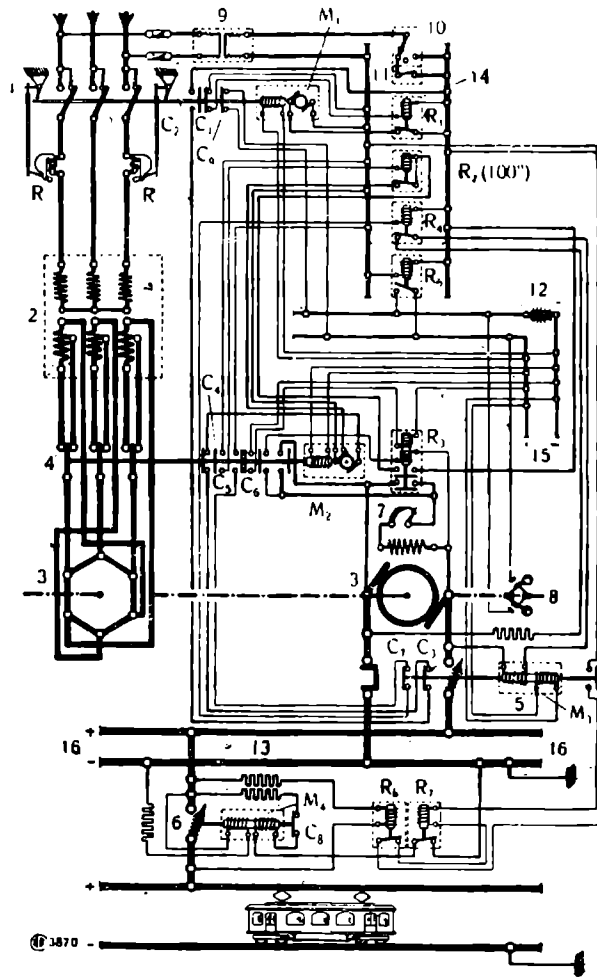


Рис. 102. Схема автоматической подстанции.

- | | |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1—трансформат. выключатель. | 12—вспомогательная батарея. |
| 2—трансформатор. | 13—сопротивление. |
| 3—однокорн. преобразов. | 14—шины включения. |
| 4—пусковой выключатель. | 15— " выключения. |
| 5—автоматический преобраз. | 16— " подстанции. |
| 6—фидеров. | R_1 —макс. реле. |
| 7—магнитный регулятор. | R_2, R_3, R_4 —реле времени. |
| 9—центробежный выключатель. | R_3 —поляризатор |
| 10—вспомогат. трансформатор. | R_4 —реле нулевого напряжения. |
| 11—рубильник. | M_1, M_2 —моторный привод. |
| | M_3, M_4 —магнитный привод. |

Вместо упомянутых реле можно установить реле, которое, после нескольких выключений под ряд выключателя *б*, остается открытым.

б) Режим работы преобразователя. В течение работы преобразователя могут быть неисправности со стороны переменного и постоянного тока. В случае перегрузки или короткого замыкания на стороне переменного тока выключается масляник *1* у трансформатора под влиянием реле максимального тока *R*; при выключенном положении масляника контакты *C₁* и *C₂* оказываются замкнутыми. При замыкании *C₂* шина *15* устанавливается под напряжение от батареи; пусковой выключатель *4* и автомат *5* выключаются, и автоматы питающих фидеров выключаются под влиянием нулевого реле. Если параллельно работают другие преобразователи, выключение автомата *5* должно быть предусмотрено от реле обратного тока.

После замыкания контакта *C₁*, спустя *3 сек*, начинает действовать реле *R₁* и возобновляется процесс включения сначала. Реле максимального тока *R* может быть связано с повторным реле таким образом, чтобы после некоторого числа включений (напр. в случае короткого замыкания) в трансформаторе или преобразователе выключатель трансформатора оказался заблокированным в выключенном положении. При всяком окончательном выключении подстанции после повторных неудачных включений на пост управления подстанциями дается звуковой сигнал.

Если питающая сеть переменного тока будет отключена от централи, — нулевое реле *R₂* выключает все выключатели, и вся подстанция оказывается отключенной до появления напряжения в питающих проводах переменного тока.

В случае перегрузки или короткого замыкания на стороне постоянного тока выключаются автоматы на фидерах *б*, а также автоматы у преобразователей, последний однако при замкнутом контакте *C₁*, спустя *3 сек*, включается снова при помощи реле *R₄*. Автомат у фидера *б* включается, раз только замкнуты контакты реле *R₆* и *R₇*, т. е. если имеется достаточное сопротивление на линии. Установка у автомата преобразователя *5* такого же реле, как и у автоматов фидеров *б*, желательна, если есть основания ожидать коротких замыканий на шинах *16*.

Выключение подстанции производится от руки замыканием контакта *10* или от специальных часов (контакт *11*). Реле нулевого напряжения *R₃*, будучи без тока, дает соединение аккумуляторной батареи с шиною *15*, благодаря чему размыкаются выключатели *1*, *4*, *5* и *6*.

Так как обычно на подстанциях работает несколько преобразователей параллельно, то включение к одному работающему остальных может быть произведено автоматически при помощи тех же специальных часов, если увеличение нагрузок имеет место в определенные часы суток. Если же повышение нагрузок может быть в различное время суток, то пуск разгружающих преобразователей производится автоматически от реле максимального тока или от термического реле при поднятии температуры работающего преобразователя выше определенного предела. При падении в течение определенного времени нагрузки ниже некоторой величины реле минимального тока выключает дополнительно работающие преобразователи. Регулирование напряжения при автоматических подстанциях не представляет затруднений; однако на железнодорожных подстанциях такое регулирование встречается редко и может быть вызвано какими-либо особыми условиями.

В заключение остановимся несколько подробнее на упомянутом выше поляризаторе *R₃*.

Поляризатор *R₃* представляет собою реле с двумя катушками с одинаковым числом ампервитков. Реле имеет два контакта, замыкающиеся

НТБ
ДНУЖТ

при втягивании сердечника. Одна катушка присоединяется к вспомогательной батарее 12, другая—к клеммам преобразователя. Одни размыкающие контакты реле включаются в возбуждение преобразователя, через другие контакты присоединяется реле R_2 к шинам 14. При установке пускового выключателя 4 в положение пуска одна катушка поляризатора приключена к постоянному току батареи, а другая—в цепь возбуждения; при пуске в ней циркулирует переменный ток. С увеличением числа оборотов преобразователя частота падает, и наконец переменный ток переходит в постоянный случайной полярности. При неправильной полярности одной катушки реле, дает вместе с другой катушкой, соединенной с батареей, результирующее магнитное поле, равное нулю, сердечник реле падает и вызывает размыкание цепи возбуждения. Ротор скользит в течение нескольких мгновений. При выпадении сердечника реле-поляризатора одна из катушек его, оставшаяся под напряжением, снова втягивает сердечник и в случае неправильной полярности преобразователя реле-поляризатор снова выпадает; однако после первого выпадения обычно устанавливается на преобразователе необходимая полярность.

Этот способ употребляют, когда не желают устанавливать особый возбудитель для независимого возбуждения преобразователя, при котором всегда обеспечена правильная полярность.

31. Подстанции с каскадными преобразователями

Каскадный преобразователь является как бы переходным звеном между мотор-генератором и одноякорным преобразователем: подведенная к статору асинхронного мотора энергия трехфазного тока преобразуется в роторе частично в механическую, частично в электрическую в виде трехфазного тока меньшего напряжения и частоты; механическая мощность при помощи вала передается машине постоянного тока, а трехфазный ток ротора протекает по обмоткам якоря машины постоянного тока и преобразуется, как и в одноякорном преобразователе, в постоянный ток; таким образом каскадный преобразователь является одновременно и мотор-генератором и одноякорным преобразователем. Чем ниже частота тока, тем меньше опасность образования кругового огня на коллекторе; в каскадном преобразователе в его машине постоянного тока происходит непосредственное преобразование тока, получаемого от ротора асинхронного мотора при скольжении в 50%, т. е. при частоте всего 25 пер./сек; поэтому напряжение постоянного тока при каскадных преобразователях может быть доведено до 2000 в и максимум до 3000 в. Наиболее часто каскадные преобразователи применялись в прежнее время для 1000—2000 в, в то время как одноякорные преобразователи не строились для столь высокого напряжения. Успехи в постройке одноякорных преобразователей, достигнутые в последние годы, когда на коллекторе было применено напряжение до 1500 в, значительно ограничили распространение каскадных преобразователей. Пуск в ход каскадных преобразователей происходит со стороны переменного тока путем приключения к пусковому реостату трех фаз обмотки ротора, оставляя открытыми остальные фазы; одновременно, до приключения агрегата к сети, устанавливается некоторое возбуждение машины, определенное опытным путем. После приключения преобразователя к питающей сети трехфазного тока число оборотов его быстро возрастает. Однако на случай, если благодаря невнимательности обслуживающего персонала скорость достигнет опасных размеров, устанавливается центробежный регулятор, автоматически отключающий преобразователь от питающей сети, раз только число оборотов его превысит 20% нормального. Когда скорость преобразователя достигнет требуемой вели-

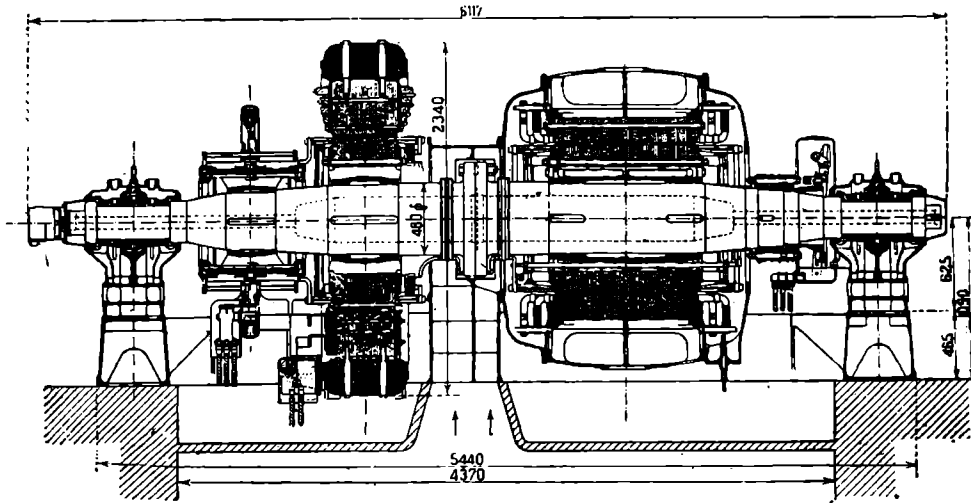
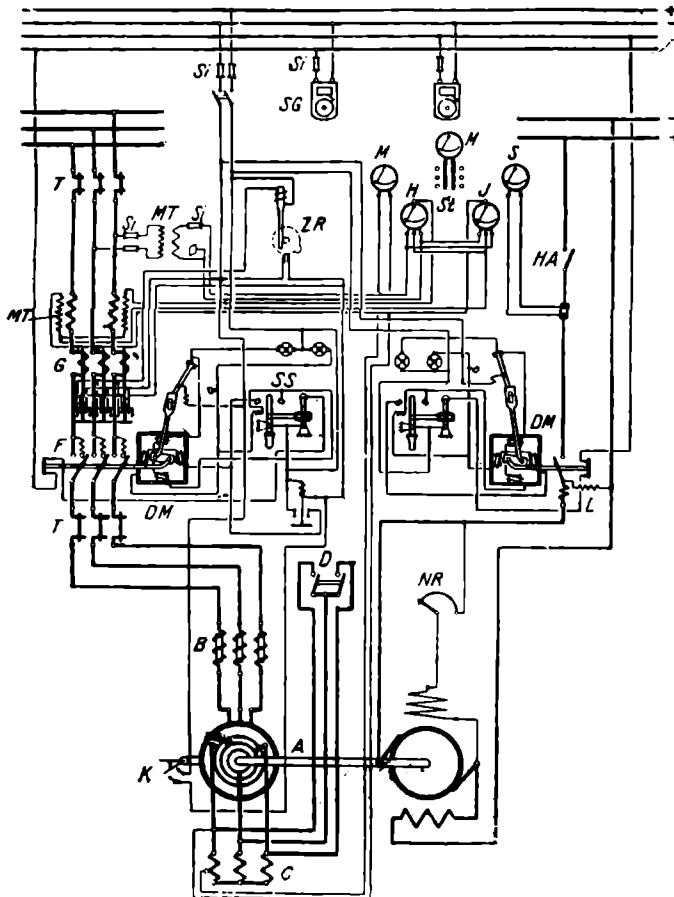


Рис. 103. Каскадный преобразователь 1600 квт 670 в 428 об/мин.



- A**—каскадный преобразователь.
- B**—дрессельная катушка.
- C**—пусковое сопротивление.
- F**—масляник.
- G**—реле максимального тока.
- H**—вольтметр.
- HA**—рубильник.
- J**—фазометр.
- L**—выключатели обратного тока.
- M**—вольтметр.
- NR**—шунтовой регулятор.
- S**—амперметр.
- T**—трешальтер.
- ZR**—реле времени.

Рис. 104. Схема каскадного преобразователя.

НТБ
ДНУЖТ

чины, щетки трех пусковых фаз поднимаются и все фазы соединяются накоротко; со стороны постоянного тока машина приключается к собирательным шинам.

Регулирование напряжения со стороны постоянного тока в пределах ± 5 производится обычно изменением возбуждения; при рекуперации необходимо применять вращающийся трансформатор.

На рис. 103 изображен каскадный преобразователь мощностью 1 600 квт 660 в; число оборотов в минуту равно 428.

На рис. 104 дана схема приключения каскадного преобразователя, примененная на гамбургском метрополитене.

При пуске в ход агрегата в обмотку ротора включается пусковое сопротивление *C*; при достижении нормального числа оборотов оно замыкается накоротко при помощи выключателя *D*. Агрегат снабжен центробежным регулятором *K* и присоединяется к питающей сети через посред-

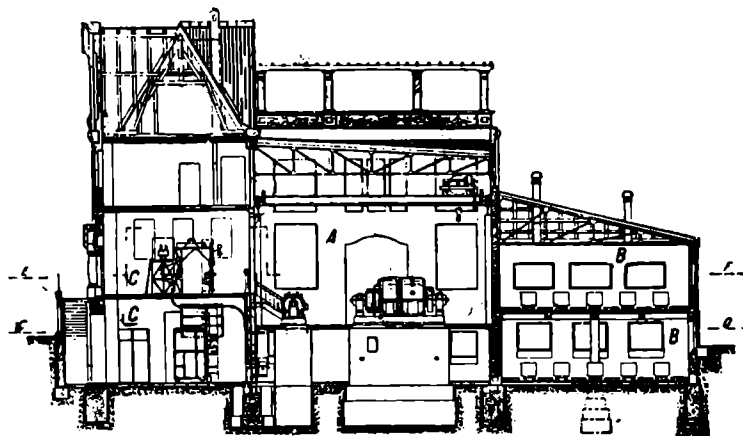


Рис. 105. Преобразовательная подстанция Helwigstrasse Гамбургского метрополитена.

ство дроссельной катушки *B*. Динамо постоянного тока снабжена компаундной и шунтовой обмоткой с шунтовым регулятором.

Выключение и включение асинхронного мотора производится при помощи масляного выключателя *F*, с магнитом *DM* и реле максимального тока *G*. Со стороны постоянного тока имеется максимальный выключатель с реле обратного тока. Кроме того имеется рубильник *HA*. На панели помещены следующие измерительные приборы: *S*—амперметр, *M*—вольтметр, *H*—ваттметр и *J*—индикатор фаз. Приборы приключаются через посредство измерительных трансформаторов *MT*.

Питание каскадных преобразователей подстанций гамбургского метрополитена производится трехфазным током 50 пер./сек напряжением 6 000 в. Первоначально установлено было на каждой подстанции по три каскадных преобразователя мощностью по 1 000 квт при 375 об./мин. Далее были установлены каскадные преобразователи мощностью 1 200 квт и 2 400 квт. На подстанциях установлены аккумуляторные батареи емкостью 1 250 амп/час, работающие параллельно с преобразователями.

На рис. 105 дан разрез по одной из преобразовательных подстанций (Helwigstrasse) гамбургского метрополитена.

В машинном помещении *A* установлено 4 силовых преобразователя, 2 умформера для нужд станции и освещения и 2—группы Пирани. Аккумуляторные батареи установлены в помещении *B* (два этажа); в помещении *C* находится распределительное устройство.

НТЭ
ДНУЖТ

32. Подстанции с ртутными выпрямителями

Процесс выпрямления тока в ртутных выпрямителях. Отличительным свойством подстанций с ртутными выпрямителями является отсутствие вращающихся машин; процесс выпрямления тока происходит без магнитных и механических потерь, что и является причиной высокого коэф. п. д. этих подстанций.

Напомним физический процесс выпрямителя переменного тока. Протекание тока между двумя находящимися в разряженном пространстве металлическими электродами возможно лишь в том случае, если один из электродов раскален, а другой имеет значительно более низкую температуру. Пусть на схеме, изображенной на рис. 106, по вольфрамовой нити K проходит ток постороннего источника $HВ$, под влиянием которого нить нагревается. Амперметр A , включенный в цепь батареи AB , показывает, что с увеличением накала нити K от красного до белого каления сила тока, проходящего между электродами A и K , увеличивается. Прохождение тока однако возможно лишь в том случае, если нагреваемый электрод K соединен с отрицательным полюсом батареи; достаточно электрод K присоединить к положительному полюсу и A к отрицательному, чтобы убедиться, что, несмотря на нагревание нити K , прохождение тока между электродами прекращается. Описанное явление, как известно, объясняется переносом электрических зарядов электронами: раскаленное тело посылает отрицательно заряженные электроны, которые направляются к положительно заряженной пластинке A и разряжают ее; следствием этого является новый приток некоторого количества электричества из батареи к электроду A . Таким образом трубка с разряженным пространством, с одним холодным и одним раскаленным электродами является как бы электри-

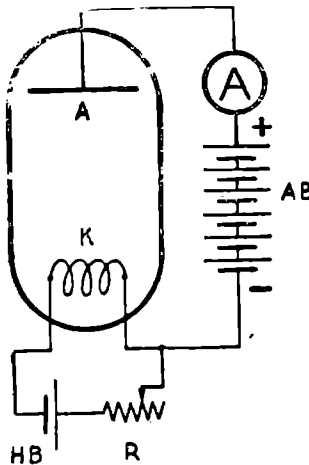


Рис. 106.

ческим клапаном, пропускающим ток в одном лишь направлении; точнее, клапаном является холодный электрод A , соединенный с положительным полюсом источника электрической энергии. Совершенно безразлично, каким способом достигнута высокая температура одного из электродов: путем ли нагревания постоянным или переменным током, пропускаемого по нити K , или током, проходящим через трубку с разряженным пространством; последний способ применяется на практике в крупных ртутных выпрямителях. Особый анод, служащий исключительно для так называемого зажигания, приводится в соприкосновение с катодом—сосудом со ртутью для получения вольтовой дуги. На поверхности ртути получается светящееся пятно, температура коего достигает до 3000°C . Это светящееся пятно и служит источником отрицательно заряженных электронов, необходимых для процесса прохождения тока в разряженном пространстве. Расход энергии в светящемся пятне оценивается в $5,27 \text{ в}$ —на 1 амп . Размер светящегося пятна пропорционален силе тока и составляет $2,53 \times 10^{-3} \text{ мм}^2$ на каждый ампер силы тока. Из всей энергии, расходуемой в светящемся пятне, около 40% идет на испарение ртути ($7,2 \times 10^{-3} \text{ г}$ ртути на каждый ампер в секунду), а остальные теряются лучеиспусканием и теплопередачей. В среднем можно считать, что все пространство ртутного выпрямителя заполняется парами ртути через 20—30 минут. Светящееся пятно требует для своего поддержания ток не менее 5 А. Если рабочий ток падает ниже этой величины,—выпрямитель тушится и нуждается в новом зажигании. У крупных

НТ
ДНУЖТ

ртутных выпрямителей в настоящее время устраивается по 2—3 вспомогательных анода, имеющих небольшое напряжение и поддерживающих все время силу тока выше минимума, необходимого для горения дуги ртутного выпрямителя. Присутствие паров ртути в разряженном пространстве оказывает огромное влияние на коэф. п. д. выпрямителя. В случае даже очень высокого разряжения падение напряжения в воздушном пространстве достигает несколько сот вольт (в зависимости от степени разряжения), тогда как в парах ртути оно при тех же разряжениях всего лишь 9—16 в, что вместе с 5,27 в на катоде и 4 в на аноде составляет всего лишь 18—25 в. Падение напряжения на катоде не зависит от нагрузки; на анодах же оно несколько выше при малых нагрузках, достигает минимума при некоторой средней нагрузке и с дальнейшим повышением нагрузки, связанным с повышением давления ртутных паров, падение напряжения увеличивается. Само падение напряжения по сравнению с напряжениями, имеющими место в железнодорожной практике, настолько ничтожно, что смело можно считать, что напряжение, а следовательно и коэф. п. д. ртутного выпрямителя, не зависит от нагрузки. Падения напряжения не зависят также от самого напряжения, почему и коэф. п. д. ртутных выпрямителей тем выше, чем выше напряжение постоянного (выпрямленного) тока. Последнее обстоятельство и служит причиной столь быстрого распространения ртутных выпрямителей для тяги поездов.

Служащий для питания дорог постоянного тока трехфазный ток трансформируется в шести- или двенадцатифазный, напряжением, необходимым для получения заданного напряжения постоянного тока.

На рис. 107 дана в простейшем виде схема преобразования трехфазного тока в постоянный. Обмотки высокого напряжения (первичные) трансформатора соединены треугольником, вторичные — звездой из шести фаз, нулевая точка соединяется с отрицательной шиной постоянного (выпрямленного) тока; шесть вторичных обмоток трансформатора соединяются с шестью анодами ртутного выпрямителя, катод же соединяется с положительной шиной. Представим себе, что внешняя цепь, по которой протекает выпрямленный ток, не содержит индуктивного сопротивления; в этом случае каждый анод будет работать лишь в течение $\frac{1}{6}$ периода, т. е. в течение того времени, когда его напряжение выше напряжения других анодов, почему получаемый выпрямленный ток имеет слегка волнообразный характер. Большая степень равномерности будет иметь место при двенадцатианодном выпрямителе.

Для того чтобы заставить одновременно работать несколько анодов, необходимо кривой напряжения вместо синусоид придать вид трапеции, что может быть достигнуто введением третьей гармоники. С этой целью обмотки соединяются звездой, и между нулевыми точками производится соединение через дроссельные отсасывающие катушки.

Образование третьих гармоник имеет место лишь при нагрузке и влечет за собою понижение напряжения, при холостом же ходе и небольшой нагрузке при отсутствии третьей гармоники напряжение резко повышается, что влияет и на напряжение постоянного (выпрямленного) тока. При отсасывающих катушках напряжение имеет характерное понижение в начале при слабой нагрузке и, в дальнейшем, оно остается почти постоянным.

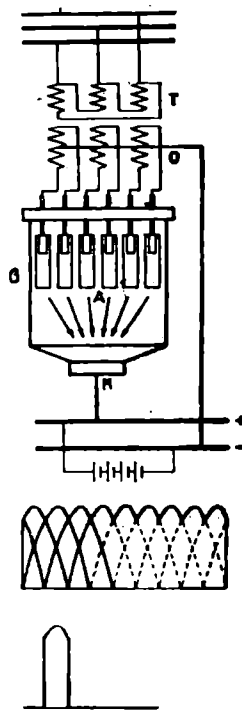


Рис. 107.

НТ
ДНУЖТ

Увеличение продолжительности нагрузки каждого анода позволяет не только увеличить реактанс трансформатора, но и снизить его мощность; так например, если для 100% нагрузки выпрямителя требуется трансформатор номинальной мощности в 170% при одновременной работе не более одного анода, то при удлиненной работе анода, т. е. при одновременной работе двух анодов номинальная мощность трансформатора понижается до 150%.

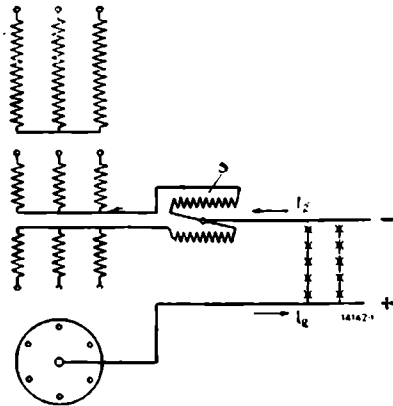


Рис. 108.
S — отсасыв. катушка.

На рис. 108 показано схематически включение описывающей катушки S в случае шестифазного выпрямителя; нейтральные точки каждой трехфазной звезды вторичной обмотки соединяются между собою через указанную описывающую катушку, причем, обе обмотки ее насаживаются на общий сердечник с таким расчетом, чтобы ток по ним протекал в противоположном направлении.

На рис. 109 показаны кривые напряжения в зависимости от нагрузки 600-вольтовой установки без описывающей катушки (кривая a) и с ней (кривая б). Как видно из приведенных кривых, в первом случае напряжение падает почти по прямой наклонной линии, и разница напряжений между холостым ходом и полной нагрузкой составляет около 12%; во втором же случае кривая б состоит из двух частей, а именно, при нагрузке от нуля до очень слабой нагрузки в 2—4% напряжение падает очень сильно (на 14%), а затем при нагрузке от 4% до полной, т. е. в тех пределах, в которых обычно приходится работать выпрямителю, падает совсем слабо, приблизительно процентов на 4. Столь малое падение напряжения позволяет во многих случаях обходиться без регулирования напряжения, что значительно упрощает установку. Наконец следует отметить, что благодаря увеличению продолжительности работы каждого анода вдвое благодаря индуктивному соединению нейтральных точек вторичной обмотки улучшается $\cos \varphi$ установки, достигая при полной нагрузке 96%, включая и сдвиг фаз от индуктивного сопротивления трансформатора.

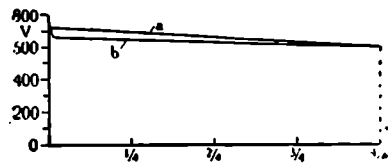


Рис. 109.

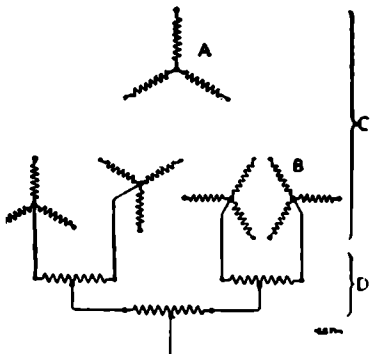


Рис. 110. Схема соединения трансформаторных обмоток.
A — первичная обмотка. B — вторичная обмотка. C — трансформатор. D — отсасывающая катушка.

В случае двенадцатифазного выпрямителя также употребляются отсасывающие катушки. Вторичная обмотка трансформатора выполняется внешней для получения четырех нейтральных точек, к тому же мощность, кажущаяся во вторичной обмотке значительно выше, чем в первичной (на 40—100%). Индуктивная связь между нейтральными точками производится при помощи трех катушек по схеме, приведенной на рис. 110. Нейтральные точки двух катушек, концы которых соединены с четырьмя нейтральными точками вторичной обмотки трансформатора, соединены с концами третьей катушки и нейтральная точка этой третьей катушки является отрицательным полюсом группы.

НТБ
ДНУЖТ

33. Конструктивное выполнение ртутных выпрямителей

Ртутные выпрямители большой мощности для тяговых железнодорожных подстанций устраиваются металлическими.

Металлические резервуары устраиваются исключительно с заварными швами и приварными фланцами, к которым прикрепляются крышки. При конструировании ртутных выпрямителей приходится особое внимание обращать на плотность прикрепления анодов, катода и крышек, так как при проникновении в сосуд воздуха исправная работа выпрямителя немыслима. В качестве уплотнительного материала служат асбест с ртутным заполнением, резина и свинец. Первый способ дает вполне надежное уплотнение, однако имеет тот недостаток, что периодическое изменение температур со временем разрушает асбестовую прокладку и ртуть проникает внутрь резервуара. Кроме того при нагревании стенок сосуда выделяются со свободной поверхности ртути пары ее, весьма вредные для здоровья.

Резиновые прокладки, будучи упругими, хорошо сопротивляются механическому воздействию, однако требуют достаточно энергичного охлаждения. Свинцовые прокладки имеют то преимущество, что не боятся высокой температуры, но для получения плотности при большой поверхности (анодная крышка, катод) требуется слишком большое усилие для сжатия свинца, что ограничивает сферу применения этого рода уплотнения.

Как аноды, так и катод прижимаются при помощи пружин, что дает равномерное давление по поверхности и обеспечивает плотность при неодинаковом расширении металла и изоляторов. Прикрепление анодов и катода должно обеспечивать легкую отъемку при ремонте.

При переходе от стеклянных ртутных выпрямителей к металлическим возник вопрос, следует ли изолировать дугу от стенок металлического резервуара.

Опытами, произведенными Schenkel-Schottky,¹ была доказана необходимость изолирования катода от металлических стенок сосуда. Изолирование же дуги является излишним. На этом основании ранее распространенные фарфоровые трубки заменены простыми металлическими направляющими трубками, и в настоящее время они ставятся с целью избежать обратного зажигания, так как это в свою очередь дает короткое замыкание двух фаз трансформатора, причем явление имеет разный характер, в зависимости от того, работает ли ртутный выпрямитель один или параллельно с другим источником постоянного тока. В первом случае (рис. 111), когда один анод работает и ток через дугу и катод направляется в сеть и через нейтральную точку проходит по вторичной обмотке трансформатора, допустим, что другой анод отказывается работать и пропускает ток, который образует замкнутое кольцо через оба анода и вторичную обмотку трансформатора; не трудно видеть, что в этот момент потенциалы нейтральной точки и катода одинаковы, почему ток в цепи постоянного тока прерывается и благодаря максимальному выключателю агрегат отключается со стороны высокого напряжения. Во втором случае, несмотря на выключе-

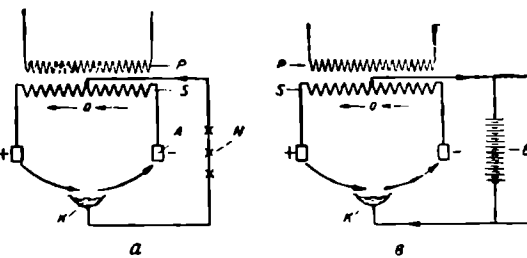


Рис. 111.

¹ Schenkel-Schottky. Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern II. Bd. 1022, стр. 252.

НТБ
ДНУЖТ

чение первичного тока трансформатора, вторая его обмотка продолжает питаться уже со стороны параллельно включенного источника постоянного тока (рис. 111), и для тушения выпрямителя необходимо прервать ток во вторичной обмотке.

Главнейшей причиной обратного зажигания является проникновение посторонних газов и повышение давления в резервуаре, а также сильная конденсация паров ртути на анодах, в виду сильного их охлаждения, причем здесь главную роль играет процесс

перехода паров ртути в жидкое состояние, а не самое присутствие ртути на аноде, так как аноды, покрытые ртутью, как показали опыты, работают вполне исправно.

Упомянутые выше рефлекторы или трубочки вокруг анода, защищая последний от непосредственного влияния паров ртути, значительно предотвращают обратное зажигание. Распространено мнение, что температура анодов, соответствующая красному калению, весьма желательна и не только в целях ослабления конденсации, но и для уменьшения потери в анодах. Однако для функционирования выпрямителя необходима достаточная разница температур анода и катода. Охлаждение анодов встречается в виде водяного охлаждения так же, как и резервуара выпрямителя и катода, однако чаще воздушное посредством увеличения охлаждающей поверхности при помощи ребер. Особенное внимание приходится обращать на охлаждение катода, где количество выделяемой теплоты достигает значительной величины.

Последствием высокой скорости пара (у свободной поверхности ртути катода) является значительное понижение давления в этой части дуги, положительные ионы отрываются вблизи светящегося пятна катода и направляются к стенкам резервуара, большое же количество положительных ионов у стенок сосуда или около анодов и может

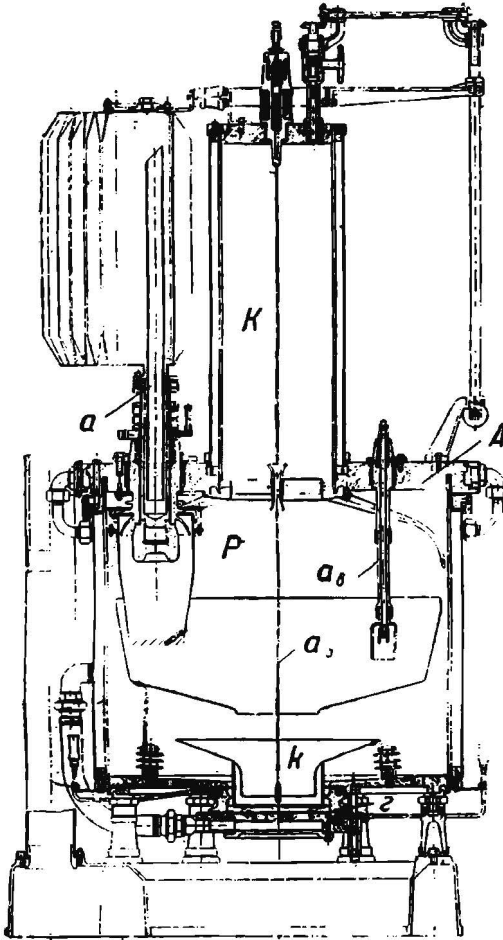


Рис. 112. Ртутный выпрямитель ВВСо.

вызвать обратное зажигание выпрямителя. Все изложенное заставляло придавать сосуду катода, наполненному ртутью, достаточную свободную поверхность и тем понижать скорость паров ртути.

На рис. 112 дан разрез выпрямителя завода Броун-Бовери. Верхний цилиндр *K*, образующий конденсационное пространство, соединяется с нижним цилиндром (рабочим) *P* посредством анодной крышки *A*, на которой устанавливаются аноды *a*, снабженные направляющими металлическими трубками; направо, на чертеже, показан в разрезе анод возбуждения *a₁*. На дне рабочего цилиндра, посредине, устанавливается катодный сосуд *k*, изолированный от металлического сосуда при помощи изоляторов *z*; и прикрепленный на шести изолированных болтах ко дну сосуда. Сверху конденсационный цилиндр закрыт крышкой, на которой укреплен анод зажи-

НТ
ДНУЖТ

гания a_3 . Конденсационный цилиндр вместе с анодной крышкой отнимается от рабочего цилиндра для осмотра и исправления выпрямителя. Аноды изолированы от крышки, на которой они устанавливаются при помощи специальных изоляторов, ясно видимых на упомянутом рисунке. Уплотнение соединения достигается при помощи асбестовых прокладок с заливкой ртутью, как показано на рис. 113. Отверстия в крышке для пропускания анодов образуют заплечики, на которые кладется асбестовая прокладка e , и пространство над ними заливается ртутью g . Затем поверх укладывается резиновое кольцо, прижимаемое плотно при помощи фланца d . Контролируется присутствие ртути при помощи указательного стекла f , через которое производится и заливка ртути. Этот способ уплотнения позволяет иметь разряжение до 0,005—0,0001 мм ртутного столба.

Тот же самый способ уплотнения применен и в местах прикрепления анодной крышки и катодов

Рабочий и конденсационный цилиндры снабжены рубашкой для водяного охлаждения рабочих стенок. Охлаждающая вода поступает у катода и омывает его, а затем стенки рабочего цилиндра поступает в анодную крышку двумя потоками, откуда в конденсационный цилиндр и выходит на верхнем конце его. Так как катод изолирован от рабочего цилиндра, вода из катода направляется к стенкам рабочего цилиндра по резиновой трубке, длиной около 50 см.

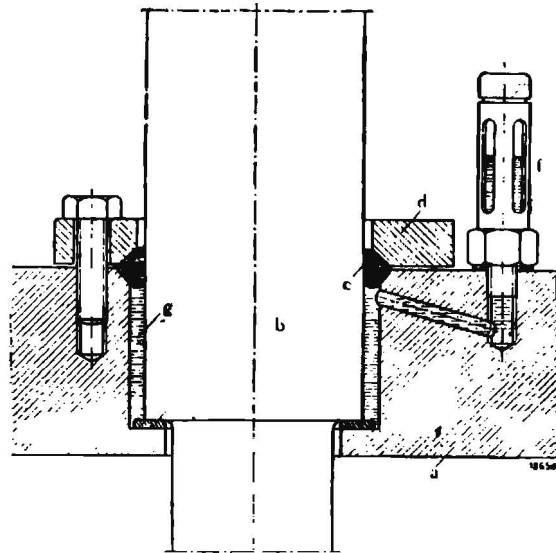


Рис. 113. Уплотнение анодных вводов.

a —анодная крышка, b —проходной изолятор, c —асбестовое кольцо, d —фланец, e —резиновое кольцо, f —сосуд для ртути, g —ртуть.

34. Вспомогательные устройства для ртутных выпрямителей

Вспомогательными устройствами для ртутных выпрямителей являются:

- а) вакуумное оборудование,
- в) оборудование для возбуждения и зажигания выпрямителей,
- с) охлаждение выпрямителей.

а) Вакуумное оборудование.

Полное оборудование для получения необходимого вакуума выпрямителей дано на рис. 114. На этой схеме LP обозначает воздушный насос, приводимый в действие при помощи маленького трехфазного мотора мощностью около 0,3 квт и DP обозначает насос для паров ртути, который, с одной стороны, сообщается с резервуаром выпрямителя через посредство вакуум-вентилей H , а с другой стороны, с так называемым ртутным клапаном, состоящим из цилиндрического железного сосуда QV , в который опускается почти до дна идущая от насоса DP стальная трубка B , длиной 1 400 мм. Через отверстие O на крышке сосуда вводится определенное количество ртути, так, чтобы нижний конец трубки находился бы погруженным в ртуть на несколько миллиметров (около 8 мм). Воздушный насос LP выкачивает воздух из сосуда QV до тех пор, пока давление в резервуаре выпрямителя не достигнет 8 мм, т. е.

НТ
ДНУЖТ

глубины погружения трубки *B* в ртуть, так как давление в самом сосуде ртутного клапана и масляного обратного клапана *OK* можно практически считать достигающим нуля.

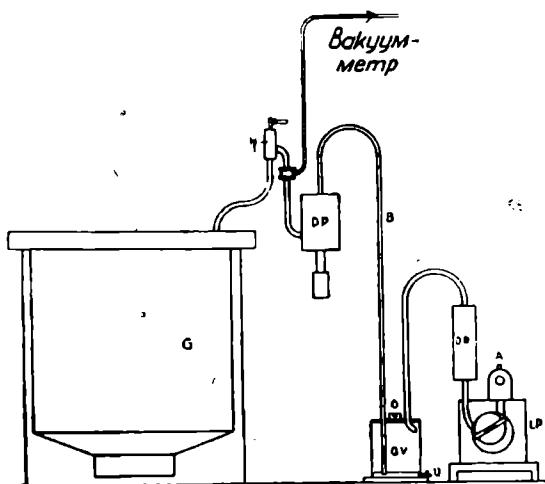


Рис. 114. Вакуумная установка.

Окончательный вакуум в резервуаре выпрямителя в пределах 0,03—0,0001 мм Hg достигается при помощи уже так называемого насоса ртутных паров или вернее инжектора, состоящего из трех конических насадок; насос начинает действовать, как только вакуум достигнет 20 мм Hg. Электрическим током ртуть нагревается и испаряется, пары ртути поступают в конические насадки, расположенные последовательно до трех штук, последняя из коих дает вакуум а 10—4 мм Hg. Для сообщения необходимой теплоты ртути необходим расход в 500—800 ватт. Для правильного функционирования инжектора необходимо достаточное охлаждение

его, которое производится той же водой, что и резервуар выпрямителя. Инжектор следует возможно ближе располагать к резервуару выпрямителя, чтобы уменьшить длину воздухопровода. Инжектор с одной конической насадкой завода AEG показан на рис. 116.

Сосуд вместе с ртутью образует как бы вторичную обмотку трансформатора, первичная же располагается справа и слева; так как сосуд хорошо изолирован, то вся почти теплота, образу-

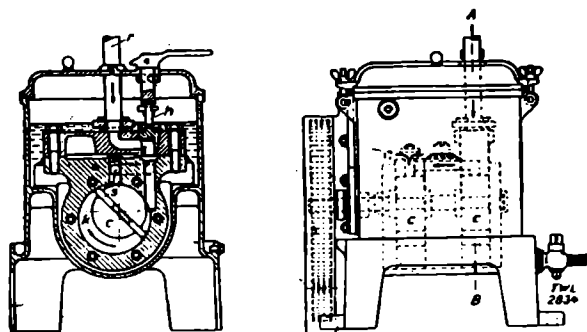


Рис. 115. Вакуумный насос завода AEG.

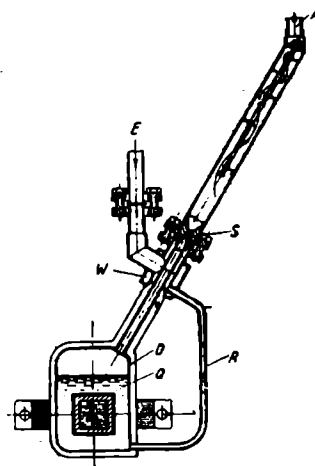


Рис. 116. Ртутный инжектор завода AEG.

A—выходное отверстие для воздуха.
D—сосуд для ртути.
Q—ртуть.
M—магнитный сердечник.
E—отверстие для входа воздуха.
P—первичная обмотка.
R—сток ртути.
W—водяное охлаждение.
S—коническая насадка.

мая индуцированными токами, идет на испарение ртути.

В случае остановки воздушного насоса масло под давлением атмосферного воздуха прогоняется до масляного клапана *OK*, причем он расчитан таким образом, что при заполнении его на $\frac{1}{4}$ начинает засасываться воздух, который, поступая в ртутный клапан, поднимает в трубке *B* ртуть до высоты, соответствующей одной атмосфере, и клапан оказывается закрытым.

НТБ
ДНУЖТ

Для определения вакуума в резервуаре выпрямителя в настоящее время почти исключительно применяется электрический способ измерения, основанный на свойстве газов терять свою теплопроводность с увеличением разрежения.

Схема такого вакуумметра дана на рис. 117.

Платиновая нить GD_1 заключается в стеклянный сосуд, соединенный с резервуаром, где желают измерить вакуум (в данном случае с воздухопроводом между инжектором и резервуаром выпрямителя). Через платиновую нить пропускается ток, для чего достаточно иметь слабое напряжение, получаемое при помощи трансформатора T . С понижением давления в резервуаре теплопроводность воздуха уменьшается и повышается температура платиновой нити; так как сопротивление платины повышается вместе с темпе-

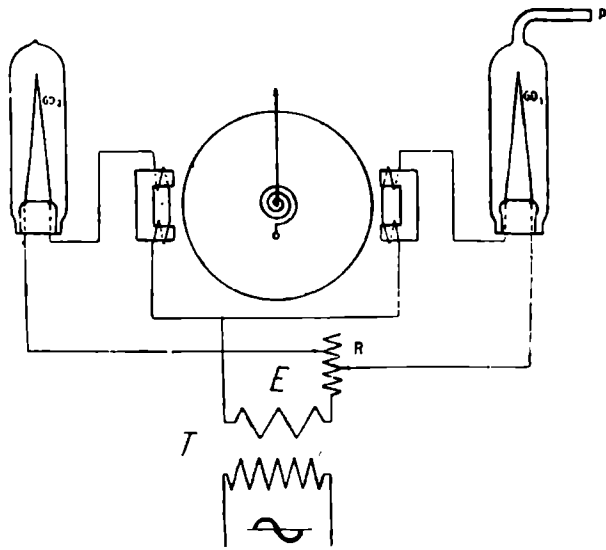


Рис. 117.

ратурой, то при постоянной величине напряжения E сила тока в цепи понижается с ухудшением вакуума. Дабы ослабить влияние изменения напряжения E , одновременно параллельно включается идентичная платиновая нить GD_2 , однако заключенная в замкнутый сосуд с высоким постоянным вакууммом. В каждую цепь включен электромагнит, причем оба магнита действуют в противоположных направлениях, на вакуумметр, представляющий собою в сущности ваттметр Феррариса, высокой чувствительности, чем и исключается влияние колебания напряжения E .

Сопротивление R служит для выравнивания могущей иметь место неполной идентичности платиновых нитей GD_1 GD_2 соединительных проводов и обмоток электромагнитов. Шкала аппарата показывает давление в миллиметрах ртутного столба. Достоинством описанного аппарата является высокая точность измерений по сравнению с вакуумметрами, основанными на принципе барометрических трубок, показания которых зависят от того или иного присутствия паров ртути в резервуаре выпрямителя. Кроме того электрический вакуумметр может быть установлен на распределительном щите, что весьма облегчает обслуживание подстанции. Как только поднимается вопрос об автоматических подстанциях, применение электрических вакуум-

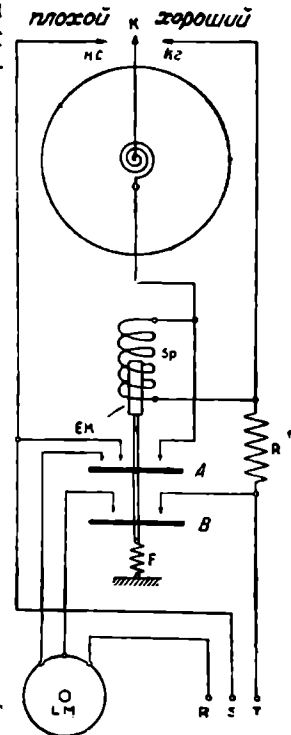


Рис. 118.

НТ
ДНУЖТ

метров становится необходимым, так как он позволяет автоматически, в зависимости от вакуума в резервуаре выпрямителя, включать и выключать насос.

Схема работы такого вакуумметра дана на рис. 118.

Вакуумметр снабжается двумя контактами.

Представим себе, что вакуум ухудшился ниже некоторого установленного для данного выпрямителя предела, подвижной контакт K отклоняется влево и соприкасается с контактом KC , благодаря чему ток направляется из S через упомянутый контакт в электромагнит S_p . Электромагнит втягивает железный сердечник EK и система контактов A и B замыкает цепь, питающую мотор воздушного насоса LM . Насос начинает функционировать, и подвижной контакт K по мере улучшения вакуума приближается к контакту $KГ$; при соприкосновении обоих контактов обмотка электромагнита оказывается короткозамкнутой, ток в ней прекращается и сердечник S_p падает, размыкая контакты A и B и выключая мотор воздушного насоса; инжектор же при автоматической подстанции должен работать все время непрерывно.

Можно поддерживать вакуум в резервуаре выпрямителя на должной высоте, заставляя работать насос лишь через большие промежутки времени следующим образом: между масляным клапаном OR и ртутным клапаном QV ставится резервуар большой емкости с таким же ртутным затвором, как и QV ; этот резервуар служит запасным при остановке воздушного насоса. Представим себе, что в течение 24 часов давление в резервуаре выпрямителя поднимается на $0,01$ мм ртутного столба. Пусть объем запасного резервуара 90 л и резервуара выпрямителя — 360 л. Допустим, что давление в запасном резервуаре может подняться до 4 мм, пока инжектор не откажется работать; в таком случае принятый объем запасного резервуара будет достаточен (при абсолютной плотности его) на $\frac{4 \cdot 90}{0,01 \cdot 360} = 100$ дней. При употреблении таких запасных резервуаров обычно не ставится автоматическое приспособление для пуска воздушного насоса в действие, в виду того, что, как видно из приведенного примера, работа насоса происходит через достаточно продолжительные промежутки времени.

б) Зажигание и вспомогательное возбуждение ртутных выпрямителей. Зажигание и вспомогательное возбуждение выпрямителей в большинстве случаев производятся при помощи переменного тока и редко при помощи постоянного. Зажигание производится при помощи погружения специального анода, который в обычном своем положении не доходит миллиметров на 10 до поверхности ртути катода. На верхнем своем конце этот анод несет железный сердечник и подвешивается при помощи спиральной пружины, являющейся одновременно и проводником. Упомянутый железный сердечник втягивается при прохождении тока по обмотке 2 (рис. 119), и анод погружается в ртуть; при прерывании тока в обмотке электромагнита анод снова поднимается под влиянием пружин, и образуемая при поднимании погруженного в ртуть конца анода дуга зажигает выпрямитель. Для питания электромагнита и анода служит, как указывалось выше, переменный или постоянный ток. В первом случае питание производится при помощи трансформатора.

Прерывание тока при погружении анода зажигания производится от реле 12 (завод Броун-Бовери). При отсутствии тока в первичной обмотке вспомогательного трансформатора 11 контакты реле 1 и 11 замкнуты. При приключении трансформатора к сети протекает ток по обмоткам

НТ
ДНУЖТ

соленоида 2, благодаря чему происходит погружение анода 3 и одновременное размыкание реле 1 и II, устанавливаемого на малую силу тока. Первое реле служит для размыкания тока, проходящего через соленоид, а второе—тока возбуждения. На схеме рис. 119 имеется два анода возбуждения; иногда ставят три анода возбуждения (завод Бергман).

Аноды возбуждения, так же как и главные аноды, устраиваются обычно с направляющими трубками и питаются от особого трансформатора со включенными дроссельными катушками для уменьшения волнообразности тока (соединение обмоток трансформатора треугольник—звезда).

Расход энергии на вспомогательное возбуждение 800—1000 *ватт* (10—12 *амп* при 60 *в*) постоянного тока. Включенные в цепь каждого анода дроссельные катушки делают обратное зажигание между близко стоящими друг к другу анодами, совершенно безвредными; для той же цели вместо дроссельных катушек включают омическое сопротивление в цепь возбуждения постоянным током.

В последнее время некоторые фирмы (Сименс-Шукерт)¹ применяют постоянный ток для зажигания и возбуждения, причем в этом случае для обеих целей служит один лишь анод, который устраивается благодаря большому располагаемому свободному месту значительно более прочным. Вместо пружины для установки анода в известном расстоянии от поверхности ртути катода употребляется железный поплавок в ртути, как изображено на рис. 120, где *a*—железный сердечник, перемещающийся под влиянием катушки *b*, *l*—сосуд для ртути *f*, в который и погружается поплавок *e*. Изолирование производится при помощи фарфорового кольца с двумя прочными резиновыми прокладками *c*. Подвод тока к аноду производится через ртуть, в то время как при пружинном подвешивании требуется либо частая смена пружины, если по ней протекает ток, так как благодаря нагреванию теряется упругость ее, либо требуется особое соединение для питания анода; другой, весьма важной, особенностью поплавок в ртути служит энергичное поглощение колебательных движений анода, которые при совпадении некоторых неблагоприятных условий при переменном погружении и поднимании анода могут при пружинном подвешивании достигнуть значительных размеров.

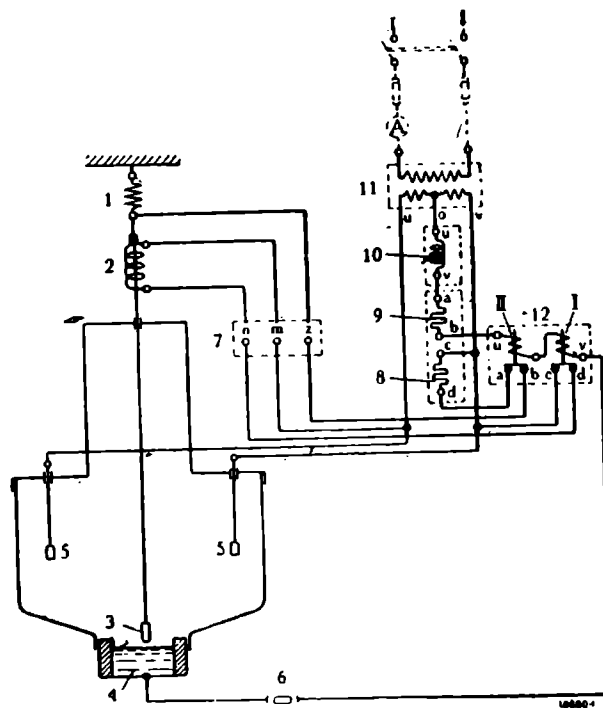


Рис. 119. Схема зажигания переменным током.

- | | |
|----------------------|-------------------------------------|
| 1—пружина. | 8—сопротивления зажигания. |
| 2—катушка зажигания. | 9—сопротивления возбуждения. |
| 3—анод зажигания. | 10—дроссельная катушка возбуждения. |
| 4—катод. | 11—трансформатор возбуждения. |
| 5—анод возбуждения. | 12—трансформатор зажигания. |
| 6—предохранители. | |

¹ См. Siemens Zeitschrift, декабрь 1926. F. Kleist, Zündung und Erregung von Grossgleichrichtern.

НГБ
ДНУЖТ

Постоянный ток для питания анода получается в особом стеклянном ртутном выпрямителе, рассчитанном на напряжение 75 в (включая 10—15 в падения в дуге) на силу тока в 15 амп; в действительности достаточно иметь всего силу тока в 10,5—12 амп. Для спокойного горения дуги включается сопротивление, служащее одновременно для нагревания ртути

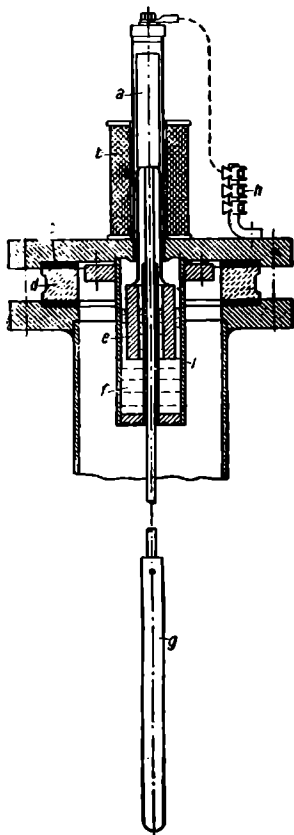


Рис. 120.

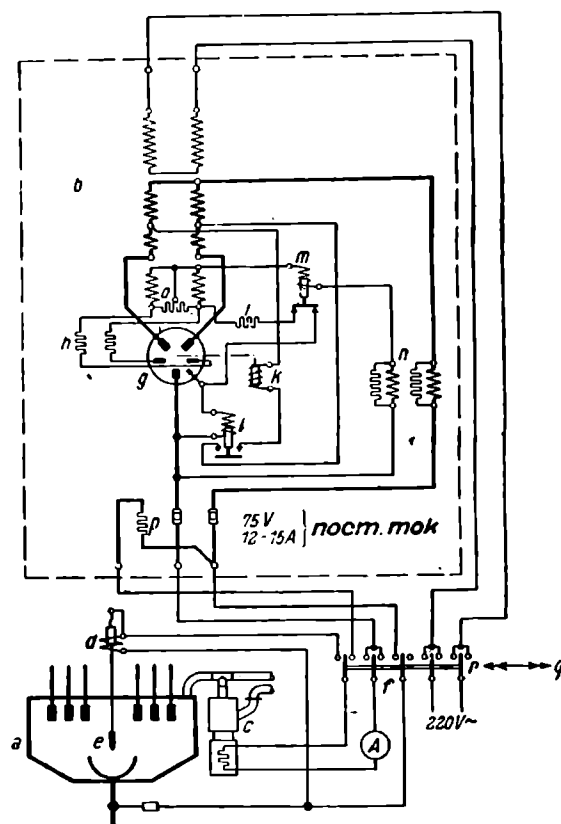


Рис. 121.

в инжекторе. Схема возбуждения и зажигания постоянным током от отдельного ртутного выпрямителя дана на рис. 121, где *a*—главный металлический выпрямитель, *g*—вспомогательный стеклянный выпрямитель, присоединяемый при помощи трансформатора *b* к сети переменного тока (для зажигания и возбуждения вспомогательного выпрямителя служит переменный ток), *K*—магнит для опрокидывания стеклянного выпрямителя, выключение и включение коего производится при помощи реле *h*, и *i*—сопротивления возбуждения и зажигания.

Постоянный ток, получаемый от стеклянного выпрямителя, включается для питания главного выпрямителя при помощи выключателя *f*, рабочее положение его *г*. Анод *e* служит и для зажигания и для возбуждения; для его перемещения служит магнит *d*; *c*—ртутный инжектор, нагревание коего, как выше упоминалось, производится током возбуждения.

Так как стеклянный выпрямитель имеет автоматическое зажигание при помощи опрокидывания, то зажигание главного выпрямителя проис-

НТ
ДНУЖТ

ходит сейчас же, раз только будет включена первичная обмотка трансформатора *b* стеклянного выпрямителя к сети переменного тока.

Для получения постоянного тока зажигания и возбуждения иногда употребляют маленькую преобразовательную группу, состоящую из асинхронного мотора, соединенного с динамо.

Вообще же следует отметить, что в крупных установках с ртутными выпрямителями, в частности на железнодорожных подстанциях, для зажигания и возбуждения пользуются по преимуществу переменным током; так как присутствие особого вспомогательного выпрямителя для получения постоянного тока все же является одной из лишних причин неисправности подстанции и остановки ее.

в) Охлаждение ртутных выпрямителей. Мы уже выше отметили, какую огромную роль играет рациональное охлаждение ртутного выпрямителя и ртутного насоса: только путем поддержания температуры в определенных границах (для самого выпрямителя 50°C и для ртутного насоса 40°C) можно добиться безукоризненной работы агрегата.

Что касается ртутного насоса, то благодаря сравнительно небольшому количеству теплоты, подлежащему отводу, расход воды ничтожен, и охлаждение обычно производится непосредственно свежей водой; это позволяет даже при наибольшей мощности поддерживать достаточно низкую температуру насоса. Расход воды выражается около $0,7$ л/мин при температуре охлаждающей воды в 15°C .

Для отвода теплоты, развиваемой в ртутном выпрямителе, существуют следующие способы охлаждения:

- 1) непосредственное охлаждение свежей водой,
- 2) косвенное охлаждение свежей водой,
- 3) обратное охлаждение воды воздухом.

1. Непосредственное охлаждение свежей водой

Этот способ охлаждения является наиболее простым и дешевым в смысле первоначальных затрат, однако требует наличия достаточного количества охлаждающей воды, не содержащей осадков и извести. Схема установки дана на рис. 122, где *A*—автоматический клапан, *a*—вентиль с маховичком для регулирования притока воды. Свежая вода поступает по трубе *I* и разветвляется: часть идет в ртутный выпрямитель *GR*, а часть в насосный агрегат *L*; вода стекает по воронкам в сточную трубу *II*.

Автоматический клапан *A* устанавливается на автоматических подстанциях; работает он при помощи электромагнита, втягивающего железный сердечник и открывающего проход воде, как только выпрямитель начинает работать и по обмотке электромагнита протекает ток. При выключении выпрямителя водяной клапан автоматически запирается.

Расход воды в минуту составляет 1 л на 100 амп при температуре поступающей воды в 15°C .

Описанный способ охлаждения применен на многих железнодорожных подстанциях в 1600 в и с успехом применяется в установках до 2000 в.

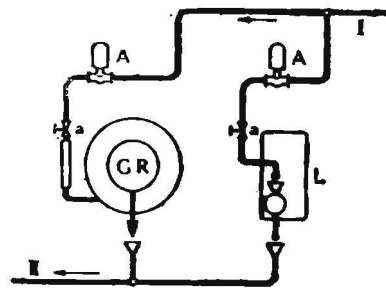


Рис. 122. Схема охлаждения ртутного выпрямителя из водопровода.

GR—ртутный выпрямитель.
L—воздушный насос.
I—подводящая сеть.
II—отводящая сеть.

2. Косвенное охлаждение свежей водой

Этот способ охлаждения отличается от предыдущего тем, что свежая вода омывает лишь холодильник, в котором производится охлаждение воды, омывающей уже ртутный выпрямитель. Косвенное охлаждение применяется всюду там, где в распоряжении имеется только сильно загрязненная вода, годная лишь для холодильника; стенки же выпрямителя омываются очищенной водой, скопляющейся в холодильнике, и оттуда при помощи насоса *P* снова прогоняемой в выпрямитель. Схема косвенного охлаждения дана на рис. 123. Жирными линиями на чертеже показана циркуляция воды, собственно охлаждающей ртутный выпрямитель, с упомянутым выше насосом *P*. Охлаждение этой воды производится в холодильнике *K*. Добавление в случае надобности воды в систему, а также наполнение ее производится через трубу *h*, а опорожнение — через *c*, обычно закрытую вентилем *d*. Расширительный сосуд *E* имеет сток в общую сточную систему *f*, куда поступает также вода, омывающая холодильник. Расход воды при этой системе охлаждения тот же, что и в случае непосредственного охлаждения. В обоих

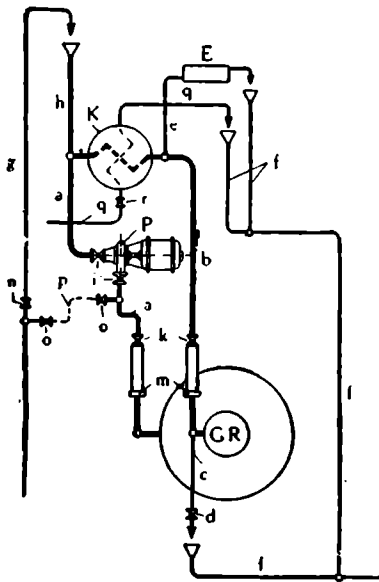


Рис. 123. Схема косвенного охлаждения ртутного выпрямителя.

случаях ртутный выпрямитель изолируется от земли при помощи резиновой трубки длиной до 1 м, холодильная же установка заземляется.

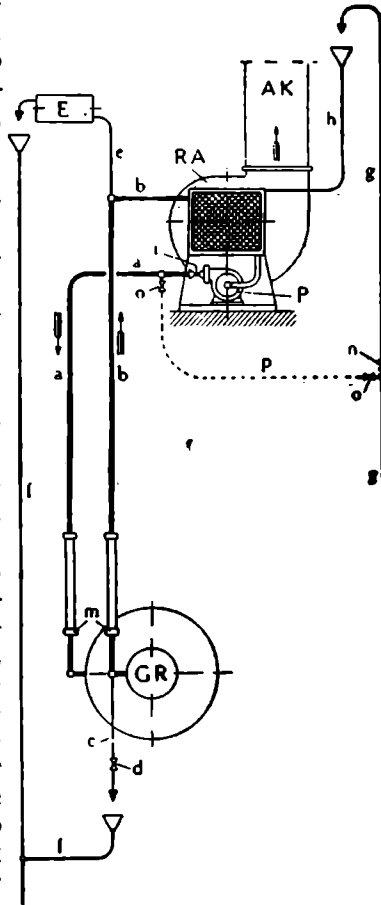


Рис. 124.

3. Воздушное охлаждение воды

Этот способ применяется там, где отсутствует вода для холодильника, но главным образом этим способом пользуются при напряжениях свыше 2000 в. До 2000 в напряжения постоянного тока в водопроводную сеть включаются, как было выше упомянуто, изолирующие резиновые трубки; при более высоких напряжениях приходится в случае нормальной работы выпрямителя отказываться от охлаждения из водопровода для того, чтобы избежать соединения всей установки с землей, и прибегают к воздушному охлаждению воды. Схема этого способа охлаждения дана на рис. 124. На этой схеме *RA* обозначает холодильник, снабженный вентилятором, приводимым в действие электромотором, связанным при помощи изолированной эластичной муфты. Жирными линиями на схеме показана водопроводная

НИИ
ДНУЖТ

система, служащая для охлаждения выпрямителя GR ; для слива воды из системы служит вентиль d , расположенный над воронкой сливной трубы f ; расширительный сосуд E имеет сток излишней воды в ту же трубу f . Для наполнения системы свежей водой или охлаждения выпрямителя непосредственно свежей водой в экстренных случаях служит труба h с воронкой, куда поступает вода из водопровода g . Весь агрегат изолирован по отношению к земле.

35. Железнодорожные подстанции с ртутными выпрямителями

Впервые ртутные выпрямители на железнодорожных подстанциях появляются в 1919/20 г. на франц. Южных жел. дор. мощностью по 600 *квт* при напряжении 1575 *в* (в регулярной службе с 1923 г.); в 1925 г. начинается постройка подстанций с ртутными выпрямителями в Голландии, мощность каждого агрегата достигает уже 750 *квт*, при напряжении 1500 *в*, а также для японских жел. дор. напряжением в 1500 *в* (первоначальное напряжение 1200 *в*).

В то время как развитие вращающихся машин при повышении напряжений встречает серьезные затруднения в смысле надежной изоляции коллекторов, ртутные выпрямители, как-раз наоборот, становятся наиболее выгодными именно при высоких напряжениях и начинают быстро распространяться для дорог напряжением 3000 *в* (подстанция Apice FF. SS Roma Elettificazione Benevento Foggia два агрегата по 850 *квт*) и наконец для напряжения 4000 *в* (подстанция Cirié жел. дор. Torino Cérés—Lanzo).

Широкое развитие электрификации жел. дорог постоянного тока в последние годы сопровождалось ростом подстанций с ртутными выпрямителями. Последние установлены на подстанциях франц. Южных жел. дор. Париж—Орлеан, жел. дороге Torino—Cérés—Lanzo, FF. SS. Roma—Benevento Foggia, нидерландских и японских жел. дор., London, Mailand and Scottish Rg, Victorian Railway (Австралия) и New South Wales Gouvernement Railway (Австралия) Gonguista—Puertollano—Garril Zumaya (Испания). Наконец при электрификации берлинских пригородных жел. дорог установлены ртутные выпрямители на 42 подстанциях общей мощностью 100800 *квт*.

Ртутные выпрямители оказались весьма пригодными на железнодорожных подстанциях благодаря способности выдерживать значительные перегрузки. На рис. 125 дана зависимость между перегрузкой выпрямителя (в процентах от нормальной) и временем, в течение коего может быть допущена эта перегрузка.

Перегрузка в 25% может быть допущена в течение получаса и в 50% в течение 15 мин. Кратковременная перегрузка может быть допущена до 200%. Благодаря способности ртутных выпрямителей выдерживать значительное время перегрузку при оборудовании ими железнодорожных подстанций, можно устанавливать меньшую мощность, что уменьшает стоимость первоначального оборудования; последнее является особенно важным благодаря и без того высоким первоначальным затратам, вызываемым электрификацией жел. дорог.

Вторым важным преимуществом подстанций с ртутными выпрямителями является их высокий коэф. п. д., почти независимый от нагрузки подстанции. Это является следствием особого характера работы вы-

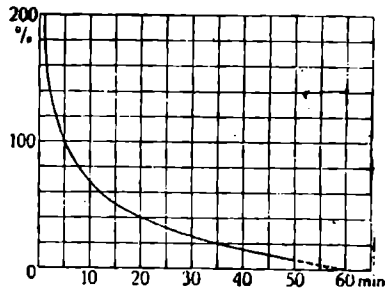


Рис. 125. Перегрузка ртутного выпрямителя в зависимости от времени.

прямителя, глубоко отличного от характера работы других преобразователей — вращающихся машин. Выпрямление тока происходит в ртутных выпрямителях путем работы как бы особого клапана, пропускающего ток одного направления. Здесь совершенно отсутствуют потери в железе и механические потери (трение). Вместо потерь в меди, имеющих место в умформерах, мы имеем тут иного рода потери. Это — потеря в дуге, но оба рода потерь имеют глубокую разницу: во вращающихся

машинах омическое падение напряжения пропорционально I силе тока:

$$\epsilon = IR,$$

где R — внутреннее сопротивление машин; таким образом потери

$$P = \epsilon I = I^2 R,$$

т. е. пропорциональны квадрату силы тока.

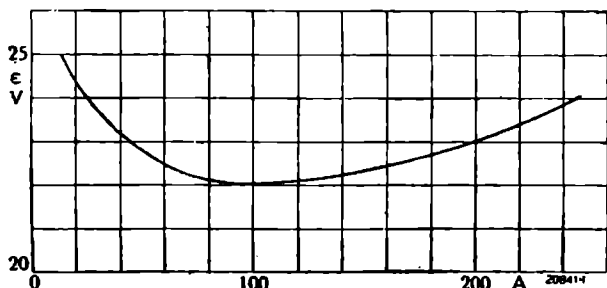


Рис. 126. Кривая падения напряжения в ртутном выпрямителе.

не зависит от силы тока; общее падение напряжения в зависимости от силы тока может быть изображено в виде некоторой кривой, имеющей минимум 23 в при силе тока 100 ампер при хорошем вакууме (рис. 126).

Потери в самом ртутном выпрямителе

$$P = \epsilon I$$

пропорциональны первой степени силы тока; таким образом коэф. п. д. получается постоянным при всяких нагрузках и тем выше, чем выше напряжение. Это ясно видно из формулы, выражающей коэф. п. д. ртутного выпрямителя

$$\eta = \frac{IE}{IE + I\epsilon} = \frac{E}{E + \epsilon}.$$

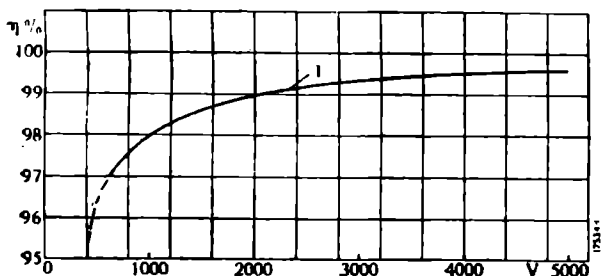


Рис. 127. Коэф. п. д. ртутного выпрямителя в зависимости от напряжения.

Принимая падение напряжения внутри ртутного выпрямителя равным 20—25 в, легко построить кривую коэф. п. д. в зависимости от напряжения. Эта кривая дана на рис. 127 для напряжений от 500 до 5000 в. Для напряжений в 1500 и 3000 в, имеющих место в железнодорожной практике, коэф. п. д. достигает соответственно около 98,7 и 99,3%. Для получения общего коэф. п. д. подстанции сле-

дует учесть потери в трансформаторе и вспомогательном оборудовании.

В зависимости от выбора трансформатора можно менять вид кривой, выражающей коэф. п. д. полной установки при различных нагрузках. При установках, где имеет место длительная работа при слабых нагрузках, следует брать трансформатор с малыми потерями в железе, что увеличит коэф. п. д. его при малых и средних нагрузках. Благодаря постоянству коэф. п. д. подстанций с ртутными выпрямителями, при широких колеба-

НИИ
ДНУЖТ

ниях нагрузки средний коэф. п. д. за сутки (или годовой) получается выше, чем у других подстанций. Это имеет огромное значение при высокой цене на электрическую энергию и дает себя особенно чувствовать при сильно неравномерной нагрузке. В качестве примера приведем сравнение работы мотор-генераторов и ртутных выпрямителей на подстанции Ciriè жел. дороги Torino—Lanzo—Cèrès длиной 42,8 км. Около середины этого участка располагается упомянутая и единственная на дороге подстанция, служащая для преобразования трехфазного тока 22 000 в—50 периодов в постоянный ток 4 000 в; она оборудована двумя мотор-генераторами по 715 квт и одним ртутным выпрямителем мощностью 800 квт, причем последний имеет характеристику, допускающую параллельную работу с мотор-генераторами. Нагрузка подстанции носит крайне неравномерный характер; для сравнения работы мотор-генераторов и ртутного выпрямителя были выбраны два дня с одинаковой суточной нагрузкой; измеренный расход энергии со стороны первичного тока и постоянного тока (см. таблицу XVI), что средний суточный коэф. п. д. подстанции с мотор-генераторами составляет 79,5%, тогда как при ртутных выпрямителях достигает 94%. Полученная экономия в расходе электрической энергии в 15½% является весьма существенным преимуществом подстанций с ртутными выпрямителями.

ТАБЛИЦА XVI

Показатели	Мотор-генератор	Ртутный выпрямитель
	16/VII 1924 г.	16/VII 1925 г.
Показание счетчика со стороны первичного тока	7 617 квт/ч	6 435 квт/ч
Показание счетчика постоянного тока	6 050	6 050
Коеф. п. д. за сутки	79,5%	94,0%
Продолжительность работы	20 часов	20 часов

При оборудовании подстанций франц. Южных жел. дор. ртутными выпрямителями завод Броун-Бовери гарантировал общий коэф. п. д. всей установки между шинами высокого напряжения и шинами постоянного тока т. е. с учетом всего вспомогательного оборудования.

при мощностях 1 800 квт 1 200 квт 600 квт и 300 квт
 что составляет ¾ ¼ ¼ ¼ нормальной мощности
 коеф. п. д. 95% 95,1% 94,5% и 92%

При этом было гарантировано при постоянном первичном напряжении при колебаниях нагрузки от 1/10 нормальной до 300% падение напряжения в 7%, а именно:

при нагрузках 10% или 120 квт напряжения 1 685 квт
 100% 1 200 " 1 575 "
 200% 2 400 " 1 465 "
 300% 3 600 " 1 356 "

При испытаниях производилось измерение отданной энергии со стороны постоянного тока и израсходованной со стороны трехфазного тока, и по этим данным определялся коэф. п. д.

Результаты испытания оказались следующие:

При нагрузке	¾	¼	¼	¼
Мощность со стороны переменного тока	1 670	1 325	692	350 квт
Первичное напряжение	7 600	7 650	7 725	7 775 в
Первичный ток	131	102	54,5	30,0 амп
Постоянный ток	1 010	790	403	195 "
Напряжение	1 569	1 598	1 642	1 671 в "
Отданная мощность	1 585	1 262	655	326 квт
сов φ	0,965	0,962	0,905	0,805
Коеф. п. д.	95,0%	95,3%	94,7%	93,2%
Гарант. коеф. п. д.	95,0%	95,1%	94,5%	92,0%

НТБ
ДНУЖТ

Таким образом коэф. п. д. при нормальной нагрузке и ниже нормальной получился в действительности выше гарантированного.

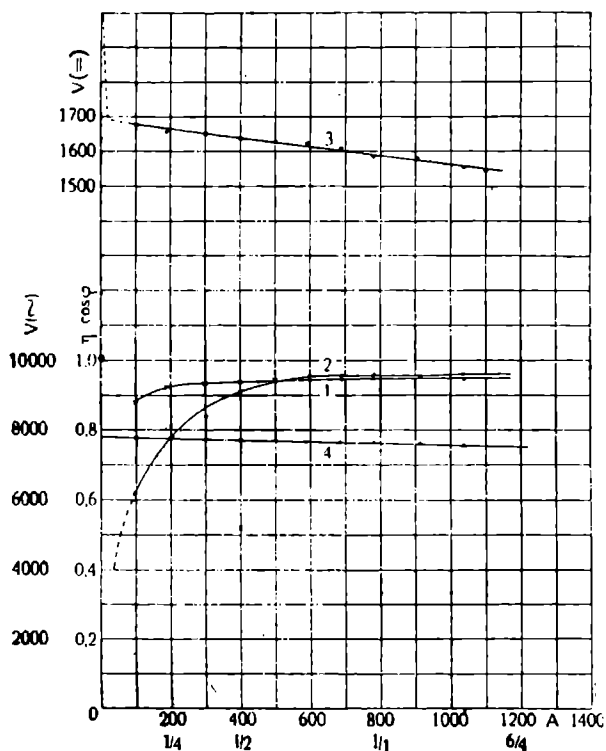


Рис. 128. Результаты испытания ртутного выпрямителя.

1—коэф. п. д. 2—сдвиг фаз. 3—напряжение постоянного тока.
4—первичное напряжение.

измеренная на анодной крышке, достигала 35°C ; таким образом, результаты испытания подтвердили способность ртутных выпрямителей выдерживать значительную перегрузку, при этом сохраняя достаточно высокий коэф. п. д. и малое падение напряжения. Не менее важное значение для железнодорожной службы имеет способность ртутных выпрямителей выдерживать короткие замыкания. На заводских испытаниях выпрямитель выдерживал 10 коротких замыканий с промежутком времени между ними в 1 минуту, но при этом выпрямитель работал на водяное сопротивление W (см. схема на рис. 129), затем при коротком замыкании посредством рубильника F включалось сопротивление E , равное $0,0001, 0,006, 0,009 \text{ ом}$, и выключение производилось максимальным быстродействующим выключателем.

На рис. 130 дана осциллограмма, снятая при коротком замыкании.

Все перечисленные преимущества ртутных выпрямителей, небольшая стоимость их и в то же время малые затраты на ремонт, благодаря от-

Напряжение постоянного тока при слабой нагрузке (около 100 амп) равнялось 1680 в и при полной нагрузке приведенное к тому же первичному напряжению 7800 в равнялось 1632 в . Падение напряжения составляет:

$$\frac{1680 - 1632}{1680} 100 = 2,9\%$$

против гарантированных 7% .

Результаты испытания приведены на рис. 128, где кривая 1 обозначает коэф. п. д., 2—сдвиг фаз ($\cos \varphi$), 3—напряжение постоянного тока и 4—напряжение переменного (первичного) тока в зависимости от нагрузки выпрямителя.

Для проверки работы установки при перегрузке, агрегат ртутного выпрямителя был перегружен на 50% в течение трех часов, и через каждые полчаса в течение $5-6$ минут нагрузку поднимали еще на 1200 амп , что составляет перегрузку на 200% . Вакуум колебался при этом между $0,002-0,03 \text{ мм}$ ртутного столба, и температура,

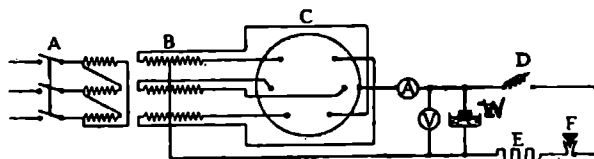


Рис. 129. Схема испытаний ртутного выпрямителя.
A—амперметр.
B—трансформатор.
C—ртутный выпрямитель.
D—быстрод. выключатель.
E—сопротивление.
F—рубильник.

НТ
ДНУЖТ

сутствию вращающихся частей, простота обслуживания и пуска в ход, вплоть до полной автоматизации, и явились причинами столь широкого распространения их как на городских, пригородных, так и магистральных жел. дорогах.

Прежде чем перейти к описанию железнодорожных подстанций, оборудованных ртутными выпрямителями, остановимся сначала на обыч-

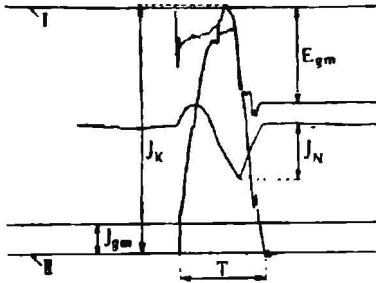


Рис. 130. Осциллограмма короткого замыкания.

- I* — нулевая линия напряжения постоянного тока.
- II* — нулевая линия силы тока.
- E_{gm} — напряжение постоянного тока, равное 1780 в.
- J_{gm} — сила тока при нормальной нагрузке 820 амп.
- J_k — сила тока при коротком замыкании, равная 6700 амп.
- J_n — первичный ток на трансформаторе 1020, амп.
- T* — продолжительность короткого замыкания равная 0,0163 сек.

ной схеме присоединения как самого выпрямителя, так и вспомогательных приборов. На рис. 131 дана схема завода ВВС. Первичная обмотка трансформатора соединяется с шинами высокого напряжения через треншалтеры 1 и масляный выключатель 2 с нулевым и максимальным выключением; для измерения потребляемой энергии выпрямителем устанавливают за масляником измерительные приборы (не показанные на схеме), вольтметр, амперметр и счетчик с соответствующими трансформаторами тока и напряжения и предохранителями. Дроссельные катушки устанавливаются обычно также между масляником и первичной обмоткой трансформатора. В этом случае дроссельные катушки имеют своей целью не только вызвать перекрытие одной фазы другой, но и защиту трансформатора. И только завод ВВС, как мы видели ранее, применяет дроссельные катушки 4 в нулевом проводе. Обмотки трансформатора соединены: первичные — звездой (обычное соединение завода ВВС), и вторичные образуют две звезды, соединенные с шестью анодами выпрямителя 5. Нулевой провод образует отрицательный полюс и соединяется с соответствующей шиной, а катод через посредство мгновенного выключателя 7 и треншалтера соединяется с положительной шиной; для измерения силы и напряжения постоянного тока служат амперметр 6 и вольтметр 28.

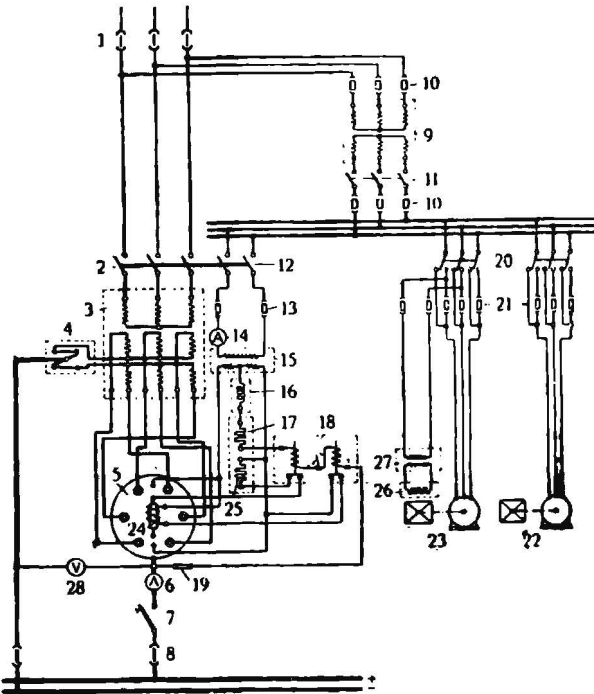


Рис. 131. Схема соединения ртутного выпрямителя.

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1 — треншалтер. | 14 — амперметр. |
| 2 — масляник. | 16 — трансформат. возбуждения. |
| 3 — главный трансформатор. | 18 — дросс. катушка |
| 4 — дроссельная катушка. | 17 — сопротивл.с. возбуждения. |
| 5 — ртутный выпрямитель. | 18 — реле. |
| 6 — амперметр. | 19, 21 — предохранители. |
| 7 — быстрос. выключатель. | 20 — рубильник. |
| 8 — треншалтер. | 22, 23 — насосы. |
| 9 — вспомогат. трансформатор. | 24, 25 — зажигание. |
| 10 — предохранители. | 26 — нагреват. прибор ртутного инжектора. |
| 11 — трехполюсный рубильник. | 27 — трансформатор. |
| 12 — рубильник | 28 — вольтметр. |
| 13 — предохранители | |

НТБ
ДНУЖТ

Для питания вспомогательной цепи от главных шин служит трансформатор 9, включение коего к вспомогательным шинам производится рубильником 11. Со стороны первичной шины и вторичной обмотки трансформатора установлены предохранители 10.

При помощи рубильника 12 приключается к дополнительным шинам вспомогательное оборудование для зажигания и возбуждения выпрямителя, описанное ранее, со своим трансформатором возбуждения 15, средняя точка вторичной обмотки коего соединяется через дроссельную катушку 16, омическое сопротивление 17 и через реле 18 с положительной шиной. При помощи рубильников 20 соединяются с дополнительной шиной водяной насос 22 и воздушный насос 23; нагревание ртути для работы ртутного насоса (инжектора) производит ток, получаемый от особого трансформатора 27 и направляемый через омическое сопротивление 26.

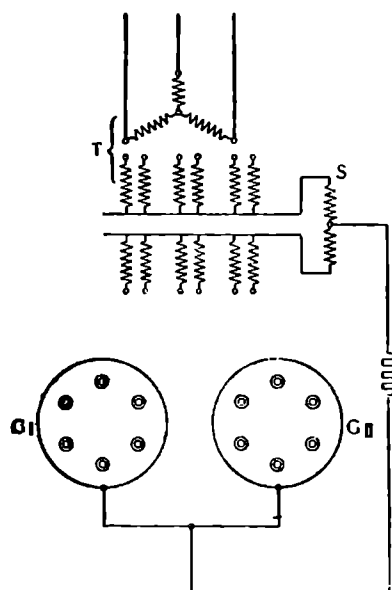


Рис. 132. Схема параллельного соединения двух ртутных выпрямителей на один трансформатор.

T — трансформатор, O — ртуть,
S — дросс. катушка — выпрямитель

При параллельной работе нескольких выпрямителей может быть установлено по одному трансформатору для каждого выпрямителя, или же несколько выпрямителей могут питаться от одного трансформатора. В первом случае мы имеем параллельно приключенными трансформатор, выпрямитель и дроссельную катушку; общий реактанс получается достаточно большим, почему рабочая характеристика, т. е. зависимость напряжения от силы тока, имеет достаточное падение и дает устойчивую параллельную работу нескольких агрегатов. Во втором случае, когда несколько выпрямителей присоединяются к одному трансформатору, мы имеем в каждом ответвлении только один выпрямитель с его повышающейся характеристикой, не допускающей параллельной работы.

Надо иметь в виду, что напряжение дуги уменьшается с увеличением силы тока, а так как это напряжение является падением напряжения в цепи выпрямителя, то отсюда следует, что характеристика одного выпрямителя выражается некоторой кривой, ординаты которой, представляющие напряжение на борнах, повышаются с увеличением силы тока.

Существует еще один способ параллельного соединения выпрямителей, заключающийся в том, что для каждой пары выпрямителей устраивается один общий трансформатор, но с двумя отдельными вторичными обмотками с одной или с двумя дроссельными катушками (рис. 132). В этом случае параллельная работа двух выпрямителей обуславливается реактансом вторичной обмотки. Эта система имеет выгоды в случае параллельного включения двух шестифазных выключателей или одного двенадцатифазного. Употребление особой дроссельной катушки для каждого выпрямителя значительно улучшает параллельную работу выпрямителей; в этом случае, кроме реактанса потоков рассеивания вторичной обмотки трансформатора, входит половина реактанса дроссельной катушки, а так как последний имеет по сравнению с первым реактансом весьма значительную величину, то параллельная работа по этой схеме значительно устойчивее даже при малых нагрузках.

НТБ
ДНУЖТ

В железнодорожной службе исключительно применяются отдельные трансформаторы для каждого ртутного выпрямителя, что, как мы видели, дает наиболее устойчивую параллельную работу.

В железнодорожной службе приходится считаться с короткими замыканиями, но помимо того сильная неравномерность нагрузки, характеризующаяся пиками, в несколько раз превышающими среднюю нагрузку, может вызвать при недостаточном вакууме обратное зажигание, последствием чего является, как мы видели в предыдущем параграфе, короткое замыкание внутри самого выпрямителя, и вторичной обмоткой трансформатора. Сила тока при коротком замыкании может достигь огромной величины и вызвать появление громадных усилий, отталкивающих одни витки трансформатора от других. Для предупреждения разрушения обмоток трансформатора устанавливаются особые нажимные кольца с пружинами, воспринимающими указанные выше продольные усилия.

Устройство трансформаторов с высоким напряжением короткого замыкания, а равно включение индукционных катушек с высоким коэф. самоиндукции, уменьшают силу тока при коротком замыкании, однако вызывают большое падение напряжения при повышении нагрузки от 0 до нормальной, что является нежелательным.

36. Защита подстанций с ртутными выпрямителями

В железнодорожной службе с ее характерными резкими колебаниями нагрузки приходится особенно учитывать неизбежные случаи обратного зажигания выпрямителя и принимать меры для автоматического выключения неисправного агрегата.

Как уже ранее указывалось, обратное зажигание в ртутном выпрямителе дает короткое замыкание двух фаз трансформатора, причем происходящие явления имеют разный характер в зависимости от того, работает ли ртутный выпрямитель один или параллельно с другими ртутными выпрямителями или преобразователями. В первом случае образуется замкнутое кольцо между анодами и вторичной обмоткой трансформатора, и ток во внешней цепи прерывается, и для тушения дуги достаточно прервать первичный ток. В случае же параллельной работы ртутного выпрямителя с другими выпрямителями или другими преобразователями тока, даже при выключении первичного тока у большого выпрямителя, вторичная обмотка продолжает питаться уже со стороны параллельно работающих преобразователей. Этот случай и представляет, собственно говоря, практический интерес. Задачей защиты на случай обратного зажигания является выключение большого преобразователя со стороны первичного тока и со стороны постоянного тока, причем это выключение должно быть выполнено столь быстро, чтобы остальные преобразователи, работающие в это время на короткое замыкание, не были выключены.

Для защиты ртутных выпрямителей употребляются¹: а) селективная защита при помощи реле обратного тока и б) дифференциальные реле.

а) Селективная защита при помощи реле обратного тока. В случае обратного зажигания (рис. 133), ток направляется из положительной шины в катод, т. е. имеет противоположное направление тому, которое характерно для нормальной работы. Не трудно видеть, что это направление тока возможно только при обратном зажигании, и для отключения большого выпрямителя достаточно установить одно или два

¹ См. BBC Mitteilungen, Baden, № 7, 1928. Die selektive Abschaltung von Quecksilberdampf-Gleichrichtern bei Rückzündungen. E. Kern.

НТБ
ДНУЖТ

реле обратного тока на шинах постоянного тока и при помощи их иметь выключение масляника со стороны первичного и постоянного тока.

При непосредственном выключении необходимо считаться с тем, что в момент обратного зажигания напряжение на стороне первичного тока сразу падает, почему для большей надежности работы предпочтительно выключение производить от трансформатора тока *SW* (рис. 134), включающего перед первичной обмоткой силового трансформатора, а не от трансформатора напряжения.

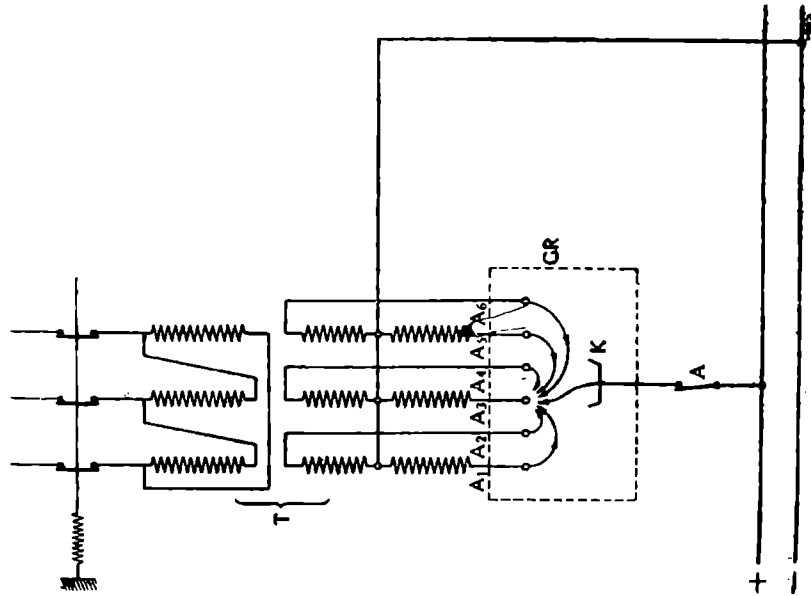


Рис. 133. Токи при обратном зажигании.

A—*A*₄—диоды.
K—катушка.
T—трансформатор.
GR—ртутный выпрямитель.

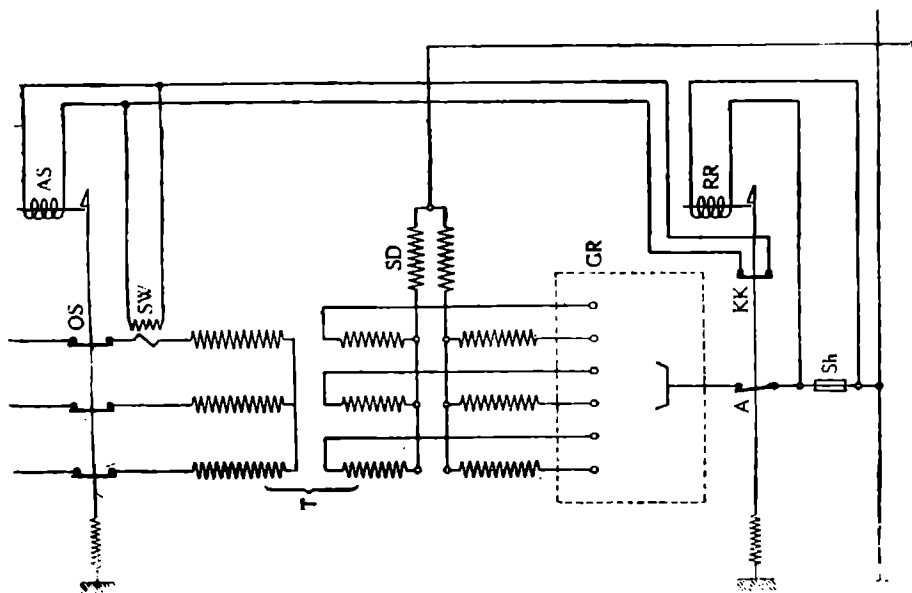


Рис. 134. Селективная защита ртутного выпрямителя.

A—выключ. пост. тока.
SD—дрос. катушка.
Sh—шунт.
GR—ртутный выпрямитель.
OS—масляник.
RR—реле обратного тока.
T—трансформатор.

На рис. 134 дана схема защиты при помощи реле обратного тока *RR*, в цепи постоянного тока и действующее непосредственно на

НТ
ДНУЖТ

выключатель постоянного тока A , который в свою очередь прерывает ток реле AS масляника в первичной цепи. Описанная система отличается большой простотой, однако имеет следующий недостаток: выключение имеет место лишь в том случае, когда в кабеле постоянного тока, соединяющем катод с положительной шиной, протекает ток обратного направления, поэтому, если на подстанции работает всего лишь один выпрямитель, эта защита перестает работать, и отключение производится уже от реле максимального тока, что требует большего промежутка времени от момента обратного зажигания до момента затухания дуги, и замедление в выключении ртутного выпрямителя вызывает повреждение электродов: установки же реле

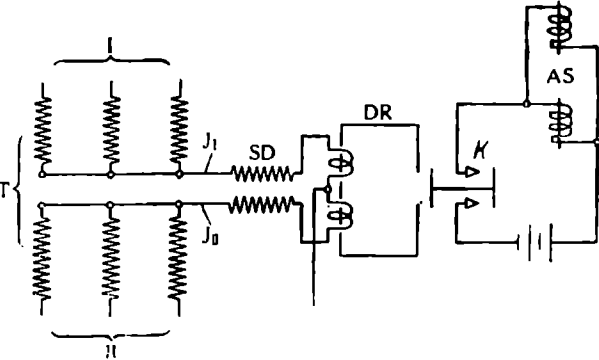


Рис. 135.

максимального тока на мгновенное выключение следует избегать, так как в таком случае при коротких замыканиях в контактной сети будет отключаться не большой участок, а вся подстанция.

б) Дифференциальная защита. Устанавливая отсасывающие катушки и разбивая таким образом шесть или двенадцать фаз на отдельные симметричные группы, можно пользоваться для защиты ртутного выпрямителя дифференциальными реле. При обратном зажигании какого-либо анода происходит нарушение симметрии в трехфазных группах вторичной обмотки силовых трансформаторов; токи J_1 и J_2 , протекающие по обмоткам дифференциального реле, оказываются неодинаковыми и вызывают замыкание контакта K в цепи выключающей катушки (рис. 135).

Следует также отметить, что дифференциальная защита дает возможность выключить выпрямитель не только в случае обратного зажигания, но и в случае неисправности в самом агрегате; так, в специальной литературе отмечен случай, когда при коротком замыкании в дроссельной катушке произошло благодаря получившейся диссимметрии, выключение неисправного выпрямителя.

37. Параллельная работа ртутных выпрямителей с другими преобразователями

Допустим, что на станции установлены мотор-генераторы и выпрямители. Для того чтобы иметь в среднем более высокий коэф. п. д. всей установки, следует стремиться, чтобы мотор-генератор работал длительно при полной нагрузке, при этом пики снимаются ртутными выпрямителями. Характеристика мотор-генератора должна в таком случае иметь большее падение напряжения, нежели ртутный выпрямитель, и кроме того характеристика холостого хода мотор-генератора должна лежать несколько выше выпрямителя, примерно как показано на рис. 136, где V_1 —характеристика ртутного выпрямителя и V_2 —мотор-генератора. Как не

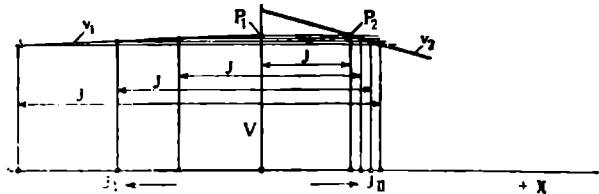


Рис. 136. Распределение нагрузок между ртутным выпрямителем и мотор-генератором.

V_1 —характеристика ртутного выпрямителя.
 V_2 —характеристика мотор-генератора.
 J —общая сила тока ($J = J_1 + J_n$).

Видно, что при параллельной работе ртутного выпрямителя и мотор-генератора нагрузка распределяется так, что мотор-генератор работает при полной нагрузке, а пики снимаются ртутными выпрямителями.

трудно видеть из этой диаграммы, при нагрузке P_1 P_2 соответствующей нормальной мощности мотор-генератора (сила тока J), работает один мотор-генератор; при дальнейшем увеличении мощности избыточная нагрузка снимается почти исключительно выпрямителем при слабой перегрузке мотор-генератора. Если необходимо равномерное распределение нагрузок между мотор-генератором и ртутным выпрямителем при различной величине общей нагрузки, то таковое обычно достигается изменением напряжения генератора путем изменения его возбуждения. Если же это не должно иметь места, то меняется напряжение выпрямителя посредством ступенчатого выключателя или индукционным регулятором.

В отличие от мотор-генератора, напряжение постоянного тока одноякорного преобразователя практически не зависит от частоты тока и пропорционально напряжению переменного тока, так что, вообще говоря, параллельная работа ртутных выпрямителей с одноякорными преобразователями при колебании напряжения в первичной сети значительно спокойнее протекает, чем при параллельной работе с мотор-генераторами.

На франц. Южных ж. д., на участке Pau—Lourdes, была получена вполне удовлетворительная параллельная работа подстанции Coatzaze-Pau, оборудованной умформерами, и Lourdes — ртутными выпрямителями. Между обеими подстанциями имело место автоматическое распределение нагрузки; когда один поезд находился на перегоне, — амперметры отмечали на обеих подстанциях характерное изменение нагрузок подстанций в зависимости от местонахождения поезда по отношению к этим подстанциям. Это распределение нагрузок может быть регулировано путем возбуждения умформеров.

Тут следует еще отметить, что неизбежное большое падение напряжения в рабочих проводах и фидерах, благодаря низкому напряжению, способствует устойчивой работе машин, тем более, что это падение значительно больше тех изменений напряжений, которые могут иметь место у борнов машины, и последнее имеет всегда место у всех умформеров одновременно, если причиной тому служит изменение напряжений со стороны высокого напряжения, так как питание подстанций обычно производится одной и той же сетью высокого напряжения.

38. Подстанция с ртутными выпрямителями французских Южных железных дорог ¹

В качестве примера подстанций, оборудованных ртутными выпрямителями, опишем подстанции французских Южных жел. дор. Это были первые подстанции с ртутными выпрямителями для магистральных жел. дор, и с 1923 г. они работают вполне исправно. Из пяти подстанций четыре (Pau, Lourdes, Tarbes и Montrejeau) имеют совершенно одинаковую мощность и электрическое оборудование, а именно на каждой подстанции установлено:

- а) по три трехфазных трансформатора мощностью 1 750 *кВа* каждый, напряжением в 60 000/1 425 *в*, с естественным охлаждением масла;
- б) по шести отсасывающих катушек по 188 *кВа* для частоты 150, помещенных в масле с естественным охлаждением;
- в) по три отсасывающих катушки той же мощностью, но для частоты 300;
- г) по шести ртутных выпрямителей мощностью 600 *квт* каждый, образующих группы мощностью по 1 200 *квт*; каждая группа имеет воздушный насосный агрегат и охлаждающую установку;

¹ См. BBC Mitteilungen, № 9, 1924 г. Gleichrichter - Unterstationen der Compagnie des chemins de fer du Midi, W. Walty.

НТБ
ДНУЖТ

д) распределительное устройство со стороны трехфазного тока 60 000 в и постоянного тока—1 500 в.

На пятой подстанции Лаппетепаан установлено четыре трансформатора и четыре группы ртутных выпрямителей, но той же единичной мощности и того же типа, что и в первых четырех подстанциях.

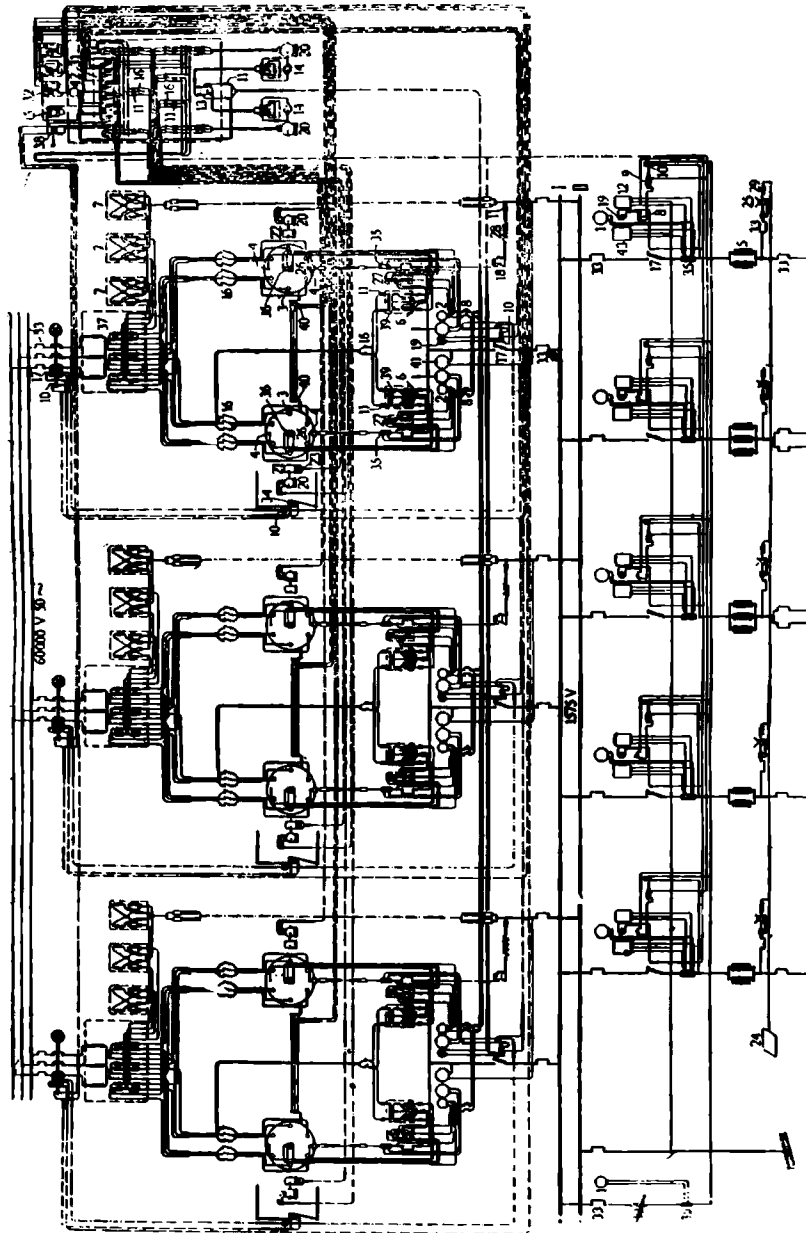


Рис. 137. Схема подстанции с ртутными выпрямителями.

Трансформаторы выполнены со стороны низкого напряжения с 12 фазами, которые образуют четыре звезды, с соединением нулевых точек при помощи отсасывающих катушек.

Схема подстанции дана на рис. 137.

НТБ
ДНУЖТ

На описании установки на 60 000 в не останавливаемся, так как она ничего нового собою не представляет; переходим к способу соединения трансформатора с анодами. Нулевые точки четырех, сдвинутых на 90° одна относительно другой, звезд соединены, как выше было указано, при помощи отсасывающих катушек 7 и образуют отрицательный полюс группы. Вторичные обмотки силовых трансформаторов 37 соединяются с рабочими анодами 3 ртутных выпрямителей 26 через анодные трансальтеры 16. Катоды обеих выпрямителей одной группы образуют положительный полюс установки и соединены между собою через два трансальтера и имеют общий быстродействующий выключатель 17 с трансальтером 33, через которые катоды присоединяются к положительной ширине. Автоматические выключатели со стороны переменного и постоянного тока каждой преобразовательной группы связаны между собою, как показано на рис. 138. Для включения и выключения масляника имеются кнопки B_1 и B_2 . При нажатии на кнопку B_1 начинает функционировать реле C_1 , которое ставит под напряжение включающую катушку E ; однако реле C_1 и масляник могут лишь тогда функционировать, если дверцы предохранительной решетки выпрямителей закрыты и рубильник F замкнут. Выключение масляника производится нажатием кнопки B_2 , при этом выключающая катушка D_1 соединяется с вспомогательными шинами. Положение масляника сигнализируется лампочками H . Быстродействующие выключатели со стороны постоянного тока выключаются от руки и имеют катушку

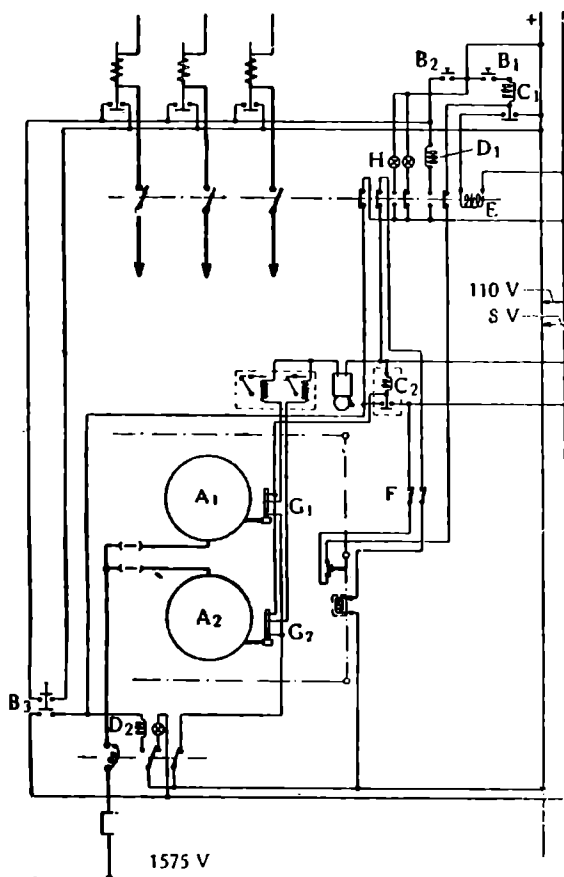


Рис. 138. Сигнализация и блокировка выключателей у ртутных выпрямителей (A_1 , A_2).

максимального тока и выключающую с масляником со стороны первичного тока таким образом, что выключатель постоянного тока может быть замкнут лишь после того, как замкнут масляник; с другой стороны, при выключении масляника происходит тотчас же и выключение быстродействующего автомата постоянного тока. Указанная связь между обоими выключателями исключает возможность нахождения ртутного выпрямителя под напряжением в то время, когда масляный выключатель со стороны первичного тока разомкнут, что важно при осмотре и исправлении выпрямителя. Помимо того дверцы решетки, установленной вокруг выпрямителя, снабжены особым замком, который отпирается лишь при разомкнутых выключателях соответствующей преобразовательной группы. При выключении преобразовательной группы обычно от руки размыкают быстродействующий выключатель и нажимают

катушку; последняя соединена с масляником со стороны первичного тока таким образом, что выключатель постоянного тока может быть замкнут лишь после того, как замкнут масляник; с другой стороны, при выключении масляника происходит тотчас же и выключение быстродействующего автомата постоянного тока. Указанная связь между обоими выключателями исключает возможность нахождения ртутного выпрямителя под напряжением в то время, когда масляный выключатель со стороны первичного тока разомкнут, что важно при осмотре и исправлении выпрямителя. Помимо того дверцы решетки, установленной вокруг выпрямителя, снабжены особым замком, который отпирается лишь при разомкнутых выключателях соответствующей преобразовательной группы. При выключении преобразовательной группы обычно от руки размыкают быстродействующий выключатель и нажимают

НТ
ДНУЖТ

кнопку B_2 для выключения масляника; если же по каким-либо причинам следует быстро отключить всю группу, достаточно нажать кнопку B_3 , которая заставляет одновременно функционировать выключающие катушки D_1 и D_2 .

Выпрямители снабжены контактными термометрами, благодаря которым при повышении температуры свыше 50° раздается предупредительный сигнал, а при 60° группа выключается.

Каждый выпрямитель снабжен отдельным трансформатором возбуждения 39 (рис. 137). Для зажигания же выпрямителей на каждой подстанции установлено по два мотор-генератора 14 мощностью по 0,6 квт. Каждая группа из двух выпрямителей имеет отдельную вакуумную установку 21 и холодильник, через который циркулирует вода для охлаждения выпрямителя. Питание мотора циркуляционного насоса 22 и вакуумного насоса 21 и нагревание ртутного инжектора 23 производится от сети напряжением 200 в — 50 периодов.

Каждый питающий фидер снабжен регистрирующим ваттметром 43, счетчиком 12 и амперметром 1. Для включения и выключения фидеров установлены быстродействующие выключатели 17. Для проверки короткого замыкания на фидерах имеется сопротивление 30, через которое производится приключение фидера при помощи специального контактора к положительной шине. На схеме показаны роговые громоотводы 25 с магнитным задуванием, установленные на каждом отходящем фидере.

На рис. 139 даны план и разрез подстанции Montréjeau. В помещении, где установлены трансформаторы, проложен железнодорожный путь нормальной колеи, причем трансформаторы располагаются на возвышении, что облегчает погрузку на специальные платформы для транспортирования их. Рядом с помещением для трансформаторов располагается машинный зал, где установлены ртутные выпрямители, против них — щиты управления, над которыми установлены быстродействующие выключатели для фидеров и преобразовательных групп. Отходящие фидеры и их громоотводы установлены в первом этаже.

30. Автоматические подстанции с ртутными выпрямителями

Высокие расходы по обслуживанию подстанций постоянного тока и желание поставить работу подстанций вне зависимости от степени исправности и надежности обслуживающего персонала заставили электротехнические фирмы разработать типы автоматических подстанций и подстанций, управляемых с соседних распорядительных подстанций. Оба типа подстанций в настоящее время начинают получать все большее и большее распространение; огромное значение таких подстанций для дорог постоянного тока станет вполне очевидным, если вспомнить, что благодаря сравнительно невысокому напряжению, применяемому на дорогах постоянного тока, расстояние между подстанциями следует держать значительно меньшим, чем на дорогах однофазного тока, почему число их становится велико, а следовательно и расходы на обслуживание достигают уже не малую долю эксплуатационных расходов. Правда, до настоящего времени стоимость дополнительного оборудования для получения автоматической работы подстанций или управления ими на расстоянии еще сравнительно велика, но, с другой стороны, в случае автоматических подстанций беглый осмотр достаточно производить через день (самое большее один раз ежедневно) и 3—4 раза в месяц — более детальный осмотр, почему экономия на обслуживающем персонале позволит в короткое время окупить дополнительные затраты на подстанции.

НТБ
ДНУЖТ

происходят автоматически при замыкании выключателя со стороны переменного тока, независимо от того, является ли подстанция автоматической или не автоматической. Благодаря этому автоматические подстанции или подстанции, управляемые с распорядительных подстанций при ртутных выпрямителях, получаются много проще, чем в случае подстанций с вращающимися машинами.

Автоматические подстанции работают в общих чертах по одному принципу, и мы ограничимся рассмотрением автоматических подстанций завода Броун-Бовери.

Для совершения того или иного включения, выключения или переключения имеется особый аппарат, состоящий из якоря, постоянного стального магнита и спиральной пружины; для приведения аппарата в действие обмотки якоря приключаются к вспомогательной сети, и якорь, вращаясь при помощи передачи, производит требуемое движение обслуживаемого им аппарата. Каждый аппарат имеет для своего функционирования особую цепь, замыкающуюся, как только вызвана работа аппарата, и только когда работа аппарата закончена, цепь автоматически размыкается и аппарат останавливается; благодаря этому обеспечивается работа даже всех медленно работающих аппаратов до конца в случае кратковременного воздействия на аппарат.

Основной частью автоматической подстанции является повторное включение, назначение которого заключается в том, чтобы выключатель, выключенный максимальным реле, снова автоматически замкнуть и в случае повторных выключений подать сигнал о том в контрольный пункт. Схема повторного включения дана на рис. 140. Под цифрой 1 обозначен выключатель и 2 — моторный привод его, 3—6 — аппараты в совокупности, дающие повторное включение.

Не предвещая вопроса, каким способом производится включение, рассмотрим действие группы повторного включения. Для включения необходимо через катушку аппарата 3 пропустить ток; при этом аппарат замыкается, как не трудно проследить по схеме рис. 140:

1) замыкается аппарат 5, который лучше всего можно представить как реле, медленно втягивающее железный сердечник;

2) происходит замыкание цепи катушки аппарата 4; контакты последнего оказываются замкнутыми.

Аппарат 4 приводит замыкание цепи моторного привода 2, и последний замыкает выключатель 1; по окончании процесса включения аппарат 4 выключается, спустя некоторое время, автоматически; контакт 8, связанный с валом главного выключателя 1, прерывает ток к аппарату 5, почему последний возвращается в свое исходное положение; как только процесс замыкания главного выключателя 1 закончился, аппараты 4 и 5 находятся в своем первоначальном положении.

Если благодаря чрезмерной силе тока главный выключатель снова оказывается выключенным под влиянием максимального реле, — контакт 8 оказывается снова замкнутым, прежде чем однако аппарат 4 оказался

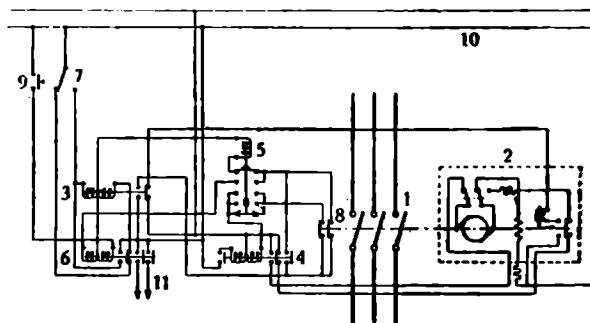


Рис. 140. Схема повторного включения.

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1—выключатель. | 8—контакты на маяжнике, |
| 2—моторный привод. | 9—кнопка, |
| 3—6—аппараты, | 10—титание управления. |
| 7—выключатель управления, | |

НИИ
ДНУЖТ

разомкнутым, и аппарат 5, будучи под током, продолжает свое движение. Через 15 секунд он замыкает вторично катушку аппарата 4, который вторично приводит в действие моторный привод 2 и замыкает главный выключатель 1, если последний снова выключается под влиянием максимального реле, процесс включения его повторяется в описанном порядке снова через 45 секунд, затем через 2 минуты и в пятый последний раз — через 5 минут (или спустя 8 минут после первого включения). Если и после

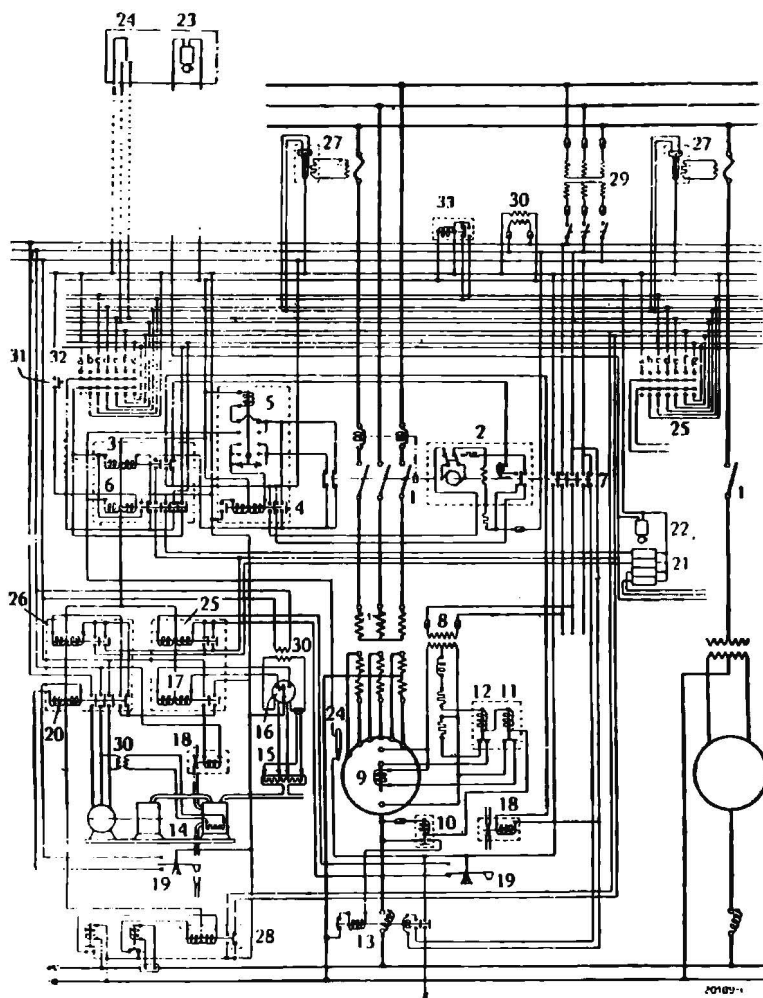


Рис. 141. Схема автоматической подстанции с ртутными выпрямителями.

пятого включения главный выключатель размыкается, — он снова больше не включается, так как к этому времени контакты аппарата 5 достигли своего крайнего положения, в котором они приводят в работу аппарат 6; одновременно ток аппарата 5 прерывается, и он возвращается в свое исходное положение. Аппарат 6 (блокировочный) прерывает ток во включающей катушке аппарата 3 и замыкает цепь, в выключающей его катушке; благодаря одновременному замыканию двух вспомогательных контактов подается оптический и звуковой сигналы. Аппарат 3 выключается и прерывает ток к аппаратам 4 и 5, почему для дальнейшего включения главного выключателя 1, после устранения причин, вызвавших выключение его, необходимо нажать

кнопку 9, возвращающую аппараты 6 и 3 в первоначальное положение.

Полная схема автоматической подстанции с ртутным выпрямителем дана на рис. 141. В зависимости от местных эксплуатационных условий работа подстанций может протекать в следующих условиях:

- а) непрерывно день и ночь:—необходимо предвидеть включение и выключение группы;
- б) в определенное время при помощи часов один или несколько выпрямителей включаются и выключаются;

НТБ
ДНУЖТ

в) на подстанции работает ровно столько выпрямителей, сколько их необходимо для нагрузки в данный момент; автоматическое включение и выключение остальных производится при увеличении или падении нагрузки работающих выпрямителей против нормальной посредством термических реле в зависимости от нагревания обмоток трансформаторов;

г) включение и выключение автоматической подстанции в зависимости от напряжения на стороне постоянного тока, а именно при падении напряжения за пределы установленного происходит включение подстанции и при некоторой наименьшей силе тока подстанция снова выключается, причем включение и выключение производится с запозданием до 15 минут, с таким расчетом, чтобы избежать включения подстанции при случайном кратковременном понижении напряжения в сети постоянного тока. Например, одновременное трогание с места нескольких поездов, а также и кратковременное понижение тока (остановка нескольких поездов или езда их под уклоном) не вызывают немедленного выключения подстанции.

д) включение на подстанции резервной группы в случае выпадения из работы неисправной группы преобразователя.

Для осуществления описанных условий работы подстанций имеются соответствующие контакты $a-f$ (рис. 141). Эта схема позволяет одновременно осуществить несколько перечисленных условий работы, например, наличие одновременно контактов c, f и e позволит в определенный промежуток времени, а также в случае перегрузки других агрегатов и в другое время, заставить группу работать, сохраняя возможность отключения с диспетчерской подстанции. Мы уже рассмотрели получение повторных включений и работу группы аппаратов $3-6$.

Возвращаясь к рис. 141, допустим, что главный выключатель 1 замкнут; благодаря вспомогательным контактам 7 на валу выключателя 1 , трансформатор возбуждения 8 выпрямителя оказывается под напряжением и вследствие этого ток, протекающий по катушке 9 , дает зажигание. Цепь вспомогательного трансформатора 8 оказывается замкнутой через сопротивление зажигания, анод зажигания, катод, реле $10, 11$ и 12 , сопротивление возбуждения и дроссельную катушку. Реле 11 , для действия которого необходим весьма слабый ток, замыкает цепь катушки зажигания 9 , почему пружина этого анода поднимает последний и образовавшаяся дуга зажигает остальные аноды. В это время ток возбуждения протекает от трансформатора 8 к анодам возбуждения и через катод и реле $10, 11, 12$ — к нулевой точке трансформатора 8 ; этот ток настолько велик, что заставляет действовать также и реле 10 и 12 . Реле 12 разрывает цепь зажигания, и тем заканчивается его роль; реле же 10 производит замыкание выключателя 13 , и шины постоянного тока оказываются уже под напряжением. Главный выключатель 1 и катодный выключатель 13 так связаны между собою электрически, что оба могут находиться одновременно лишь в одинаковом положении: выключенном или включенном; этим способом исключается возможность несчастных случаев при осмотре установки.

Вентиль 18 охлаждающей воды открывается, как только установка оказывается приключенной со стороны переменного тока. Вакуумный насос 14 приводится в действие, как ранее уже было указано, в зависимости от разрежения в цилиндре, автоматически, аппаратом 17 , связанным с вакууметром, с нитью накаливания и максимальным и минимальным контактами. Для охлаждения вакуумного насоса вода подается при открытии крана 18 , действующего также от аппарата 17 ; открытие крана 18 предусмотрено ранее пуска насоса. В случае прекращения подачи воды, особые контакты заставляют действовать выключатель 20 , выключающий и включающий воздушный насос.

На железнодорожных подстанциях особенно часто предусматривается автоматическое повторное включение фидеров или так называемая автоматическая проверка устранения короткого замыкания на линии. Схема для указанного случая дана на рис. 142, где под цифрой 1 обозначен однополюсный выключатель постоянного тока, обычно быстродействующий, 2— моторный привод, 3— 8 — включающие аппараты, вместе дающие повторное включение; для проверки короткого замыкания служат аппараты 10 и 11. Порядок включения фидеров с предварительной проверкой короткого замыкания совершенно такой же, что и на неавтоматических подстанциях, а именно перед каждым включением фидера предварительно вводится в цепь сопротивление, которое, в случае если короткое замыкание на линии не устранено, ограничивает силу тока, и величина силы тока дает возможность судить, может ли быть включен фидер, т. е. имеется ли еще

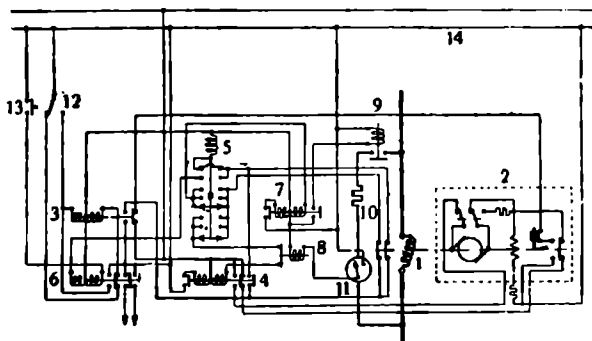


Рис. 142. Схема повторного включения фидеров с моторным приводом.

неустраненное короткое замыкание. Автоматически указанные манипуляции производятся следующим образом: аппарат 5, кроме контактов, данных на рис. 141, имеет дополнительные контакты, расположенные таким образом, что дают предварительное соединение на 3—4 секунды ранее основных, замыкая при этом аппарат 7 который в свою очередь включает при помощи контактора оборудование для проверки заземления. Если заземление не устранено, то на

аппарате 11 замыкается максимальный контакт и размыкает аппарат 8, который прерывает цепь аппарата 4, почему последующий (основной) контакт в аппарате 5 остается без всякого действия, и выключатель фидера 1 остается без действия. Таким образом перед каждым замыканием основных контактов аппарата 5, которые вызывали бы включение фидера при помощи выключателя 1, происходит проверка, устранено ли короткое замыкание на линии, и если нет, то включение фидера автоматически делается невозможным. Сколько предвидено повторных включений фидеров, столько имеется и контактов в аппарате 5 для проверки заземления.

Как уже ранее упоминалось, неисправности на подстанциях сигнализируются при помощи оптических и звуковых сигналов 21 и 22 (рис. 141) на самой подстанции, в пункте же управления раздается звонок (электрический звонок 23), который требует прихода монтера на подстанцию, где при помощи оптических сигналов и устанавливается род неисправности. Этот способ позволяет значительно сократить число проводов между автоматической подстанцией и наблюдательным пунктом.

В случае прекращения по каким-либо причинам питания со стороны трехфазного тока, никаких выключений ртутного выпрямителя не требуется, так как он может без всяких предупредительных мер возобновить свою работу, раз только будет снова восстановлено питание. Для работы воздушного насоса прекращение питания также не опасно, ибо, как ранее было указано, как только число оборотов насоса падает ниже некоторого предела, он автоматически выключается.

НТБ
ДНУЖТ

40. Управление подстанциями на расстоянии

Работая вполне исправно, автоматические подстанции имеют однако следующий недостаток: очень часто происходит включение преобразователей, когда фактически имеет место лишь кратковременное повышение нагрузки сети, почему, проработав короткое время, они снова выключаются, и обратно, очень часто при повышенной нагрузке, когда работает несколько преобразователей случайное, несколько более продолжительное, падение нагрузки вызывает уже отключение преобразователя, и когда через короткий промежуток времени нагрузка достигает снова первоначальной величины, выключенный преобразователь должен быть снова включен. Этот недостаток дает себя особенно заметно почувствовать при однокорных преобразователях, каждый раз требующих перед включением пуска его в ход.¹ Единственный выход из этого положения, это управление подстанциями на расстоянии; когда все управление несколькими подстанциями сосредоточено в одном центральном пункте, отсюда же в случае короткого замыкания могут быть тотчас же произведены соответствующие переключения, локализирующие неисправность в одном лишь месте. Особенный эффект получится, если центральное управление подстанциями сосредоточить в том же пункте, откуда передаются распоряжения о порядке движения, т. е. у диспетчера. Не следует забывать, что мощность подстанций должна быть рассчитана вовсе не на какой-то самый тяжелый случай, какой себе можно представить, а она должна быть достаточна для интенсивного движения, но

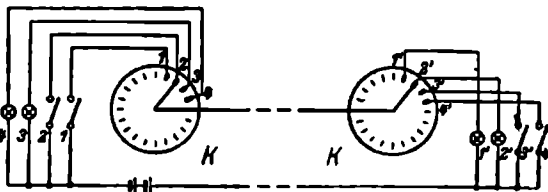


Рис. 143. Схема переключения при помощи двух проводов.

при условии такого распределения поездов по перегонам, которое дает более или менее равномерную нагрузку подстанций. Это позволит уменьшить устанавливаемую мощность подстанций и удешевить затраты на электрификацию.

Одной из основных задач управления на расстоянии является передача самых разнообразных распоряжений при помощи ограниченного числа проводов, так как прокладка кабеля с большим числом жил привела бы к нежелательному удорожанию системы. Указанную передачу распоряжений можно производить, применяя особые переключатели *К* (рис. 143) или, как их часто называют, „коллекторы“. Основной принцип ясен из схемы. Переключатели соединяются между собою при помощи одного прямого провода и одного обратного провода. Не трудно видеть, что перестановкой контактов переключателей можно при помощи двух указанных проводов замкнуть любую цепь; таким образом остается необходимым изыскать способ переставлять совершенно синхронно по желанию с распорядительного поста переключатели. Само собою разумеется, эти переключатели должны приводиться в движение совершенно независимо от общей сети питания, в противном случае — при повреждении в сети, когда именно требуется произвести различные переключения, управление на расстоянии окажется парализованным. Для перестановки переключателей обычно употребляется постоянный ток, и моторы постоянного тока для привода переключателей снабжаются передачей с центробежным регулятором, хорошо известным в телеграфии. Регулятор состоит из двух

¹ См. Dr. Schleicher Siemens Zeitschrift, 1928, Heft 1, стр. 9.

НТБ
ДНУЖТ

дисков: внутренний связан с осью мотора, а внешний — с передачей. К внешнему диску прикрепляются колодки, которые пружинами прижимаются к внутреннему диску и передают таким образом вращение с одного диска на другой или от мотора на передачу. С увеличением числа оборотов мотора сила нажатия колодок падает, и происходит большее или меньшее относительное скольжение обоих дисков друг в отношении друга, а при известном числе оборотов регулятор отключает передачи, мотор вращается вхолостую. Описанный регулятор изображен на рис. 144. При помощи такого регулятора можно держать число оборотов передачи на подстанциях одинаковым с отклонением до 2% при колебании числа оборотов электромоторов на 50%. Так как и это еще оказывается недостаточным, устанавливаются особые корректоры в виде магнитных шайб с впадиной, задерживающие и отпускающие переключатели; этим и достигается при задерживании переключателей нагон запаздывающего. Между



Рис. 144. Центробежный регулятор.

дисков: внутренний связан с осью мотора, а внешний — с передачей. К внешнему диску прикрепляются колодки, которые пружинами прижимаются к внутреннему диску и передают таким образом вращение с одного диска на другой или от мотора на передачу. С увеличением числа оборотов мотора сила нажатия колодок падает, и происходит большее или меньшее относительное скольжение обоих дисков друг в отношении друга, а при известном числе оборотов регулятор отключает передачи, мотор вращается вхолостую. Описанный регулятор изображен на рис. 144. При помощи такого регулятора можно держать число оборотов передачи на подстанциях одинаковым с отклонением до 2% при колебании числа оборотов электромоторов на 50%. Так как и это еще оказывается недостаточным, устанавливаются особые корректоры в виде магнитных шайб с впадиной, задерживающие и отпускающие переключатели; этим и достигается при задерживании переключателей нагон запаздывающего. Между

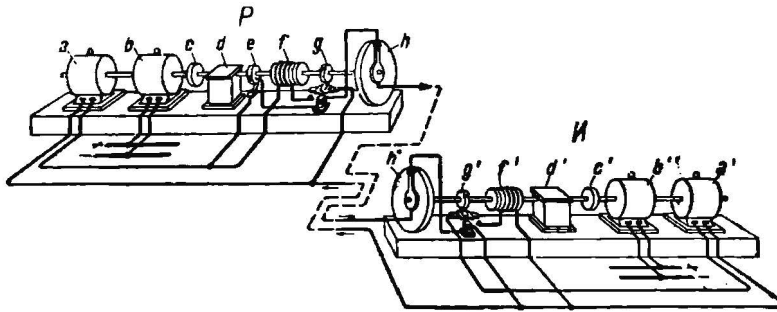


Рис. 145. Соединение аппаратов управления на распорядительном (P) и исполнительном (N) постах.

передачей и переключателем находится магнитная муфта, связанная с корректором и отключающая переключатель от мотора при остановке последнего. Соединение аппаратов управления на распорядительном и исполнительном посту изображено схематически на рис. 145. Ток с динамо направляется через контактное кольцо e распорядительного поста, затем через корректор g и переключатель h — по кабелю на исполнительный пост, затем через переключатель h' , корректор g' , контактное кольцо e' и через обратный провод — на распорядительный пост. Не трудно видеть, что указанная схема обеспечивает синхронное вращение переключателей. Для контроля выполнения задания распорядительного поста устраивается ответная сигнализация, для чего требуется лишний контакт на переключателе; так, для того, чтобы включать и выключать масляник и иметь контрольную сигнализацию, потребуется по 4 контакта на переключателе.

На рис. 146 дана схема с контрольной ответной сигнализацией. Пусть при замыкании контакта a на положительную шину реле R' на исполни-

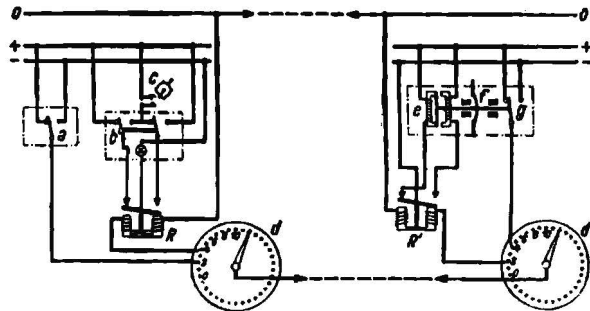


Рис. 146. Схема передачи с ответной сигнализацией.

НТ
ДНУЖТ

тельной подстанции замыкает цепь управления масляником и вызывает включение последнего. Одновременно с этим вспомогательный контакт g масляного выключателя f соединяется с положительной шиной, вызывая соответствующую замкнутому положению установку реле R и непосредственное замыкание тем самым цепи контрольной лампы; до того времени лампочка была приключена к шинам через мигатель C и давала мигающий свет.

В установках для управления на расстоянии особое внимание должно быть обращено на получение такой сигнализации, которая при всей могущей иметь место сложности схемы управляемых подстанций, позволяла бы в каждый момент на распорядительном посту наглядно видеть, в каком положении находятся подстанции. Употребление зеленых и красных лампочек совершенно недостаточно, так как большое количество их при большом числе выключателей могло бы легко спутать обслуживающий персонал. В этом отношении очень удобным оказалось устройство световой схемы, на которой в местах, соответствующих масляным выключателям, установлены непрозрачные кольца (рис. 147); внутри кольца расположена контрольная рукоятка из прозрачного материала, положение которой показывает, в каком состоянии находится масляник. Для включения масляника достаточно в соответствующую сторону A повернуть кольцо из его среднего положения, обозначенного в виде точки O (рис. 147). В тот момент, когда синхронно-вращающиеся переключатели на распорядительном посту и одновременно на управляемой подстанции пройдут соответствующий контакт, как мы видели ранее, передается распоряжение на подстанцию и оттуда таким же путем контрольный ответ, вызывая мигание света в рукоятке внутри кольца до тех пор, пока эта рукоятка не будет установлена в положение, соответствующее положению масляника, после чего сигнал осветится спокойным светом. Таким образом дежурный на распорядительном посту не только имеет возможность знать, в каком положении должен был находиться масляник, но и действительно ли он в таком положении находится. Если например под влиянием максимального реле масляник будет выключен,—контрольный огонек внутри колечка сейчас же начнет мигать, так как положение, занимаемое масляником, не соответствует положению световой контрольной рукоятки.



Рис. 147.

Изложенная вкратце схема управления в действительности сложнее. Прежде всего, во избежание так называемого накачивания, должна быть исключена возможность многократного включения масляника, так как если не принять мер, то благодаря раз установленному распоряжению масляник будет включаться после каждого выключения. Мы не будем останавливаться на тех особых требованиях, которые предъявляются в эксплуатации к установкам для управления на расстоянии и которые сильно усложняют всю схему.¹ Упомянем только, что совершенно тем же методом, замыкая цепь измерительных приборов, можно читать показания их на распорядительном посту, что является совершенно необходимым для правильного распределения нагрузок между подстанциями.

41. Регулирование напряжения постоянного тока на подстанциях

Падение напряжения в проводах и преобразовательной группе с увеличением нагрузки влечет за собою уменьшение скорости поездов и их запаздывание; но, с другой стороны, падение напряжения имеет и извест-

¹ Подробности см. Dr. Schleicher. Leuchtschaltbilder zur Ueberwachung des Betriebs' Siemens Zeitschrift Heft 2, стр. 74.

ные положительные стороны. При трогании с места поезда, находящегося вблизи преобразовательной подстанции, при параллельном, нераздельном питании рабочей сети, энергия будет заимствоваться не только от подстанции, вблизи которой происходит трогание, но и с соседних, в том случае, если характеристическая кривая преобразователя понижается с увеличением нагрузки. Благодаря этому при расчете необходимой мощности подстанции имеется возможность уменьшить устанавливаемую мощность, чем достигается удешевление подстанции и улучшение использования машин. Падающая характеристика преобразователей кроме того ведет к ограничению силы тока при коротком замыкании, что для железнодорожной службы имеет также не малое значение.

Помимо падения напряжения, вызванного потерями в проводах и на преобразовательной подстанции и зависящего только от железнодорожной нагрузки, может иметь место понижение напряжения уже у ввода в подстанцию на стороне трехфазного тока; оно зависит уже не только от нагрузки жел. дороги, но и от нагрузки остальных потребителей централей. Хотя генераторы на центральных позволяют по желанию менять напряжение, однако такое не представляется возможным держать одинаковым во всех пунктах потребления, и приходится на преобразовательных подстанциях принимать меры к регулированию напряжения.

Если подстанция оборудована мотор-генераторами, то, как мы видели, выравнивание напряжения не представляет затруднений и легко достигается изменением возбуждения генератора; для того чтобы напряжение в контактной сети сделать менее зависимым от нагрузки на стороне постоянного тока, применяют часто компаундирование генератора. Иначе обстоит дело с выравниванием напряжения в случае подстанций, оборудованных умформерами и ртутными преобразователями. Благодаря имеющейся непосредственной электрической связи между трехфазным и постоянным током, все колебания на стороне трехфазного тока передаются в полной мере на стороне постоянного тока. Выравнивание напряжения в этом случае обычно достигается регулированием такого со стороны переменного тока, а именно при помощи:

- а) дополнительных выводов на трансформаторе,
- б) ступенчатого выключателя,
- в) индукционного регулятора.

Обычно трансформаторы устраиваются с дополнительными выводами на стороне высокого напряжения, где число фаз равно всего трем; но при очень высоком напряжении первичного тока бывает выгодно отказаться от выводов на стороне высокого напряжения и делать их на стороне низкого напряжения.

Если на подстанции предвидится выравнивание колебания напряжения лишь по временам года, переключение производится в то время, когда трансформатор не находится под напряжением.

Если предвидится регулирование напряжения во время работы трансформатора, то выводы от трансформатора подводятся к особому ступенчатому переключателю, и переключение производится в масле под током. Число ступеней часто выбирается ± 6 и ± 12 . Схема переключателя дана на рис. 148. Контакты, основной 2 и дополнительный 3, устраиваются вращающимися и позволяют переходить на различные ступени. Переключатель 4 позволяет производить переключение обмотки в противоположном направлении. На рис. 149 показан ступенчатый переключатель завода Броун-Бовери.

Характерной особенностью ступенчатого переключателя является:

- а) регулирование напряжения скачками: величина скачков зависит от числа ступеней,

НТБ
ДНУЖТ

б) отсутствие потерь в самом переключателе (пониженные потери имеют место в контактах),

в) потери в трансформаторе зависят от ступени, на которую включен трансформатор, и по мере снижения напряжения потери падают,

г) стоимость переключателя невысока.

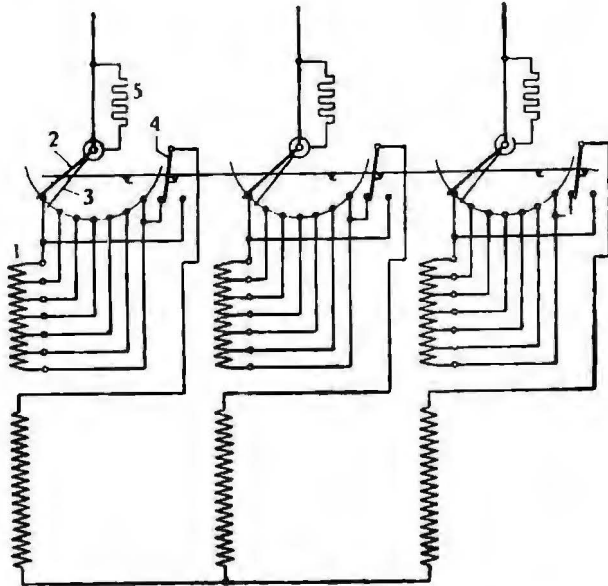


Рис. 148. Схема ступенчатого переключателя.

1—обмотки для регулирования, 2—главные контакты, 3—вспомогательные контакты, 4—контакты переключ. на противополож. направа.



Рис. 149. Ступенчатый переключатель фирмы ВРС.

Для равномерного регулирования напряжения употребляют индукционный регулятор; чувствительность аппарата очень высокая, до $\pm 0,5\%$. Однако стоимость его выше, нежели ступенчатого переключателя, и при регулировании неизбежны дополнительные потери, уменьшающие общий коэф. п. д. установки. Как ступенчатый переключатель, так и индукционный регулятор могут иметь или управление от руки, или моторный привод с автоматическим управлением, или с управлением на расстоянии.

Автоматическое управление отличается от управления на расстоянии тем, что в первом случае ставятся вместо кнопок управления реле напряжения, которые при изменении напряжения вызывают работу сервомотора и перестановку аппарата. На рис. 150 дана схема автоматического управления инструкционным регулятором. Пусть требуется только выравнивание колебаний первичного напряжения; в этом случае в первичную цепь устанавливается трансформатор напряжения 2, который реагирует на регулятор напряжения; подвижной сектор последнего замыкает накоротко большую или меньшую часть сопротивлений 14—17; это сопротивление включено в цепь вращения магнита 4, который, в зависимости от силы протекающего через его обмотки тока, дает соединение контактов *e* и *c* или *b* и *d*. Это соединение замыкает цепь управления индукционным регулятором и вызывает перестановку его. Как только в первичной цепи восстанавливается необходимое напряжение, переключатель устанавли-

НТ
ДНУЖТ

вается в среднем положении, контакты *e, c* и *b, d* оказываются разомкнутыми, и происходит торможение электромагнитом. В случае чрезмерного падения напряжения, например при коротком замыкании, во избежание поворота индукционного регулятора на угол больше допустимого, установлен предельный выключатель 9, выключающий в указанном случае сервомотор 7.

Если помимо выравнивания первичного напряжения необходимо также компаундирование и сверхкомпаундирование постоянного тока, то в цепь регулятора 1 включается вторичная обмотка трансформатора

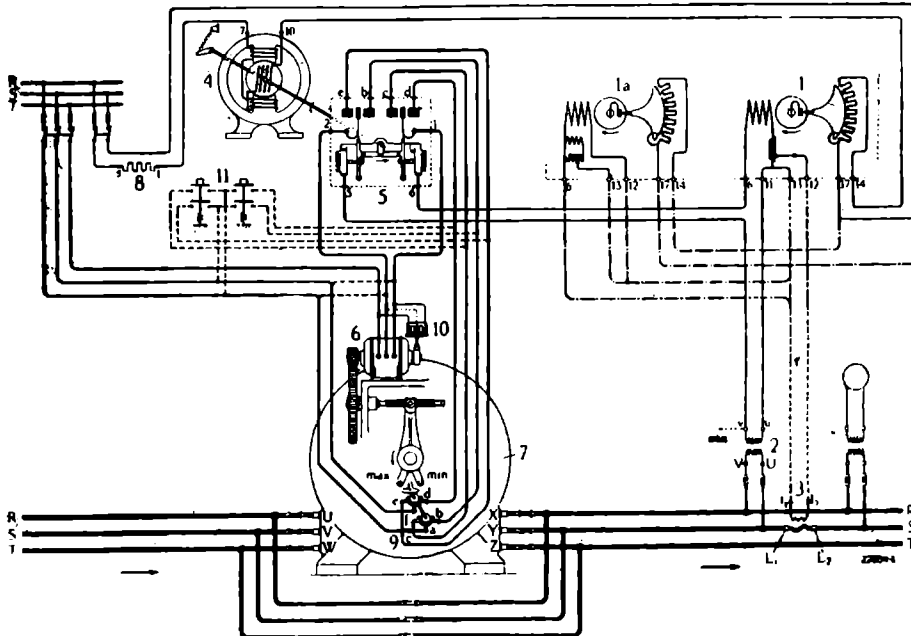


Рис. 150. Схема автоматического привода индукционного регулятора.

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 — регулятор напряжения, | 6 — моторный привод, |
| 1а — регулятор тока, | 7 — индукционный регулятор, |
| 2, 2а — трансформаторы напряжения и тока, | 8 — дополнительное сопротивление, |
| 4 — вращающийся магнит | 9 — выключатель, |
| 8 — переключатель, | 10 — тормоз. |

тока 3, чем достигается двойная зависимость положения регулятора 1 от напряжения и силы тока.

Наконец иногда требуется, помимо регулирования первичного напряжения и компаундирования постоянного тока, ограничение его, для этого устанавливают регулятор тока 1а, переменное сопротивление коего 14—17 соединено последовательно с сопротивлением 14—17 регулятора 1. При нормальной работе подстанции сопротивление аппарата 1а замкнуто накоротко; при повышении силы свыше 20—30% нормальной начинает функционировать регулятор 1а, включая постепенно свои сопротивления в цепь вращающегося магнита 4 и вызывая таким образом уменьшение дополнительного напряжения индукционного регулятора и тем самым ограничивая силу тока в рабочей цепи.

Регуляторы напряжения и ограничители тока могут быть установлены также и со стороны постоянного тока. Однако в этом случае чувствительность аппаратов значительно слабее, почему этот способ не получил распространения, в особенности в случае индукционных регуляторов, имеющих очень плавное само по себе регулирование напряжения.

НТБ
ДНУЖТ

На рис. 151 дана схема автоматического управления в случае ступенчатого выключателя. Если необходимо только выравнять колебания напряжения, — достаточно установить реле напряжения 1, если же, кроме того, необходимо компаундирование и сверхкомпаундирование, то это реле помимо обмотки напряжения получает обмотку тока; дополнительные сопротивления 2а и 3а позволяют устанавливать степень влияния обеих обмоток.

При замыкании контакта реле 1 начинает действовать дифференциальное реле 4, замыкая цепь в течение от 0 до 30 секунд в зависи-

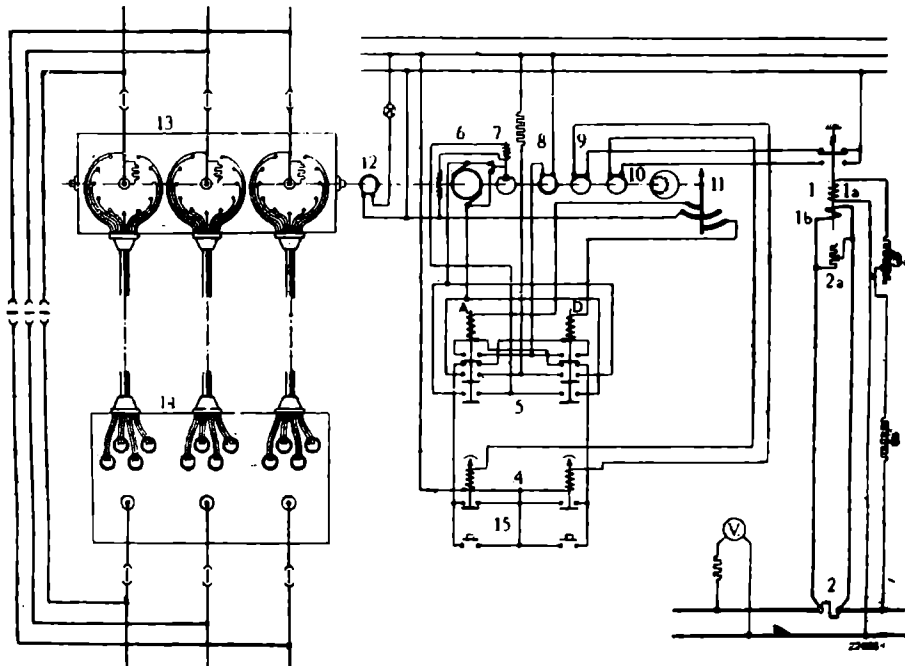


Рис. 151. Автоматический привод ступенчатого переключателя.

1—реле напряжения,
1а, 1б—катушка напряжения и тока,
2, 2а—шунт с регулятори. сопротивлением,
3—дополнительное сопротивление,
4—дифференц. реле,
5—контактор,
6—мотор,
7—тормоз,

8—вспомогательный контакт к 5,
9, 10—вспомогат. контакты к дифер. реле 4,
11—показатель положения
12—сигнальный звонок
13—ступенчатый переключатель
14—трансформатор
15—кнопка управления.

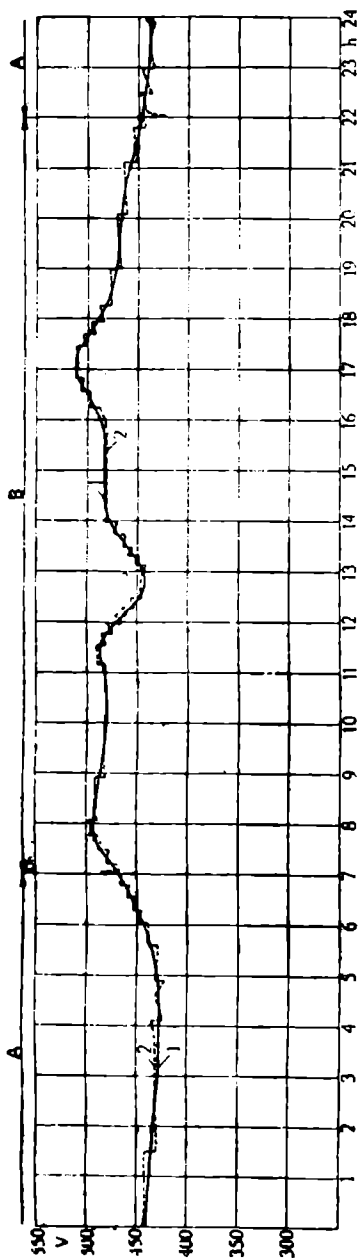
мости от установки, так как нежелательно, чтобы ступенчатый выключатель действовал при кратковременных изменениях режима работы. На рис. 151 показан контактор 5 к мотору 6, служащему для перестановки вала ступенчатого выключателя 13; остановка мотора в известном положении происходит электромагнитным тормозом 7; цепь реле 4 прерывается в контактах 9 и 10. Контакты 15 служат для управления на расстоянии и совершают те же функции, что и реле 4. На рис. 151 показано присоединение реле напряжения 1 со стороны постоянного тока, однако, как и в предыдущем случае, оно может быть присоединено при помощи трансформатора напряжения и со стороны переменного тока.

Экономические соображения при выборе способа регулирования напряжения. Как уже выше упоминалось, стоимость ступенчатого переключателя ниже стоимости индукционного регулятора, и потери в последнем случае выше; к тому же, в случае высокого напря-

НИИ
ДНУЖТ

жения в первичной цепи, что обычно имеет место при питании на большом протяжении железнодорожных подстанций, стоимость индукционных регуляторов удорожается, вследствие необходимости иметь, начиная приблизительно с 13 000 в и выше, трансформаторы для приключения индукционных регуляторов.

Характер работы при регулировании напряжения виден из диаграммы рис. 152, где плавная кривая 1 дает напряжение при индукционном регуляторе, а кривая 2—при ступенчатом переключателе; кривые построены для подстанции с двумя ртутными выпрямителями по 1 000 квт. Как показывает приведенная диаграмма, в случае достаточного числа ступеней переключателя и удачно выбранного числа преобразователей регулирование ступенчатым переключателем может быть произведено достаточно плавно.



42. Устранение вредных последствий волнообразности постоянного тока

В литературе последних лет отмечается, как одно из главнейших преимуществ дорог постоянного тока по сравнению с дорогами однофазного тока, отсутствие вредного влияния на провода слабых токов, т. е. на телеграфную и телефонную сеть, блокировку и пр. Однако очень часто складывается впечатление, что на дорогах постоянного тока совершенно исключено влияние на провода слабых токов; это не так, — и здесь мы встречаемся с индуктивным воздействием тока на телеграфные и телефонные провода. Дороги постоянного тока питаются обычно трехфазным током, причем, если линия электропередачи располагается в непосредственной близости от телефонных и телеграфных линий, то индуктивное влияние ее может достигать чрезвычайно большой величины. Но помимо электропередачи контактные провода также вызывают индукцию в проводах слабого тока вследствие волнообразности тока благодаря влиянию коллектора умформера или мотор-генератора. Это влияние может быть настолько велико, что телефонные провода приходится ставить двойными.

Ток, получаемый от ртутного выпрямителя, не является в полной мере постоянным, а лишь выпрямленным, причем чем выше число фаз, тем меньшая волнообразность замечается в кривой напряжения. Однако увеличение числа фаз имеет свои границы, диктуемые экономическими соображениями.

С увеличением числа фаз продолжительность работы каждой фазы уменьшается, следовательно вторичные обмотки трансформатора оказываются слабо используемыми, и трансформатор получается тяжелым, сложным и дорогим.

В настоящее время ртутные выпрямители большей частью строятся на шесть фаз из экономических соображений, почему напряжение получается заметно волнообразным.

Рис. 152.

НТЭ
ДНУЖТ

Само собою разумеется, что если в цепь такого выпрямленного тока включить омическое сопротивление, кривые напряжения и силы тока будут вполне идентичными, т. е. ток будет иметь также волнообразный вид. Этой волнообразности тока и приписывали первое время причину вредных влияний на телефонную линию и предполагали путем включения индуктивного сопротивления в цепь ослабить (если не совсем уничтожить) нежелательные явления.

На жел. дорогах, где наиболее сильно сказывалось вредное воздействие выпрямленного тока на провода слабого тока, нагрузка в виде моторов последовательного соединения как-раз представляет нагрузку с достаточно большим коэф. самоиндукции; однако ни эта нагрузка, ни включенные в цепь особые дроссельные катушки не улучшили скольконибудь заметно работу телефонных линий.

Следует отметить, что напряжение выпрямленного тока заключает в себе большое количество гармоник высокой частоты, особенно большое значение среди коих имеют гармоники в 300 и 600 периодов. Эти гармоники дают в цепи с емкостью и самоиндукцией ток, который и является причиной неудовлетворительной работы, находящейся вблизи телефонных линий, даже при холостой работе выпрямителя.

Для того чтобы парализовать вредное влияние выпрямленного тока, стремятся выравнивать напряжение путем улавливания высших гармоник в особых фильтрах, состоящих из цепи с последовательно включенным индуктивным сопротивлением L и емкостью C (рис. 153).

Постоянный ток не может протекать по этой цепи, так как конденсатор C является для него разрывом цепи; переменный же ток с частотой, близкой к той, которая вызывает резонанс в цепи, будет проходить исключительно через эту цепь (контур). Составляющие электродвижущие силы направлены почти противоположно друг другу, почему общая результирующая получается близкая к нулю. Это показывает, что последовательное соединение L и C не может при принятых условиях снижать силу тока в контуре, и достаточно весьма небольшое напряжение с некоторым периодом, дающим резонанс в цепи, чтобы возникла весьма высокая сила тока; этот ток весьма нежелателен, так как проходит через выпрямитель и трансформаторы, излишне нагружая их. Для уменьшения силы тока ставится особая дроссельная катушка D , благодаря которой напряжение на борнах конденсатора и самоиндукции дают результирующую в 5—10 в, тогда как напряжение высших гармоник может достигнуть до 10% полного напряжения выпрямленного тока.

Так как напряжение выпрямленного тока содержит гармоники различной частоты, то для той частоты, которая наиболее мешает работе телефонной линии, обычно для частот в 300, 600 и др., с кратным им числом периодов, устанавливаются отдельные контуры в виде описанной замкнутой цепи.

Какие именно гармоники вызывают вредное влияние в телефонной линии, вперед сказать нельзя, и в различных установках они оказывались различными; обычно на месте при помощи необходимых аппаратов устраивают испытательные установки, которые и показывают, на которые гармоники следует обратить внимание.

Не следует забывать, что в силовой цепи питания рабочего провода имеется, с одной стороны, индуктивное сопротивление трансформатора, и, с другой стороны, емкость линии образует свой замкнутый круг, наподобие описанных контуров, который может вызвать появление больших

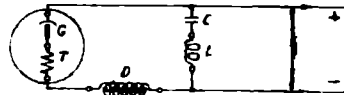


Рис. 153.

НТ
ДНУЖТ

токов высокой частоты; чтобы не допустить прохождения их, в цепи устанавливается особый конденсатор C_0 , который и замыкает цепь и заставляет по ней проходить указанные токи, не выпуская их в общую цепь. На рис. 154 дана схема защиты линии выпрямленного тока от прохождения в нее токов высших гармоник. Число отдельных контуров зависит от числа гармоник, которые необходимо уловить. Для уменьшения размеров, а равно и в целях удешевления дроссельная катушка устраивается с железным сердечником, почему при возрастании силы тока, с увеличением нагрузки, железо настолько насыщается, что дроссельная катушка может оказаться недостаточной для дросселирования высших гармоник. Дроссельные катушки должны быть рассчитаны с достаточным запасом и помимо того выполнены из тонких листов, так как коэф. самоиндукции дроссельной катушки падает не только вследствие насыщения железом, но и из-за образования сильных паразитных токов.¹

Влияние дроссельной катушки D_1 , конденсатора C_0 и отдельных цепей фильтра особенно наглядно можно проследить на приводимых осциллограммах, снятых на дороге в 1200 в постоянного тока с питанием при помощи кабеля большой емкости. На рис. 155 даны напряжение и ток выпрямителя без всяких сглаживающих ток установок при холостой работе выпрямителя и при нагрузке. Напряжение в обоих случаях имеет весьма волнистую форму, тогда как ток имеет небольшие неровности. На рис. 156 можно увидеть влияние уже дроссельной катушки. Особенно ярко сказывается влияние на гармоники в 300 периодов. Напряжение не имеет более острых выступов и представляет собою довольно правильную синусоиду при холостой работе выпрямителя, при нагрузке же в напряжении появляется сильное влияние гармоник с частотой в 900 периодов, сглаживание тока относительно невелико. Рис. 157 позволяет выявить влияние конденсатора C_0 . Влияние емкости и самоиндукции силовой цепи ослаблено параллельной цепью с дроссельной катушкой D и конденсатором C_0 ; напряжение уже при холостом ходе значительно ровнее при нагрузке, однако заметны достаточно сильно гармоники с частотой 600 и 900 периодов, которые могут быть устранены лишь при установке фильтров. Роль фильтров ясно видна на рис. 158, где улавливаются гармоники 300 и 600, причем гармоники 900 периодов, часть гармоник 300—все же проникают в цепь, почему, хотя кривая напряжения при холостом ходе и при нагрузке очень близко подходит к прямой, однако не в той мере, как на рис. 159, для случая с фильтром для гармоник 900 периодов (см. рис. 154) В последнем случае оказалось, что практически влияние выпрямленного тока свелось на-нет: никакого постороннего шума в телефонной сети не было слышно. Следует отметить, что вредное влияние выпрямленного тока наблюдается не у всех установок. М. Schenkel, на основании практики с установками завода Сименс-Шуккерт, считает, что в среднем 25% установок нуждаются в дополнительном сглаживании тока, почему работы по сглаживанию тока должны быть предприняты лишь после того, как установка с ртутными выпрямителями вполне себя выявила в работе и необходимость таковых работ стала очевидной. Помимо того М. Schenkel считает, что из двух способов устранения вредного действия выпрямленного тока (а именно: одного — путем мер, принимаемых в самой телефонной сети, и другого — описанного со стороны установки выпрямленного тока) предпочтение следует отдать первому, как более дешевому, и только в случае недостаточности первого способа устранения вредного влияния выпрямленного пульсирующего тока на телефонные про-

¹ См. Störungen des Fernsprechbetriebs durch Gleichrichter und ihre Beseitigung M. Schenkel (Elektrische Bahnen. 1926, стр. 217).

НТБ
ДНУЖТ

вода следует прибегать ко второму способу. Обычно употребляемые в этом случае дроссельные катушки имеют коэф. самоиндукции 5—10 мН, а емкость конденсаторов до 40—50 мкФ.

Нарушение правильной работы телефонных линий вызывается резким колебанием силы тока при трогании поездов, разгоне и включении и выключении моторов. Индуцированная электродвижущая сила в телефонных проводах при трогании поблизости поезда однако настолько слаба, что ух

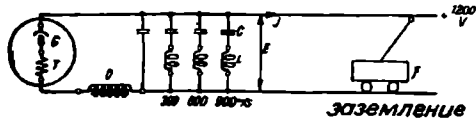


Рис. 154.



Рис. 155.

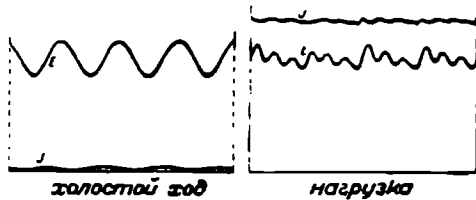
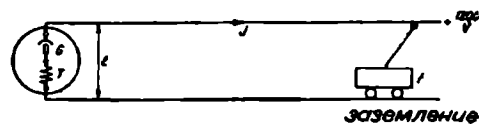


Рис. 156.

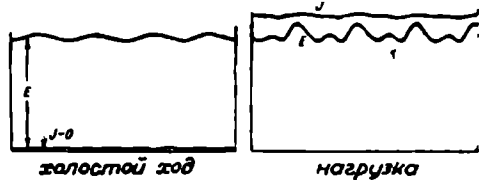
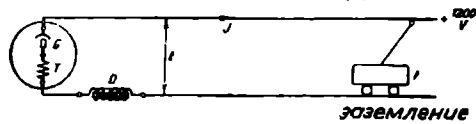


Рис. 157.

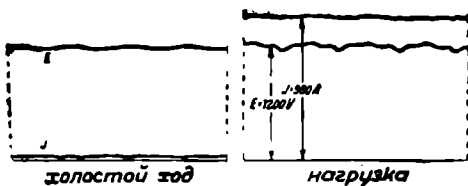
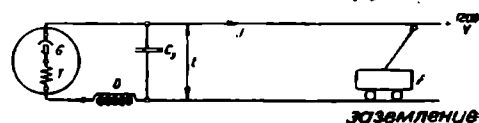


Рис. 158.

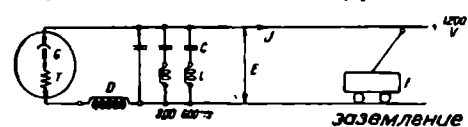


Рис. 159.

улавливает лишь некоторое царапание. В этом случае третий рельс с его большой самоиндукцией до 4—5 мН/км имеет большое преимущество в смысле сглаживания тока. Приходится считаться также с имеющими место в железнодорожной практике короткими замыканиями, вызывающими образование дуги, которая часто не затухает; при этом благодаря достаточному сопротивлению автоматы подстанций не функционируют, и приходится распоряжение передавать на выключательные посты по телефону. Бывали случаи, когда подобные короткие замыкания имели своим

НТЭ
ДНУЖТ

следствием пробоя в телефонной линии. Это явление удалось изучить после снятия осциллограмм при искусственно вызванных коротких замыканиях до 9000 амп. При коротком замыкании индуцируется электродвижущая сила, которая сама по себе не опасна; однако при выключении тока часто образуется дуга, и при этом сила тока имеет такие колебания, что в проводах слабого тока индуцируется электродвижущая сила до 300 в напряжением. При подобных коротких замыканиях с образованием дуги воздействия на провода блокировки настолько велики, что приходится устраивать провода также двойными.

Скажем несколько слов о тех испытаниях, которые были произведены на берлинских пригородных ж. д. в 1926 г. с целью выяснения влияния выпрямленного тока и описанных выше фильтров на провода слабых

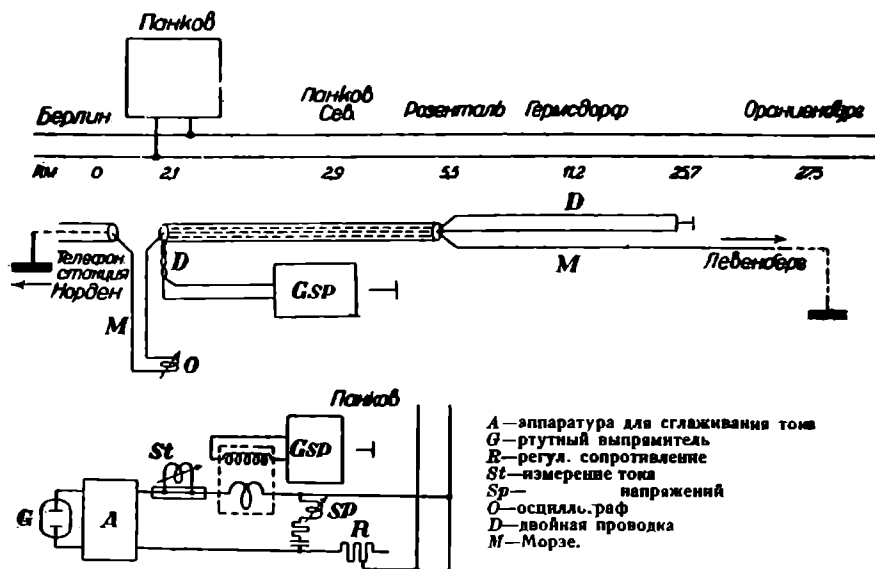


Рис. 160.

токов. Опыты производились с ртутным выпрямителем, установленным на подстанции Pankow.¹ Напряжение у ртутного выпрямителя измерялось через конденсатор в $10\mu F$ и при помощи осциллографа колебания напряжения (волнообразность); сила тока измерялась при помощи осциллографа на безындукционном шунте. Далее измерялось при помощи трансформатора влияние волнообразности тока на провода слабых токов, для чего первичная цепь трансформатора без железа питалась выпрямленным током, а во вторичную включался аппарат для измерения индуцирования напряжений. Одновременно регистрировалась при помощи осциллографа индуцированная электродвижущая сила в одиночных проводах с заземленными концами и в двойных телефонных проводах (рис. 160).

На основании измеренной индуцированной электродвижущей силы определялся так называемый мешающий ток (Störstrom), под которым понимают воображаемый ток в цепи высокого напряжения, частотою 800 пер./сек. который дает то же индуцированное искажающее напряжение в проводах слабых токов, что и излучаемый выпрямленный ток. Этот мешающий ток

См. Fernspregleitungen im Gleichstrombetrieb der Berliner Stadt—Ring und Vorortbahnen P. Holling и L. Benda. Elektrische Bahnen. 1926, стр. 396.

НТБ
ДНУЖТ

может быть определен из индуцированной электродвижущей силы e_i по формуле

$$I_m = \frac{e_i}{\omega M},$$

где

M — коэф. взаимной самоиндукции,

ω — частота : $\omega = 2\pi f = 5000 \text{ сек}^{-1}$.

Сила тока в цепи выпрямителя менялась в зависимости от сопротивления, включаемого в цепь, путем короткого замыкания на различных участках пути. Телефонная сеть, подвергавшаяся при опытах влиянию выпрямленного тока, проходит частично надземной проводкой (до Reinskendorf—Rosenthal) и далее до Берлина в кабеле. Результаты измерений на двойной воздушной линии с кабелем приведены в таблице XVII.

ТАБЛИЦА XVII

Сила тока (в ампл)	Без сглаживающих аппаратов		С дроссельной катушкой		Дроссельная катушка и ловушка		Конденс. емк. 140	
	мешающий ток $i_{иск}$	индуцированное напряжение	мешающий ток $i_{иск}$	индуцированное напряжение	мешающий ток $i_{иск}$	индуцированное напряжение	мешающий ток $i_{иск}$	индуцированное напряжение
а) Питание до Ораниенбурга (параллельно пути кабель 3,4 км и воздушная проводка 20,2 км)								
0	0,43	22	0,29	15	0,09	10	0,14	—
160	0,57	30	—	15	—	2	—	—
1000	1,07	65	1,07	65	0,28	4	—	—
б) Питание до Гермсдорфа (параллельно пути кабель 3,4 км и воздушная проводка 5,7 км)								
0	0,57	—	0,29	—	0,4	—	—	—
160	1,07	—	0,57	—	0,4	—	0,29	—
820	2,14	—	1,07	—	0,29	—	—	—

На таблице XVII приведены результаты измерений с линией, проложенной кабелем; в виду того, что в этом случае даже при высокой силе тока не было обнаружено шума, измерения пришлось вести лишь в пределах одной жилы путем заземления концов проводки.

ТАБЛИЦА XVIII

Сила тока (в ампл)	Без сглаживающих аппаратов		С дроссельной катушкой		С дроссельной катушкой и ловушкой	
	мешающий ток	индуцированное напряжение	мешающий ток	индуцированное напряжение	мешающий ток	индуцированное напряжение
0	0,14	8 (2)	—	—	0,02	4 (1)
150	1,07	25 (8)	—	—	0,07	6 (2)
500	2,9	40 (15)	—	—	0,14	8 (4)
800	5,7	— (30)	1,07	65 (15)	0,29	0 (15)

Величины, стоящие в скобках, относятся к случаю, когда в цепь слабых токов были включены фильтры.

Одновременно были произведены измерения при трогании поезда. Зависимость между длиной участка и мешающим током (st) дана на рис. 161, где для тока в 1000 амп дана пунктирная кривая для случая, когда включены фильтры. Из приведенного чертежа следует, что с увеличением расстояния мешающий ток при всяких нагрузках стремится к некоторой определенной величине, зависящей от сопротивления для волн третьего рельса и обратного провода для данной волны, причем при

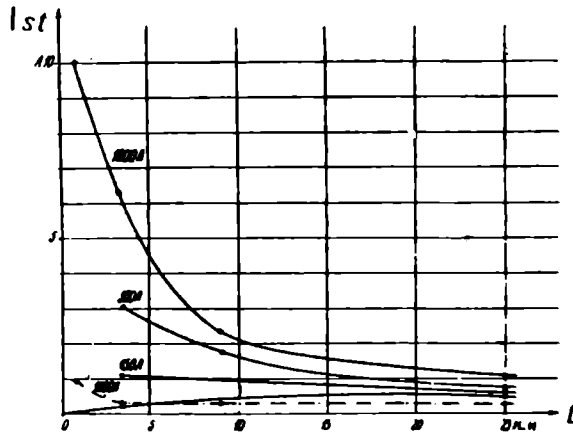


Рис. 161. Кривая зависимости мешающего тока I_{st} от расстояния L .

высоких силах тока в сети высокого напряжения он увеличивается с уменьшением длины участка, а при малой величине выпрямленного тока—падает.

Опытами установлено, что при неперекрещенной воздушной двойной проводке индуцированная электродвижущая сила достигает $65 m^v$, в то время как допустимым пределом считается $5 m^v$. Несимметричная проводка вблизи железнодорожной линии подвержена недопустимому воздействию со стороны постоянного волнообразного тока; при включении сглаживающих аппаратов индуцированная электродвижущая сила снижается на $75-90\%$; включение одного конденсатора благодаря имеющемуся достаточному индуктивному сопротивлению в цепи может дать снижение индуцированной электродвижущей силы на 75% .

НТБ
ДНУЖТ

ЭЛЕКТРОВОЗЫ

43. Типы электровозов

Независимо от системы тока, электровозы можно разбить, по способу передачи усилия от моторов на обод движущих колес, следующим образом:

- 1) электровозы с моторами, непосредственно передающими усилие движущим осям;
- 2) электровозы с зубчатой передачей эластичной и неэластичной;
- 3) электровозы с шатунной передачей, причем промежуточная зубчатая передача может существовать и нет.

В Европе очень долгое время широко применялись электровозы с одним и двумя моторами и передачей шатунами на отбойный вал. Это повидимому объясняется тем, что сразу не могли отрешиться от форм, столь укоренившихся в паровозостроении. Если в паровозах для преобразования поступательного перемещения во вращательное шатунный механизм давал наилучшее и наиболее естественное решение, то совершенно нежизненно было имеющееся вращательное движение вала мотора передавать на движущие колеса через посредство шатунов, когда в конце концов надо было получить опять-таки вращательное движение колес.

Помимо того, как мы увидим ниже, между работой шатунного механизма в паровозах и на электровозах имеется существенное различие в смысле упругости передачи усилий на шатун, чем и объясняются относительно частые поломки шатунов на электровозах, чего не знает паровозная практика. Мы ниже увидим, какой путь прошло электровозостроение в Европе, прежде чем найдены были наиболее правильные формы передач и начали широко распространяться многомоторные электровозы с передачей усилий на каждую ось от индивидуального мотора. Американская практика перенесла с трамвайной практики на электровозы основную форму передачи усилия от мотора при помощи зубчатых колес на движущие оси и стала применять моторы подвешенного типа на электровозах. Большие скорости электровозов позволили применить для пассажирской службы моторы с якорями, непосредственно насаженными на оси, и моторы, насаженные на полую ось, через которую проходит движущая ось.

Конечно, стремление получить возможно более высокое положение центра тяжести и легко доступный для ремонта и осмотра мотор оказало не малое влияния на то, что шатунная передача имела и имеет до сего времени в некоторых государствах широкое распространение, несмотря на ее недостатки.

44. Электровозы с непосредственной передачей усилий

Электровозы этой группы отличаются простотой выполнения и встречаются в двух вариантах: с якорем, насаженным непосредственно на ось, и с якорем, насаженным на полую ось, внутри которой проходит уже ось с центрами.

Электровозы с непосредственно насаженными на движущие оси якорями (типа Gearless), были построены впервые заводом G. E. Co в 1904 г. для жел. дороги постоянного тока 600 в New York Central, и впоследствии для той же дороги электровозы строились в количестве 73 шт. исключительно этого типа. Электровозы Gearless большой мощности в количестве 5 шт. были построены заводом G. E. Co в 1919 г. для напряжения в 3000 в для дороги Ch. M. St.-Paul, а затем в Европе для жел. дороги Париж—Орлеан.

Можно было на первый взгляд думать, что у электровозов типа Gearless вес оси, непосредственно действующий на путь, получится значительно выше, чем у паровозов; в действительности однако эти веса почти одинаковы, что объясняется меньшим диаметром колес и большим числом оборотов движущих осей электровозов по сравнению с паровозами. (табл. XIX).

ТАБЛИЦА XIX

Наименование дорог	New York Central	New York Central	Ch. M. St.-P.	Примечание
Мощность мотора л. с.	500 л. с.	325	270	У паровоза Пасифик фр. ж. д. с диамет. колес 2 000 мм, вес оси с принадл. действ. непосред. равен 4 370 кг.
Диаметр колес (в мм).....	1 118	914	1 118	
Предельная скорость (км/ч).	128	136	104,6	
Вес оси с част., непосред. действующ. на верх. стр. (арматура, буксы)	5 000	2 900	4 350	

Статическая нагрузка на ось, благодаря большому весу масс, непосредственно действующих на путь, на электровозах Gearless дороги Ch. M. St.-Paul была принята всего 17 т при обычно допускаемой нагрузке на ось 25 т.

Не следует упускать из виду, что коэф. п. д. электровоза, благодаря непосредственной передаче усилия от мотора движущей оси выше, чем у других электровозов, но коэф. п. д. самого мотора (в виду необходимости иметь по конструктивным соображениям большое междужелезное пространство) ниже, чем у моторов с зубчатой передачей или шатунной. Непосредственную передачу усилий от мотора движущим осям приходится применять исключительно для электровозов большой скорости¹, хотя даже и в этом случае число оборотов настолько мало, что активная часть мотора получается слишком большого веса и стоимость моторов весьма высокая.

Для жел. дороги Ch. M. St.-Paul G. E. Co были построены в 1919 г. электровозы Gearless часовой мощностью 3 240 л. с. и общим весом 236,4 т, вес электрической части 106,6 т; стоимость их определилась в 205 000 амер. долл., в то время как электровозы с моторами-близнецами, зубчатой передачей и полую осью (quill), часовой мощностью 4 000 л. с. и общим весом 241 т (вес электрической части 109,8 т) обошлись той же дороге всего по 192 000 амер. долл.

¹ В частности для электровоза Gearless дороги Ch. M. St.-Paul диаметр движущих колес был принят равным 1 118 мм.

НТБ
ДНУЖТ

Общий вес электровозов почти одинаковый; разница в цене объясняется исключительно разницей в весе меди, который в первом случае составляет 30 т, а во втором—всего 11 т. Это еще раз подчеркивает, что электровозы Gearless могут быть оправданы только для пассажирской службы. Недостаток моторов Gearless тот, что при снятии якоря приходится снимать с оси колесо.

Электровозы с моторами типа Gearless были построены исключительно для постоянного тока; этот тип характеризуется изменением при толчках в пути междужелезного пространства, так как полюса моторов, будучи жестко укреплены на рамах, остаются неподвижными, в то время как якорь вместе с осью следует неправильностям в пути.

Для однофазного тока эта система оказалась непригодной, и для получения неизменного междужелезного пространства были применены моторы, насаженные на полую ось (quill), через которую проходит движущая ось.

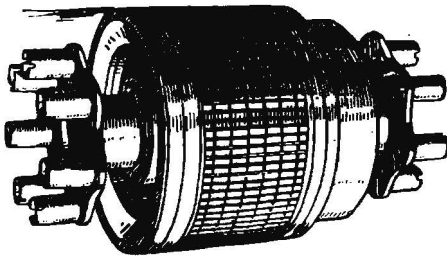


Рис. 162. Якорь с полым валом жел. дор. New York—New Haven and Hartford.

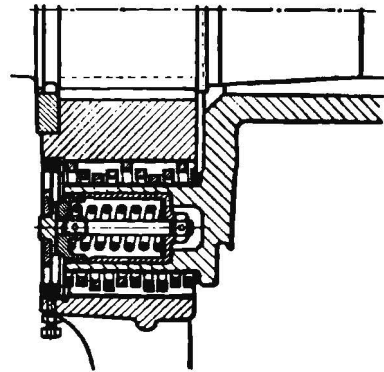


Рис. 163. Упругое соединение поллой оси с движущей осью.

Электровозы в количестве 35 шт. с моторами, насаженными на полую ось, были построены впервые в 1906 г. для 11 000 в. однофазного тока для жел. дороги New York—New Haven and Hartford (рис. 162). Полая ось оканчивается дисками с семью пальцами с каждой стороны, которые входят в отверстия на колесных центрах движущих осей. Полая ось устраивается разрезной посредине и каждая половина запрессовывается в тело якоря против вращения якоря относительно поллой оси устанавливаются шпонки. Вокруг каждого пальца укладываются рессоры (рис. 163); кроме того тело пальца высверливается и в полость также ставятся рессоры, при помощи которых движущие оси устанавливаются при боковом отклонении в среднее положение. Каркас мотора также покоится на поллой оси, чем и достигается неизменное положение якоря по отношению к статору, Последний во избежание вращения вместе с поллой осью удерживается рессорой, упирающейся в раму электровоза; эта рессора воспринимает также часть веса каркаса и передает его непосредственно раме.

В 1908 г. электровозы этого типа были построены для постоянного тока 600 в с питанием от третьего рельса и однофазного 11 000 в от воздушного провода для жел. дороги New York—New Haven and Hartford в количестве 6 штук.

Тяжелая конструкция и недостаточно упругая подвешенность моторов послужили причиной тому, что в дальнейшем эта конструкция была оставлена.

НТБ
ДНУЖТ

45. Электровозы с зубчатой передачей

Преимущество зубчатой передачи перед ранее рассмотренной непосредственной передачей усилия якоря на движущую ось заключается в том, что моторам можно назначать более высокие скорости, что значительно удешевляет стоимость и понижает вес мотора. По сравнению с шатунной передачей зубчатая передача имеет следующие преимущества:

1. Равномерная передача вращающего момента от мотора к движущим осям, благодаря отсутствию промежуточных органов, периодически меняющих направление усилия. Равномерное тяговое усилие на ободу движущих колес значительно повышает коэф. сцепления электровоза и позволяет при меньшем сцепном весе развивать большую силу тяги по сцеплению. Помимо того отсутствие шатунов и спарников является причиной

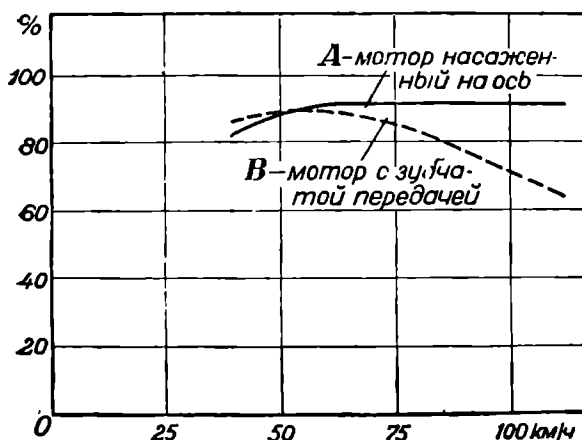


Рис. 164. Сравнение коэф. п. д. моторов непосредственно насаженных на ось (A) с зубчатой передачей (B).

меньших напряжений в раме, что позволяет конструировать их легче; к тому же отсутствуют ослабления в рамах в виде вырезов для помещения отбойных валов.

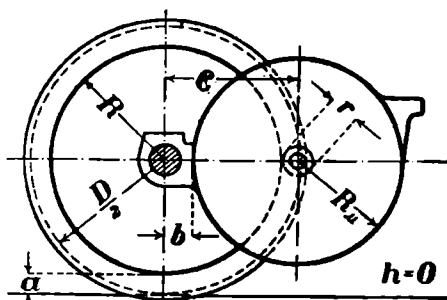


Рис. 165.

2. Вертикальные давления колес на рельсы, благодаря полной уравновешенности масс с относительным движением и отсутствию периодических перегруживания и обезгруживания, значительно равномернее и позволяют при одной и той же прочности верхнего строения пути повышать без вреда статическое давление оси.

По сравнению с моторами, непосредственно насаженными на ось, или с моторами, насаженными на полуось, моторы с зубчатой передачей имеют более низкий коэф. п. д., благодаря дополнительным потерям в зубчатой передаче, особенно при больших скоростях (рис. 164).

а) Электровозы с моторами трамвайного типа. Перенесение на электровозы трамвайного типа подвески моторов с передачей усилий движущим осям при помощи зубчатой передачи дало блестящие результаты. Этот тип моторов нашел особенно широкое распространение на товарных электровозах и на пассажирских до скорости 100 км/час. В Америке на жел. дороге Butte Anaconda and Pacific Ry все товарные и пассажирские электровозы были построены заводом G. E. Co в 1913—1917 гг. по этому типу. На жел. дороге Ch. M. St.-Paul также, за исключением пяти типа Cearless, построенных G. E. Co для пассажирской службы, и 10 электровозов с моторами-близнецами завода Westinghouse все электровозы для товарной, пассажирской и маневровой службы построены заводом G. E. Co с подвесными моторами.

НТЭ
ДНУЖТ

При подвесных моторах мы встречаемся с ограничением размеров моторов в зависимости от диаметра движущих колес. Действительно, обозначим диаметр движущих колес D , радиус зубчатого колеса, насаженного на вал мотора R , и радиус шестеренки r . При выбранной скорости мотора и наибольшей скорости электровоза мы имеем вполне определенное соотношение зубчатых колес $\frac{R}{r} = a$.

Радиус большого зубчатого колеса должен быть выбран таким образом, чтобы оставался достаточный зазор a между зубчатым колесом и рельсом (рис. 165), другими словами, мы имеем:

$$\frac{D}{2} = R + a \tag{40}$$

Кроме того, как видно из того же рис. 165, имеем следующее соотношение между радиусом зубчатых колес и радиусом мотора R_m

$$R_m + b = R + r \tag{41}$$

где b — необходимое расстояние между средней линией движущей оси и кожухом мотора, определяемое в зависимости от диаметра оси по конструктивным соображениям.

При принятых нами обозначениях, скорость движения электровоза выразится в виде:

$$V = \frac{D\pi\omega 3,6}{60n} = \frac{\pi Dn 3,6 r}{60\left(\frac{D}{2} - a\right)} \tag{42}$$

Кроме того из ур-ний (40) и (41) мы имеем:

$$R_m = R + r - b = \frac{D}{2} + r - (a + b)$$

или, принимая во внимание ур-ние (42), окончательно получим:

$$R_m = \frac{D}{2} - (a + b) + V \frac{1 - \frac{2a}{D}}{0,12\pi n} \tag{43}$$

Это ур-ние дает зависимость между размером мотора и диаметром движущих колес.

Ниже, на таблице XX, приведены наибольшие мощности моторов постоянного тока в зависимости от ширины колес.

ТАБЛИЦА XX

Ширина колес	Наибольшая мощность на ободу колес		Передач-ное число	Диаметр (в мм)	Вес в кг	
	в л. с.	в квт			с зубч. передачей	без зубч. передачи
450	12,6	9,2	1 : 7,3	680	390	340
500	18,7	13,8	1 : 6,66/12,24	730	550	485
600	29,4	21,6	1 : 7,3	750	830	690
600	36,0	26,5	1 : 8,2	900	1 335	1 200
700	60,0	44,2	1 : 6,5	850	1 380	1 190
900	110,0	81,0	1 : 6,5	950	1 820	1 640
1 000	160,0	118,0	1 : 6,7	1 250	—	—
1 435	452	333,0	1 : 4,58	1 320	6 550 ¹	—

¹ Двусторонняя зубчатая передача.

НТБ
ДНУЖТ

Недостатком моторов трамвайного типа является значительный вес, передающийся на движущие оси. Этот вес составляет до $\frac{5}{8}$ полного веса моторов и вызывает значительные перегрузки при всяких неровностях в рельсовой колее. В свою очередь эти неправильности пути вызывают перенапряжение в зубчатых колесах и тем выше, чем больше инерция вращающейся массы якоря. Для ослабления этого недостатка передачу усилия от шестеренки мотора на движущую ось устраивают эластичной, помещая спиральные рессоры или между коронкой с зубцами и телом зубчатого колеса, как, например, на электровозах жел. дор. Ch. M. St.-Paul, или же применяя полую ось (quill), внутри которой проходит с некоторым зазором ведущая ось. Каркас мотора несет подшипники, на которые опирается полая ось; таким образом мотор вместе с зубчатыми колесами и полой осью прикрепляется к раме и входит в наддресорное строение электровоза, а весом, непосредственно действующим на верхнее строение пути, оказывается только вес самой движущей оси с колесами.

Этот способ передачи нашел широкое распространение при расположении моторов над осями.

б) Электровозы с моторами, расположенными над осями. Расположение моторов над осями имеет большое преимущество перед подвесными моторами (по типу трамвайных); моторы легко доступны для осмотра и ремонта. Вместе с тем повышается центр тяжести наддресорного строения электровоза и наконец оказывается возможным уменьшить расстояние между движущими осями, что позволяет уменьшить длину,

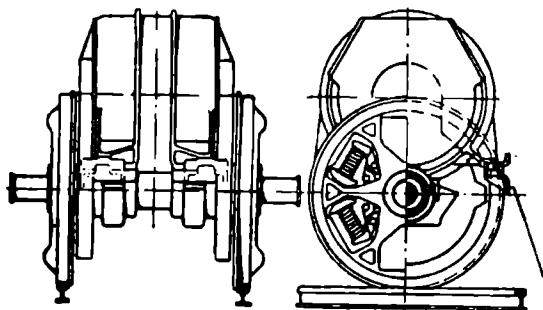


Рис. 166. Мотор, расположенный над осью зубчатой передачи.

а вместе с тем и вес электровоза. Расположение моторов над осями было применено в 1905 г. для электровозов постоянного тока в 600 в Пенсильванской жел. дороги.

На электровозе № 071, построенном в 1910 г., для жел. дороги New York—New Haven—Hartford постоянного тока 600 в от третьего рельса и 11 000 в однофазного тока в воздушном проводе заводом Westinghouse было также применено расположение моторов над движущими осями; зубчатое же колесо насаживалось не непосредственно на движущую ось с колесами, а на полую ось (quill), имевшую зазор с движущей осью в 38 мм (рис. 166).

Моторы с зубчатой передачей и эластичной связью между полой осью и скатом были применены на Лечбергской жел. дороге заводом Sécheron измененной конструкции для диаметра колес в 1 350 мм, что показывает, что этот способ передачи вполне применим для тихоходных электровозов с большой силой тяги на ободах колес. Способ передачи Sécheron при помощи полой оси отличается от передачи Вестингауза, которая требует для помещения больших размеров рессор большего диаметра колес (примерно 1 600 мм), тем, что передача усилий происходит при помощи трех двойных рессор, средние рессорные упорки соединены с полой осью, а крайние — с колесами, это, по мнению изобретателя инж. Werz, дает возможность иметь большую эксцентричность без перенапряжения рессор и меньший диаметр колес, а следовательно и меньшую длину и вес электровоза.

Как уже ранее указывалось, и в случае моторов, непосредственно насаженных на движущую ось, и в случае моторов с подвеской по типу

НТБ
ДНУЖТ

трамвайной, размеры, а следовательно и мощность моторов, ограничены размером движущих колес; для того чтобы повысить мощность, передаваемую на каждую ось, стали применять моторы-близнецы, т. е. моторы, с двумя якорями и общим каркасом, значительно увеличивая общую мощность.

Для дорог постоянного тока деление мощности одного мотора на два имеет особое значение, так как увеличение общего числа моторов вдвое позволяет иметь значительно большее количество различных группировок мотора, а следовательно и большее количество скоростей, при которых электровоз может работать без реостатов, в то же время при этом понижается напряжение на коллекторе мотора.

Моторы-близнецы были применены заводом Вестингауз в 1912 г.¹ для жел. дор. New York—New Haven and Hartford для постоянного тока 600 в и переменного 11 000 в. Оба мотора имеют общий каркас и при помощи зубчатых колес передают усилие на полый вал. На полый вал опирается также и общий каркас обоих моторов. При одинаковой общей мощности на движущую ось, якоря моторов-близнецов получают менее, чем у одиночного мотора, почему допускают большую скорость вращения при той же скорости на периферии мотора; кроме того оба мотора-близнеца дешевле одиночного мотора.

Моторы-близнецы поставлены были впоследствии заводом Вестингауз в 1919/20 г. на 10 пассажирских электровозах, часовой мощностью 4 000 л. с. для жел. дороги Ch. M. St.-Paul.

Для германских жел. дорог в конце 1925 г. заводом AEG был построен электровоз с моторами-близнецами² 2—D₀—1. Длительная мощность моторов-близнецов 600 л. с. при общей мощности электровоза $4 \times 600 = 2\,400$ л. с.

Передача усилий от моторов на полую ось происходит при помощи шестеренки из хромоникелевой стали (23 зубца) с закаленными и шлифованными зубцами и большого зубчатого колеса из 98 зубцов из сименс-мартеновской стали высшего качества; передача односторонняя, ширина зубчатых колес 140 мм с прямыми, параллельными оси зубцами. Оба колеса без пружин. Зазор между движущей осью и полую осью 42,5 мм в каждую сторону.

Опасаясь поломки пружин, при помощи которых усилие полого вала передается на колеса движущей оси, завода AEG изменил установку этих пружин, применявшуюся заводом Вестингауз, а именно: пружина помещается в двух цилиндрах, заключенных в особую коробку, разрезанную на две половины, сбалчиваемые вместе. Эта коробка прикрепляется к шайбе полого вала; оба цилиндра скользят внутри этой коробки, фланцы же их не позволяют им выйти из коробки; кольца коробки, в которых скользят цилиндры, а равно поверхности цилиндров закалены. Общий вид моторов с осью дан на рис. 167. Описанная конструкция упругой передачи от полого вала колесам создает более благоприятные условия работы пружин, предотвращая возможность изгиба их при доперечном перемещении движущей оси относительно полой оси, а также благодаря центробежной силе.

При моторах-близнецах могут быть применены всевозможные способы передачи: чисто зубчатая передача, система Quill с полой осью и наконец рассмотренная ниже система Buchli.

¹ См. Electric Railway Journal 17/II, 1912.

² Tetzlaff „Neue elektrische Schnellzuglokomotiven mit Einzelnachsantrieb für die Deutsche Reichsbahn“. Elektrische Bahnen, № 10, 1926.

НТБ
ДНУЖТ

в) Электровозы с передачей Buchli. Особенностью этой системы является вынос зубчатого колеса наружу колес, что позволяет сохранить значительно больше места для помещения мотора, а с другой стороны, позволяет придавать более полные размеры зубчатому колесу, увеличивая его прочность. Конструкция передачи изображена на рис. 168. Через отверстия *A* в теле зубчатки проходят шаровые цапфы, запрессованные на движущем колесе; на цапфы надеваются подвески из хромоникелевой стали *B*, нижним своим концом *C* прикрепляемые к рычагам, имеющим вращение около валиков *D* и на другом конце несущим зубчатые сегменты.

Ось большого зубчатого колеса располагается над соответствующей движущей осью; описанная конструкция передачи позволяет движущей оси менять в известных пределах положение ее по отношению к раме



Рис. 167. Моторы-близнецы завода АЕГ.



Рис. 168. Передача Buchli.

как в вертикальном, так и поперечном направлении, облегчая установку электровозов в кривых. В то же время, несмотря на эксцентричное положение передачи, как мы подробнее увидим ниже, вращательное движение движущим осям передается с постоянной угловой скоростью.

Благодаря большой свободе движений в передаче, неодинаковая толщина бандажей не нарушает распределения тяговых усилий по колесам.

Усилия от мотора передаются эластично на движущие колеса благодаря пружинам, находящимся на малом зубчатом колесе между втулкой его, насаживаемой на вал мотора, и ободом зубчатого колеса. На фиг. 168 ясно видны указанные пружины, нормально закрытые особым диском прикрепленным шурупами к телу зубчатого колеса.

Описанная передача требует тщательного смазывания отдельных частей, которое производится особым поршневым насосом, приводимым от большого зубчатого колеса. Масло из особого резервуара насосом подается во все нужные места смазки и снова стекает в фильтр и резервуар.

Вал мотора вместе с малым зубчатым колесом опирается в трех точках, а именно: кроме двух моторных подшипников имеется консольная опора для укрепления малого зубчатого колеса, которое таким образом оказывается закрепленным неподвижно по отношению к раме, к которой прикрепляется и опора большого зубчатого колеса. Такая конструкция

НИИ
ДНУЖТ

дает безукоризненное сцепление колес, но в то же время требует очень жесткой связи между рамами, препятствующей малейшему искривлению рам и заклиниванию моторных валов.

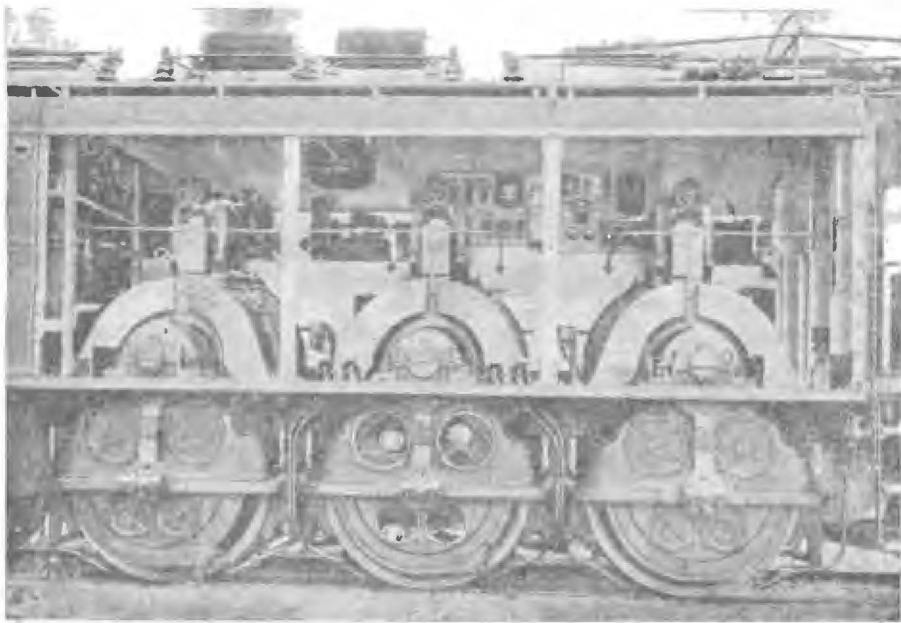


Рис. 169. Электровоз 2—С—1 с передачей Buchli.

Описанный способ передачи хорошо виден на рис. 169, изображающем часть электровоза с отнятой боковой стенкой кузова.

Из всего изложенного можно отметить пока следующие преимущества этого вида передачи: это — высокое расположение центра тяжести наддрессорного строения, присущее электровозам с моторами, расположенными над осями, большая доступность моторов, практически неограниченная ширина зубчатых колес, а также большая длина мотора, благодаря выносу зубчатой передачи вне рам. Наконец большая подвижность передачи позволяет давать большое боковое перемещение колес и связывать ведущее колесо с бегунком в одну тележку.

Перейдем теперь к исследованию работы передачи. На рис. 170 дано схематическое изображение системы в ее среднем положении, т. е. при так называемом эксцентриситете, равном нулю. Пусть зубчатое колесо начинает передавать вращательное движение движущему колесу таким образом, что оба колеса вращаются с одинаковой угловой скоростью, другими словами, между обоими колесами нет относительного вращения. Движущее колесо располагается эксцентрично по отношению к своему зубчатому колесу. Обозначим величину эксцентриситета через e . В этом случае, как видно из рис. 171, цапфы A и B , жестко связанные с ведущим колесом, описывают по отношению к зубчатому колесу окружности, радиусом,

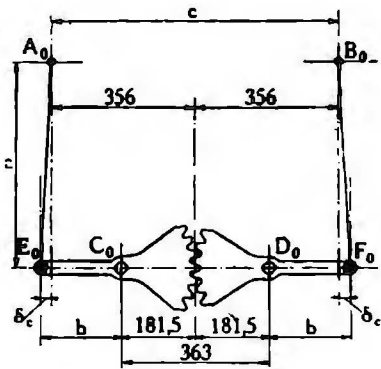


Рис. 170.

НИИ
ДНУЖТ

равным e , центром коих является, среднее положение каждой цапфы, т. е. точки A_0, B_0 (рис. 171).

На рис. 172 показано вращающееся около точки O_1 ведущее колесо и около точки O_0 —зубчатое колесо. Длина отрезка O_0O_1 всегда остается равной e , так как согласно сделанному нами предположению радиусы O_0A_0 и O_1A_1 должны оставаться параллельными. Точка A_1 описывает относительно зубчатого колеса или системы, вращающейся около центра O_0 , окружность радиуса e , центром которой является точка A_0 . Возвращаясь к рис. 171, обозначим расстояние между цапфами кривошипов, запрессованных в движущем колесе, через c (расстояние между точками A_0 и B_0). Если концы рычагов, несущих зубчатые сегменты, обозначим при среднем положении E_0 и F_0 , а длину прилегающих плеч—через b , то не трудно видеть:

$$c = A_0 B_0 = E_0 F_0 = C_0 D_0 + 2 b.$$

Пусть теперь система отклонится от среднего положения на угол θ , соответствующий эксцентриситету e , тогда точки A_0 и B_0 займут положения A_1 и B_1 , а рычаги C_0E_0 и D_0F_0 —положения EC_0 и FD_0 . Вполне симметричные благодаря наличию зубчатого сцепления между ними. Отклонение концов рычагов E и F от вертикали A_0E_0 и F_0B_0 на величину δ_u вызовет дополнительное перемещение точек A_1 и B_1 в положение A и B , другими словами, прямая A_1B_1 повернется на некоторый угол $d\varphi$, на угол сдвига между движущим и зубчатым колесом. При выбранной нами системе координат, точки A_1 и B_1 определяются координатами.

$$\Delta x = e \sin \theta \text{ и } \Delta y = e \cos \theta.$$

Примем следующие допущения

$$E_0E_1 = F_0F_1 \cong \Delta,$$

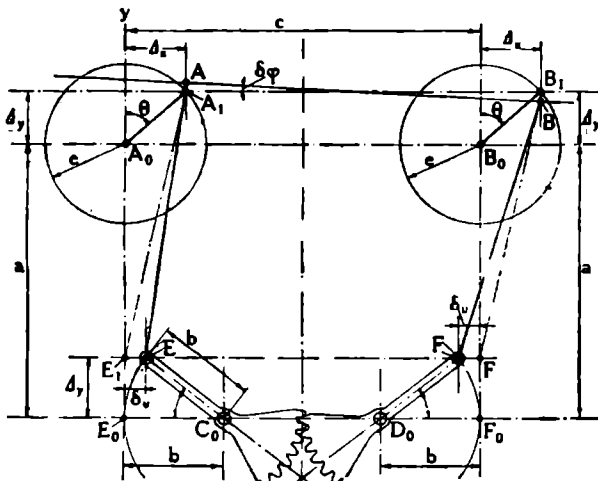


Рис. 171.

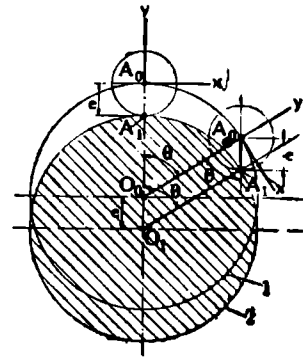


Рис. 172.

что весьма близко к истине, затем величина $E_0E = \Delta y$ мала по сравнению с $C_0E \cong b$, а именно: обычно не более $\frac{b}{5} - \frac{b}{7}$; таким образом, мы не сделаем ошибки более 0,66%, если примем:

$$\frac{\Delta y}{b} = \sin \alpha \cong \alpha \quad \left(\text{вместо } \alpha - \frac{\alpha^3}{3} + \dots \right)$$

далее, обозначим E_1E через δ_u .

Имеем:

$$\Delta y^2 = \delta_u (2b - \delta_u) = 2b\delta_u + \delta_u^2.$$

Пренебрегая величиной δ_u^2 (ошибка в случае $\Delta y < \frac{b}{5}$ не достигает 1%), мы получим:

$$E_1E = \delta_u = \frac{1}{2} \frac{\Delta y^2}{b}.$$

НТБ
ДНУЖТ

Как видно из чертежа (рис. 173), на одной горизонтали лежат точки: E_1, E, F и F_1 , точки же A' и B' лежат на горизонтали, расположенной на отрезок a выше первой. Далее B и B'' лежат на одной горизонтали, равно как A и A'' .

Искомая разница высот точек A и B равна разнице высот точек A'' и B'' , другими словами, мы можем написать разницу высот:

$$AB = BB_1 + A_1A = B''A' - A''A',$$

но

$$(B''B)^2 = B''B'(2a - B''B') = B''B' \cdot 2a,$$

откуда

$$B''B' = \frac{(B''B)^2}{2a} = \frac{(\Delta x + \delta_u)^2}{2a} = \frac{\Delta x^2 - 2\Delta x\delta_u + \delta_u^2}{2a}.$$

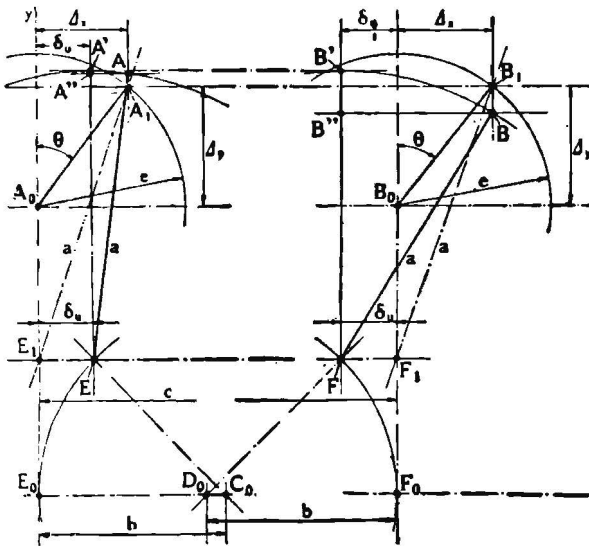


Рис. 173.

Точно так же

$$A''A' = \frac{(\Delta x - \delta_u)^2}{2a} = \frac{\Delta x^2 - 2\Delta x\delta_u + \delta_u^2}{2a}.$$

Таким образом,

$$B''B' - A''A' = \frac{2\Delta x\delta_u}{a} = \frac{\Delta x \cdot \Delta y^2}{ab}$$

и искомая величина

$$d\varphi = \frac{\Delta x \cdot \Delta y^2}{abc} = \frac{e^3}{abc} \sin \theta \cos^2 \theta \tag{44},$$

что дает после преобразования:

$$d\varphi = \frac{e^3}{4abc} (\sin \theta + \sin 3\theta).$$

Полученное выражение показывает, что кривая относительного перемещения движущего колеса и зубчатого может рассматриваться как составная из основной волны (синусоиды с периодом, равным периоду ведущего колеса) и третьей гармоники (рис. 174).

Мы принимали, что расстояния A_0B_0 и E_0F_0 равны между собою и равны $C_0D_0 + 2b$; допустим теперь, что расстояние A_0B_0 менее расстояния

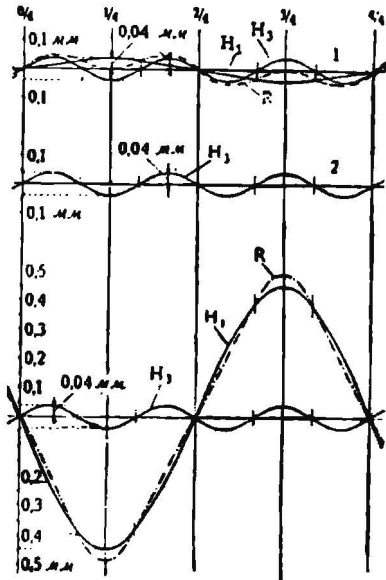


Рис. 174. Относительное смещение между движущим колесом и большим зубчатым колесом в течение одного оборота.

H_1 — основной вал
 H_3 — 3-я гармоника
 R — результирующая
 1 — подвески паралл.
 2 — надлеж. образ. накл.
 3 — чрезм. накл.

НИИ
ДНУЖТ

E_0F_0 на $2dc$, или что подвески A_0E_0 и B_0F_0 в среднем своем положении не параллельны. Тогда, как следует из рис. 173:

$$(A''A)^2 = A''A'(2a - A''A')$$

$$A''A' = \frac{(A''A)^2}{2a - A''A'} = \frac{(A''A)^2}{2a},$$

или

$$A''A' = \frac{(\Delta x + dc + \delta_n^2)}{2a}.$$

Точно так же

$$B''B' = \frac{(\Delta x - dc + \delta_u^2)}{2a}.$$

Разница высот точек A и B будет в этом случае:

$$B''B' - A''A' = \frac{2\Delta x\delta_u - 2\Delta xdc}{a} = \frac{\Delta x\Delta y^2}{ab} - \frac{2\Delta xdc}{a}$$

и

$$d\varphi = \frac{\Delta x\Delta y^2}{abc} - \frac{2\Delta xdc}{ac},$$

или:

$$d\varphi = \left(\frac{e^3}{4abc} - \frac{2e \cdot dc}{ac} \right) \sin \Theta + \frac{e^3}{4abc} \sin 3\Theta \quad (45).$$

Член, содержащий множитель $\sin \Theta$, равен нулю при:

$$\frac{e^3}{4abc} = \frac{2e \cdot dc}{ac},$$

или

$$\text{при } dc = \frac{e^2}{8b},$$

т. е. приблизительно при dc , равном четверти высоты дуги.

Таким образом мы можем добиться, что в кривой относительного перемещения движущего и зубчатого колеса основная волна пропадет и останется одна 3-я гармоника.

Для пояснения сказанного в качестве примера приведем подсчет относительного вращения движущего колеса и зубчатого у электровоза 2—3—1 швейцарских ж. д. для трех вариантов:

вар. 1)	$b = 174,5 \text{ мм}$	$dc = 0$
" 2)	$b = 175,0 \text{ мм}$	$dc = 0,5 \text{ мм}$
" 3)	$b = 180,0 \text{ мм}$	$dc = 5,5 \text{ мм}$

Пусть, во всех трех случаях $a = 510 \text{ мм}$, $c = 712$ и $C_0D_0 = 363 \text{ мм}$; эксцентриситет в среднем примем — 25 мм . Пользуясь выведенными формулами, получим:

вар. 1)	$d\varphi = 0,0000615 (\sin \Theta + \sin 3\Theta)$
" 2)	$d\varphi = 0,0000615 \sin 3\Theta$
" 3)	$d\varphi = 0,0007 \sin \Theta + 0,0000615 \sin 3\Theta$

Диаметр большого зубчатого колеса 1296 мм или радиус 648 мм . Таким образом выше найденным углам соответствуют дуги:

вар. 1)	$648 \times 0,0000615 (\sin \Theta + \sin 3\Theta) = 0,04 (\sin \Theta + \sin 3\Theta)$
" 2)	$0,04 \sin \Theta$
" 3)	$0,454 \sin \Theta + 0,04 \sin 3\Theta$

На рис. 174 эти величины даны в виде кривых.

НТБ
ДНУЖТ

Что касается абсолютной величины найденных отклонений, то здесь следует указать, что ошибка в делении зубцов на новейших машинах может достигать 0,1—0,25 минут, что соответствует уже 0,019—0,0475 мм. Отсюда видно, что относительное перемещение при правильной установке описанной системы передачи находится в пределах точности выполнения зубчатой передачи. Правильное соотношение дано под 2) при котором отсутствует основная волна; при соотношении размеров рычагов 3) — основная волна имеет амплитуду в 11 раз больше, чем 3-я гармоника.

Определим теперь, при каких скоростях возможен резонанс колебания якоря мотора вместе с пружиной верхней зубчаткой. Для вышеуказанного электровоза якорь мотора имеет момент инерции $GD^2 = 1600 \text{ кг/м}^2$; пусть среднее упругое перемещение зубчатки с пружинами при крутящем моменте в 1000 кг/м будет $\varphi = 0,0443$, тогда коэффициент упругости или величина момента, вызывающего вращение на угол, равный единице, будет:

$$c = \frac{1}{0,0443} \cdot 1000 = 22600 \text{ кг/м.}$$

Примем массу электровоза бесконечно большой по сравнению с массой якоря, тогда вся масса, кроме якоря мотора с зубчатым верхним колесом, может считаться неподвижной и не участвующей в колебаниях; таким образом число колебаний якоря с зубчатым колесом будет:

$$n_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{GD^2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{22600 \times 4 \times 9,81}{1600}} \quad (46).$$

При отсутствии же электрического момента при колебаниях, при проходе через среднее положение в игре зубчатого зацепления, в игре цапф и т. п., время колебания будет возрастать и таким образом число колебаний достигнет всего лишь около 70% ранее найденного.

В случае, если причины, вызывающие колебания передачи, будут иметь число периодов, равное числу оборотов движущих колес как, например, в том случае, если благодаря неудачно выбранной длине подвесок не будет уменьшена достаточно основная волна, будет иметь место резонанс в пределах от 3,68 оборотов движущего колеса и до 70% этой величины; другими словами, при скорости электровоза с диаметром движущих колес 1610 мм при 67—47 км/час.

Третья гармоника относительного перемещения зубчатого и движущего колеса имеет резонанс при 22,3—15,7 км/час и практически при столь небольшой скорости не имеет значения; к тому же причины, вызывающие затухания колебаний, не дадут возможности возрасти им.

Зубчатое малое колесо устраивается с пружинами с тем, чтобы неизбежные толчки (как-то: на стыках или при изменении крутящего мотора передавались без толчков с зубчатки на зубчатку).

Как показала практика германских жел. дорог, при удовлетворительной смазке передача Vichli дает совершенно ничтожный износ благодаря удачному подбору материала; однако следует отметить, что качество смазочного масла должно быть весьма высоким, и на этом не следует экономить.

В случае передачи Vichli благодаря возможности давать некоторое относительное перемещение движущим осям можно применять тележки Цара-Краусса и Краусса-Гельмгольца, что в случае больших скоростей имеет крупные преимущества, так как такие тележки на ходу почти так же спокойны, как и двухосные тележки. На электровозах 1—D₀—1, с передачей Бухли, на германских жел. дор. были также применены тележки Краусса-Гельмгольца.¹ На опытах линии Bitterfeld—Leipzig были достигнуты скорости

¹ См. Die-1-Do-1 Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn".
B. Wichert und O. Michel Electriche Bahnen, 1927, стр. 73—94.

до 122 км/час., причем электровоз имел совершенно спокойный ход, вход в кривые происходил совершенно плавно.

Передача Бухли была применена заводом ВВС для электровозов 2—С—1 швейцарских жел. дор., с предельной скоростью 90 км/час. Передача установлена с одной стороны.

В июне 1926 г. был построен для германских жел. дор. электровоз 1—D₀—1 с системой Бухли, с часовой мощностью 2400 л. с. (длительной 2000 л. с.) и предельной скоростью 110 км/час., передача также односторонняя.

Во Франции система Бухли применена на электровозах жел. дор. Париж—Орлеан, где скорости достигают 125 км/час.

Разобранные нами способы передачи усилий от моторов непосредственно и при помощи зубчатых колес применяются в случае многомоторных электровозов, т. е. когда каждая движущая ось имеет свой отдельный мотор или два мотора-близнеца.

Очень часто к числу недостатков электровозов с индивидуальными моторами причисляется их якобы склонность к баксованию и даже иногда рекомендуется спаривать оси; однако в настоящее время имеется достаточно богатый опыт, чтобы с уверенностью можно было сказать, что склонность к баксованию этого рода электровозов ничуть не более, чем электровозов с шатунами и спарниками.

Во многомоторных электровозах, в виду того, что каждая ось получает движущее усилие от своего мотора и должна воспринимать всю мощность мотора, весьма важное значение имеет предельная нагрузка на ось. Если обозначим коэф. сцепления между колесами и рельсами через φ , то наибольшее усилие, развиваемое каждой осью, будет φP , а при n движущих осях

$$F_{\max} = nP\varphi,$$

где P — нагрузка на движущие оси.

Если мы примем, что наибольшая сила тока по условию удовлетворительной коммутации может быть равна двойной силе тока длительной мощности, то длительная сила тяги определится

$$F_{\text{дл}} = \frac{n}{2} P\varphi.$$

Определим теперь возможную длительную мощность электровоза. Зададимся условием,¹ что длительная мощность должна развиваться электровозом до скорости, равной 0,6 максимальной. Если обозначим последнюю через V_{\max} , то длительная мощность электровоза найдется равной

$$N_{\text{дл}} = \frac{F_{\text{дл}} \cdot 0,6V_{\max}}{270} = \frac{0,3\varphi PnV_{\max}}{270},$$

а длительная мощность каждой оси

$$n_{\text{дл}} = \frac{0,3\varphi PV_{\max}}{270}.$$

Другими словами, пользование моторами достаточной мощности, — возможно лишь при достаточно высокой нагрузке на ось и большой скорости электровоза.

При нагрузке на ось 20 т, максимальной скорости пассажирского электровоза 90 км/час, и при максимальной силе тяги по сцеплению при работе песочницей в 300 кг на тонну сцепного веса, длительную мощность, развиваемую каждой осью, получим:

$$n_{\text{дл}} = \frac{0,3 \cdot 90 \cdot 300 \cdot 20}{270} = 600 \text{ л. с.}$$

¹ Это предписывается нормами для однофазных германских государственных ж. д.

НТБ
ДНУЖТ

При американских допускаемых нагрузках на ось в 30 т и более высоких скоростях мощность, развиваемая каждой осью, может быть доведена до 1 000 л. с.

Стремление иметь даже при сравнительно невысоких допускаемых нагрузках на оси индивидуальные моторы заставляет применять некоторые промежуточные решения. В Австрии, где нагрузка на ось всего была еще несколько лет назад 14,5 т,¹ пришлось применить следующую конструкцию: электровоз типа 0—5—0 имеет три движущие средние оси с моторами трамвайного типа, остальные оси являются спаренными; благодаря тому, что здесь совершенно отсутствуют шатуны и отбойные валы, а передача усилий от трех моторов на три оси имеется непосредственная при помощи зубчатых колес—усилия в спарниках весьма ничтожны, а именно: у крайних спарников всего лишь равные $\frac{1}{6}$ мощности электровоза, а у средних спарников всего $\frac{1}{18}$, в то время как, например, при двух моторах, передающих усилие через треугольник, на среднюю ось электровоза типа Лечбергской жел. дор. средние спарники передают по $\frac{2}{3}$ всего усилия электровоза, а крайние—по $\frac{1}{6}$.

46. Электровозы с шатунной передачей

Рассмотренные ранее типы электровозов с непосредственно насаженными на ось моторами и электровозы с зубчатой передачей мы охарактеризовали как электровозы с индивидуальными для каждой движущей оси моторами. Теперь мы переходим к электровозам, имеющим всего один-два мотора, расположенных на рамах электровоза и передающих при помощи шатунов непосредственно или через посредство зубчатых колес усилие на движущие оси.

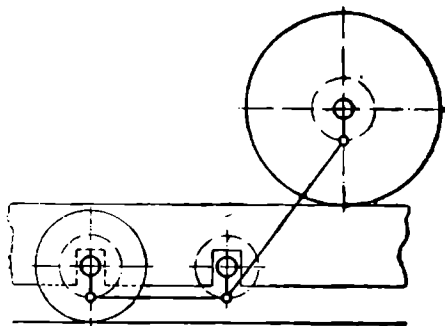


Рис. 175.

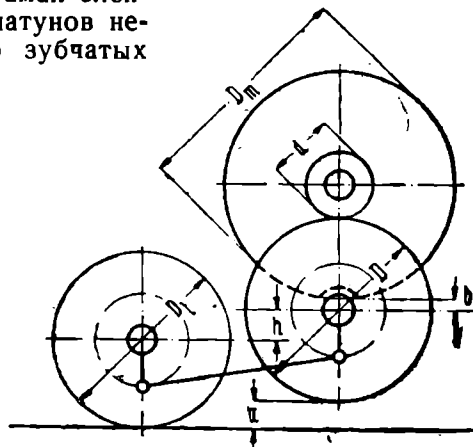


Рис. 176.

В зависимости от способа передачи усилий будем различать электровозы с чисто шатунной передачей и электровозы с шатунно-зубчатой передачей.

При чисто шатунной передаче число оборотов мотора должно быть равно числу оборотов движущих колес, моторы получают благодаря этому, сравнительно с малым числом оборотов, тяжелыми и дорогими. Однако размеры мотора не стеснены ни рамами, ни скатами, как в случае подвесных моторов. Усилие от мотора передается шатуном на отбойный вал, а затем при помощи спарников на сцепные оси (рис. 175).

¹ См. „Entwicklung des Einzelnachsantriebes für elektrischen Lokomotiven durch Ost. S.-S.-W.“ E. Linsinder ETZ. 1928. № 48, стр. 1733.

Для того чтобы иметь возможность давать моторам большее число оборотов и улучшить использование активной части мотора, применяется шатунно-зубчатая передача, а именно: усилие от мотора передается при помощи зубчатой передачи на отбойный вал, а последний передает усилие при помощи спарников на движущие оси (рис. 176). Отбойные валы очень часто располагаются в одном уровне с движущими осями; в таком случае между размерами мотора и движущими осями имеется то же соотношение, что и в случае чисто зубчатой передачи (см. стр. 183). С целью увеличить размеры мотора, отбойный вал располагают несколько выше движущей оси. На рис. 176 это возвышение обозначено буквой h . Найдем влияние возвышения h на размеры мотора.

Обозначая: D_t — диаметр движущих колес,
 D_m — диаметр мотора,
 D — диаметр большего зубчатого колеса, насаженного на отбойный вал,
 d — диаметр шестеренки мотора,
 можем написать:

$$D_t + 2h = D + 2a,$$

где a — необходимый зазор между большим зубчатым колесом и головкой рельса.

Кроме того имеем:

$$D + d = D_m + 2b,$$

откуда:

$$D_m = D + 2[h - (a + b)] + d.$$

Далее зависимость между скоростью электровоза V , диаметром D_t , n числом оборотов его движущих колес может быть представлена в следующем виде:

$$V = \frac{D_t + n\pi 3,6}{i60} = \frac{D_t}{D} \pi n \cdot 0,06d \quad (47),$$

где $i = \frac{D}{d}$ есть передаточное число.

После преобразований окончательно имеем:

$$D_m = D_t - 2(a + b - h) + V \frac{1 + \frac{2h - a}{D_t}}{0,06\pi n} \quad (48).$$

Перейдем к рассмотрению тех усилий, которые имеют место при шатунных передачах.

Кривошипные моторы, как и в случае двухцилиндровых паровозов, насаживаются под углом в 90° друг к другу; однако между работой паровозного шатунного механизма и электровозного имеется коренное отличие.

Паровозный шатунный механизм представляет собою в смысле кинематики незамкнутую систему и статически определимую, в то время как шатунный механизм электровоза является замкнутой статически неопределимой системой. В паровозе наибольшие усилия шатунов определяются давлением пара в цилиндрах, в замкнутой же системе усилия шатунов зависят от упругих деформаций системы и могут, как мы увидим ниже, достигать при известных условиях бесконечно большой величины. Помимо того шатунный механизм в паровозе имеет части сравнительно небольших масс; упругое действие пара в цилиндрах поглощает при переменном движении механизма энергию, способную вызвать колебания отдельных элементов механизма. В шатунном механизме электровоза имеются части

большой массы и в то же время отсутствуют элементы, способные поглощать периодически меняющиеся развиваемые в механизме усилия, а также достигающие опасных размеров колебательные движения.

Все это объясняет, почему при применении на электровозах шатунов, оправдавших себя в течение долгих лет на паровозах, появились осложнения. При некоторых скоростях на электровозах наблюдались колебания, часто настолько сильные, что требовали тщательной проверки всего механизма передачи; только после проверки и уничтожения игры в механизме можно было считать безопасной дальнейшую работу этих электровозов. Указанные явления наблюдались как на электровозах однофазного тока, так и трехфазного, почему можно считать, что влияние рода тока в данном случае исключено.

Рассмотрим сначала элементарную систему передачи, состоящую из якоря мотора с насаженными под углом 90° друг относительно друга кривошипами, из двух шатунов и отбойного вала. Совершенно аналогичной является передача усилий от отбойного вала движущим осям, с той лишь разницей, что в первом случае оба вала (вал мотора и отбойный вал) имеют подшипники, жестко укрепленные в раме электровоза, во втором же случае движущие оси соединены с рамами при помощи рессор. Для того, чтобы игра рессор оказывала наименьшее влияние на работу передачи в целом, необходимо ось отбойного вала и движущие оси располагать в одной горизонтальной плоскости или допускать лишь незначительные повышения отбойного вала над движущими осями. Повышенное расположение отбойного вала вызывает периодическое разгруживание и перегруживание движущих осей, что нередко сопровождается заметным продольным колебанием электровоза.

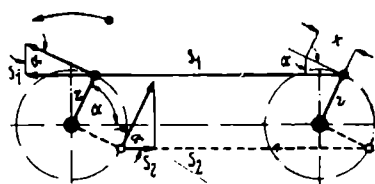


Рис. 177.

При рассмотрении сил в шатунной передаче мы можем исходить из постоянной силы тяги на валу мотора. Обозначим усилия, направленные вдоль обоих шатунов S_1 и S_2 . Угол α , пройденный кривошипом, будем отсчитывать от горизонтального положения кривошипа (рис. 177). Принимая угловую скорость вращения отбойного вала ω , мы можем для некоторого момента t (времени), спустя после прохождения кривошипом своего начального положения, угол α выразить в виде:

$$\alpha = \omega t.$$

Принимая, что усилия, передаваемые на оба шатуна, равны сумме усилий на ободе колес P или на валу мотора, отнесенному к радиусу кривошипа h , можем написать уравнение.

$$P = S_1 \sin \omega t + S_2 \cos \omega t \quad (49)$$

Усилия, передаваемые отдельными шатунами, пропорциональны деформациям этих шатунов. Пусть под влиянием удлинения шатунов отбойный вал с кривошипами переместился на угол $d\alpha$; пройденные кривошипами дуги будут равны $r d\alpha$; удлинения шатунов, как проекции дуг $r d\alpha$ на направление шатунов, найдутся равными:

$$r d\alpha \sin \alpha \text{ и } r d\alpha \cos \alpha.$$

Таким образом мы имеем следующее уравнение:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{r d\alpha \sin \alpha}{r d\alpha \cos \alpha} = \frac{\sin L}{\cos \alpha} \quad (50).$$

Решая совместно уравнения (49) и (50), получим:

$$P = S_1 \sin \alpha + S_1 \frac{\cos^2 \alpha}{\sin \alpha}$$

и далее:

$$S_1 = P \sin \alpha$$

и

$$S_2 = P \cos \alpha.$$

Таким образом усилия, передаваемые шатунами, меняются по синусоиде, меняя свою величину от нуля и до P , т. е. при мертвом положении одного кривошипа усилие передается целиком другим кривошипам.

Рассмотрим случай, когда мотор располагается высоко на раме и усилие от него передается через посредство отбойного вала на оси; в этом случае мы имеем шатуны между валом мотора и отбойным валом и спарники от отбойного вала к движущим осям. Здесь могут представиться два

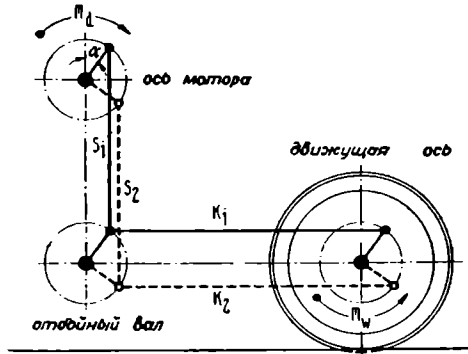


Рис. 178.

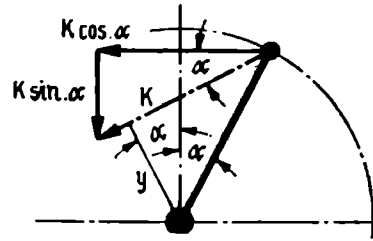


Рис. 179.

случая: а) мотор располагается над отбойным валом, шатуны вертикальны; б) мотор расположен в стороне по отношению к отбойному валу, шатуны наклонны к горизонтали. В первом случае (рис. 178), полагая K — усилие кривошипов мотора — равное усилиям кривошипов отбойного вала и кривошипов движущих осей, имеем:

а) усилия, передаваемые шатунами:

$$S_1 = K \sin \alpha$$

и

$$S_2 = K \cos \alpha;$$

б) усилия, передаваемые спарниками:

$$K_1 = K \cos \alpha$$

и

$$K_2 = K \sin \alpha.$$

Цапфы кривошипов отбойного вала испытывают усилие равное равнодействующей сил S и K :

$$N = \sqrt{K_1^2 + S_1^2} = \sqrt{(K \cos \alpha)^2 + (K \sin \alpha)^2} = K.$$

Направление этого усилия найдем:

$$\frac{K \sin \alpha}{K \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha \quad (51).$$

Момент, передаваемый отбойным валом с одной стороны на другую, равен (рис. 179) $M = Ky$, но так как

$$y = r \cos 2\alpha,$$

то

$$M = Kr \cos 2\alpha \quad (52),$$

НТБ
ДНУЖТ

Передача усилий с одной стороны на другую обусловлена тем, что при мертвом положении кривошипа одной стороны работает лишь другая сторона. Вращающий момент M меняет свое направление два раза в течение одного оборота.

В случае наклонного расположения шатунов (рис. 180) усилия шатунов равны:

$$P_1 = K \cos \alpha$$

и

$$P_2 = K \sin \alpha,$$

а усилия, передаваемые спарниками,

$$Q_1 = K \sin (\alpha + \beta)$$

и

$$Q_2 = K \cos (\alpha + \beta),$$

где β — угол наклона шатунов.

Усиле, испытываемое цапфой кривошипа отбойного вала, найдется равным:

$$N = K \cos \beta \tag{53}.$$

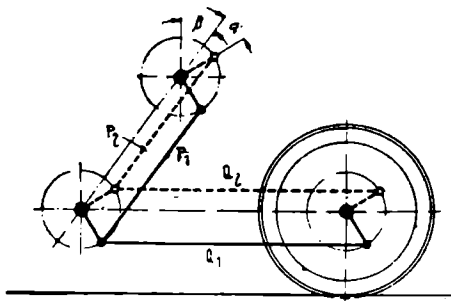


Рис. 180.

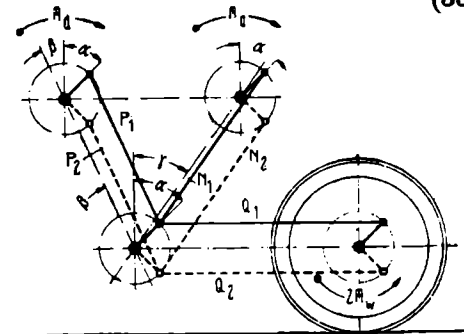


Рис. 181.

Рассмотрим еще случай, когда два мотора работают на общий отбойный вал (рис. 181).

Усилия, передаваемые шатунами обоих моторов, найдутся

$$P_1 = K \sin (\alpha + \beta)$$

$$P_2 = K \cos (\alpha + \beta)$$

и

$$N_1 = K \sin (\gamma - \alpha)$$

$$N_2 = K \cos (\gamma - \alpha),$$

где β и γ — углы наклона шатунов обоих моторов.

Усилия, передаваемые спарниками:

$$Q_1 = 2K \cos \alpha$$

и

$$Q_2 = 2K \sin \alpha.$$

Для того чтобы определить усилие, испытываемое пальцем кривошипа отбойного вала, будем рассматривать всю систему передачи, как состоящую из двух отдельных шатунных механизмов, передающих усилия, каждый от своего мотора. Каждый из шатунных механизмов сообщит пальцу кривошипа отбойного вала усилие:

$$N_1' = K \cos \beta$$

и

$$N_2' = K \cos \gamma.$$

НТБ
ДНУЖТ

Направление этих усилий составляет с горизонталью углы:

$$\varphi' = \alpha + \beta$$

и

$$\varphi'' = \gamma - \alpha.$$

Равнодействующее усилий N_1' и N_2' найдем равным:

$$N^2 = K^2 (\cos^2 \beta + \cos^2 \gamma - 2 \cos \beta \cos \gamma \cos \psi) \quad (54),$$

где $\psi = 180^\circ - (\alpha + \beta + \gamma - \alpha) = 180^\circ - (\beta + \gamma)$.

Произведя преобразования, окончательно получим:

$$N = 2K \cos^2 \beta \quad (55),$$

т. е. усилие, испытываемое пальцем кривошипа при неизменной нагрузке моторов, есть величина постоянная при всех положениях пальца кривошипа.

47. Влияние неправильностей в шатунном механизме

Найденные величины усилий в шатунах и спарниках верны однако для случая идеально точно собранного механизма. В действительности могут иметь место случаи, когда игра в подшипниках достигает такой величины, что деформации отступают на задний план. Не следует также упускать из виду, что последние зависят от величины передаваемого усилия, тогда как игра в подшипниках от него не зависит. Приблизительно можно считать в среднем, что изменение длины шатунов колеблется 0,2—0,5 мм, доходя до 1 мм¹; таким образом, если не учитывать этих явлений, можно прийти к ложным выводам. Рассмотрим влияние неточности сборки для случая простого шатунного механизма. Пусть игра в подшипниках шатуна достигает величины σ , тогда между ведущим пальцем кривошипа A или B и ведомым пальцем A' или B' будет угол, равный $\delta\alpha$. На рис. 182 окружности, описываемые ведущими и ведомыми пальцами, для удобства изложения совмещены.

В случае деформации шатунов точка A переместится в A_1 и B — в B_1 ; далее изгиб кривошипа и кручение осей ведущей и ведомой оси вызовут перемещение точки B_1 в B_2 и B' в B'_1 . Не трудно видеть, что, пока проекция расстояния $B_1'B_2$, равная y' , будет менее величины σ , передача вращающего момента будет производиться шатуном AA' , но при дальнейшем вращении вала может иметь место $y' = \sigma$, тогда в передаче участвует шатун BB' , в то время как шатун AA' разгружается. Скорость перемены усилий зависит не только от скорости вращения, но и от разности $y' - \sigma$, являющейся функцией всех деформаций. Если деформации ничтожны, перемена усилий происходит при $y = \sigma$. Для этого случая, как видно из рис. 182,

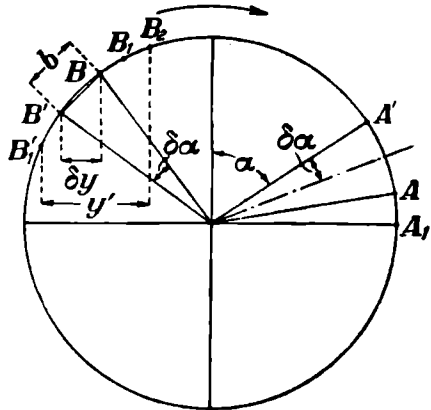


Рис. 182.

$$\alpha + \frac{\delta\alpha}{2} = 45^\circ; 90^\circ + 45^\circ; 180^\circ + 45^\circ \text{ и т. д.}$$

¹ См. Elektrische Kraftbetriebe u. Bahnen. 1913, стр. 1195.

НТБ
ДНУЖТ

Таким образом

$$W_{B'} = \omega r \frac{\sin\left(45^\circ - \frac{\delta\alpha}{2}\right)}{\cos\left(45^\circ - \frac{\delta\alpha}{2}\right)} \cdot \sin\left(45^\circ - \frac{\delta\alpha}{2}\right) = \omega r \frac{\sin^2\left(45^\circ - \frac{\delta\alpha}{2}\right)}{\cos\left(45^\circ - \frac{\delta\alpha}{2}\right)}$$

и так как

$$W_B = \omega r \sin\left(45^\circ + \frac{\delta\alpha}{2}\right),$$

то:

$$W = W_B - W_{B'} = \omega r \left\{ \sin\left(45^\circ + \frac{\delta\alpha}{2}\right) - \frac{\sin^2\left(45^\circ - \frac{\delta\alpha}{2}\right)}{\cos\left(45^\circ - \frac{\delta\alpha}{2}\right)} \right\} = \omega r \left\{ \frac{\cos(90^\circ - \delta\alpha)}{\cos\left(45^\circ - \frac{\delta\alpha}{2}\right)} \right\} \quad (56).$$

Например, в случае скорости вращения 800 об./мин и радиуса кривошипов $r = 0,3$ м имеем при игре $\sigma = 5$ мм

$$\delta\alpha = \frac{\sigma}{r} \cdot 1,414 = \frac{0,005}{0,3} \cdot 1,414 = 0,023557 = \frac{1}{33} = 1^\circ 17'$$

$$W = \omega r \left\{ \frac{\cos(90^\circ - \delta\alpha)}{\cos\left(45^\circ - \frac{\delta\alpha}{2}\right)} \right\} = \frac{6,28 \cdot 300}{60} \cdot 0,3 \frac{0,0233}{0,7153} = 0,307$$

при игре в 2 мм мы получили бы $W = 0,0535$.

Отсюда видно, какое значение имеет величина α на удары шатунов о пальцы кривошипов. Кроме того усилие шатунов, независимо от удара, равно

$$S = \frac{P}{\sin 45^\circ}.$$

т. е. в 1,414 раза более максимального значения синусоиды. При наличии деформации в течение некоторого промежутка времени или некоторого угла поворота β оба шатуна работают одновременно; величина угла β зависит от величины деформаций, а время, в течение коего усилие от одного шатуна передается другому, зависит, кроме угла β , и от скорости вращения ω , причем передача усилий происходит неравномерно, в виде зигзагообразной линии, т. е. внезапное увеличение нагрузки вызывает появление деформации, обезгруживающей в последующий момент шатун и обратно.

Распределение усилий между шатунами дано на рис. 184.

До сего времени мы рассматривали случаи одинаковой длины обоих шатунов и одинаковой игры у них; в случае, если длина шатунов окажется различной, укороченный шатун продолжает работать большее время, почему его усилия оказываются значительно выше и только деформации выравнивают несколько эти неравенства напряжений в шатунах.

Теперь перейдем к изучению влияния неправильной длины отдельных элементов, входящих в общую систему шатунной передачи. Здесь следует различать следующие случаи.¹

1. Отклонение длины шатунов или спарников от их теоретической величины, равной расстоянию между центрами спариваемых осей; причиной тому могут быть ошибки при сборке рамы или при изготовлении и сборке самих спарников.

2. Отклонения угла между кривошипами от 90° .

3. Отклонения от теоретической длины радиуса кривошипа.

¹ См. „Über den Einfluss von Stichmassfehlern bei Kurbelgetrieben elektrischer Lokomotiven“. Wichert, ETZ 1915, стр. 15.

Перечисленные неправильности вызывают соответствующие упругие изменения спарников, пальцев и пр. Эти деформации выравнивают указанные неправильности, вызывая одновременно дополнительные напряжения и при высоких скоростях колебания.

Мы попрежнему будем рассматривать случай, когда кривошип располагается под углом 90° , и следовательно вращающий момент, передаваемый валом, равен:

$$Md = Md_1 + Md_2 = S_1 r \sin \alpha + S_2 r \cos \alpha \quad (57),$$

где S_1 и S_2 — усилия, направленные по спарникам, определяемые по деформациям их. Пусть φ — угол опережения или отставания кривошипа¹ и x_1, x_2 — отступления от теоретической длины спарников, тогда обозначая постоянную упругость спарников через c , получим:

$$S_1 = c(r\varphi \sin \alpha + x_1) \quad (58)$$

$$S_2 = c(r\varphi \cos \alpha + x_2) \quad (58'),$$

и поэтому уравнение (57) примет вид:

$$Md = cr(r\varphi + x_1 \sin \alpha + x_2 \cos \alpha).$$

Полученное выражение мы можем написать в виде:

$$Md = cr^2\varphi + crx \sin(\alpha + \beta),$$

где x и β определяются по x_1 и x_2 . При правильной длине спарников, т. е. при $x_1 = x_2 = 0$, имеем:

$$Md = cr^2\varphi,$$

следовательно отклонения от теоретической длины спарников вызывают независимо от угла опережения φ , дополнительный момент, пропорциональный синусу угла, составленного кривошипом с линией центров.

Обозначив:

L — мгновенную мощность мотора,

A — мощность, передаваемую на колеса электровоза,

ω — угловую скорость якоря мотора,

J — момент инерции якоря мотора,

мы можем написать:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} \omega + A = L.$$

Имея в виду, что $A = Md\omega$ и подставляя для $Md\omega$ ранее найденную величину, получим:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} \omega + [cr^2\varphi + crx \sin(\alpha + \beta)] \omega = L.$$

Обозначая далее $\alpha = \omega t$ и принимая постоянную мощность мотора

$$L = Md_m \omega,$$

получим окончательно:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + cr^2\varphi + crx \sin(\omega t + \beta) = Md \quad (59)$$

¹ Влиянием угла φ на уставку спарников мы пренебрегаем.

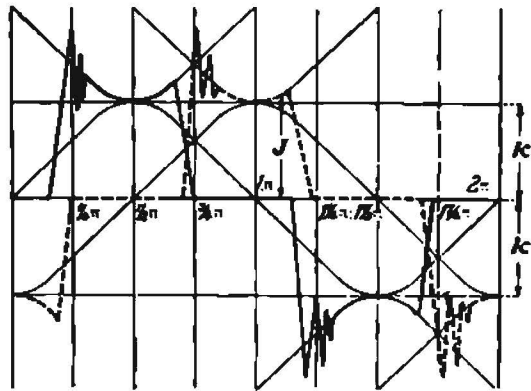


Рис. 184.

НТБ
ДНУЖТ

Это есть, как известно, ур-ние колебаний без затуханий, которое легко представить себе, рассматривая систему,¹ показанную на рис. 185.

Ур-ние движений такой системы имеет вид:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + cx + ca \sin(\omega t) = G \quad (60).$$

Вынужденные колебания тела M следуют синхронно с движением точки A и растут одновременно с движением точки A .

Пока μ число колебаний причины, вызывающей колебание системы, не велико по сравнению с η числом колебаний самой системы, тело M повторяет движения точки A , однако движения M возрастают с увеличением частоты μ , особенно когда μ близки к η . В случае наступления резонанса, вынужденные колебания, будучи до сего времени синхронны с колебаниями точки A , сразу отстают на 90° . Сопротивления в системе не дают возможности сильно увеличиться амплитудам.

В нашем рассматриваемом случае якорь мотора есть масса M , которой сообщаются вынужденные колебания. Его вращающееся движение по отношению к равномерному вращению колес (считая массу электровоза весьма большой по сравнению с M) соответствует перпендикулярному движению M , изображенному на рис. 185. Вращающийся момент мотора соответствует весу тела M ; вся передача, т. е. спарники, пальцы и валы, благодаря своей упругости соответствует пружине S .

Определим теперь относительные движения якоря и вызываемые благодаря этим движениям усилия в шатунах. При малой скорости первый член ур-ния (59) исчезает, и мы имеем:

$$r\varphi_0 = \frac{Md_m}{cr} - x \sin(\omega t - \beta)$$

или

$$r\varphi_0 = \frac{K}{c} (x_1 \sin \alpha + x_2 \cos \alpha)$$

где $K = \frac{Md_m}{r}$ есть наибольшее усилие в шатунах при правильном механизме.

Подставляя это выражение в ур-ние для сил S_1 и S_2 , получим:

$$S_1 = K \sin \alpha + c [x_1 - (x_1 \sin \alpha - x_2 \cos \alpha) \sin \alpha]$$

или, после преобразований, получим:

$$S_1 = K \sin \alpha + c \left(x_1 \cos^2 \alpha - x_2 \frac{\sin^2 \alpha}{2} \right) \quad (61)$$

и аналогично

$$S_2 = K \cos \alpha + c \left(x_2 \sin^2 \alpha - x_1 \frac{\sin^2 \alpha}{2} \right) \quad (61').$$

¹ См. W. Hosl, Technische Schwingungslehre.

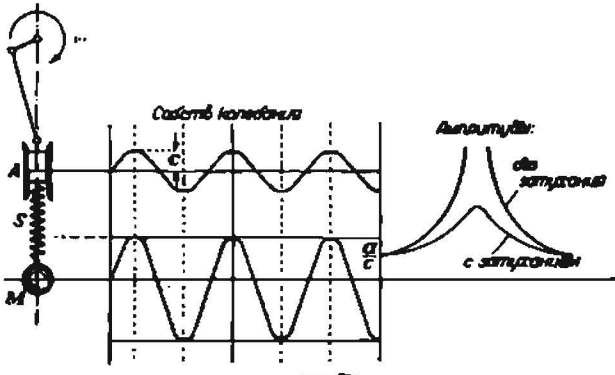


Рис. 185.

НТБ
ДНУЖТ

Таким образом при медленной езде силы, передаваемые через шатуны, складываются: а) из сил $K \sin \alpha$ или $K \cos \alpha$, соответствующих правильным размерам шатунов, б) из сил, вызываемых неправильными размерами шатунов (второй член ур-ний (6)). причем эта последняя сила, как видно из ур-ния, зависит не только от неправильной длины рассматриваемого шатуна, но и от ошибки в длине второго шатуна.

Обобщая все сказанное, мы приходим к выводу, что при всякой шатунной передаче в шатунах развиваются пульсирующие усилия, к тому же неправильности в механизме (отступления от теоретического угла между кривошипами, от теоретической длины шатунов, игра в подшипниках) вызывают еще большую неравномерность в распределении усилий между шатунами. В то же время передача в электровозах связана с большими вращающимися массами—моторами, с одной стороны, и приводимыми ими в движения массы электровоза, с другой стороны. Массу электровоза по сравнению с массой моторов можно принять бесконечно большой. Пульсирующие усилия благодаря этому передаются обратно через шатуны на моторы. Шатуны, равно как и кривошипы и валы мы должны рассматривать как упругие тела, подверженные деформациям от действия внешних сил. Совокупность всех рассмотренных условий, как известно, вызывает колебания вращающихся масс, которые складываются с постоянной угловой скоростью основного движения. При определенных скоростях имеет место резонанс, что ведет к образованию в замкнутой статически неопределимой системе весьма опасных напряжений, влекущих поломки шатунов.

Зона опасных частот для системы с двумя массами m_1 и m_2 определяется при коэф. упругости системы, равном γ , по формуле:

$$\mu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{\gamma m_1 m_2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}}{\gamma}} \quad (62)$$

при $m_2 = \infty$ и $m_1 = m$ имеем

$$\mu = \frac{0,5}{\pi \sqrt{m\gamma}}$$

а при $m_1 = m_2 = m$

$$\mu = \frac{0,707}{\pi \sqrt{m\gamma}}$$

Вредные последствия колебаний могут быть смягчены путем придания системе большей упругости; с этой целью некоторые конструкторы включают в систему упругие муфты (GE C₀), или муфты скольжения. Другой способ обезвреживания колебаний заключается в том, что колебания усилий стремятся локализовать в пределах шатунов, не давая возможности им передаваться вращающимся массам моторов. С этой целью оба шатуна с углом между кривошипами в 90° располагаются с одной стороны, почему нет передачи через вал кривошипов всей мощности то одной стороной, то другой. Хотя отдельные усилия и распределяются неравномерно между шатунами, однако общий момент, приложенный с одной стороны кривошипного вала, постоянен по своей величине. Только в случае неправильной сборки (напр., при игре в подшипниках) постоянство момента нарушается и система подвержена колебаниям в то время, когда работает благодаря игре лишь один шатун. Установка обоих шатунов с одной стороны электровозов применена заводом Бергман на электровозе германских жел. дор. типа 2-D-2; результаты получились вполне удовлетворительные: электровоз свободен от колебаний передаточного механизма

46. Электровозы с рамой Кандо

В случае двух приподнятых моторных валов, расположенных симметрично относительно одной из движущих осей, кривошипы их между собою и с кривошипами упомянутой движущей оси соединяются при помощи треугольной рамы, носящей название рамы Кандо. Эта конструкция впервые была применена инж. Кандо в 1906 г. для Вельтлинской жел. дор. (рис. 186). Подшипник кривошипа движущей оси имеет свободное вертикальное перемещение в вырезе рамы Кандо.

Рама Кандо имеет своим назначением передачу усилий от двух кривошипных валов движущим осям без отбойного вырез. Характерной особенностью рамы Кандо является вертикальный вырез, куда входят подшипники кривошипа движущей оси благодаря зазорам между подшипником и рамой вверху и внизу рама имеет своим назначением передавать только горизонтальные силы; незначительным трением боковых стенок подшипников можно пренебречь. Обозначим эти горизонтальные

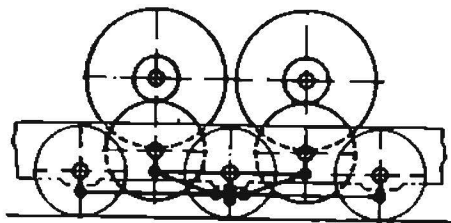


Рис. 186.

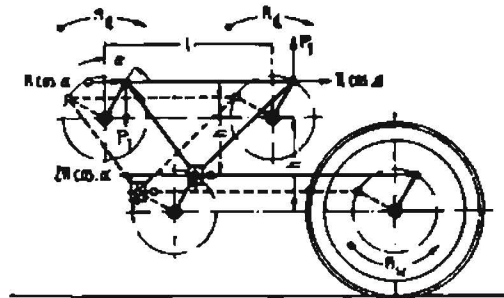


Рис. 187.

усилия через Q_1 и Q_2 . Пусть момент сопротивления на движущих осях будет M_w , (рис. 187); а вращающий момент каждого из двух моторов M_d если пренебречь потерями в передаточном механизме, то можно написать:

$$M_w = 2M_d$$

Для установившегося движения мы имеем следующее ур-ние моментов:

$$2M_d = M_w = Q_1 r \cos \alpha + Q_2 r \sin \alpha$$

но, как и в случае простой шатушной передачи,

$$Q_1 : Q_2 = \cos \alpha : \sin \alpha,$$

почему

$$2M_d = Q_1 r \left(\cos \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} \right) = Q_1 \frac{r}{\cos \alpha} \quad (63).$$

Если усилие на пальцах кривошипа моторов попрежнему обозначим K , то, принимая во внимание, что

$$M_d = K r,$$

ур-ние (63) сможем переписать в виде:

$$2K r = Q_1 \frac{r}{\cos \alpha},$$

откуда найдем:

$$Q_1 = 2K \cos \alpha$$

и также:

$$Q_2 = 2K \sin \alpha.$$

НТБ
ДНУЖТ

При симметричном расположении моторов относительно связанной рамы Кандо движущей оси к кривошипам обоих моторов приложены равные силы, горизонтальные $K \cos \alpha$ и вертикальные — P_1 . Беря момент сил относительно одного из пальцев кривошипа, мы получим для одной стороны уравнение:

$$P_1 l = 2Kh \cos \alpha,$$

из которого определяются вертикальные составляющие силы

$$P_1 = 2K \frac{h}{l} \cos \alpha.$$

Давления, испытываемые пальцами кривошипов моторов, найдутся как равнодействующие сил P_1 и $K \cos \alpha$

$$N = \sqrt{(K \cos \alpha)^2 + P_1^2} = K \cos \alpha \sqrt{1 + \frac{4h^2}{l^2}} \quad (64).$$

Усилие N зависит от отношения $\frac{h}{l}$, наибольшая величина N_{\max} получается при

$$\cos \alpha = L,$$

равной

$$N_{\max} = K \sqrt{1 + \frac{4h^2}{l^2}} \quad (65).$$

На практике обычно $\frac{h}{l}$ колеблется в пределах $\frac{1}{6} - \frac{1}{4}$, так что

$$N_{\max} = 1,03 - 1,05K.$$

Направление силы N определяется из уравнения

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_1}{K \cos \alpha} = \frac{2K \frac{h}{l} \cos \alpha}{K \cos \alpha} = 2 \frac{h}{l} \quad (66).$$

49. Тяговые моторы

При проектировании тяговых моторов особое внимание должно быть обращено на получение возможно меньшего веса, в особенности у тех моторов, часть веса которых передается непосредственно жестко на оси, что, как известно, вызывает значительные напряжения в верхнем строении пути. Наиболее радикальным средством для уменьшения веса является искусственная вентиляция этих моторов. В отношении вентиляции различают моторы самовентилирующиеся и с искусственной вентиляцией. В последнем случае воздух по трубопроводам подается от особых вентиляторов, приводимых в действие от своего мотора.

Вентиляция тяговых моторов является одним из наиболее существенных вопросов электрической тяги, достаточно упомянуть например, что на первых электровозах 1904 г. постоянного тока 600 в жел. дороги New York Central заводом G. E. Со были установлены моторы без вентиляции, при этом при часовой мощности электровозов в 2200 л. с. длительная мощность получилась равной всего 800 л. с., или всего около 36%, тогда как в электровозах постройки 1913 г. при введении искусственной вентиляции удалось при часовой мощности в 2320 л. с. получить длительную мощность в 1760 л. с., или около 76%, а на электровозах постройки 1914 и 1917 гг. при часовой мощности 2600 л. с. довести длительную мощность до 2000 л. с., или до 80%. Это соотношение между часовой и длительной мощностью в настоящее время считается для искусственной вентиляции нормальным.

Далее при проектировании моторов следует стремиться к получению возможно меньшего размера мотора при заданной его мощности; последнее имеет особое значение для моторов, помещаемых между рамами или между колесами. В этом случае размеры, а следовательно и мощность моторов ограничиваются диаметром движущих колес и шириной колеи. Ниже мы остановимся несколько подробнее лишь на специальных типах тяговых моторов, а именно на моторах подвесного типа, моторах, непосредственно насаженных на движущую ось, и на моторах-близнецах.

а) Моторы подвесного типа. Моторы этого типа были очень широко распространены на трамваях, до появления на жел. дорогах, почему часто носят название моторов трамвайного типа.

На рис. 188 даны продольный и поперечный разрезы мотора указанного типа, построенного для берлинских городских и пригородных жел. дорог.

Различают два основных вида моторов этого типа: это с разъемными корпусами и неразъемными; мнения о преимуществе того или иного типа до сего времени еще различны. Очень часто, и особенно в Европе, предпочитают корпус строить разъемным, так как это позволяет производить выемку якоря без снятия мотора; однако нельзя не признать, что при правильной конструкции междурамных скреплений и укрепления мотора отъемка мотора продолжается почти столько же времени, что и выемка якоря; как правило же, на канаве лучше избегать выемки якоря, так как легко можно повредить обмотку якоря, а надежнее снять весь мотор, разобрать его, исправить поврежденные места и снова смонтировать; это позволит устранить те неисправности, которые при выемке одного якоря могут остаться и незамеченными. Моторы с неразъемными корпусами требуют меньших затрат на содержание их и ремонт, так как при разъемных корпусах приходится особое внимание обращать на безукоризненную плотность соединения обеих половин корпуса, и, несмотря на это, все же через малейшие неплотности часто проникают масло и вода; последняя особенно при оттаивании снега на моторе.

Корпуса моторов устраиваются обычно восьмигранной формы; крупные моторы—четырегранной (Англия), и отливаются из мягкой стали с временным сопротивлением 35—40 кг/мм² и с удлинением не менее 20%. Химический состав в среднем—углерода 0,1—0,2%, марганца не менее 0,5%.

Индукция равна $B = 10\,000$ при 4—6 ампервитках на 1 см
и $B = 15\,000$ при 16—24 " " " "

В верхней части корпуса устраивается отверстие для очистки коллектора и для осмотра щеток.

Если мотор снабжен двумя парами щеток, то для осмотра их и смены устраивается отверстие также и в нижней части. Вентиляционные отверстия покрываются двумя рядами металлических плотных сеток.

Дополнительные полюса располагаются по вертикальной и горизонтальной оси, а главные—на осях по 45° к горизонтали; некоторые заводы впрочем предпочитают главные полюса располагать по вертикальной и горизонтальной оси, а дополнительные—в промежутках.

Полюса главные устраиваются обычно с сердечниками из листового железа толщиной 0,7 мм, сжатого под прессом и стянутого болтами или заклепками; крайние листы ставятся большей толщины.

Дополнительные полюса выполняются большей частью литыми. Полюса прикрепляются к каркасу при помощи шурупов (болтов). Для обмотки полюсных катушек применяется обычно полосовая медь с изоляцией из миканита, катушки пропитываются лаком, обматываются хлопчатобумажной лентой и компаундируются (пропитываются битуминозным составом). Часто изоляция между витками делается из асбестовой

ленты, а между секциями инканитовая. Катушки дополнительных полюсов наматываются из полосовой меди на ребро.

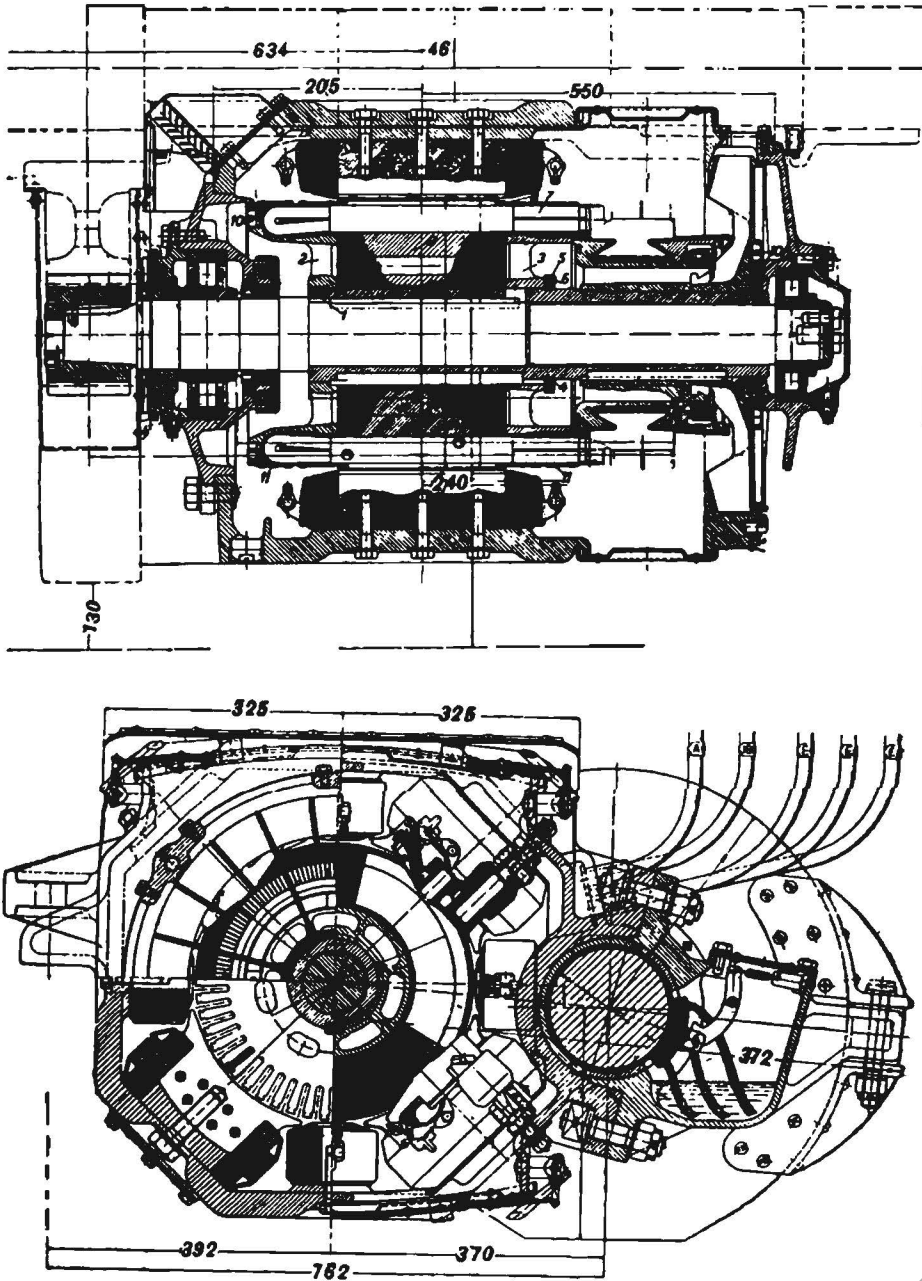


Рис. 188

Катушки имеют прямоугольную форму; особое внимание должно быть обращено на тщательное и надежное соединение катушек, допускающее однако в случае необходимости легкую смену их. Очень распространено укрепление катушек при помощи прижимания их башмаком,

ДН-ЖТ

причем для этого необходимо устанавливать прокладки, заполняющие все пространства между катушкой и каркасом. Эти прокладки при неправильной обработке частей могут оказаться большой толщины и вызывать недостаточную передачу теплоты от катушек каркасу и перегревание полюсов. Помимо того прокладки с течением времени уплотняются, и катушки начинают болтаться. Предпочтительнее между каркасом и катушками устанавливать прокладку толщиной всего лишь необходимой для изоляции и катушку прикреплять к каркасу при помощи клемм и болтов.

Соединения между катушками при моторах с разъемными корпусами должны быть проложены внутри мотора таким образом, чтобы при открывании его не требовалось разнимать их. На рис. 189 дан мотор завода BBC с открытой верхней половиной.

Подводящие кабели обшиваются кожей, и отверстие в каркасе для пропуска их внутрь должно быть плотно заделано во избежание проникновения сырости и пыли, для чего употребляются конические изолирующие гильзы.

При установке щеткодержателей особое внимание следует обращать на то, чтобы при открывании крышек корпуса моторов можно было бы легко вынуть щетки и осмотреть прикрепление *медной плетемки*; кроме того между щетками должно оставаться достаточно места, чтобы без затруднения можно было очищать коллектор и даже подшлифовать его. Щеткодержатели устанавливаются на фарфоровых изоляторах и прикрепляются к корпусу мотора или поодиночке или попарно при помощи особого мостика (рис. 190).

Помимо фарфоровых изоляторов ставятся миканитовые или стеатитовые прокладки. Отверстия для пропуска болтов часто устраиваются овальными для того, чтобы иметь возможность небольшого перемещения в них болтов. С целью получения большей прочности и проводимости щеткодержатели устраиваются из прессованной латуни; преимущества видны из таблицы XXI.

ТАБЛИЦА XXI

	Прессованные латунные	Литые латунные	Медное литье
Сопротивление на разрыв.....	45	120	20
Удлинение (в процентах).....	20	10	5
Плотность по Бривелю.....	90	50	70
Электрическая проводимость.....	16,7	14,3	8,3

Якорь набирается из динамного железа толщиной 0,5 мм с потерями 3,6 вт, причем железо изолируется лаком или бумагой. Железо штампуется с отверстиями для аксиальных вентиляционных каналов. Обычно железо якоря насаживается не непосредственно на ось, а на втулку, спрессовывается и зажимается шайбой с гайкой. Благодаря указанной конструкции можно легко снять якорь с вала. Необходимо следить, чтобы якорные каналы не имели туликов и не перекрывались бы нажимной шайбой или кольцом, устраивая в последних в случае надобности соответствующие вырезы.

Обмотка якоря применяется исключительно последовательная с двумя параллельными цепями, редко — параллельно-последовательная. При двух цепях можно иметь равновесие даже при не совсем уравновешенных цепях.¹

¹ Характеристику и особенности последовательной обмотки можно найти в книге A. Mauduit „Machines électriques“. Париж, 1922 г. стр. 145 и далее, а также в The Dynamo Vol. I. Hawkins and Wallis, изд. Whittakers Co.

Для удовлетворительной коммутации необходимо иметь насыщенную магнитную цепь при сравнительно слабом поле якоря, а также иметь дополнительные полюса; последние позволяют применять мягкие графитовые щетки, что уменьшает износ коллектора и позволяет широко пользоваться ослаблением магнитного поля для регулирования скоростей.

Обмотка якоря с целью лучшего использования сечения впадин изготавливается из меди прямоугольного сечения. Чтобы уменьшить потери от токов Фуко, которые при сильном магнитном поле достигают значитель-



Рис. 189.



Рис. 190.

ной величины, проводники устраиваются разрезными и скрученными. Изолируются проводники миканитовой лентой; отдельные витки кроме того обматываются компаундированной лентой. Пазы прокладываются часто литрондом или прессшпаном, а секции после пропитки лаком прессуются. Между секциями также применяют прокладки из литронда или прессшпана. Сверху пазы закрываются литрондом или прессшпаном. Заклинивание пазов производится деревянными клиньями, якорь стягивается стальной бандажной проволокой.

Высокое напряжение тяговых моторов заставляет с особой тщательностью изолировать коллектор и якорь. Сегменты коллектора удлиняются и получают фартук, при помощи которого они соединяются с обмоткой (рис. 191); таким образом торцевая сторона якоря, обращенная к коллектору, образует гладкую поверхность, препятствуя образованию дуги от коллектора к железу якоря. Между пластинами коллектора укладывается шлифованный миканит; втулка коллектора изолируется от пластин прокладкой миканита.

Благодаря толчкам, всегда имеющим место в железнодорожной службе, щетки должны прижиматься к коллектору с большей силой, чем в стационарных машинах; это вызывает значительное нагревание коллектора по сравнению с нагреванием от тока, к тому же последний лишь



Рис. 191.

сравнительно короткие промежутки имеет большую величину, тогда как нагревание от трения имеет место все время непрерывно. Кроме того при езде с малой силой тока и без тока хотя потери от тока падают, но зато увеличивается коэф. трения угольных щеток о медь.

Против перегрева коллектора должен быть обеспечен достаточный отвод развивающейся теплоты; при недостаточности охлаждения путем естественной теплопередачи, необходима искусственная вентиляция коллектора. Охлаждающий воздух должен поступать не только в достаточном количестве, но и под достаточным давлением, так как известно, что при вращении коллектора замечается увлечение воздуха последним и рассеивание к периферии.

Якорные подшипники устанавливаются роликовые и скользящие. При установке роликовых подшипников один подшипник воспринимает помимо радиальных усилий также и усилия, направленные вдоль вала мотора; в случае применения подшипников скольжения вкладыши бронзовые или стальной с баббитовой заливкой ставятся неразрезными с тем, чтобы не было просачивания масла вовнутрь моторов. Лаповые подшипники, т. е. подшипники через которые лапы мотора опираются на движущую ось, устраиваются исключительно скользящего типа с тем, чтобы улучшить передачу тока к рельсам, служащим обратным проводником.

Для лучшего использования места, в особенности у подвесных моторов, располагаемых между колесами, якорные подшипники устраиваются входящими с одной стороны в коллектор, а с другой стороны во фланец якоря, служащий для укрепления секций обмоток якоря.

В последнее время замечается стремление применить роликовые подшипники и для осевых букс; последнее усложняет соединение моторов с землей, являющейся обратным проводником. На рис. 192 дано схематическое обычное расположение проводов силового

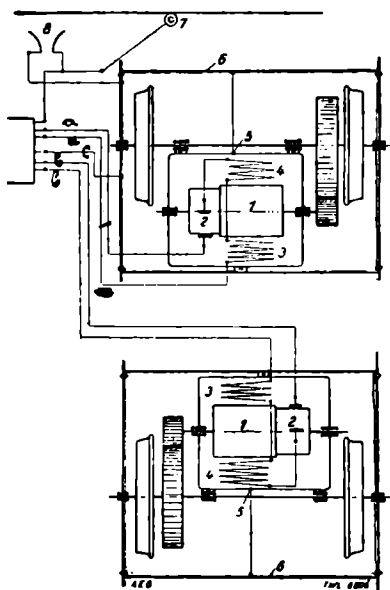


Рис. 192.

(рабочего) тока. На чертеже — под 1 обозначены якоря с коллекторами; 2, 3 и 4 обозначают обмотки главных и дополнительных полюсов, 5 — клемму заземления каркаса; в зависимости от положения контакторов провода *aa* и *bb* соединяются или последовательно между собою и с проводом *C* (присоединение к раме электровоза), или же провода *aa* и *bb* параллельно соединяются с проводом *C*.

При обычных скользящих осевых подшипниках рабочий ток проходит без затруднения в рельсы; однако при прохождении большой силы тока через роликовые подшипники опыт и практика показывают, что поверхность катания последних сильно портится, несмотря на закалку. В местах прохождения тока остаются явные следы, поэтому, в случае применения роликовых подшипников на осях, должно быть обеспечено прохождение тока в рельсы помимо этих подшипников. С этой целью на осях устанавливаются кольца, через которые при помощи щеток ток передается через ось в рельсы.

Расположение вентиляторов у самовентилирующихся моторов у различных заводов различное, и каждое имеет свои недостатки и преимущества. В случае постановки вентилятора со стороны коллектора и засасывания воздуха с противоположной стороны коллектора пыль, неизбежно засасы-

ваемая с воздухом, приходит в соприкосновение с коллектором, наиболее капризной частью мотора, в последнюю очередь.

При расположении вентиляторов с противоположной стороны коллектора облегчается выемка якоря, так как при выемке якоря не приходится удалять шестерню и щеткодержатели. Однако при этом расположении вентилятора на коллекторе осаждается много пыли.

Вентиляция моторов бывает последовательно-параллельная (ВВС, ВЭО) и параллельная. Завод Броун-Бовери располагает в своих крупных тяговых моторах вход воздуха у боковых щитов подшипников со стороны коллектора и с противоположной коллектору стороны;

эти отверстия располагаются около оси, где воздух чище. Воздух, засасываемый со стороны коллектора, проходит по якорным каналам и соединяется со струей, поступающей с противоположной стороны коллектора, и вместе с ней, охлаждая магнитные катушки, поверхность якоря и коллектор, выходит наружу (рис. 193). Таким образом необходимо устанавливать двухкамерный вентилятор, который работает и как всасывающий и как нагнетательный. Выходное отверстие, расположенное внизу мотора, защищено частой сеткой от попадания посторонних предметов. В вентиляции AEG (параллельного типа) сохраняется тот же принцип прохождения воздухом коллектора в последнюю очередь, но так как воздух поступает с противоположной стороны коллектора, то потока обратного направления нет, и воздух при входе делится сразу на два потока, из коих один омывает магнитные полюса и поверхность якоря и коллектор, другой же поток сначала проходит по каналу, расположенному с торца якоря, а затем устремляется в якорные каналы и под коллектор, и соединяясь с первым потоком выходит наружу со стороны коллектора, где и располагается однокамерный вентилятор (рис. 194).

Американские же фирмы General Electric Co., Westinghouse ставят вентиляторы с противоположной стороны коллектора и засасывают воздух со стороны коллектора; направление потоков — параллельное, а именно: один поток омывает обмотку якоря и магнитные катушки, а другой проходит через якорные каналы.

б) Моторы, непосредственно насаженные на движущую ось. Моторы, непосредственно насаженные на движущую ось (типа Gearless), впервые, как уже упоминалось выше, были построены в 1904 г. для жел. дороги постоянного тока в 600 в. New York Central. Мотор этот изображен на рис. 195.

Впоследствии этот тип моторов был применен для дороги Ch. M. St. Paul заводом G. E. Co. Моторы изолированы на 3000 в, рабочее же на-

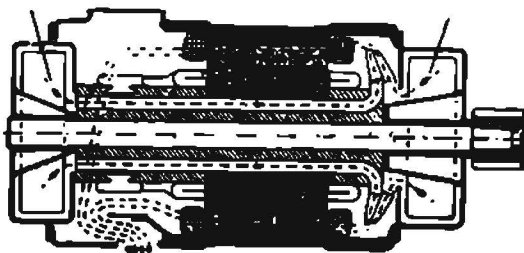


Рис. 193.

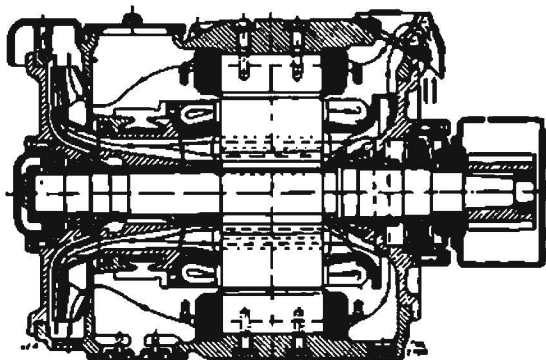


Рис. 194.

ДИПЛОМАНТ

прижение на коллекторе их не превышает 1 000 в, так как всегда не менее трех моторов соединены последовательно. Каждая ось с колесами диаметром 1 118 мм (пассажирские электровозы) вместе с насаженным на ось якорем весит 4,35 т. Статор моторов выполнен из железных листов, обмотка состоит из двух катушек, что обеспечивает лучшую вентиляцию. Для возможности вертикального перемещения якоря мотора относительно статора, укрепленного на междурамных балочках, необходимо

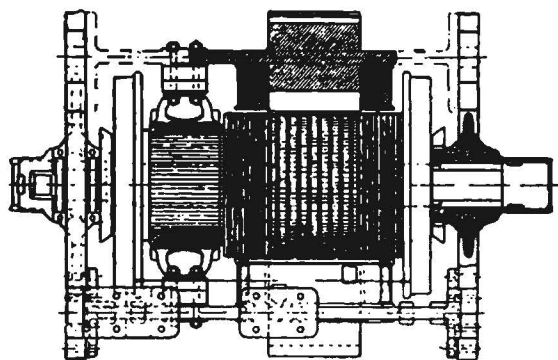


Рис. 195.

было назначить довольно большое межжелезное пространство, а именно 3,2 мм с каждой стороны, в наиболее узком месте. Этот зазор позволяет путем опускания выкатывать ось вместе с арматурой, не снимая статора. Щеткодержатели укреплены на поперечных балочках вместе с полюсами. Магнитный поток, пересекающий якорь, замыкается сверху особой стальной сболченной доской достаточного сечения, расположенной над всеми моторами одной тележки (см. приложение III).

Помимо того, непрерывность магнитного потока в пределах не только одной тележки, но и всего электровоза, достигается благодаря упряжным стержням большого сечения, располагаемым в верхней части тележек.

в) **Моторы-близнецы.** Моторы-близнецы впервые были применены заводом Вестингауз на электровозе жел. дороги New York—New-Haven and Hartford.

Впоследствии моторы-близнецы были применены на электровозах жел. дороги Ch. M. St. -Paul. Вес мотора этой дороги с полый осью, зубчаткой и кожухом для зубчатки составил 11,5 т, без полый же оси и лап, при помощи коих передается вращающее усилие колесам, — 9,5 т. Вес частей, непосредственно действующих на путь (в данном случае вес самой оси с колесами, подшипниками и упорками для рессор), составляет всего 3,553 т на ось.

Моторы изолированы на полное напряжение в контактом проводе на 3 000 в, рабоче же напряжение, благодаря последовательному соединению не менее 4 моторов, равно всего 750 в.

Оба якоря имеют один общий каркас с одним центральным отверстием для впуска охлаждающего воздуха из трубопровода. Моторы снабжены двойной вентиляцией, а именно вентиляционный воздух нагнетается через трубопровод от вентиляторов, расположенных по краям электровоза; помимо того на валу каждого якоря насажен также и свой вентилятор. Воздух, поступающий в мотор, омывает прежде всего коллектор, затем обмотки статора и якоря, затем параллельно протекает по воздушным каналам якоря и выталкивается наружу со стороны зубчатой передачи. Насколько велико участие вентилятора, насаженного у якоря, можно судить по тому, что при отсутствии работы общих вентиляторов он один дает возможность нагружать мотор до 70% его полной нагрузки; благодаря этому специальные вентиляторы работают лишь при большой нагрузке моторов, пуск их производится автоматически при помощи термостатов, когда температура моторов достигает 100°.

60. Тяговые свойства электромоторов и сила тяги электровоза

Сила тяги электровоза развивается путем передачи крутящего момента мотора на обод движущих колес; при этом, как мы видели выше, усилия могут передаваться при помощи зубчатых колес, при помощи шатунов или шатунов и зубчатых колес; наконец моторы могут быть насажены непосредственно на движущие оси.

Если обозначим U — напряжение в сети, E — электродвижущую силу мотора, R — сопротивление якоря и статора, и I — силу тока в якоре, то, независимо от способа возбуждения, имеем:

$$U = E + RI \tag{67}$$

и электродвижущая сила

$$E = N\pi\phi,$$

где: N — число проводников витков на якоре,

n — число оборотов в минуту и

ϕ — магнитный поток;

из обих ур-ний имеем:

$$n = \frac{U - RI}{N\pi} = \frac{E}{N\pi} \tag{68}$$

У моторов с параллельным возбуждением, само возбуждение не зависит от силы тока в якоре, почему оно не зависит и от величины развиваемого крутящего момента мотора.

Из ур-ния (68) следует, что число оборотов этих моторов зависит от числителя U и RI , но так как сопротивление R имеет весьма малую величину и вычитаемое RI очень невелико по сравнению с U , то и величина

$$n = \frac{U - RI}{N\pi} \tag{68-a}$$

очень мало изменяется с увеличением силы тока в якоре, именно: число оборотов мотора с параллельным возбуждением лишь слегка падает с увеличением крутящего момента.

У моторов с последовательным возбуждением величина магнитного потока ϕ до насыщения железа пропорциональна силе тока в якоре, следовательно с увеличением силы тока I или с увеличением крутящего момента число оборотов мотора падает. Работа железнодорожного двигателя характеризуется постоянным изменением силы тяги благодаря разнообразию профиля пути, по которому происходит движение поезда, а также благодаря необходимости при трогании с места развивать значительно большую силу тяги для разгона поезда, чем для поддержания достигнутой скорости. Так как энергия для электровозов доставляется от централи, то для более равномерной нагрузки централи, а равно и подстанций, что является основным условием экономичного использования их, необходимо, чтобы при переменной силе тяги электровоза потребляемая им мощность была бы более равномерна; это может быть достигнуто применением на электровозах моторов с последовательным возбуждением, при котором, как мы выше видели, с увеличением силы тяги падает скорость. Вращающий момент мотора C теоретически находится из ур-ния мощности

$$W = EI = 2\pi Cn,$$

откуда:

$$C = \frac{EI}{2\pi n}$$

или, подставляя

$$n = \frac{E}{N\pi},$$

получим окончательно:

$$C = \frac{NI\phi}{2\pi} \tag{69}$$

НТБ
ДНУЖТ

Для моторов с последовательным возбуждением мы видели, что Φ до предела насыщения железа пропорционально I , другими словами, с увеличением силы тока I быстро растет крутящий момент. Это свойство двигателя позволяет развивать большие крутящие моменты без чрезмерного возрастания силы тока.

Помимо указанных динамических преимуществ, сериес-моторы имеют и ряд других преимуществ. Это — большая равномерность распределения нагрузки между несколькими параллельно включенными моторами при разнице в диаметрах движущих колес. Далее при внезапном повышении напряжения в сети, с чем неизбежно приходится считаться в железнодорожной службе, начальный толчок тока и продолжительность его будут меньше у сериес-мотора, чем в шунтовых моторах.

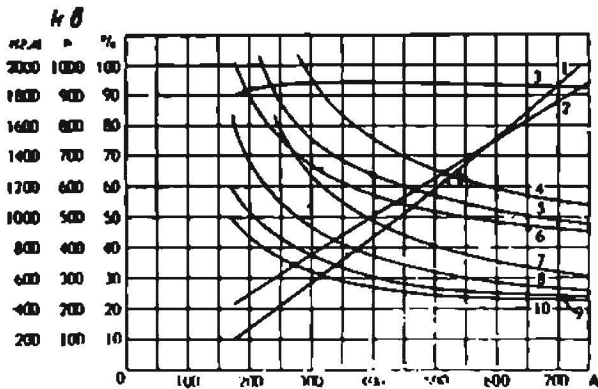


Рис. 196. 1—вращ. момент в кг-м. 4—число оборотов при 1350 в 14 витков
2—мощност в л.с. 5— " " " " 17
3—коэф. полез. д. 6— " " " " 23
7—10—тоже при 675 в.

Вращающий момент сериес-моторов не зависит от напряжения в контактной сети, в то время как возбуждение шунтовых моторов пропорционально напряжению на клеммах, почему с падением напряжения падает вращающий момент; это заставляет шунтовым моторам сообщать большие размеры, учитывая понижение напряжения.

Ряд потерь на трение, гистерезис, токи Фуко, потери в вентиляторе и т. д. заставляет двигатель отдавать в виде полезного вращающего момента только часть теоретического момента вращения C , почему практический (полезный) вращающий момент C_n и в действительности будет:

$$C_n = C - C' \quad (70)$$

где C' — момент вышеуказанных потерь.

На рис. 196 дана характеристика моторов завода ВВС, поставленных на электровозах жел. дороги Париж—Орлеан.

В случае моторов, непосредственно посаженных на движущие оси (система Gearless), а также в случае чисто шатунной передачи число оборотов мотора равно числу оборотов движущих колес. В таком случае обозначая n — число оборотов мотора в минуту, D — диаметр движущих колес по кругу катания в м, скорость электровоза найдем по формуле:

$$V \text{ км/час} = \frac{\pi D n 60}{1000} \quad (71)$$

Однако мы ранее видели, что с целью лучшего использования активной массы мотора последние конструируются с наимыгоднейшим числом оборотов, и необходимая скорость электровоза достигается соответствующим подбором диаметра колес и зубчатой передачи. Обозначая передаточное число зубчатой передачи z и попрежнему диаметр движущих колес D — мы можем выразить скорость электровоза в виде

$$V \text{ км/час} = \frac{\pi D n 60}{1000 z} \quad (72)$$

Переходим теперь к определению силы тяги электровоза. Пусть на электровозе установлено μ моторов, и при некоторой скорости электровоза V' , соответствующей числу оборотов мотора, равному n' , полезный

вращающий момент мотора в $м/кг$ будет M' . При зубчатой передаче с передаточным числом z и при коэф. п. д. передачи η_m , ур-ние равенства вращающихся моментов на валу моторов и на ободе движущих колес электровоза, выразится в виде

$$\eta_m z M' z = \frac{F_k D}{2}$$

откуда сила тяги на ободе колес электровоза найдется равной

$$F_k = \frac{2\eta_m z M' \mu}{D} \quad (73)$$

Таким образом мы можем для ряда скоростей V определить силу тяги F_k и построить так называемую тяговую характеристику электровоза, т. е. кривую

$$F_k = f(V)$$

для параллельного и последовательного соединения моторов, а равно и для различных ступеней ослабления магнитного поля.

На рис. 196 были даны необходимые для построения тяговой характеристики электровоза кривые моторов завода ВВС.

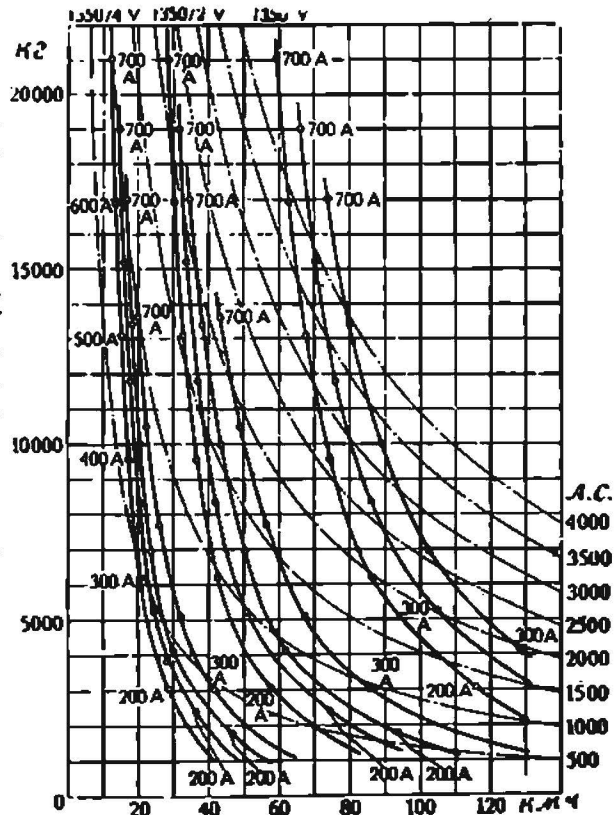


Рис. 197.

Основные данные этого мотора:

Часовая мощность 900 л. с., соответствующее число оборотов 508
 Длительн. 800 л. с., " 528

На моторах предвидено ослабление магнитного поля в 100, 78 и 62%, а при параллельном соединении моторов (напряжение на коллекторе) 1350/2 в — 100, 61, 48%. Электровоз снабжен четырьмя такими моторами с передачей Бухли; передаточное число 2,55. Диаметр движущих колес $D = 1750$ мм.

Пользуясь этими данными, можем построить кривые силы тяги на ободе колес в зависимости от скорости электровоза для различных соединений моторов и для различной величины магнитного поля.

Действительно мы видели, что

$$F_k = \frac{2\eta_m z M' \mu}{D} = \frac{2\eta_m 2,55 M' \cdot 4}{1,75}$$

где: $z = 2,55$

$D = 1,750$ м,

$\mu =$ число моторов, равное 4.

Другими словами, $F_k = 11,68 M'$, т. е. величину вращающего момента, приведенную, на рис. 196, умножаем на 11,68.

НТЬ
ДНУЖТ

Соответствующие скорости электровоза

$$V = \frac{\pi D n 60}{1000 z} = \frac{3,14 \cdot 1,750 \cdot 60 \cdot n}{1000 \cdot 2,55} = 0,129 n$$

найдем путем умножения n числа оборотов мотора на 0,129. Полученные таким образом кривые приведены на рис. 197.

Найденная сила тяги электровоза не может быть однако использована полностью, в виду ограничения ее по сцеплению движущих колес с рельсами, по нагреванию моторов и по искрению на коллекторе.

Ограничение силы тяги по сцеплению в координатах F_a, V выражается в виде прямой, параллельной оси абсцисс; уравнение этой прямой имеет вид:

$$F_a = 1000 \varphi_a P_a \quad (74)$$

где φ_a — коэф. сцепления колес с рельсами и
 P_a — сцепной вес электровоза.

В то время как котел ограничивает мощность паровозов, и мы имеем возможность лишь короткое время выходить из пределов этой мощности путем займа у котла, в случае электровозов мы имеем моторы, нагревание коих определяет мощность электровоза. Мощность, которую без вреда для моторов может развивать электровоз, зависит от времени, в течение коего эту мощность необходимо развивать. Если за некоторую нормальную мощность считать часовую мощность, то

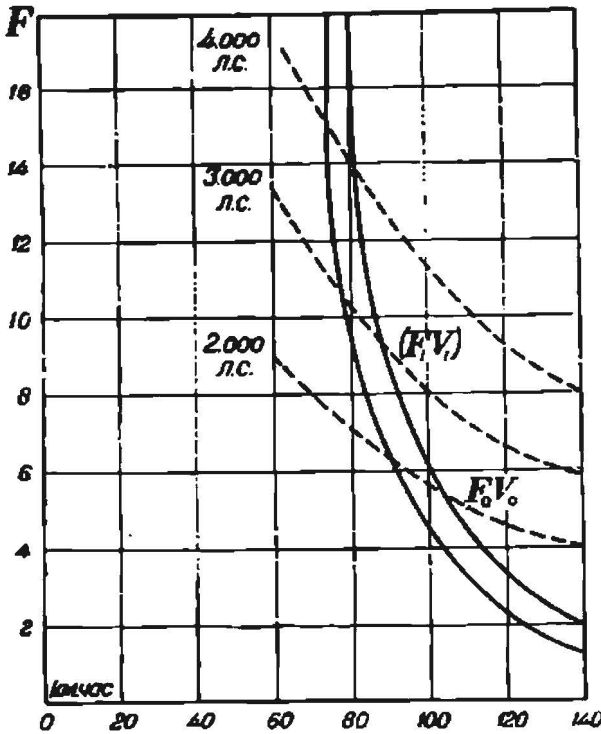


Рис. 198.

длительная мощность будет составлять 80% часовой, в сторону повышения мощности можно идти тем дальше, чем короче продолжительность работы при этой мощности.

Давая тяговую характеристику в виде диаграмм силы тяги, в зависимости от скорости, как мы это делаем в случае паровозов, мы должны на кривые $F_a = f(V)$ нанести, кроме прямой ограничения по сцеплению, кривые мощностей при различной продолжительности работы (напр., длительной, часовой, получасовой и т. д.). Участки кривой $F_a = f(V)$ между кривыми мощностей дают те силы тяги и скорости, которые можно развивать в течение различного времени.

На рис. 198 дана характеристика электровоза 2C + C2 (Gearless) ж.д. дороги Париж — Орлеан (P.—O.). Точки F_0, V_0 соответствуют длительной мощности, а точки F_1, V_1 — часовой; некоторый режим F, V электровоз может выдержать тем большее время, чем точка ближе к F_0, V_0 . Кривая по сцеплению построена в предположении 25—30% силы сцепления.

То обстоятельство, что мощность электровоза определяется продолжительностью режима работы, требует при подсчете необходимой по условиям предстоящей работы электровоза мощности, а также указаний времени работы при том или ином режиме.

51. Пуск моторов и регулирование скорости

Главными условиями всякого способа регулирования скоростей являются: надежность работы, экономичность и легкость управления; кроме того каждое изменение скорости должно следовать одно за другим спокойно и без толчков, чтобы, с одной стороны, не причинять вреда или неприятных ощущений пассажирам, а с другой — не повредить самого вагона. Далее следует озаботиться о легком и удобном обслуживании и доступном для наблюдения размещении необходимых приборов и т. п., чтобы, напр., при торможении в момент опасности можно было быстро сделать все, что требуется. Отсюда явствует, что для регулирования скорости у машиниста должно находиться только несколько рукояток и самое регулирование необходимо производить следовательно по возможности простейшим способом.

В п. 50 мы видели, что n число оборотов моторов, а вместе с тем следовательно и скорость электровоза зависят от электродвижущей силы мотора, т. е.

$$n = \frac{E}{N\varphi} \quad (68)$$

Но величина электродвижущей силы E при постоянной силе тока I зависит в свою очередь от сопротивлений в цепи мотора, если R_a — сопротивление якоря, R_s — сопротивление статора, R_r — сопротивление реостатов, то

$$E = U - I(R_a + R_s + R_r).$$

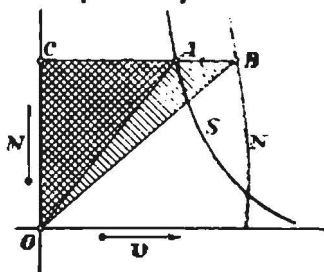


Рис. 199.

Другими словами, меняя сопротивление реостатов, можно менять скорость мотора и электровоза.

Напряжение на клеммах мотора может быть изменено также путем переключения моторов с последовательного на параллельное; наконец из ур-ния (68) следует, что путем изменения магнитного потока можно менять n число оборотов мотора.

Разберем подробнее все способы изменения скоростей.

Применение реостатов влечет за собою значительные потери, почему этот способ употребителен только при трогании с места; преимуществом этого способа является необычайная простота схемы и возможность иметь какое-угодно число ступеней, что позволяет иметь спокойное трогание с мест без толчков.

Моторы последовательного возбуждения имеют преимущество перед шунтовыми моторами в том смысле, что благодаря их характеристической кривой, близкой стоящей к гиперболе постоянной мощности, выход на кривую при трогании происходит ранее, чем у шунтового мотора, а вместе с тем и потери, неизбежные при пуске, при помощи реостата — меньше; указанное наглядно видно из схемы рис. 199. Пусть характеристики серийного и шунтового мотора будут AS и BN ; оба мотора имеют одинаковую длительную мощность M . Как видно из схемы, реостатическое регулирование скорости серийного мотора достаточно довести до скорости, соответствующей точке A , в то время как при шунтовом моторе разгон при помощи реостатов продолжается до точки B . Так как $CB > CA$, то и потери во втором случае выше.

Благодаря большим потерям в реостатах последние, как указывалось, применяются исключительно при трогании с места для разгона поезда, почему они рассчитываются на нагревание в течение короткого времени; путем же последовательного и параллельного переключения моторов получается несколько скоростей; это число экономических скоростей зависит от числа возможных группировок моторов. В настоящее время тяговые моторы постоянного тока строятся для напряжения до 1500 в на коллекторе, почему, в случае напряжения в контактном проводе 3000 в, в группе должно быть не менее двух моторов, соединенных последовательно. В случае 1500 в в контактном проводе все моторы могут быть присоединены параллельно к полному напряжению 1500 в. Следует отметить, что моторы последовательного возбуждения, будучи соединены параллельно между собою, работают устойчиво. Так, с повышением числа оборотов

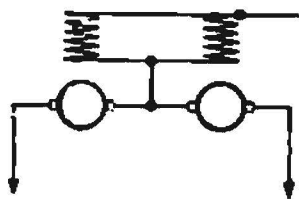


Рис. 200.

одного из моторов его электродвижущая сила возрастает, и сила тока, а вместе с тем и вращающий момент падают. Устойчивая работа моторов сохраняется и в том случае, если характеристики их не совсем совпадают друг с другом. В этом случае все моторы имеют одинаковую скорость, сила же тяги устанавливается в зависимости от характеристики моторов, так что общая сила тяги равна сумме сопротивлений поезда. Само собой разумеется, что параллельное соединение возбуждения моторов с целью выравнивания распределения нагрузок между отдельными моторами, как показано на рис. 200, недопустимо, так как при этом нарушается устойчивость параллельной работы моторов.

Моторы с последовательным возбуждением, будучи соединены между собою последовательно, работают мало устойчиво; если по какой-либо причине (напр., при наличии масляного пятна на рельсе) одна из осей многомоторного электровоза начнет буксовать, — электродвижущая сила мотора, связанного с этой осью, возрастает, и всю нагрузку воспринимает другой, соединенный с ним последовательно, мотор.

В случае моторов-близнецов оба мотора механически связаны между собою при помощи большого зубчатого колеса, чем исключается возможность неравномерного распределения нагрузок.

Применение моторов-близнецов особенно рекомендуется при высоком напряжении (3000 в), так как при этом получается возможность иметь меньшее напряжение на коллекторе.

В случае простых моторов, допускающих 1500 в на коллекторе, при напряжении в контактной сети 1500 в уже при четырех моторах возможны следующие соединения:

- а) последовательное (все четыре мотора соединены последовательно),
- б) последовательно-параллельное (по два мотора соединены последовательно, и получившиеся таким образом две группы соединены параллельно),
- в) параллельное (все четыре мотора соединены параллельно).

При напряжении на коллекторе всего 750 в можно иметь лишь последовательное и параллельное соединения двух групп, состоящих из двух последовательно соединенных моторов.

При шести моторах и том же напряжении 1500 в в контактной сети можно уже при напряжении на коллекторе 750 в иметь три экономических скорости, соответственно трем группировкам моторов:

- а) шесть моторов соединены последовательно,
- б) три группы из двух последовательно соединенных моторов соединены параллельно,

в) две группы из трех последовательно соединенных моторов соединены параллельно между собою.

Эта группировка применена на электровозе № 601 жел. дороги Р.—О с моторами.

При напряжении в контактном проводе 3000 в и напряжении на коллекторе 1500 в четыре мотора образуют две группы из двух моторов, которые можно соединить последовательно и параллельно, а следовательно иметь две экономических скорости (электровозы №№ 10100—10200 жел. дороги Ch. M. St.-Paul завода G. E. Co).

При том же напряжении в контактном проводе 3000 в при шести моторах и напряжении на коллекторе 1500 в можно иметь три группировки моторов: последовательную и две группировки последовательно-параллельные (3 × 2 и 2 × 3 мотора).

В случае шести моторов-близнецов или двенадцати отдельных моторов то же число экономических скоростей можно иметь при напряжении на коллекторе 750 в, имея три группы по четыре последовательно соединенных моторов. При напряжении на коллекторе 1000 в двенадцать моторов могут быть соединены следующим образом:

- 1) 12 моторов соединяются последовательно;
- 2) две группы из шести моторов каждая соединяются параллельно;
- 3) три группы из четырех моторов каждая соединяются параллельно;
- 4) четыре группы из трех моторов соединяются параллельно.

Эта схема применена на электровозе № 10250 жел. дороги Ch. M. St.-Paul.

Число экономических скоростей может быть повышено при применении ослабления магнитного поля. Ослабление магнитного поля впервые было применено в 1898 г. заводом G. E. Co путем параллельного включения реостатов в обмотку возбуждения как при последовательном, так и при параллельном соединении моторов. Этот способ однако не нашел себе распространения в виду обнаружившихся дефектов, и только после введения в моторах коммутационных полюсов стало возможно пользоваться ослаблением магнитного поля в широких пределах, доводя магнитный поток до 50% нормального.

Обычно применяются следующие степени ослабления поля: 100, 75 и 50%.

Однако на электровозе жел. дороги Р.—О, № 402 применены при моторах с компенсационной обмоткой следующие степени ослабления магнитного поля: 100, 79, 59, 37 и 25%.

52. Основные способы рекуперации

Почти исключительно применяемые для тяговых целей сериес-моторы для работы как генераторы при том же направлении вращения, что и при работе как моторы, требуют, в отличие от моторов параллельного возбуждения, переключения между собою обмоток якоря или полюсов.

При напряжении, превышающем напряжение в контактной сети, моторы, работающие как генераторы, посылают ток в сеть.

В таком виде однако рекуперация моторов практически оказывается невозможной в виду неизбежных колебаний напряжений в контактной сети; так если напряжение сети падает, — сила рекуперированного тока быстро возрастает, благодаря увеличению разности между электродвижущей силой и напряжением в контактной сети; примерно при падении напряжения в 10%, сила тока может возрасти в зависимости от сопротивления моторов на 100%. Такое возрастание тока могло быть снижено путем ослабления возбуждения; в действительности однако происходит обратное, бла-

годаря последовательному соединению обмоток якоря возбуждение возрастает с увеличением рекуперированного тока.

Еще более опасен случай повышения напряжения в контактном проводе, сила тока при этом быстро падает, а вместе с тем падает и тормозное усилие. Так как одновременно падают возбуждение машин и развиваемая электродвижущая сила, то машина с малой электродвижущей силой оказывается приключенной к сети, благодаря чему получают токи короткого замыкания, которые хотя и развивают тормозящее усилие, однако, само собой разумеется, во избежание перегорания обмоток машины должны быть немедленно отключены от контактной сети; в противном случае неизбежно перемагничивание машины в противоположном направлении, и электродвижущая сила, будучи одинакового знака с напряжением в контактной сети, вызовет дальнейший рост тока.

Рассмотрим теперь возможность рекуперации при параллельном возбуждении тяговых моторов. Так как обмотки полюсов сериес-моторов рассчитаны при нормальной работе моторов на малое падение напряжения, то очевидно, при параллельном присоединении их к сети, необходимо вводить добавочное сопротивление, тогда, при одинаковой силе тока в якорях и обмотках полюсов, коэф. п. д. будет равен нулю, т. е. будет иметь место торможение на сопротивление.

Следует отметить, что при езде под уклон, при условии торможения всего поезда, мощность мотора не используется полностью, так как часть потенциальной энергии поглощается сопротивлением поезда. Пусть сопротивление поезда удельное в кг на 1 м веса его будет w , а коэф. п. д. передачи от мотора к движущим осям будет η , тогда, при уклоне i электрическая мощность моторов при рекуперации составит всего

$$\frac{i-w}{i+w} \eta^2$$

от мощности моторов при езде на подъем.

При $w=3$; $i=15$ и $\eta=0,95$, получим:

$$\frac{i-w}{i+w} \cdot \eta^2 = \frac{15-3}{15+3} \cdot 0,95^2 = 0,60.$$

Путем уменьшения возбуждения моторов можно повысить силу тока при рекуперации, доведя силу тока в якорях до нормальной величины.

Соединяя все обмотки полюсов последовательно, мы снизим потерю энергии на возбуждение и получим возможность иметь некоторую отдачу энергии в рабочую сеть при параллельном возбуждении сериес-моторов. В этом отношении можно было бы пойти дальше и подразделить обмотки полюсов на секции, которые при нормальной работе моторов между собою были бы соединены параллельно, а с якорными обмотками последовательно; при рекуперации же параллельное возбуждение состояло бы из ряда последовательно соединенных между собою секций обмоток полюсов. Помимо усложнения при этом конструкции моторов, здесь следует иметь в виду влияние изменения напряжения в контактном проводе во время рекуперации при параллельном возбуждении моторов. Пусть, напр., напряжение в контактном проводе упало; как уже выше упоминалось, должна возрасти сила тормозного тока и вместе с тем должно было бы упасть возбуждение, если бы цепь возбуждения не обладала высоким коэф. самоиндукции, что задерживает падение тока возбуждения. Отсюда следует, что омическое и индуктивное сопротивления в цепи якорей моторов и в цепи возбуждения, т. е.: R_a, L_a и R_p, L_p , должны быть таковы, чтобы скорость возрастания или уменьшения токов в этих цепях при изменении напряжения в контактной сети E была бы одинакова. Изменение тока,

как известно, может быть выражено следующими уравнениями для цепи якорей и для цепи возбуждения:

$$i_a = \frac{\Delta E}{R_a} \left(1 - e^{-\frac{R_a t}{L_a}} \right); \quad \Delta i_e = \frac{\Delta E}{R_e} \left(1 - e^{-\frac{R_e t}{L_e}} \right).$$

Из уравнений следует, что вышеуказанное условие будет выполнено, если для обеих цепей имеем следующее соотношение

$$R_a : L_a = R_e : L_e.$$

Другими словами, так как обмотки возбуждения имеют больший импеданс, чем обмотка якоря, в цепь возбуждения необходимо включать дополнительное омическое сопротивление; с другой стороны, путем применения компаундной обмотки и исключения из цепи якорей компенсационной обмотки при рекуперации можно получить для обеих цепей (якорной и возбуждения) близкие между собою величины $\frac{R}{L}$. Абсолютное равенство величин $\frac{R}{L}$ для обеих цепей не требуется; иногда рекомендуется даже $\frac{R_a}{L_a} > \frac{R_e}{L_e}$

благодаря чему при колебаниях напряжений ток устанавливается скорее в цепи возбуждения, чем в цепи якорей, что, как известно, смягчает толчки тока.

При оценке способов рекуперации большее значение имеет характеристика рекуперации, т. е. зависимость тормозной силы от скорости, при постоянном напряжении в контактной сети. Для того чтобы рекуперация происходила устойчиво, необходимо, чтобы с увеличением скорости тормозное усилие возрастало; это имеет место в действительности: с увеличением скорости растет электродвижущая сила, а вместе с тем и сила рекуперированного тока, а следовательно и тормозное усилие. Включая в цепь якорей регулируемое сопротивление, тем самым можно менять наклон характеристики рекуперации.

Указанный способ рекуперации был применен заводом Броун-Бовери на итальянской жел. дороге Biella-Orona.¹

На рис. 201 дана схема рекуперации при параллельном соединении обмоток возбуждения к контактной сети; на рис. 202 дана характеристика рекуперации. Следует отметить, что этот способ рекуперации имеет то преимущество, что в случае отключения контактной сети от подстанции или при порче ее или соскакивании пантографа моторы оказываются замкнутыми на обмотки полюсов и добавочные сопротивления, и тормозное действие не прекращается; в этом случае мы имеем не что иное, как торможение на сопротивление.

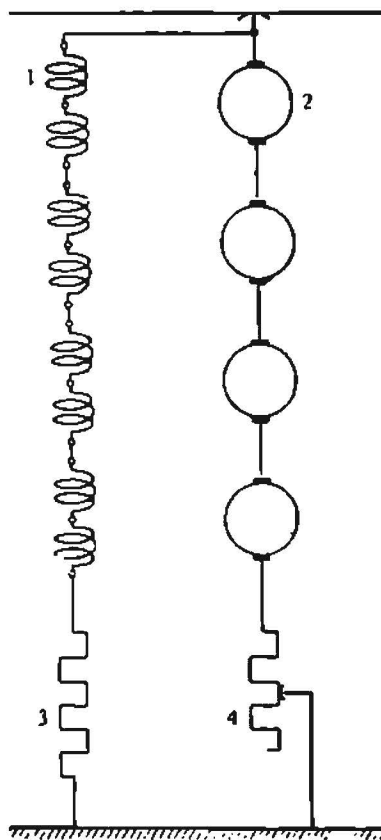


Рис. 201.

¹ См. BBC Mitteilungen. 1929 г. № 6.

НИИ
ДНУЖТ

Недостатком рекуперации с параллельным возбуждением моторов является, как уже ранее было указано, низкий коэф. п. д.; в этом отношении рекуперация с независимым возбуждением имеет большие преимущества. Схема для этого способа рекуперации дана на рис. 203. Последовательное соединение якорей и обмоток возбуждения при рекуперации остается тем же, что и при нормальной работе моторов.

Параллельно с обмоткой возбуждения тяговых моторов и якорем возбuditеля включается сопротивление R_S , по которому протекает рекуперуемый ток J_B и ток возбуждения J_E ; направление их показано на рис. 202. Обозначив E_E напряжение возбuditеля, получим:

$$E_E = (I_B + I_E) R_S + I_E R_E$$

откуда

$$J_E = \frac{E_E - J_B R_S}{R_S + R_E} \quad (75).$$

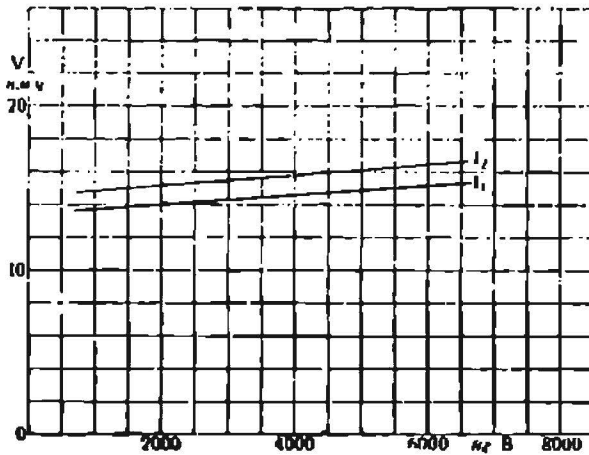


Рис. 202.

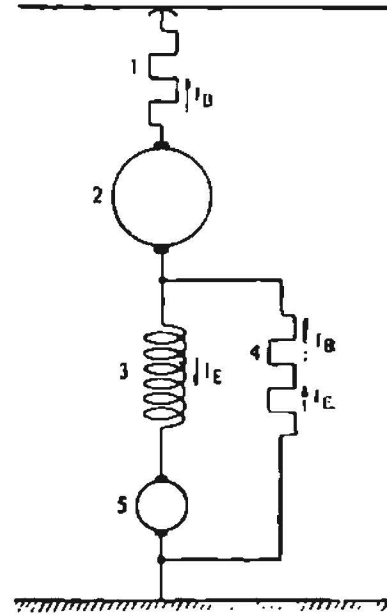


Рис. 203.

С повышением силы рекуперуемого тока падает сила тока возбуждения, что ведет к смягчению толчков тока. Описанный способ рекуперации с независимым возбуждением и стабилизирующим сопротивлением был применен заводом Броун-Бовери для жел. дороги Р.—О. № 502 ¹

Заводом Г. Е. Со на электровозах жел. дороги Св. М. St-Paul было применено также независимое возбуждение при рекуперации, однако по несколько иной схеме (рис 204), а именно возбuditель присоединен параллельно к обмоткам полюсов тяговых моторов, почему через возбuditели проходит не только ток возбуждения, но и рекуперуемый ток. Генераторы возбуждения тяговых моторов при рекуперации устраиваются с двумя обмотками возбуждения; через одну обмотку протекает рекуперуемый ток, и по дополнительной обмотке ток независимого возбуждения от сети управления. Независимое возбуждение снабжается реостатом, переставлявая который, меняют силу тока возбуждения, а следовательно и режим рекуперации.

Можно применять автоматическое регулирование раз установленного машинистом возбуждения и режима рекуперации. Завод Г. Е. Со снабжает

¹ См. BBC. Mitteilungen. 1927, стр. 197.

реостат в цепи возбуждения, питаемой от сети управления, мотором переставляющим рукоятку реостата в зависимости от реле с двумя обмотками, из коих по одной течет постоянный ток, устанавливаемый машинистом путем перемещения рукоятки рекуперации, а по другой — рекуперлируемый ток. Всякое изменение последнего вызывает замыкание соответствующих контактов реле, через которые производится питание сервомотора, перемещающего рукоятку контроллера в сторону восстановления режима рекуперации.

Завод Вестингауз применяет при рекуперации схему, показанную на рис. 205, со стабилизирующим сопротивлением S , к борнам которого приключаются индукторы тяговых моторов. Таким образом через возбуди-

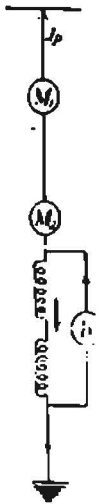


Рис. 204.

тель E проходит только сила тока самого возбuditеля, а не сумма тока возбуждения и рекуперлируемого тока, как по схеме Г. Е. Со. В стабилизирующем сопротивлении S ток возбуждения i_e и рекуперлируемый ток i_r протекают в одном направлении. Генератор E (возбудитель) имеет независимое возбуждение. Путем изменения этого возбуждения, для чего обычно помещается последовательно реостат, изменяется сила тока возбуждения тяговых моторов и устанавливается тот или иной режим рекуперации. Стабилизирующее сопротивление служит для поддержания постоянным раз установленного машинистом тормозного усилия и силы рекуперлируемого тока.

В случае падения напряжения в контактной сети (напр., при трогании с места другого поезда вблизи) — сила рекуперлируемого тока i_r стремится возрасти, однако одновременно имеет место уменьшение возбуждения тяговых моторов, работающих в качестве генераторов. Действительно обозначим через e электродвижущую силу возбудителя E , через

r — сопротивление индукторов тяговых моторов и через S — стабилизирующее сопротивление, тогда мы имеем следующее равенство:

$$I = r i_e + S (r + i_e).$$

Так как возбудитель E приводится во вращение от бегунковых осей электровоза и имеет независимое возбуждение (напр., от аккумуляторных батарей), — напряжение e остается постоянным при колебаниях напряжения в контактной сети, почему, как видно из приведенного уравнения, увеличение силы тока i_e вызывает тотчас же уменьшение тока возбуждения i_e и таким образом автоматически поддерживает неизменным установленный режим рекуперации.

В случае быстрого понижения сопротивления движению поезда (изменение профиля или вход поезда с кривой малого радиуса на прямую), поезд начинает ускорять свой ход, что вызывает увеличение электродвижущей силы e возбудителя E , и следовательно увеличение силы тока возбуждения, посылаемого в индукторы тяговых моторов. Благодаря этому, имеет место увеличение силы рекуперлируемого тока i_r и связанное с этим увеличение тормозного сопротивления, и поезд замедляет ход, чем и достигается автоматическое выравнивание скорости при переменном сопротивлении поезда.

Рекуперация энергии и связанное с этим торможение поезда при спусках имеют свои преимущества и недостатки; преимуществами явля-

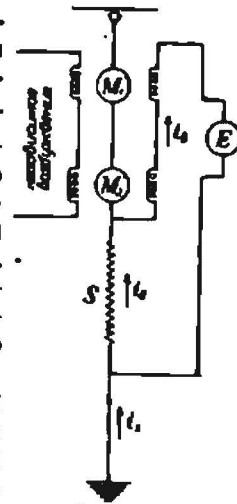


Рис. 205

ДНЭЖТ

ются значительное уменьшение износа органов, связанных с торможением, а следовательно и меньшие эксплуатационные расходы по ремонту и восстановлению таковых, возможность регулирования скоростей при движении под уклон: уменьшение расхода энергии для движения поездов: это уменьшение в некоторых случаях может достигать до 15%.

Выигрыш энергии благодаря рекуперации тем выше, чем более крутые уклоны имеются на линии; на дороге Ch. M. St.-Paul на 20⁰/₀₀ уклоне до 42,8% от расходуемой поездом в подъем энергии возвращалось в сеть и 23,1% — при спуске с уклона 16,6⁰/₀₀ — для пассажирских поездов; для товарных поездов этот процент ниже благодаря большему сопротивлению поезда и необходимости прибегать к механическому торможению в начале рекуперации. Чем большее расстояние на электрифицированном участке приходится проходить с рекуперацией, тем выше процент рекуперированной энергии по отношению к израсходованной электровозом. Для жел. дороги Ch. M. St.-Paul для участка Rocky Mountain он выразился в 11,3%. На той же дороге при паровой тяге, при спуске со Скалистых Гор (Rocky Mountain) на ст. Three Forks имели место остановки поездов на несколько часов, в виду необходимости смены паровоза и тщательного осмотра тормозов, ремонта их и смены сносившихся колодок; при введении электрической тяги вместе с рекуперацией такие задержки поездов прекратились.

Недостатками электрического торможения с рекуперацией энергии является увеличение веса локомотива и удорожание его, увеличение тех эксплуатационных расходов, которые ложатся на ремонт дополнительного оборудования электровозов для рекуперации, необходимость оборудования подстанций вращающимися машинами, которое дороже, чем оборудование ртутными выпрямителями, увеличение эксплуатационных расходов подстанций с вращающимися машинами, большие потери энергии на этих подстанциях.

Помимо того следует иметь в виду, что торможение поезда на тяжелых уклонах при рекуперации менее надежно, чем торможение путем замыкания силовой цепи на тормозные сопротивления, независимо от рода тока, принятого на дороге. Действительно, если в тот момент, когда моторы, работающие на рекуперацию энергии, окажутся отключенными от потребителя энергии (напр., при выключении контактной сети от подстанции, или аварии на контактной сети) тормозное усилие сразу падает до нуля, и если во-время не будут использованы механические тормоза, возможны крупные катастрофы (см. Hellmund Pros. Amer. Institut. El. Eng. 1917, т. 36, стр. 51).

53. Схема электровоза и приборы управления

Силовая цепь состоит в основном из пусковых реостатов, моторов с шунтами для ослабления магнитного поля и аппаратурой для установления необходимых соединений отдельных элементов силовой цепи.

В отношении способа осуществления требуемых замыканий и размыканий силовой цепи различают две основные системы управления:

- а) система непосредственного управления,
- б) контактная система.

Первая система характеризуется тем, что вся мощность проходит через контроллер, в котором и производятся при вращении валика все необходимые переключения. При высоком напряжении в контактном проводе и большой мощности моторов размеры контроллера получаются слишком большими, становится затруднительно производить вращение валика от руки, почему система непосредственного управления применяется до мощности 4×250 л. с. и при напряжении до 600—1000 в.

При больших мощностях и высоких напряжениях получила распространение контакторная система, при которой замыкания и размыкания цепи производятся при помощи так называемых контакторов. Управление

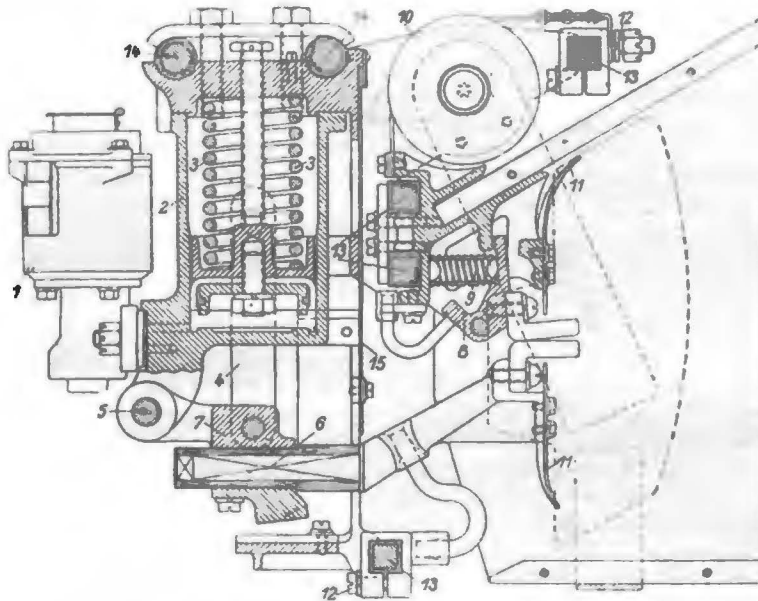


Рис. 206. Электропневматический контактор.

контакторами сосредоточено в будке машиниста и производится при помощи контроллера; в отличие от непосредственного управления при контакторном управлении через контроллер проходит ток невысокого напряжения, необходимый лишь для замыкания контакторов. Контактторы бывают электромагнитные и электропневматические. В первом случае размыкание и замыкание контактора производится при помощи электромагнита током из цепи управления; во втором — воздухом путем открытия соответствующих электромагнитных клапанов.

На рис. 206 дан разрез, а на рис. 207 — фотография электропневматического контактора. Воздух поступает через электромагнитный вентиль 1 в рабочий цилиндр 2 и перемещает поршень вверх, сжимая пружину 3. С поршнем связан рычаг 4, при помощи которого происходит при поднятии поршня перемещение изолированного контактного рычага 6, кесущего на одном своем конце контакты. Верхний контакт 8 укреплен упруго при помощи пружины 9. Магнитная катушка 10 служит для задувания дуги при разрыве контактов. Прикрепление контактора производится при помощи изолированных болтов 14.



Рис. 207. Электропневматический контактор.

Рассмотрим, каким образом при помощи контакторов может быть произведено включение и выключение отдельных ступеней реостатов, а также необходимые переключения моторов и шунтирование поля их.

Отдельные реостаты соединяются, как показано на рис. 209, таким образом, что любая из них может быть коротко замкнута при помощи контактора. Путем последовательного замыкания контакторов 1, 2, 3, 4 и т. д., из цепи моторов выключаются соответствующие ступени реостатов. Реостаты набираются из отдельных, обычно литых, секций на изолированные болты, как показано на рис. 208. Для возможности свободного расширения необходимо устанавливать пружины. Сама установка или подвешивание реостатов на электровозе производится посредством изоляторов, что дает вместе с изолированием болтов двойную изоляцию реостатов по отношению к земле.

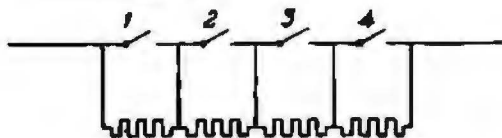


Рис. 208.

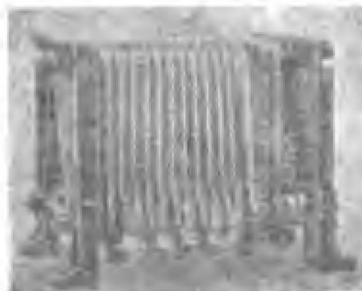


Рис. 209.

Переключение моторов производится двумя способами: а) путем короткого замыкания их и б) мостиком.

Рассмотрим подробнее расположение контакторов и последовательное их размыкание и замыкание при переключении по способу короткого замыкания. Положение контакторов, данное на рис 210 а, соответствует последовательному соединению моторов; ток следует от пантографа через реостаты R_1 (контакторы a и c открыты), затем через замкнутый контактор b , через реостат R_2 и далее через замкнутый контактор h (контактор k открыт) в моторы M_1, M_2 и через замкнутый контактор g в моторы M_3 и M_4 , обмотки полюсов I_3, I_4 через контактор e в обмотки полюсов I_2, I_1 , и в рельсы (контакторы d и f открыты).

Переключение с последовательного на параллельное соединение моторов производится в следующем порядке: 1) замыкается контактор a ; 2) вводится небольшое сопротивление реостата R_1 в цепь, с тем, чтобы

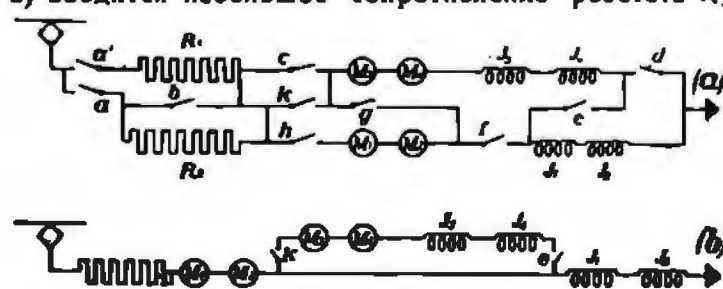


Рис. 210.

ток направился через R_2 ; 3) размыкается контактор a и 4) размыкается контактор b . До этого момента не трудно видеть, что ничего не изменилось в отношении последовательности протекания тока через моторы и их полюсные

обмотки, и только вместо того, чтобы протекать через шунты обоих пусковых реостатов, ток протекает лишь через шунт реостата R_2 ; с этого момента начинается самое переключение моторов; 5) в цепь вводится полное сопротивление реостатов и 6) замыкается контактор f , половина моторов и полюсные обмотки оказываются замкнутыми накоротко (рис. 209-б), работают лишь моторы M_1, M_2 и реостат R_2 на полное сопротивление, затем 7) размыкаются контакторы k и l и моторы M_3, M_4 оказываются отключенными, 8) путем замыкания контактора d моторы соединяются с землей и 9) путем замыкания контактора c

соединяются моторы с реостатом R_1 и наконец 10) при замыкании контактора a обе группы моторов с их реостатами оказываются соединенными параллельно.

Переходим к рассмотрению переключения по способу мостика. Этот способ имеет то преимущество, что во время переключения сила тока не прерывается и в течение всего переходного периода поддерживается постоянной. Схематически положения при этом способе переключения даны на рис. 211.

Реостаты разделены на две группы по числу групп моторов, переходные положения показаны под a и b . В положении c реостаты снова

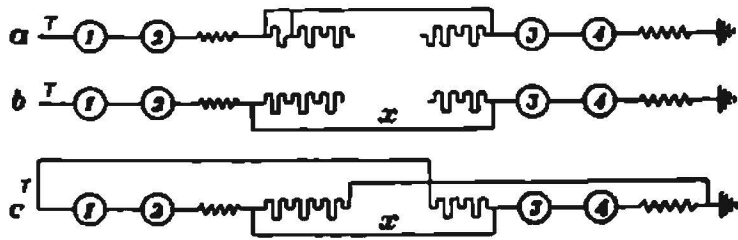


Рис. 211.

включаются в цепь, и если ток, проходящий через сопротивления, равен току, проходящему через моторы, — контакт X может быть открыт без повышения напряжений в моторах.

На рис. 212 дана подробная схема электровоза при этом способе переключения моторов. Путем постепенного выключения секций реостатов замыканием контакторов $1, 5, 2, 6, 3, 7, 4, 8$ моторы оказываются соединенными последовательно без реостатов; ток следует по замкнутому контактору a через моторы M_1, M_2 и их индукторы, затем через замкнутый контактор e через мостик в моторы M_3, M_4 и полюса I_3, I_4 и в путевые рельсы; контакторы b и c должны быть закрыты.

Переключение с последовательного соединения моторов на параллельное производится при помощи двух промежуточных положений.

1. Замыкаются контакторы b , присоединяющие вторую группу моторов к рабочей сети, и контактор f , соединяющий ту же группу моторов с путевым рельсом (обратным проводом).

При этом ток течет параллельно через моторы и через реостаты.

2) Размыкаются контакторы e на мостике, и группы моторов с их реостатами оказываются приключенными параллельно к питающей сети. Как не трудно видеть, ток в моторах в течение всего периода переключения не прерывается, и все время поддерживается полная сила тяги. Этот способ имеет особое преимущество тогда, когда необходимо поддерживать без перерыва или ослабления ускоряющие усилия.

Для ослабления магнитного поля применяют два способа:

- 1) шунтирование его,
- 2) изменения числа витков обмоток полюсов.

При ослаблении магнитного поля путем шунтирования его должны применяться индуктивные сопротивления по следующим причинам.

После перерыва тока, когда магнитное поле успеет исчезнуть, при появлении снова напряжения образование магнитного поля происходит медленно благодаря сильной самоиндукции магнитных катушек. Вследствие этого электродвижущая сила растет слабо и через моторы и шунтовые сопротивления, протекает ток недопустимой силы; во избежание этого необходимо шунты устраивать с той же самоиндукцией, что и у полюсов.

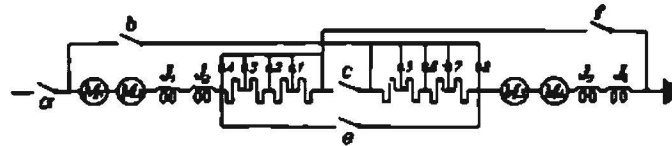


Рис. 212.

Индуктивные шунты необходимы и по другой причине: при коротком замыкании в контактной сети магнитное поле некоторое время сохраняется благодаря тому, что обмотка полюсов замкнута на шунтовое сопротивление, и мотор работает, как генератор, с независимым возбуждением, при этом толчки тока настолько сильны, как показывает практика, что ведут к образованию кругового огня.

При ослаблении магнитного поля путем выключения части обмоток полюсов отдельные секции их замыкаются накоротко, однако замкнутая часть витков должна быть отделена с одного своего конца от сети во избежание тех же последствий, которые были указаны выше при шунтировании обмоток полюсов чисто омическим сопротивлением. Таким образом второй способ ослабления магнитного поля требует большего числа контакторов, однако не требует установки индуктивных сопротивлений.

Очень часто ряд контакторов, несущих работу одного характера (напр. служащие для переключения моторов), соединяются в одну группу и приводятся в действие от кулачкового вала (групповой привод); вращение же кулачкового вала производится:

- 1) при помощи цепи от контроллера управления,
- 2) чаще однако при помощи сжатого воздуха; впуст и выпуск воздуха в рабочие цилиндры производится при помощи воздушных электромагнитных клапанов, управляемых из будки машиниста.

Завод Броун-Бовери применяет вращение кулачкового вала от сервомотора, при этом имеется особое приспособление, благодаря которому угол вращения серво-мотора зависит от положения соответствующей рукоятки контроллера.

Сложные или групповые контакторы употребляются при высоких мощностях для разрыва цепи одновременно в нескольких местах; для того чтобы разрыв цепи происходил действительно в нескольких контактах, необходимо механически связывать между собою все контакторы. Такие групповые контакторы приводятся пневматическим путем, так



Рис. 213. Групповой контактор.

как электромагниты получились бы слишком больших размеров. На рис. 213 изображен групповой контактор (тройной) с пневматическим приводом.

Для изменения направления движения электровоза достаточно взаимно между собою переключить обмотки якорей и полюсов. На практике предпочитают производить переключение обмоток полюсов, так как на их клеммах наивысшее напряжение по отношению к земле не превышает половины напряжения в контактном проводе. Когда при высоком напряжении в контактном проводе моторы обмотаны лишь на частичное напряжение и по несколько соединены последовательно в группы, все обмотки полюсов моторов одной группы соединяются последовательно и переключаются одновременно вместе. На рис. 214 дан реверсер завода Сименс-Шуккерта с пневматическим приводом для переключения обмоток полюсов для двух групп моторов.

Для выключения неисправных моторов устанавливаются особые моторные выключатели. Если моторы постоянно соединены последовательно в особые группы, то при неисправности одного мотора выключается вся группа; при тяжелых электровозах моторные выключатели однако устраиваются так, чтобы можно было выключать лишь неисправный мотор, остальные же работают только в последовательном соедине-

нии между собою. На рис. 215 показан моторный выключатель вальцевого типа на четыре мотора.

Само собою разумеется, что выключение моторов производится без тока.

В виду небольших усилий обычно для токов управления выбирается невысокое напряжение, и на электровозах устанавливаются для получения этих токов специальные мотор-генераторы или аккумуляторные батареи. Пользование же для этой цели непосредственно током из контактной сети с его высоким напряжением нежелательно, так как при этом отпадает одно из важных преимуществ контакторной системы, возможность иметь в контроллере управления лишь токи низкого напряжения. Во всяком случае пользование для целей управления током из контактной сети может иметь место лишь при напряжении в контактной сети до 1000 в.



Рис. 214. Электромагнитный реверсер на 2 группы.



Рис. 215. Моторный выключатель.

Пневматическая система управления имеет то большое преимущество, что она работает вполне исправно при сильном падении напряжения в цепи управления до 70% нормального напряжения, тогда как при электромагнитной системе для исправной работы требуется чтобы падения напряжения не превосходило 40%; кроме того расход электрической энергии при пневматическом управлении крайне ничтожен и составляет около 15% расхода энергии при электромагнитном управлении, так как все усилия производятся фактически сжатым воздухом и лишь открытие кранов — электрическим током. Обычно сжатый воздух для управления берется давлением около 5—6 атм.

Контроллеры контакторного управления, располагаемые в будке машиниста, благодаря меньшей силе тока, протекающего через него, имеет значительно меньшие размеры, чем контроллер при непосредственном управлении, и конструкция его также проще. Контактные сегменты располагаются на главном валу квадратной формы, изолированном прессованным micaнитом (следует всячески избегать в контроллере горючих изолирующих материалов). Магнитные гасительные катушки при низком напряжении тока управления могут отсутствовать.

Помимо главного вала управления, служащего для управления контакторами реостатов и последовательно-параллельного переключения мото-

ров, устанавливается реверсный вал для управления рабочим реверсером, расположенным в аппаратурном помещении электровоза или под электровозом. Реверсный вал имеет нулевое положение и положение вперед и назад. Главный вал контроллера обычно снабжается несъемной рукояткой, тогда как реверсный вал — малой съемной рукояткой. Между обоими валами устанавливается такое механическое соединение, при котором поворот малой рукоятки возможен лишь при выключенном положении главного вала контроллера, рукоятка же реверсного вала может быть снята лишь при нулевом положении его. Электровоз снабжается лишь одной съемной малой рукояткой, почему, прежде чем снять ее, он вынужден на соответствующей стороне электровоза установить главный вал в положение выключенного управления и реверсный вал — в нулевое положение; при нулевом положении реверсного вала перемещение главного вала невозможно. В случае, если на электровозе предвидена рекуперация, — устанавливается валик с рукояткой, специальный для работы при рекуперации (см. электровозы жел. дороги Ch. M. St.-Paul завода G. E. Co № 10100—10200).

В этом случае главный вал контроллера имеет добавочные два положения для рекуперации, соответственно последовательному и параллельному соединению моторов; только при этих положениях главного вала контроллера и должно быть возможно перемещение валика рекуперации; последний же, будучи поставлен в одном из рабочих положений, замыкает главный вал в положении рекуперации.

54. Вспомогательное оборудование электровозов

К вспомогательному оборудованию электровозов относятся преобразователи или аккумуляторы, для получения тока управления, генераторы тока для независимого возбуждения при рекуперации, компрессоры для получения сжатого воздуха для пневматического управления, вентиляторы для искусственного охлаждения моторов, аппаратура для снятия тока, а также все оборудование, служащее для освещения электровоза и поезда и для отопления электровоза.

Сеть для питания вспомогательного оборудования электровоза присоединяется параллельно силовой цепи через свой максимальный выключатель; помимо того часто питание мотор-генератора, компрессора, освещение и т. п. присоединяется к шинам через посредство отдельных треншальтеров, позволяющих выключать неисправные машины, без ущерба для работы остальных.

Все моторы вспомогательного оборудования, равно как освещение и отопление, присоединяются при напряжении в 3000 в в контактном проводе иногда не непосредственно к этому напряжению, а во вторичную цепь специально устанавливаемого для этой цели преобразователя (мотор-генератора). На электровозах завода Вестингауз, построенных для жел. дороги Ch. M. St.-Paul установлен мотор-генератор, понижающий напряжение 3000 в в контактном проводе до 85 в; в это напряжение включены вентиляторы для охлаждения тяговых моторов, компрессор, освещение электровоза. Выбранное напряжение позволяет питать непосредственно от мотор-генератора всю цепь управления.

При напряжении в контактном проводе в 3000 в и непосредственном присоединении вспомогательного оборудования к этому напряжению моторы устраниваются с двумя последовательно соединенными коллекторами, напряжением по 1500 в на коллекторе. В виду высокой стоимости моторов постоянного тока высокого напряжения, к такой группе моторов присоединяют все генераторы: для рекуперации, освещения и для питания цепи управления, а иногда даже и вентиляторы для охлаждения

моторов (электровозы № 10100—10200 жел. дороги Ch. M.St.-Paul, построенные заводом G. E. Co).

Компрессор, подающий сжатый воздух давлением 5—8 атм для пневматического управления контакторов, кулачкового вала, пантографа приключается к питающей сети при помощи автоматического выключателя, снабженного мембраной, подверженной с одной стороны давлению воздуха, которое уравновешивается с противоположной стороны давлением пружины; как только давление в воздушном резервуаре падает ниже некоторой установленной величины, пружина выпрямляясь производит перемещение ряда рычагов для замыкания автомата и включения мотора в питательную сеть. При восстановлении давления в воздушном резервуаре происходит автоматически выключение компрессора.

Нагревательные приборы отопления включаются обычно последовательно; число последовательно включенных приборов определяется допускаемым напряжением на клеммах каждого аппарата.

При питании отопления от контактной сети напряжением в 3000 в

на жел. дороге Ch. M. St.-Paul включается последовательно по 10 приборов. Нагревательный элемент состоит из фарфорового цилиндра, на который наматывается хромоникелевая проволока (рис. 216); готовый элемент помещается в ящик из перфорированного листового железа, причем этот кожух должен быть непременно заземлен, а нагревательная проволока должна быть дважды изолирована по отношению к кожуху, что достигается тем, что фарфоровый цилиндр своим металлическим стержнем прикрепляется к кожуху также на изоляторах.



Рис. 216



Рис. 217.

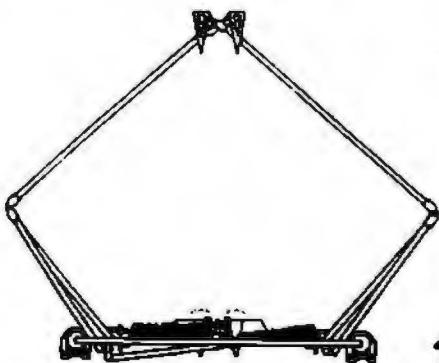
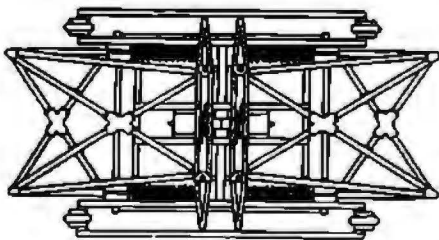
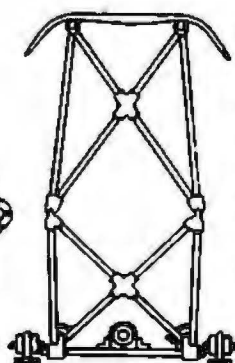


Рис. 218.



ДНУЖТ

На рис. 217 показан нагревательный прибор завода Сименс-Шуккерт мощностью 1 *квт* с отягтой боковой крышкой.

Снятие тока на дорогах постоянного тока благодаря высокой силе тока представляет большие затруднения; на жел. дороге Ch. M. St.-Paul удалось снимать одним пантографом до 4 000 *амп* при скорости 24 *км/час.* и 1 500 *амп* при 80 *км/час.*

Пантограф электровозов жел. дороги Ch. M. St.-Paul завода G. E. Со изображен на рис. 218. На основании испытаний, проделанных на упо-

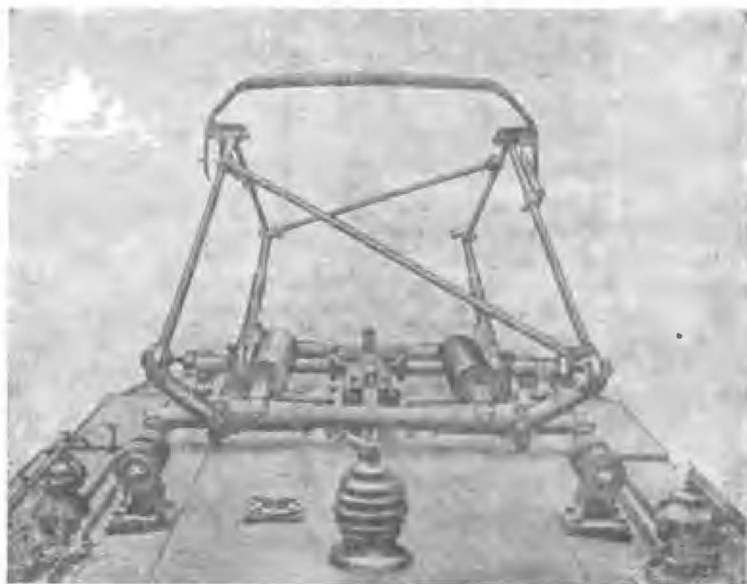


Рис. 219.

мянутой дороге, установлено, что наилучший контакт получается при медных полосах. Пантограф несет две трущиеся детали, каждая с четырьмя медными полосами, но неодинаковой длины, так что в середине имеется четыре, затем три и по концам, где изнашивание пантографа наименьшее, две точки соприкосновения с контактным проводом.

Рукоятка или кран для управления серво-мотором, поднимающим пантограф, установлен в будке машиниста на контроллере под рукояткой реверсера. Эта рукоятка забирается машинистом с собой, когда он оставляет электровоз (вместе с рукояткой реверсера).

Пантографы, представляющие собою систему жестких статически неопределимых рам, обладают тем недостатком, что при неправильной длине отдельных элементов или при неправильном монтаже пантографа, при боковых отклонениях замечается сильное защемление в шарнирах, лишаящее пантограф его основного свойства—следовать непрерывно за всеми изменениями по высоте контактного провода. Во избежание этого заводом ВВС предложен пантограф, представляющий собою простую статически определимую систему (рис. 219) Помимо значительного упрощения, этот тип пантографа позволяет использовать место на крыше под пантографом для установки вводов тока, сигнальных приборов и т. п.; в то же время уменьшается и строительная высота пантографа благодаря отсутствию верхнего поперечного соединения. На пантографе устано-

вместе всего две пружины. Натяжение их происходит таким образом, что при различных положениях пантографа его давление на контактный провод меняется в небольших пределах (рис. 220).

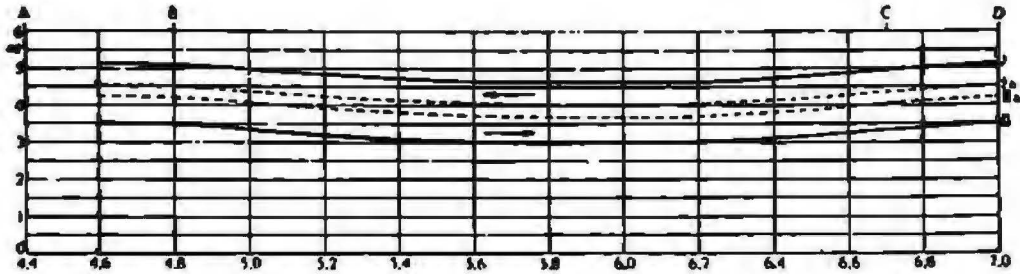


Рис. 220.

I и Ia — при понижении провода. II и IIa — при повышении провода.

На тот случай, когда воздушный резервуар окажется без сжатого воздуха и нет возможности поднять главный пантограф, устанавливается или малый токоприемник для возможности подвода тока от контактного провода к компрессору или производится накачивание воздуха ручным насосом.

НТБ
ДНУЖТ

передачи, расположенной с каждой стороны мотора. Плавное трогание с места обеспечивается упругостью зубчатой передачи. Отношение зубчатой передачи у пассажирских электровозов 29/71¹, у товарных — 18/82. Четырехполюсные моторы с дополнительными полюсами развивают часовую мощность 452 л. с. и длительную 396 л. с. каждый. Две группы одной половины электровоза, состоящие каждая из двух моторов, могут соединяться последовательно и параллельно, кроме того предусмотрено шунтирование поля на 50%.

Вся аппаратура располагается в кузове электровоза. Каждая половина электровоза имеет свой кузов, лежащий на рамах; последние опираются через центральные опоры на тележки, причем одна опора позволяет исключительно только вращение тележки около опоры, другая же — и небольшое поперечное перемещение. Рамные листы высотой 305 мм, расположенные на расстоянии 788 мм в свету вместе с железными листами, покрывающими междурамное пространство сверху и снизу, образуют канал для воздуха, охлаждающего моторы.

В каждой половине электровоза кузов разделен на две части, в одной из коих, внутренней, установлены мотор-генератор, контакторы, реостаты, быстродействующий выключатель силового тока и воздушный компрессор, причем аппаратура расположена таким образом, что у обеих стенок имеются продольные проходы шириною 0,575 м для прохода обслуживающего персонала, вторая часть кузова — меньшая (длиною всего 1,525 м) представляет собою кабинку управления (рис. 221).

Имеется два пантографа, расположенных по одному на каждой из половинок, однако в работе бывает всего лишь один; кроме того на крыше установлен роликовый токоприемник, при помощи коего снимается ток для компрессора при недостаточном давлении воздуха для поднятия главного пантографа.

Реостаты, числом 28, расположены в два ряда в контакторном помещении на полу, в котором проделаны отверстия, и воздух снизу проходит через реостаты и выходит через вытяжные трубы в отверстия на

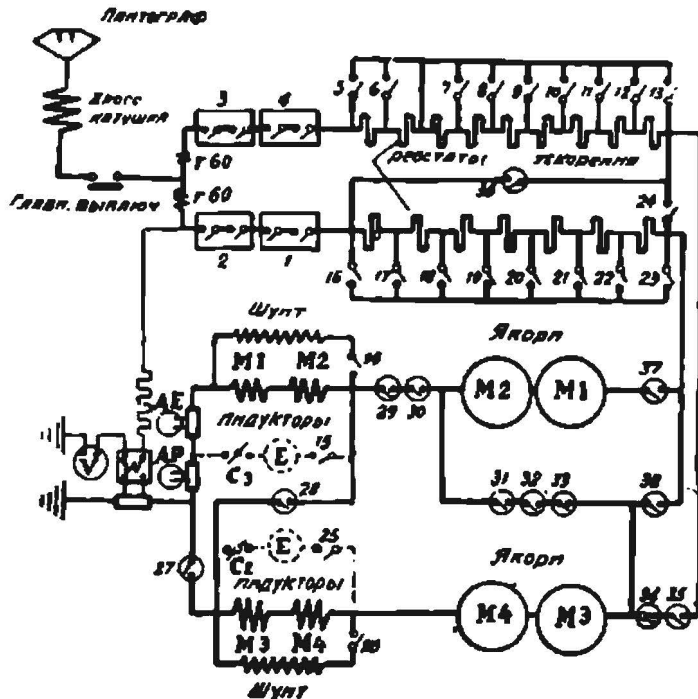


Рис. 222. Схема электровоза жел. дороги Ch. M. St.-Paul.
 С 1 по 26 — электронисаветические контакторы.
 С 27 по 31 — контакторы для последовательно-параллельного соединения.
 АБАР — амперметр.
 С, С₁ — переключатели освещения и рекуперации.
 В — двойной генератор для освещения рекуперация.
 М₁, М₂, М₃, М₄ — тазовые моторы.
 V — вольтметры.
 W — ваттметр.
 У60 — максимальное реле.

¹ Впоследствии были заменены отношением 26/74 для получения большей силы тяги и улучшения работы с рекуперацией.

ДНУЖТ

потолке. Реостаты изготовлены из литых решеток и установлены в металлических коробках на изоляторах¹.

Контакты разбиты на четыре группы и располагаются над реостатами под общими с реостатами вытяжными трубами.

Электрическая схема электровозов железной дороги Ch. M. St.-Paul, построенных заводом G. E. Co, дана на рис. 222 (эл. № 10100—10200)

После главного выключателя цепь разветвляется, и имеются четыре двойные электромагнитные контакторы (1—4).

Затем следует 18 простых контакторов №№ 5—13 и 16—24 для включения сопротивления в цепь моторов, 12 контакторов №№ 27—38 для переключения групп моторов. Два контактора №№ 14 и 26 служат для включения шунта в цепь индукторов тяговых моторов и два контактора №№ 15 и 25 служат для приключения динамо *E* для возбуждения моторов при рекуперации.

Контакторы №№ 1—26 приводятся в действие независимо один от другого, при помощи электромагнита постоянного тока 120 в. Контакторы же №№ 27—38, служащие для последовательного и параллельного переключения моторов, приводятся в действие механически при помощи

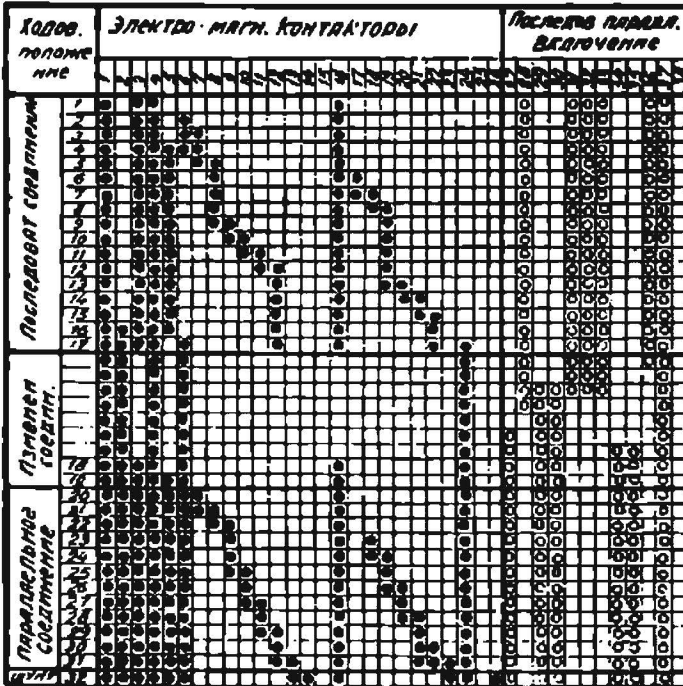


Рис. 223. Жел. дорога Ch. M. St.-Paul. Диаграмма главного контроллера электровозов 10100—10200 (контакторы 15 и 25 действуют только от контроллера рекуперации; контактор 38 замыкается, когда управляют от руки контакторами последовательно-параллельного включения, чтобы изолировать поврежденный мотор; при этом контактор 36 остается закрытым, контактор 73—открытым).

двух гребенчатых валов, вращение которых производится сжатым воздухом при открытии крана при помощи электромагнита.

В главном контроллере сосредоточено управление контакторами №№ 1—14, 16—24 и 26, а также переключение групп моторов. Контакторы же №№ 15 и 25 управляются контроллером рекуперации. Помимо того гребенчатый вал для параллельно-последовательного соединения может поворачиваться от руки, что позволяет выключать ту или иную группу моторов. Таким образом главный контроллер может занимать 33 положения; при положениях 1—16, соответствующих последовательному соединению моторов, (рис. 223) увеличивается скорость электровоза путем выключения реостатов. Положение рукоятки 17 соответствует последовательному соединению моторов без реостатов; дальнейшие положения 18—30 соответствуют параллельному соединению групп из двух моторов,

¹ См. General Electric Review. 1916, стр. 945.

с соответствующим уменьшением сопротивления; наконец положение 32 соответствует шунтированию поля.

Рукоятка реверсера имеет три положения: ход вперед, стоп и ход назад; рукоятка устроена съемной только в среднем положении (стоп) и, оставляя электровоз, машинист может таким образом снять рукоятку реверсера лишь в положении остановки (выключенная силовая цепь).

Помимо того эта рукоятка механически связана с главным контроллером таким образом, чтобы его рукоятка не могла быть переведена из нулевого положения пока рукоятка реверсера не установлена вперед или назад, и обратно — эта рукоятка остается неподвижной, пока рукоятка главного контроллера находится в положении, отличном от нулевого.

Перемена направления вращения моторов достигается переменной тока в индукторе; служащий для этой цели реверсер работает от гребенчатого вала¹ с пневматическим мотором и управлением при помощи электромагнитного клапана. В случае слишком быстрой перестановки рукоятки контроллера, если сила тока превысит допускаемую величину, — начинают функционировать релэ максимального тока и выключают контакторы 1—4, 5, 15, 16 и 25. Для замыкания релэ необходимо установить контроллер в нулевое положение и снова перевести рукоятку последовательно через все промежуточные положения.

При описанной схеме электровоза управление им производится в следующем порядке: прежде всего машинист устанавливает рукоятку реверсера в надлежащее положение (ход вперед или назад), затем переставляет рукоятку контроллера в первое положение; при этом амперметр, дающий силу току одной группы моторов (из двух моторов), должен показывать около 80 амп.

Если поезд не трогается, — машинист может далее перевести рукоятку контроллера, однако не далее третьего положения, помня, что сила тока не должна в течение минуты превысить 400 амп (т. е. двукратной часовой) и в течение пяти минут 300 амп (т. е. 1,5 раза часовой), и после указанной нагрузки необходимо прождать 15 мин., пока не остынут моторы, прежде чем снова пробовать брать поезд с места. Когда поезд тронулся с места, машинист переставляет рукоятку контроллера, выключая сопротивление и стараясь не задерживаться на положениях контроллера, соответствующих езде с реостатами, дабы избежать потери в реостатах, однако следя в то же время, чтобы сила тока не превышала 250 амп.

Реостаты рассчитаны таким образом, что при разгоне поезда под током 200 амп можно ехать с реостатами в течение 25 минут (не оставляя более 5 минут в каждом положении), а при силе тока в 300 амп выключение реостатов должно произойти не более как через 15 минут; при этих предельных значениях следует в положении выключенных реостатов (положение 17 контроллера) оставаться до 15 минут прежде чем снова включить реостаты при параллельном соединении моторов.

При переходе с последовательного соединения моторов на параллельное следует, в зависимости от силы тока перед переключением, определить, на какую ступень сопротивления следует перейти, дабы при параллельном переключении не произвести резкого изменения вращающего момента или силы тока в моторах. Как известно, между напряжением в питательной сети U и силой тока в якорях и индукторах моторов J имеется следующее соотношение:

$$U = (R_f J + R_a J + E) a,$$

¹ General Electric Review. 1916, стр. 946—948.

где

R_1 — сопротивление обмоток главных и дополнительных полюсов;

R_a — сопротивление якоря;

E — противоэлектродвижущая сила, зависящая от скорости вращения моторов (или скорости движения электровоза) и от возбуждения его, т. е. от силы тока и степени насыщения железа;

a — число последовательно соединенных моторов.

Допустим, что при переходе на параллельную работу моторов, имеем число последовательно соединенных моторов $a' = \frac{a}{2}$, тогда сопротивление R , которое необходимо включить для получения прежней силы тока J , найдем из уравнения:

$$U = (R_1 J + R_a J + E) \frac{a}{2} + R J,$$

откуда:

$$R = \frac{U - (R_1 J + R_a J + E) \frac{a}{2}}{J}.$$

Практически, если до перехода с последовательного включения на параллельное, сила тока была не велика, придется с переходом на параллельное соединение сразу включить большое сопротивление — и тем больше, чем меньше была сила тока J .

Например, для электровозов жел. дороги Ch. M. St-Paul завода O. E. Co при силе тока в 200 ампер рукоятка контроллера устанавливается в положение 20, при силе тока в 250 ампер — в положение 21 и при 300 ампер — в положение 22, минуя промежуточные положения.

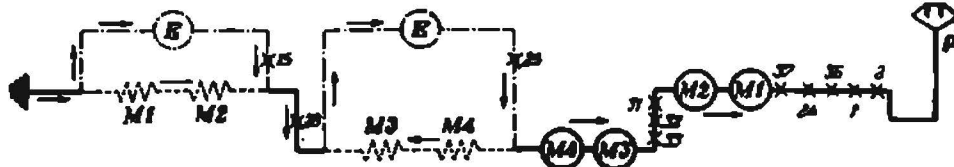
По мере увеличения скорости машинист выключает реостаты, дабы избежать вредных потерь. Положение рукоятки 31 соответствует езде без реостатов при параллельно соединенных группах моторов. Если при этом сила тока менее часовой (т. е. 220 ампер), можно перейти на следующую ступень, соответствующую шунтированию поля, однако с таким расчетом, чтобы не превысить силу тока, соответствующую часовой мощности. Само собою разумеется, что машинист должен следить, чтобы скорость электровоза не превысила предельную, максимальную. Для остановки поезда рукоятка контроллера переводится в нулевое положение. Если остановка производится на уклоне, — рукоятка устанавливается в положение 2, пока не произойдет остановка, затем сжимают тормозные колодки и переводят рукоятку в нулевое положение.

При боксовании необходимо рукоятку переставить назад до тех пор, пока боксование не прекратится, и затем снова, постепенно, переставлять вперед. В случае заклинивания или по другой причине рукоятка контроллера не поддается перестановке, необходимо разомкнуть цепь управления: все контакторы размыкаются, и моторы остаются без тока.

При аварии одного из тяговых моторов выключают всю группу моторов, с которыми он включен последовательно. Если хотят выключить из работы весь электровоз, — необходимо выключить цепь управления; точно так же в случае короткого замыкания или чрезмерной перегрузки цепь управления выключается под действием реле r 60 (рис. 222), и таким образом прекращается питание моторов; для включения их машинист должен перевести рукоятку контроллера в первое положение; если при этом реле снова выключит цепь управления, — следует искать причину.

Рекуперация энергии производится по следующему принципу (рис 224). Динамо *EE* служат для возбуждения тяговых моторов *M₁, M₂, M₃, M₄*, сила тока регулируется контроллером рекуперации. Индукторы моторов присоединяются параллельно к возбудителю *EE* при помощи контактов *15* и *25* и соединяются последовательно с якорями своих моторов.

Последовательное соединение:



Параллельное соединение

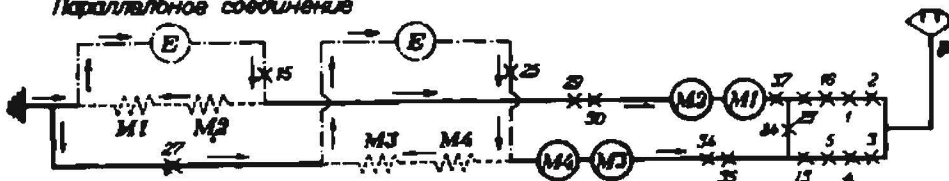


Рис. 224.

При помощи контроллера рекуперации поднимают силу тока возбуждения настолько, что противоэлектродвижущая сила превышает напряжение в контактном проводе, и моторы начинают работать как генераторы. Через возбудитель *EE* протекает рекуперированный ток и ток возбуждения (рис. 223), через индукторы моторов — исключительно ток от возбудителя *EE*. Динамо *EE* снабжена якорем с двойной обмоткой и двумя

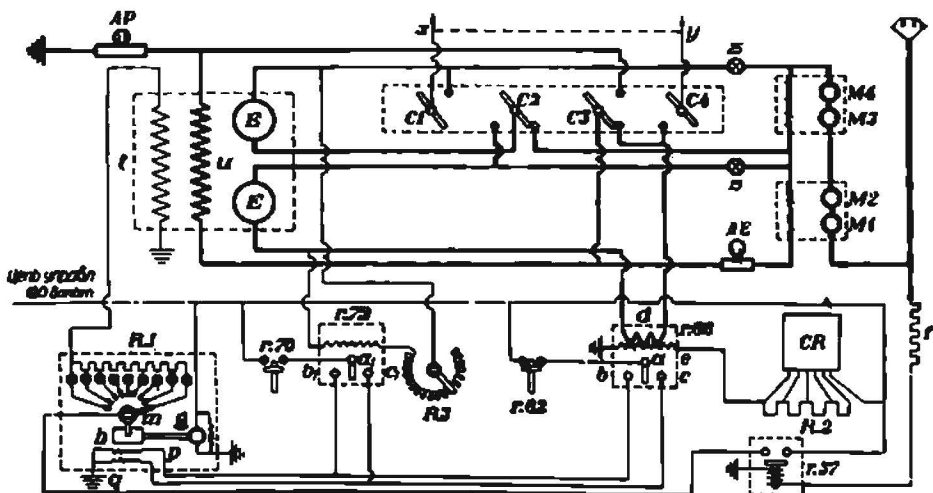


Рис. 225.

C₁ — *C₄* — коммутатор рекуперации и освещения.
X₁ — освещение.

коллекторами с напряжением по 40 в на каждом и служит помимо возбуждения моторов при рекуперации для освещения при последовательном включении обоих коллекторов (напряжение в 80 в); переключение на рекуперацию или на освещение производится особым коммутатором (рис. 225). Электромагнитные клапаны для перемещения коммутатора управляются от контроллера рекуперации. Динамо *EE* имеет независимое возбуждение 120 в (от цепи управления), причем в цепь этого независимого возбуждения

включен автомат-реостат R_1 (рис. 224) устанавливаемый от реле $r 66$, в случае работы динамо EE для рекуперации, и от реле $r 77$ — при освещении; то или иное реле функционирует в зависимости от реле $r 62$ или $r 70$, в свою очередь связанных с контроллером рекуперации.

Контроллер рекуперации располагается над главным контроллером и может занимать 15 различных положений:

а) одно положение, соответствующее нормальной работе моторов (как двигателей),

б) одно положение, подготавливающее рекуперацию, и 13 положений рекуперации с постепенным увеличением тормозного усилия. Рукоятка контроллера рекуперации механически и электрически связана с рукояткой главного контроллера таким образом, что только в случае, если главный контроллер установлен в положении рекуперации (17 или 31), рукоятка контроллера рекуперации может быть переведена в тормозное положение, и обратно при тормозном положении контроллера рекуперации рукоятка главного контроллера не может быть переставлена. С другой стороны, если рукоятка контроллера рекуперации находится в положении подготовки к рекуперации и рукоятка главного контроллера переведена из занимаемого положения 17 и 31 , реле размыкает цепь управления и для включения ее необходимо сначала установить рукоятку главного контроллера на нуль, устанавливая рукоятку рекуперации в положение нормальной работы моторов (положение 1).

При перемещении рукоятки контроллера рекуперации в подготовительное положение производится перемещение коммутатора в положение рекуперации и замыкание контактов 15 и 25 , присоединяющих динамо EE к индукторам моторов. При перестановке далее на первую ступень рекуперации производится замыкание реле $r 62$, которое устанавливает реостат R_1 , в зависимости от реле $r 66$. Последнее реле имеет две обмотки (рис. 225 и 226), из коих одна (d) соединена последовательно с якорем динамо EE , а другая (e) питается током управления, проходящим через реостат R_2 , зависящий от контроллера рекуперации CR . В зависимости от преобладающего действия обмотки d или e подвижной контакт a реле $r 66$ перемещается к неподвижным контактам b или c , благодаря чему ток течет по обмоткам p или q , которые в том или другом направлении перемещают затвор h , обеспечивая перемещение при помощи мотора g рукоятки m реостата R_1 . Таким образом меняется возбуждение динамо EE до тех пор, пока не восстановится равновесие между обмотками d и e реле $r 66$.—Каждому положению рукоятки рекуперации соответствует некоторое сопротивление реостата R_2 , а следовательно и некоторая определенная сила тока в обмотке d , поддерживаемая постоянной действием реле $r 66$ и автоматическим реостатом R_1 ; отсюда следует, что если машинист держит рукоятку контроллера рекуперации в определенном положении, описанное устройство поддерживает постоянным тормозное усилие, что равносильно поддержанию равномерной скорости для некоторого уклона.

Машинисту нечего заботиться таким образом о поддержании постоянного тормозного усилия, несмотря на изменения напряжения в контактном проводе, происходящие благодаря троганию с места или остановкам поездов, находящихся на том же участке. В случае однако чрезмерного падения напряжения в контактном проводе (напр. при трогании поезда поблизости с поездом, где происходит рекуперация) реле $r 66$ и реостат R_1 могут не успеть предотвратить резкого повышения силы

¹ Подробное описание этого реостата см. General Electric Review. 1916, стр. 951.

тока, которое может даже вызвать на коллекторе моторов образование кругового огня.

Машинист действует рукояткой контроллера рекуперации только в том случае, если он хочет на постоянной крутизне уклона изменить скорость или же желает поддерживать постоянную скорость при изменениях профиля.

В случае если пантограф во время рекуперации отойдет от контактного провода или последний окажется выключенным с подстанции,

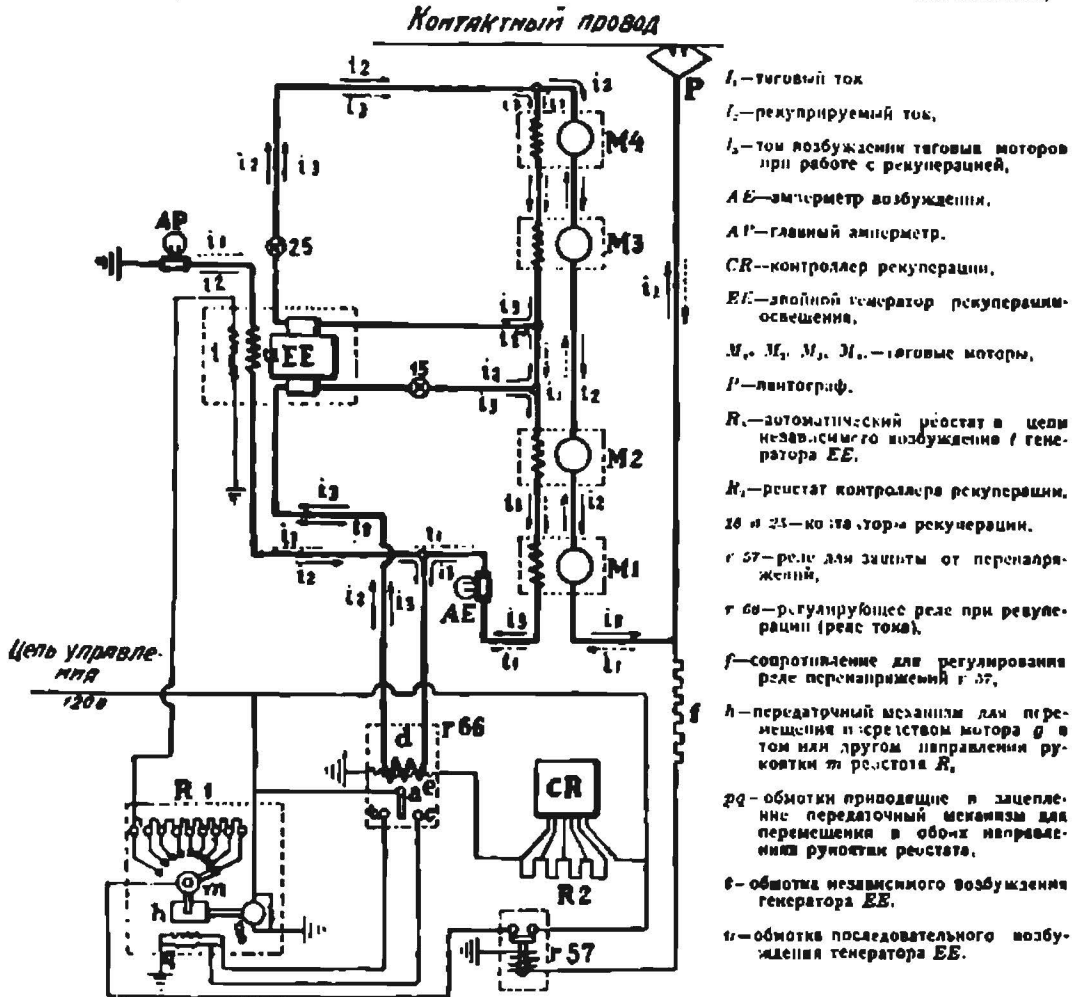


Рис. 226. Жел. дорога Ch. M. St.-Paul Электровозы 10100—10200; схема соединений для рекуперации при последовательном включении моторов

возможно сильное повышение напряжения мотора, для ограничения коего устанавливается специальное реле r 57 (рис. 226), которое функционирует при 3 800 в, размыкает шунтирование реостата R₁ и вводит полное сопротивление реостата в цепь возбуждения i генератора EE; одновременно происходит замыкание контакторов 1—4, связывающих моторы с пантографом, и контакторов 15 и 25 в цепи возбуждения моторов. Для замыкания реле r 57 необходимо рукоятку главного контроллера установить в нулевое положение; одновременно устанавливается контроллер

рекуперации в поездное положение, т. е. нормальной работы моторов. Выключатель рекуперации, помещенный в цепь управления (120 а), позволяет исключать из рекуперации одну из половин электровоза, оставляя управление рекуперацией другой половины от одного или другого контроллера. В этом случае динамо первой половины может работать на освещение; таким образом только в случае рекуперирования на обеих половинах электровоза необходимо прибегать к освещению от аккумуляторной батареи.

Перед началом рекуперации машинист должен непременно удостовериться, что выключатели рекуперации находятся в исправности, и раз рекуперация началась, то они все время должны быть замкнуты. Надо иметь в виду, если одна из групп моторов выключена, то, конечно, не участвует в рекуперации целая половина электровоза. На все время рекуперации необходимо следить, чтобы сила тока не превышала силы тока соответствующей часовой мощности; с другой стороны, во избежание кругового огня на коллекторе сила тока возбуждения не должна быть менее половины силы тока в якоре. При рекуперации, когда скорость поезда стремится превысить скорость вращения колес, происходит баксование, что весьма опасно, ибо мотор, соединенный последовательно с мотором, где происходит баксование, получает более высокое напряжение, и это может вызвать образование кругового огня на коллекторе.

Баксование может легко произойти, если сила тока в якоре и сила тока возбуждения приближаются к предельным. Раз баксование началось, машинист должен действовать песочницей и переводить рукоятку контроллера назад до тех пор, пока баксование не прекратится и в случае надобности прибегнуть к поездным тормозам, но не тормозам электровоза.

В случае необходимости остановки поезда при рекуперации необходимо контроллер рекуперации переставить в положение подготовительное и тормозить и поезд, и электровоз механическими тормозами; точно так же следует поступать, если во время рекуперации окажется, что моторы перестали подавать ток в сеть.

Переход из нормального поездного положения в положение рекуперации производится следующим образом: рукоятка главного контроллера устанавливается в положении 37, соответствующем параллельному соединению групп моторов, если хотят спускаться с большой скоростью (27,4 км/час.), и в положении 17, соответствующем последовательному соединению моторов, если желают спускаться с половинной скоростью, и когда скорость движения поезда приближается к указанным скоростям, машинист, не трогая рукоятки главного контроллера, переставляет рукоятку контроллера рекуперации в положение подготовительное и по мере ускорения поезда переводит рукоятку контроллера рекуперации вперед в зависимости от того, насколько он хочет замедлить скорость. Чем сильнее уклон, тем выше должно быть возбуждение, дабы не превысить силу тока в якорах мотора за предел допускаемый по нагреванию; при слабых уклонах или больших скоростях лучше выключать половину электровоза и рекуперировать лишь с одной половиной непременно передней, для того чтобы машинист имел перед собой амперметр, показывающий рекуперированный ток. Если с целью замедлить поезд желательно перейти к переключению моторов с параллельного на последовательное, — необходимо медленно перевести рукоятку контроллера рекуперации в положение подготовительное, затем при помощи поездных и электровозных тормозов уменьшают скорость поезда и переводят рукоятку главного контроллера из положения параллельного соединения моторов в положение последовательного соединения; когда

скорость поезда упадет до 13,7 км/час освобождают электровозные тормоза и переводят рукоятку контроллера рекуперации на нужную степень торможения, отпуская поездные тормоза.

Если обратно с целью перехода на большую скорость желают переключить моторы с последовательного на параллельное соединение, то поступают следующим образом: рукоятку контроллера рекуперации устанавливают в подготовительном положении, поезд ускоряет свой ход до 27,4 км, затем рукоятку главного контроллера быстро переставляют в положение параллельного соединения моторов и переставляют рукоятку контроллера рекуперации в положение желательного торможения.

Если перед спуском поезд имеет остановку, — можно проверить исправность оборудования рекуперации; для этого машинист размыкает главные выключатели и устанавливает рукоятку главного контроллера в положение последовательного или параллельного соединения моторов и переводит рукоятку контроллера рекуперации постепенно через все промежуточные положения; при каждом положении рукоятки амперметр должен давать при исправном состоянии оборудования рекуперации вполне определенные показания. Во время спуска при рекуперации необходимо внимательно следить за рекуперацией, равно надо очень аккуратно следить за тем, в какой момент следует начать рекуперацию, так как, упустивши этот момент при крутом уклоне, можно упустить поезд, раз тормоза не будут во-время сжаты. Для примера приведем случай, имевший место 19 июня 1920 г. на жел. дороге Ch. M. St.—Paul. Товарный поезд весом 2 250 т отправился с электровозом во главе и с паровозом Маллета в хвосте поезда со станции Boylston, за которой следовал 20—22‰ уклон; 35 вагонов были заторможены при помощи ручных тормозов; машинист дал развиться слишком большой скорости, прежде чем приступил к рекуперации, почему при установке контроллеров в положение рекуперации вылетел масляный насос на подстанции и автомат на электровозе. Новая попытка машиниста начать рекуперацию или при помощи воздушных тормозов придержать поезд была безуспешна. Увидя, что скорость быстро возрастает, машинист со всей силой стал сжимать колодки воздушным тормозом, однако скорость поезда была уже настолько высока, что тормоза не помогали. Поезд спускался на протяжении 20 км со скоростью 55 км/час. При проходе по стрелкам на ст. Doris паровоз Маллета сошел с рельсов, тормозное усилие поезда уменьшилось, и он еще ускорил свой ход и стал постепенно терять свои вагоны, слодившие с рельсов, и наконец электровоз продолжал один уже без вагонов свой путь со скоростью 90 км/час на протяжении 11 км и остановился на небольшом подъеме в 5‰ за станцией Beverly. Хотя, несмотря на высокую скорость (предельная 48,3 км/час), электровоз и остался на рельсах, проходя кривые радиусом в 175 м, однако бандажи якорей тяговых моторов лопнули благодаря большой скорости вращения, а обмотка мотор-генератора сгорела.

Вспомогательное оборудование электровозов №№ 10100—10200. Как уже выше упоминалось, к пантографу присоединяется (через посредство главного выключателя) силовая цепь и параллельно ей (через посредство вспомогательного выключателя) — цепь вспомогательного оборудования электровозов. Схема ее для указанных выше электровозов дана на рис. 227.

К выключателю примыкают через посредство треншалтеров параллельно питание мотор-генератора, питание мотора воздушного компрессора и электрическое отопление самого электровоза (отопление поездов производится от парового котла).

с мотором насажена ранее описанная динамо для возбуждения при рекуперации и для освещения и динамо напряжением 120 в для питания цепи управления. Напряжение последней динамо поддерживается постоянным особым регулятором, располагаемым на особой панели. Регулирование производится от главного реле, которое, в зависимости от изменений напряжения на борнах динамо D , вызывает работу трех остальных реле; последние выключают или включают секции реостатов в шунтовой обмотке индукторов динамо, поддерживая напряжение таким образом около 120 в. Помимо того регулятор снабжен реле перенапряжения, выключающим динамо D , как только напряжение на борнах благодаря неисправной работе ранее описанных реле превысит 150 в. Эта динамо помимо того имеет кольца для получения переменного тока 96 в для освещения буферных фонарей.

Одновременно на валу располагается вентилятор VE , подающий воздух в воздухопровод, проходящий вдоль электроваза посредине для охлаждения тяговых моторов.

Для вращения компрессора имеется мотор постоянного тока 3 000 в двухколлекторный напряжением по 1 500 в на коллекторе. Пуск в ход и остановка компрессора производится автоматически от особого регулятора давления, который включается и выключается при помощи контактора питания мотора. Около контактора располагается автоматический пусковой реостат, совершенно аналогичный ранее описанному у мотор-генератора. Количество подаваемого воздуха в минуту равно $4\frac{1}{4}$ кг/см³ при давлении 9,5 кг/см². Воздух необходим не только для воздушных тормозов Вестингауза, но и для пневматической аппаратуры, группы мотор-генератора, для пантографа песочницы и форсунки парового котла для отопления поезда.

Нагревательные приборы отопления электроваза состоят из сопротивления в виде проволоки, обмотанной на изолированной трубке; такой нагревательный элемент помещается в ажурный кожух из листового железа. Имеется всего 10 элементов из коих 9 соединены между собою последовательно и приключены к 3 000 в, а десятое — параллельно с девятым. Последовательно же с десятым сопротивлением включен мотор маленького вентилятора, подающего воздух через трубки радиатора и в кабинки управления. Нагревательные приборы рассчитаны таким образом, что исправно работают в случае остановки вентилятора. Присоединение нагревательного прибора к цепи 3 000 в производится от руки.

Освещение поездов. Освещение поездов, как было указано выше, производится от мотор-генератора в том случае, если он не работает на рекуперацию, в противном случае от аккумуляторов. При освещении от мотор-генератора напряжение последнего поддерживается постоянным при помощи реле r 72, соединенного с автоматическим реостатом R , точно так же, как это делает реле r 66 при рекуперации.

Для освещения имеется три провода: x , y и z (рис. 228). Аккумуляторные батареи (вагонные) включены между проводами x и y , а лампочки приключены между батареями и проводом z . Провода x и y приключены к борнам динамо EE , а провод z приключен к y при помощи реостата Ky ; при помощи этого реостата поддерживается напряжение в 62—66 в для лампочек, а при помощи реостата R_3 , напряжение на борнах динамо на 75—78 в для зарядки аккумуляторных батарей. На случай перегрузки динамо или при изменении направления тока происходит выключение динамо при помощи выключателя D . Оборудование для освещения в каждой половине электроваза не связано между собою, и освещение производится всегда задней половиной.

Для железной дороги Ч. М. St.-Paul заводом Вестингауз¹ были поставлены электровозы серии № 10300 с моторами-близнецами. Электровоз имеет один общий кузов, покоящийся на двух тележках типа 2-3-1, т. е.

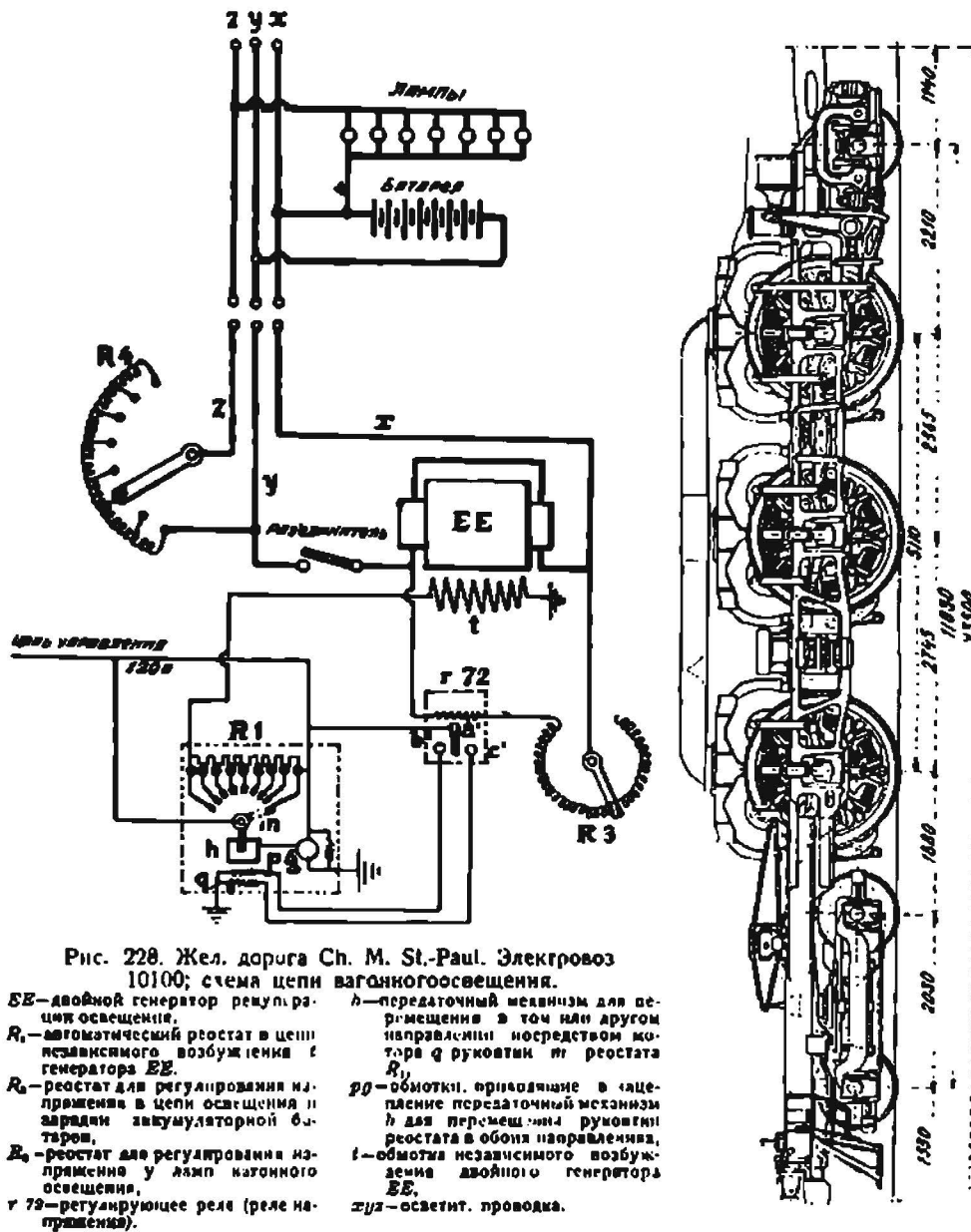


Рис. 228. Жел. дороги Ч. М. St.-Paul. Электровоз 10100; схема цепи вагонного освещения.

ГГ—двойной генератор рекуперации освещения.
R₁—автоматический реостат в цепи независимого возбуждения *t* генератора **ГГ**.
R₂—реостат для регулирования напряжения в цепи освещения и зарядки аккумуляторной батареи.
R₃—реостат для регулирования напряжения у ламп вагонного освещения.
r 72—регулирующее реле (реле напряжения).
h—передачный механизм для перемещения в том или другом направлении посредством штурва *q* рукоятки *m* реостата **R₁**.
pp—обмотки, привязанные в цепление переключательный механизм *h* для перемещения рукоятки реостата в обоих направлениях.
t—обмотка независимого возбуждения двойного генератора **ГГ**.
хуа—осветит. проводка.

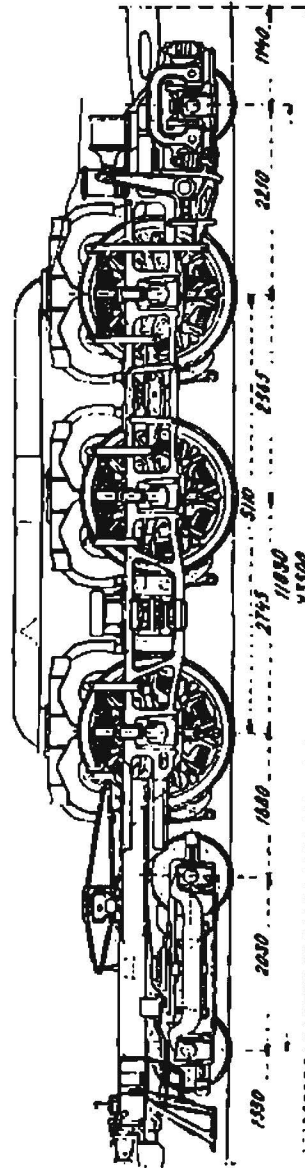


Рис. 229. Жел. дороги Ч. М. St.-Paul. Боковой вид моторной тележки электровоза 10300.

каждая тележка в свою очередь имеет спереди двухосную тележку Woodard и биссель типа Rushol сзади; упругие и ударные приборы установлены на рамах главных тележек, почему конструкция их выполнена весьма солидно. На рис. 229 дана эта тележка. Подвешивание надрессорного

¹ Electric Journal. 1918, стр. 40, 418—1920, стр. 46, 84, 128, 235—250, 278—284. Electric Railway Journal. 1918, стр. 237—559 и 1920, стр. 36, 510. Railway Age. 1920, стр. 233 и 1054.

строения применено обычное для паровозов в Америке, а именно, так называемое подвешивание в трех точках. Первая движущая ось имеет рессоры, связанные при помощи продольного балансира с центральной опорой двухосной тележки, рессоры же остальных двух движущих осей связаны между собою и с рессорами бисселя. Кузов опирается на центральные опоры, расположенные между двумя первыми движущими осями каждой тележки. Электровоз оборудован шестью моторами-близнецами (12 моторов), что позволяет иметь целую гамму скоростей от 13 до 90 км/час. Часовая мощность электровоза 4000 л. с., длительная мощность 3200 л. с. Электровоз везет поезд весом 860 т на площадке со скоростью 90 км/час и на 20% подъеме со скоростью 40 км/час. При трогании с места сила тяги достигает 50,8 т.

Кабинки управления располагаются с обоих концов электровоза; между ними располагается все электрооборудование, причем с обеих сторон устроены узкие продольные проходы, соединяющие обе кабинки управления. Наиболее тяжелые предметы установлены по возможности между шкворнями-опорами кузова с целью уменьшить колебания электровоза на ходу. Наличие двух узких проходов дает возможность осмотра и ремонта оборудования с обеих сторон. Пол центральной части кузова, где располагается вся аппаратура, приподнят по сравнению с кабинкой и боковыми проходами для возможности установки высоколежащих моторов. В приложении II дан общий вид электровоза, аппаратура расположена в следующем порядке, начиная слева направо: шунты обмоток возбуждения тяговых моторов, вентилятор для одной половины моторов, далее—главные контакторы, пусковые реостаты (весом около 4,5 т), их контакторы, мотор-генератор, оборудование парового отопления, затем воздушный компрессор, стабилизирующее сопротивление (весом 360 кг), контакторы тяговых моторов, затем все контакторы группового управления от кулачковых палов, вентилятор и шунт возбуждения второй группы тяговых моторов. Главные контакторы и контакторы пусковых реостатов расположены таким образом, что задувание дуги производится к середине кузова, где расположена вентиляция. Соединения контакторов легко доступны с боковых проходов.

Все реостаты располагаются поперек с вытяжными трубами, выходящими наружу на крыше вагона; холодный воздух поступает снизу, с боковых входов. Мотор-генератор также установлен поперек, почему все щетки легко доступны с боковых проходов. Оборудование для парового отопления весит около 24,5 т и занимает около 30% всей площади между кабинками управления; водяные баки располагаются по обе стороны от котла, а резервуар для нефтяных остатков, которыми производится отопление котла,—под полом.

В котельном помещении установлен щит для управления мотором вентилятора для создания искусственной тяги в топке котла; тут же, в боковых проходах, установлен щит освещения поезда и щит вспомогательной цепи, на щитах установлены контакторы, выключатели и предохранители цепи управления, мотор-компрессора, освещения электровоза, аккумуляторной батареи и пр.; поблизости расположен пусковой контроллер мотор-генератора; сосредоточение этих приборов в центре электровоза позволяет легко обслуживать их вместе с отоплением поезда.

Аккумуляторная батарея расположена под центральной частью электровоза по обеим сторонам нефтяного резервуара.

Благодаря большому весу аппаратуры, расположенной на электровозе, центр тяжести всего электровоза располагается на высоте 1 725 мм над головкой рельса.

Крыша электровоза у обоих концов понижена для расположения пантографов.

Как уже выше было указано, благодаря наличию 12 тяговых моторов, имеется ряд скоростей длительной работы электровоза без потерь в реостатах а именно, предвидены следующие соединения моторов:

а) последовательное из 12 моторов, б) параллельное—из двух групп по 6 моторов и в) параллельное—из трех групп по 4 мотора. Помимо получения большого числа скоростей, большое число моторов имеет и другое, весьма важное, преимущество: позволяет уменьшить рабочее напряжение на коллекторе мотора.

Подробная схема рабочей цепи электровоза дана на рис. 230. Около обоих пантографов располагаются треншальтеры, устанавливаемые на изоляторах на крыше электровоза. Оба пантографа соединены между собою, и у места соединения их установлен разрядник и индукционная катушка. Далее цепь разветвляется на рабочую сеть, питающую тяговые моторы, и на сеть вспомогательного оборудования, питающую мотор-генератор; каждая сеть имеет свой треншальтер, расположенный во вту-треннем помещении электровоза. Как видно из схемы, имеется:

а) 10 главных контакторов (1—10) с индивидуальным управлением;
б) 17 контакторов (11—27) индивидуального управления, позволяющих включать и выключать отдельные реостаты;
в) 6 контакторов (28—33) тяговых моторов также индивидуального управления;

г) 24 контактора, управляемые при помощи двух кулачковых валов, а именно: контакторы 34А—34I переключения последовательного на последовательно-параллельное соединение моторов (две группы по 6 моторов) и контакторы 35А—35О для переключения с двух параллельных групп моторов (по 6 моторов) на три параллельные группы (по 4 мотора);

д) 16 контакторов (36А—36L) перемены направления вращения моторов, управляемые одним кулачковым валом;

е) 8 контакторов шунтирования поля. Эти контакторы разбиты на две группы (37А—37D и 38А—38D), управляемые каждая своим кулачковым валом;

ж) 11 контакторов для включения так называемого стабилизирующего сопротивления при рекуперации; эти контакторы также разбиты на две группы: (39А—39D и 40А—40С);

з) 8 контакторов рекуперации (41А—41H), управляемые одним кулачковым валом и устанавливающие соединение между индукторами тяговых моторов и динамомашинными НН, служащими для возбуждения моторов во время рекуперации.

Для управления всеми контакторами имеется 4 рукоятки контроллера:

а) рукоятка перемены хода (реверсер), имеющая три положения: ход вперед, ход назад и нулевое, соответствующее выключению силовой цепи;

б) рукоятка рекуперации с двумя положениями: нормальной работы моторов и рекуперации;

в) рукоятка переключения моторов также с тремя положениями, соответствующими трем способам группировок моторов;

г) рукоятка управления (ускорения), имеющая помимо нулевого положения (выключение силовой цепи) 17 положений, из коих 13 соответствуют последовательному соединению моторов с реостатами; положение 14-ое соответствует езде без реостатов; положения 15 и 17 соответствуют двум степеням шунтирования поля; положение 16—промежуточное; при рекуперации положения 15—17 служат для регулирования тормозного усилия.

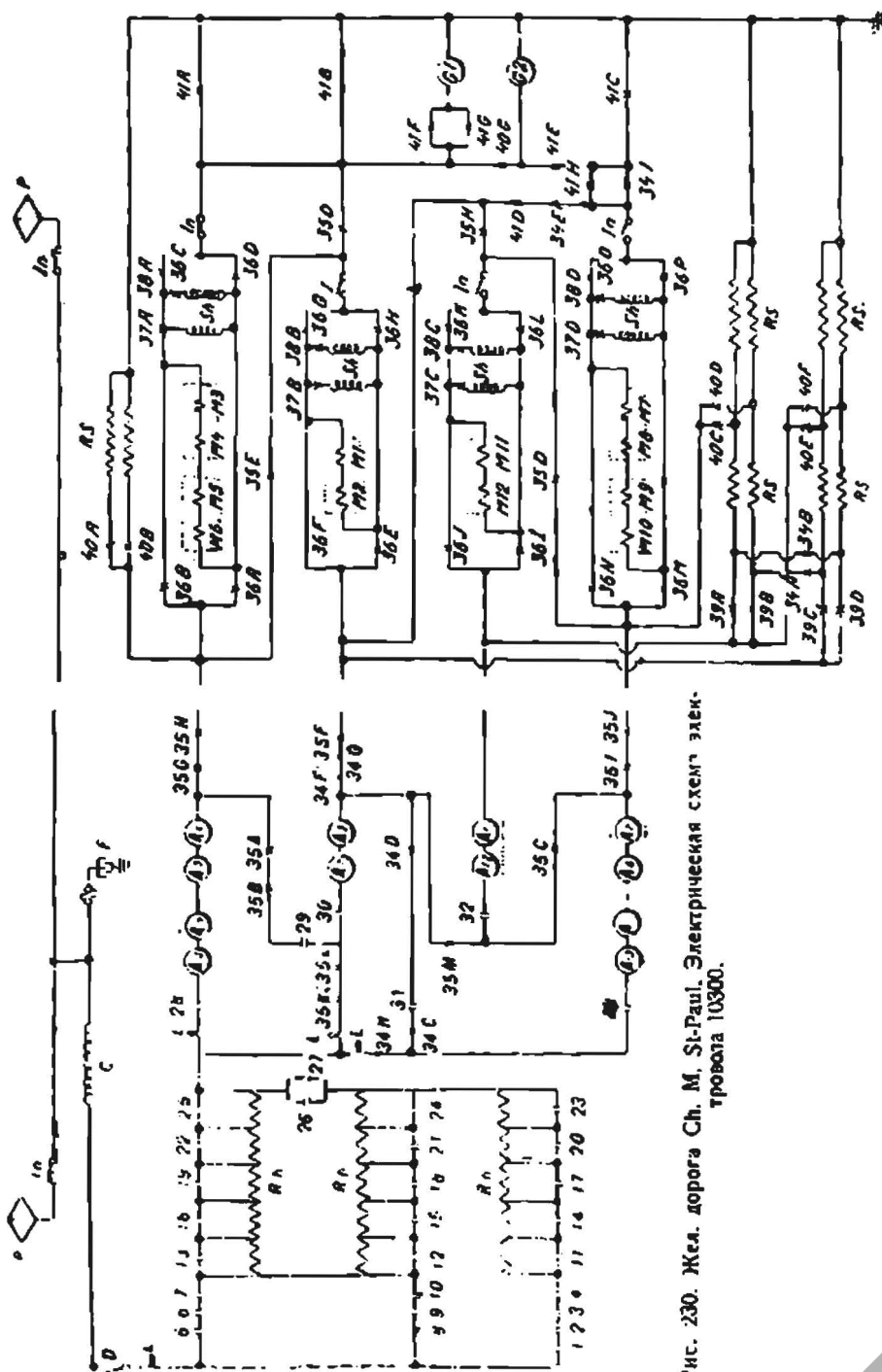


Рис. 230. Жел. дорога Ch. M. St.-Paul. Электрическая схема электровоза 10300.

Для трех различных группировок моторов имеется один контроллер управления реостатами, но при параллельном соединении моторов можно рукоятку его устанавливать сразу в положение 4. Рукоятка переключения моторов связана таким образом с рукояткой управления реостатами, что, если последняя не была доведена до положения 14 и была переведена

ДНБ ЖТ

в первоначальное положение, соответствующее включению всех реостатов, рукоятку переключения моторов нельзя переставить.

Для того чтобы трогание с места машинист не начал бы операции сразу с параллельного включения групп моторов, рукоятку управления можно двигать только, если рукоятка переключения моторов находится в положении последовательного соединения моторов, и только тогда можно замкнуть главные контакторы. Однако в пути, когда электровоз движется, можно включить ток и не при первом положении рукоятки переключения моторов (последовательное соединение моторов): для этого достаточно нажать особую кнопку, расположенную на верхней крышке контроллера.

Существование отдельного валика для регулирования сопротивления и отдельной рукоятки для переключения моторов упрощает контроллер; действительно при одном валике контроллера пришлось бы иметь для разбираемого случая 45 различных положений рукоятки контроллера, в то время как при двух различных валиках одни и те же положения рукоятки управления реостатами годны для всех соединений моторов. На электровозе установлены электропневматические контакторы и групповые управления при помощи кулачкового вала. Контактторы реостатов 11—25 управляются рукояткой ускорения; главные контакторы 1—10¹ контакторы реостатов 26 и 27, а также моторов 28—33 находятся в зависимости от рукоятки ускорений и рукоятки переключений моторов¹.

Контакторы параллельно-последовательного включения моторов 34—35 кроме того находятся в зависимости от рукоятки рекуперации, так как соединение обмоток возбуждения моторов отлично при езде под током и при рекуперации. Контактторы перемены хода 36 зависят от положения рукоятки реверсера (контакторы А, С, Е, G, J, К, М, О замкнуты при езде вперед, а контакторы В, D, F, H, L, N, P—при езде назад). Контактторы шунтирования поля 37 и 38 замыкаются рукояткой ускорения при положении 15 и 17, но только в том случае, если рукоятка рекуперации находится в поездном положении; при положении ее на рекуперации рукоятка ускорений регулирует в положении 15 и 17 реостат возбуждителя. Контактторы 39 и 40 зависят и от рукоятки рекуперации, и от рукоятки переключения моторов: они все разомкнуты при поездном положении первой рукоятки, в положении же рекуперации контакторы 39 замыкаются, если рукоятка переключения находится в положении 1 и 2, а контактор 40 замыкается при положении 3. Контактторы рекуперации 41 находятся в зависимости от рукоятки рекуперации: в поездном положении последней контакторы А и D, замкнуты а в положении рекуперации замкнуты контакторы Е и H.

Схема рекуперации дана на рис. 231. Сопротивление S , называемое стабилизирующим сопротивлением, включается последовательно с якорями тяговых моторов M_1 , M_2 , M_3 и M_4 , полюсные же обмотки соединяются последовательно с якорем особого возбуждителя E на борнах реостата S . Возбуждение этого генератора E производится от аккумуляторной батареи. Ток i_3 возбуждителя E имеет в полюсных обмотках тяговых моторов то же самое направление, что и ток i_1 , при нормальной работе моторов.

¹ Контактторы 1—10 могут быть замкнуты в первом положении рукоятки ускорения только в том случае, если рукоятка реверсера находится либо в положении хода вперед, либо в положении хода назад. Если валик реверсера замкнул контакторы, соответствующие данному положению рукоятки реверсера, то размыкание их может быть только после размыкания контакторов 11—25, т. е. после включения всего сопротивления в цепь с целью уменьшения силы тока при размыкании.

² Контактторы 26—33 замыкаются в первом положении рукоятки ускорений лишь тогда замкнуты контакторы А и D или Е и H в зависимости от положения рукоятки рекуперации.

Когда сила тока i_3 достигнет определенной величины, тяговые моторы начинают работать как генераторы, посылая в контактную сеть ток i_2 , который проходит через стабилизирующее сопротивление в том же направлении, что и ток i_3 .

На каждом электровозе имеется два возбuditеля мощностью по 40 *квт* каждый; приводятся они от бегунковых осей при помощи зубчатой передачи; генераторы подвешиваются к бегунковым осям по типу трамвайных моторов; указанные динамо имеют коллекторы большого размера, так как сила тока может достигать 500 *амп*. Особый реостат *K*, управляемый через контроллеры, позволяет менять напряжение в пределах от 25 до 100 *в*. Как только машинист установит определенную скорость поезда на уклоне, она автоматически поддерживается благодаря наличию стабилизирующего сопротивления независимо от изменения профиля или изменения напряжения в контактной сети.

Во время рекуперации может иметь место та же группировка моторов, что и при езде под током, а именно: а) последовательное соединение 12 моторов, б) параллельное соединение двух групп из шести моторов и с) параллельное соединение трех групп из четырех моторов в группе. Для установки рекуперации необходимо рукоятку контроллера, регулирующую ускорение, т. е. включающую реостаты, установить в нулевое положение (все реостаты включены в цепь), затем путем соответствующей установки рукоятки установить желательное соединение моторов в зависимости от скорости, с которой необходимо спускаться под уклон, и наконец перевести рукоятку рекуперации в положение рекуперации, при этом включается стабилизирующее сопротивление и устанавливается соединение моторов с возбuditелями. Одновременно мотор реостата, регулирующего напряжение на борнах возбuditеля тяговых моторов, устанавливается под контроль особого релэ равновесия (*balancing relay*), которое служит для того, чтобы доводить напряжение тяговых моторов до напряжения в контактном проводе. Это релэ имеет две обмотки, одна из которых включена между пантографом и землей, а другая — на борнах тяговых моторов. Если напряжение на борнах тяговых моторов ниже, чем напряжение в контактном проводе, — влияние обмотки, включенной между контактным проводом и землей, становится преобладающим, и арматура релэ поворачиваясь замыкает контакты питания мотора реостата, который выключает часть сопротивления реостата, пока не выровняется напряжение, после чего релэ поворачивается и отключает мотор.

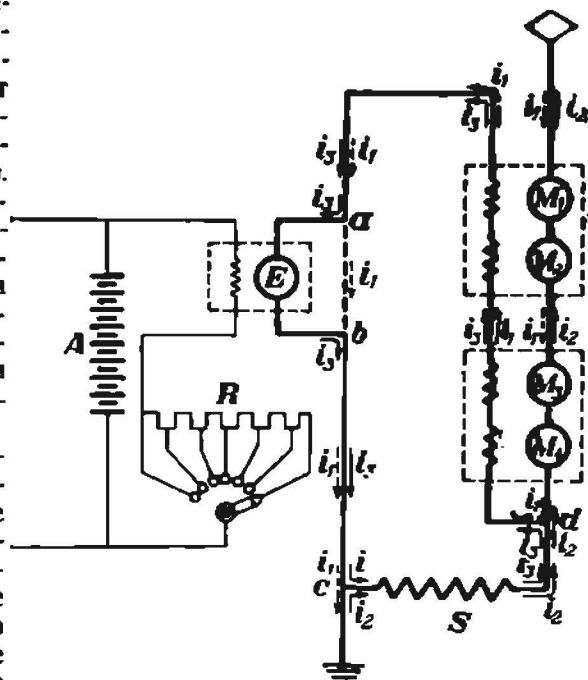


Рис. 231. Схема рекуперации.

A — аккумуляторы.
E — возбuditель.
M. M. — тяговые моторы.
R — реостат возбуждения.
S — стабилизирующее сопротивление.

ad — соединение нормальн. езды.
cd — состояние рекуперации.
i₁ — ток при нормальной работе.
i₂ — ток при рекуперации.
i₃ — ток возбуждения тяговых моторов.

Переход на рекуперацию производится в следующем порядке: рукоятка реостата должна быть в предельном положении, при этом зажигается сигнальная лампа. Машинист устанавливает рукоятку контроллера ускорения в первое положение, что дает соединение якорей тяговых моторов с контактным проводом через полное сопротивление реостатов. Благодаря меньшему напряжению на борнах моторов ток из контактного провода поступает в моторы, однако сила тока весьма мала благодаря включению в цепь полного сопротивления. Скорость поезда возрастает, и вместе с тем растет напряжение на борнах моторов. Когда машинист увидит, что напряжения выровнялись (ток в силовой цепи отсутствует), он устанавливает рукоятку контроллера ускорений в положение 14, выключая таким образом все реостаты из силовой цепи; переводя далее рукоятку в положение 16, он выключает релэ равновесия и устанавливает рукоятку реостата в зависимость от рукоятки контроллера (для положений его 15, 16, 17). Положение 16 является нейтральным и соответствует неподвижному положению рукоятки реостата. С увеличением скорости, как только напряжение на борнах моторов станет выше напряжения в контактном проводе, начинается рекуперация. Регулирование тормозного усилия производится следующим образом: при перемещении рукоятки контроллера из положения 16 в положение 17 происходит пуск в ход мотора реостата, который выключает часть сопротивления; при перестановке же рукоятки контроллера из положения 16 в положение 15 имеет место включение добавочного сопротивления в цепь возбуждения.

Таким образом путем повторного перемещения рукоятки контроллера из положения 16 в положение 15, 17 и обратно, каждый раз включается или выключается сопротивление в цепи возбуждения и устанавливается то или иное тормозное усилие. Раз установленное тормозное усилие сохраняется все время, пока машинист не переставит при помощи рукоятки контроллера реостат.

Описанный способ рекуперации имеет следующие преимущества: отсутствие толчков при переходе к рекуперации благодаря наличию релэ (balancing relay), постепенное изменение тормозного усилия благодаря большому количеству ступеней реостатов (57 контактов) и перестановка реостата из одного положения в другое производятся простым перемещением рукоятки контроллера из положения 16 в положение 17 или 15.

Наличие стабилизирующего сопротивления позволяет все время сохранять установленное тормозное усилие.

Во время рекуперации моторы защищены от перенапряжения при помощи релэ напряжения, которое при чрезмерном возрастании напряжения производит выключение контактора V (рис. 232); благодаря этому все сопротивление реостата R_2 включается в цепь возбуждения возбудителя HH и ток возбуждения как самого возбудителя, так и ток возбуждения тяговых моторов понижается; вместе с этим понижается напряжение на борнах моторов.

При проектировании вспомогательного оборудования для электровозов 10300—10309 заводом Вестингауз был установлен с целью уменьшения числа моторов, питаемых током напряжения 3000 в, мотор-генератор, состоящий из двухполюсного мотора B с двумя коллекторами по 1500 в напряжения на каждом коллекторе и из четырехполюсной динамо C постоянного тока в 85 в (рис. 232); все остальные моторы приключаются уже к сети постоянного тока напряжением 85 в, питаемой либо от динамо C , либо от аккумуляторной батареи M емкостью 300 амп/час, заряжаемой от динамо C^1 .

¹ Вес свинцовой аккумуляторной батареи 1675 кг.

Мотор *B* группы мотор-генератора имеет независимое возбуждение от аккумуляторной батареи и последовательное возбуждение; независимое возбуждение предусмотрено с целью предупредить разгон мотора при обезгруживании его, а последовательное возбуждение необходимо благодаря значительным колебаниям напряжения и контактной сети (3 600—2 000 в); динамо постоянного тока *C* имеет параллельное возбуждение и кроме

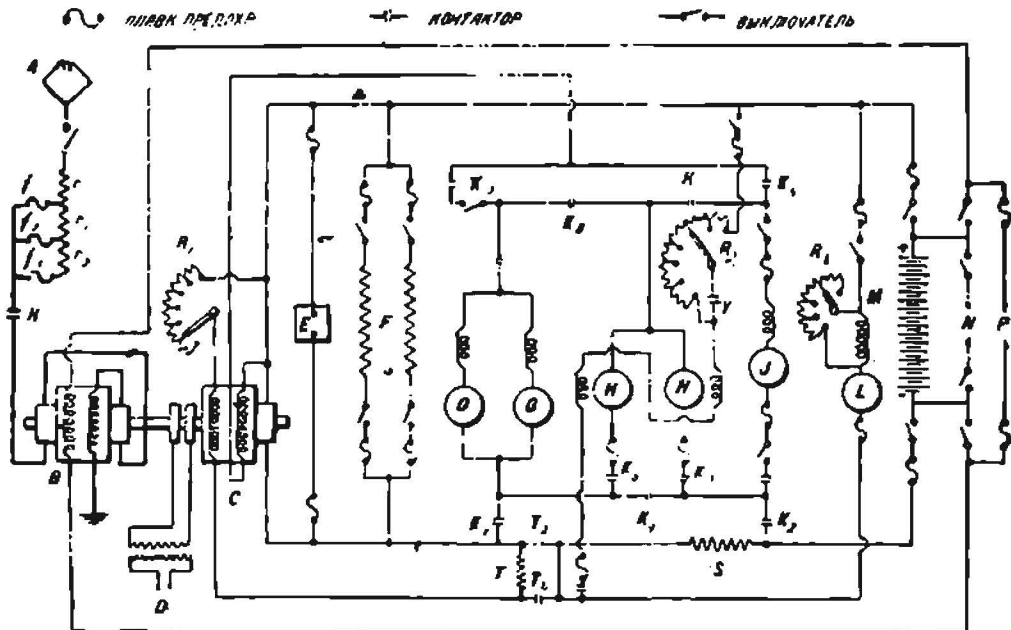


Рис. 232. Жел. дороги Ch. M. St.-Paul Схема вспомогательных цепей электровозов 10000.

- A* — пантограф.
- B* — мотор на 3000 в. мотор-генераторного агрегата.
- C* — генератор мотор-генератора.
- D* — цепь переменного тока, питающая передний и задний фонари и освещение в кабине электровоза.
- E* — шит вагонной осветительной цепи.
- F* — печь отопителя под сиденьем машиниста на каждом посту управления.
- G, H* — моторы главных искрителов.
- H, H* — генераторы на тепловая.
- I* — мотор воздушного компрессора.
- K* — контактор мотор-генераторного агрегата.
- K₁, K₂* — контакторы выключателей вспомогательных цепей, контакторы от *K₁* до *K₅* включены при нормальном ходе и выключены во время остановки и при рекуперации; контакторы от *K₁* до *K₅* включены при нормальном ходе и выключены во время остановки и хода с рекуперацией).
- L* — мотор-генератор для котла парового отопления поезда.

- M* — аккумуляторная батарея.
- N* — цепь тока, питающего лампы накаливания в кабине электровоза.
- P* — цепь управления.
- R₁* — автоматический реостат с мотор-генераторного агрегата.
- R₂* — автоматический реостат генераторов *H*.
- R₃* — регулирующий реостат мотора *L* отопителя котла.
- S* — сопротивление.
- T* — пусковые реостаты мотор-генератора, заставляющие работать генератор *C*, как мотор с помощью батареи *M*.
- T₁, T₂* — пусковые контакторы мотор-генератора.
- V* — выключатель, действие которого высылается посредством реле напряжения при ходе с рекуперацией.
- f₁, f₂, f₃* — предохранители моторов мотор-генераторов.
- r₁, r₂* — защитные сопротивления мотора мотор-генератора.

того имеет кольца для переменного тока, служащего для освещения посредством промежуточного трансформатора передних сигнальных фонарей.

Напряжение постоянного тока динамо *C* регулируется при помощи автоматического регулятора следующим образом: в цепь параллельного возбуждения включен реостат *R₁*, перестановка его производится от мотора, пуск последнего в ту или иную сторону вращения производится от реле напряжения, включаемого на борнах динамо *C*.

Пуск мотор-генератора производится со стороны динамо *C*, работающего как мотор от аккумуляторной батареи. Рядом располагается маленький контроллер; в первом положении его замыкается контактор *T₁* и сопротивление *T* включается в цепь; при втором положении это сопротивление выключается благодаря замыканию контактора *T₂*, и скорость

ДНУЖТ

мотор-генератора достигает $\frac{2}{3}$ нормальной; при следующем перемещении контроллера замыкается контактор K , и мотор приключается к сети 3000 в. Замыкание контактора K вызывает одновременно замыкание цепи управления, в которую включены два релэ: одно из них поддерживает все время замкнутым контактор K , а другое — контакторы T_1 и T_2 ; после этого рукоятка пускового контроллера может быть переведена в первоначальное положение. Для останова мотор-генератора достаточно разомкнуть цепь обоих релэ, что вызовет размыкание контакторов K , T_1 и T_2 и отключение мотор-генератора от цепи 3000 в и от аккумуляторной батареи.

Мотор B защищен от перегрузки и короткого замыкания при помощи сопротивления r , постоянного включенного последовательно в цепь, и при помощи трех предохранителей (f_1 , f_2 и f_3) для силы тока 33, 18 и 12 ампер. Два предохранителя включают в цепь сопротивление в 2,5 и 6,5 ом, а третий уже размыкает цепь при пониженной таким образом силе тока. Для охлаждения мотор-генератора имеется вентилятор, помещенный между мотором и генератором: воздух засасывается с обеих сторон агрегата и выталкивается наружу через отверстие, расположенное посредине общего каркаса.

К цепи напряжением в 85 в, как указывалось выше, приключаются все моторы вспомогательного оборудования: моторы GG главных вентиляторов, мотор J воздушного компрессора и маленький мотор L вентилятора для парового котла отопления.

Помимо того к цепи напряжением в 85—90 в приключены управление, освещение, независимое возбуждение мотора B и возбуждение динамомашины HH , приводимых в движение от бегунков. Динамомашины HH служат для возбуждения тяговых моторов при рекуперации, однако при нормальной работе электровозов под током они возбуждают моторы GG и J ; в этом случае напряжение на борнах машин HH поддерживается постоянным током в 90 в автоматическим регулятором с реостатом R_2 подобно тому, как у генератора C . С понижением скорости за 16 км напряжение на борнах динамо HH падает до 60 в и особым коммутатором моторы GG и J переключаются в цепь группы мотор-генератора и аккумуляторной батареи. Коммутатор состоит из двух гребенчатых валов, замыкающих и размыкающих 9 контакторов $K_1—K_9$ (рис. 232), дающих необходимые переключения. Вращение гребенчатых валов производится от поршня, работающего сжатым воздухом. Электромагнитный клапан связан с релэ напряжения, включаемым на борнах динамо HH . Само собою разумеется, что на стоянке, при разгоне поезда, а также во время рекуперации моторы GG и J должны быть включены в цепь мотор-генератора и аккумуляторных батарей. При переводе рукоятки контроллера на рекуперацию одновременно производится и указанное переключение моторов GG и J . Благодаря тому, что цепь управления все время соединена с аккумуляторной батареей, ток управления не зависит от работы мотор-генератора и от положения паятографа.

Сеть освещения дана на рис. 233 и имеет три основных провода, из коих один присоединен к положительному полюсу динамо C , а два остальных соединены с отрицательным при помощи выключателя U и реостата R_4 , служащего для регулирования напряжения при зарядке аккумуляторных батарей W , расположенных под вагонами. Один из отрицательных проводников присоединяется непосредственно к батареем, а другой, соединенный с лампами Z , имеет реостат R_5 , устанавливаемый в зависимости от числа вагонов в поезде. Особое, небольшое по величине, сопротивление (ballast resistor), включаемое в отрицательный провод между динамо C и аккумуляторной батареей M , служит для смягчения колебания напряжения в осветительной сети при пуске в ход и выключении мотора J .

Помимо того, чтобы компенсировать падение напряжения динамо С при пуске мотора J, динамо имеет особую обмотку возбуждения, включенную последовательно в цепь питания мотора J (рис. 232 и 233).

Электровозы серии № 10250—10254 типа Gearless были построены заводом G. E. Co для пассажирской службы в 1919 г.¹ Электровоз имеет 12 движущих осей, распределенных на четыре: тележки с непосредственно насаженными моторами, и по одной поддерживающей оси с каждой стороны (приложение III).

Благодаря этому электровоз, несмотря на большую длину, легко вписывается в кривые; сцепной вес получился весьма значительным—207,6 т, а именно, 88% от полного веса (236,4 т) при малой для американской практики нагрузке—на ось всего в 17,3 т.

Отдельные тележки связаны между собою двояким образом: наверху имеются короткие стержни с отверстиями на головках. Эти стержни имеют

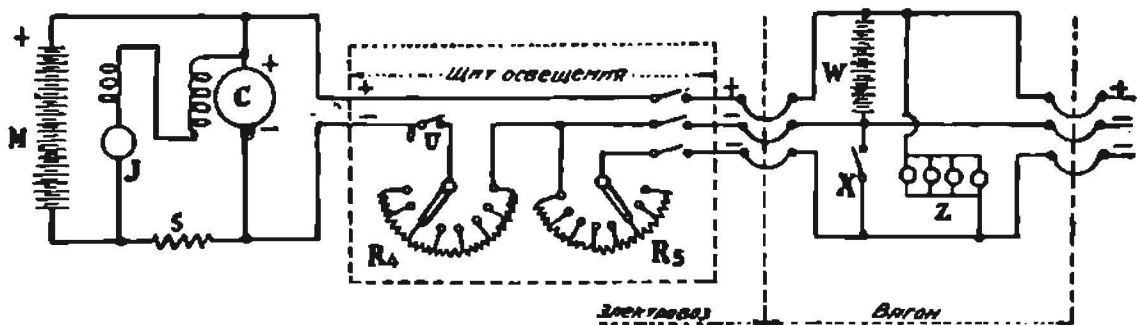


Рис. 233. Жел. дорога Ch. M. St.-Paul. Электровозы серии 10300; схема цепи освещения вагонов.

С — генератор мотор-генератора.
 J — мотор воздушного компрессора.
 M — батарея аккумуляторов.
 S — балластные сопротивления.
 R₄ — реостат для регулирования разрядки батарей аккумуляторов, находящейся под вагонами.

U — выключатель осветительной цепи поезда.
 W — батарея аккумуляторов вагона.
 X — выключатель для вагонного освещения своей собственной батареи аккумуляторов, когда осветительная цепь не питается от электровоза.
 Z — вагонные лампы.

весьма большое сечение с целью обеспечить непрерывность магнитного потока и позволяют вращение одной тележки по отношению к другой. Помимо того в нижней части рам имеется также соединение в виде двух скользящих один относительно другого конусов; в совокупности оба вида сцепки позволяют установку одной тележки рамы под углом к другой, но не боковое перемещение одной по отношению к другой, что должно уменьшить до минимума возможность влияния отдельных тележек.

Для уменьшения боковых усилий колес при прохождении кривых бегунки имеют боковое отклонение с принудительной установкой в среднем положении при помощи наклонных плоскостей.

Кузов электровозов разделен на три части, из коих две крайние опираются каждая на две тележки, причем задние тележки (внутренние) жестко связаны с кузовом электровоза, а крайние тележки могут отклоняться вправо и влево, и кузов электровоза опирается на них через посредство роликов, перекатывающих по наклонным плоскостям, чем и обеспечивается принудительная установка тележек в среднем положении. Центральная часть электровоза покоится на концах обеих средних тележек; одна из опор позволяет лишь некоторое вращение кабинки по отношению к тележке, а другая кроме того и небольшое продольное переме-

¹ Подробности см.: General Electric Review. Май, 1918, Декабрь, 1919 и Апрель 1920, см. стр. 272—285. Electric Railway Journal. Март 1918, стр. 561; Октябрь и Ноябрь 1919, Март 1920, стр. 508. Railway Age. Октябрь 1919, Март 1920, стр. 1054.

ДНУЖТ

шение. В средней части электровоза помещается котел для парового отопления со всей аппаратурой, и эти части могут быть легко сняты с рамы для ремонта.

Описанное соединение отдельных тележек и подвешивание надресорного строения позволяет вписываться хорошо в кривые и обеспечивает спокойный и безопасный ход электровоза при очень высоких скоростях (105 км/час), что проверено было опытным путем. По краям электровоза следует пониженная часть, в которой помещается вся вспомогательная аппаратура, и затем уже следует ближе к середине повышенная часть — кабинка управления. Благодаря описанному расположению обслуживающему персоналу при переходе из одной кабинки в другую не приходится переходить через помещение с аппаратурой высокого напряжения, каковая располагается с обоих концов электровоза, а лишь через котельное помещение. Благодаря сравнительно высокому весу кузова с аппаратурой центр тяжести всего электровоза получился на высоте 1450 мм над головкой рельсов.

В крайних пониженных частях расположены реостаты, контакторы, аккумуляторные батареи, воздушный компрессор и мотор-генератор и главный выключатель.

Реостаты, количеством 43, расположены в две линии с центральным проходом около 0,600 м ширины (см. поперечный разрез приложение III), но проход по нему запрещен во время работы электровоза.

Эти реостаты могут быть сняты наружу через боковые откидные панели. Над реостатами расположены электромагнитные контакторы единичного управления и группового электропневматического управления (хулачковый вал). Осмотр их подвижных частей может производиться с центрального прохода, а со стороны соединений — путем отнимания отъемных панелей, расположенных над ящиками для реостатов. Остальная аппаратура (выключатель, компрессор, мотор-генератор, аккумуляторные батареи) расположена точно таким же образом в ящиках, как и реостаты и контакторы, и может быть легко снята наружу.

Мотор-генератор мощностью 40 л. с. имеет шунтовой мотор на 3000 в с двумя коллекторами, соединенными всегда последовательно, и динамо напряжением в 80 в с шунтовым возбуждением и автоматическим регулятором напряжения. Параллельно с динамо включена аккумуляторная батарея. Тем напряжением в 80 в служит для управления, для питания мотора вспомогательного компрессора, для управления пантографом, для зарядки аккумуляторной батареи на самом электровозе (36 элементов емкости 95 амп/час при 4½-часовой разрядке) и вагонных аккумуляторных батарей.

Для охлаждения тяговых моторов имеются вентиляторы по одному над каждым мотором с приводом от моторов, расположенных между двумя вентиляторами; питаются они током напряжения в 3000 в, но соединены всегда по три последовательно, так что рабочее напряжение на коллекторе 1000 в.

Кроме того имеется мотор-компрессор с мотором в 35 л. с. на 3000 в.

В кабинках управления располагаются контроллеры, обычные измерительные приборы, тормоз и кран от пневматической песочницы; помимо того в одной кабинке установлен щит освещения, а в другой — добавочный малый компрессор для пантографа.

Установленные на электровозах 12 моторов позволяют иметь 4 различных группировки: а) 12 моторов соединены последовательно, б) две группы по 6 моторов соединены параллельно, в) три группы по 4 мотора и г) четыре группы по 3 мотора соединены последовательно; таким образом рабочее напряжение на коллекторе не превышает 1000 в (изоляция моторов на 3000 в). Помимо того каждая группировка моторов допускает

шунтирование поля; таким образом имеется 8 скоростей без включения реостатов, при этом при весе прицепной части поезда в 870 т при различных группировках моторов достигаются следующие скорости:

ТАБЛИЦА XXII

Соединение моторов	Площадь	Подъем		
		5‰	10‰	20‰
12 моторов последовательно ..	24 км/час	12,9	9,7	6,5
2 × 6	47	28,7	23	17,7
3 × 4	65,4 "	43,5	35,5	29
4 × 3	80	58	48,4	40,3
4 × 3 с шунтированием поля ..	101,5 "	76	62	49,2

Гарантированная часовая сила тяги 20,8 т и длительная 19 т, в действительности сила тяги получилась выше.

При трогании с места на 20‰ подъеме сила тяги, развиваемая электровозом, достигает 41,5 т, или 20‰ сцепного веса (коэф. сцепления 1/5).

Контроллер имеет 3 рукоятки: главную рукоятку переключения моторов и регулирования реостатов, рукоятку реверсера и рукоятку рекуперации.

Главная рукоятка может занимать 39 различных положений. Первые 11 положений соответствуют последовательному соединению моторов, из коих 9 с постепенно уменьшающимся сопротивлением, 10—без реостатов и 11—с шунтированием поля. Положения 12—19 соответствуют параллельному соединению двух групп моторов по 6 моторов, из коих 6—ускорению с сопротивлением, одно без реостатов и одно с шунтированием поля; положения 20—29 соответствуют параллельному соединению трех групп из четырех моторов и положения 30—39—параллельному соединению четырех групп из трех моторов, причем при восьми положениях включены реостаты; затем имеется одно положение без реостатов и одно с шунтированием поля. Главные контакторы и контакторы реостатов предусмотрены индивидуального управления—электромагнитные, групповые же контакторы для переключения моторов, перемены направления вращения тяговых моторов для соединения при рекуперации и для шунтирования магнитного поля¹ работают от кулачковых валов с электропневматическим управлением.

На электровозах установлены быстродействующие выключатели той же конструкции, что и на подстанциях. Эти выключатели размыкают цепь в случае короткого замыкания внутри самого электровоза в течение 0,01 секунды; одновременно с размыканием включается в цепь дополнительное сопротивление, понижающее силу тока в цепи. Размыкание главного выключателя вызывает размыкание контакторов реостатов, и последние оказываются включенными также в силовую цепь, что также уменьшает силу тока в цепи, прерываемую окончательно при помощи главных контакторов.

Быстродействующий (главный) выключатель устанавливается на наибольшую силу тока при параллельном соединении моторов; однако, для того чтобы ограничить силу тока, при каждой группировке моторов установлены максимальные релэ, которые всегда соединены последовательно

¹ См. General Electric Review. Декабрь 1919, стр. 1006 и Апрель 1920, стр. 266, 282—284.

с каждой группой моторов независимо от того, как соединены эти группы, и функционирование этих релэ вызывает действие мгновенного выключателя; последний автоматически включается, как только рукоятка главного контроллера переводится из нулевого положения в первое.

Размыкание общего выключателя цепи управления вызывает размыкание главного силового выключателя и всех электромагнитных контакторов.

При рекуперации из числа 12 тяговых моторов 4 мотора используются в качестве генераторов для возбуждения остальных 8 моторов; благодаря этому оборудование значительно упрощается, и отпадает надобность в установке специального возбудителя. При рекуперации 12 моторов всегда разбиты на две группы по 6 моторов, из коих 2 дают ток возбуждения на 4 мотора своей группы. При больших скоростях (до 105 км/час) применяется параллельное соединение групп, а при малых — последовательное; при этом скорость может быть доведена до 20 км/час и даже 13 км/час при непродолжительном спуске.

66. Электровазы железной дороги Париж—Орлеан с передачей Buchli¹

При проектировании этих электровазов были поставлены следующие условия: электроваз должен вести пассажирские поезда весом прицепной части 650 т и курьерские весом 530 т, между Парижем и Вьерзон, причем там, где паровоз достигает скорости 120 км/час, электроваз должен развивать скорость 130 км/час. без опасных колебаний и не вызывая расстройств пути. Закругления радиуса 500 м электроваз должен проходить со скоростью 100 км/час., а кривые радиуса—150 м со скоростью 40 км/час.; на кривых радиуса R=80 м, на деповских путях скорость предвидена 6 км/час. Удовлетворяющий этим условиям был запроектирован электроваз мощностью 4 000 л. с. типа 2—D—2, с четырьмя движущими осями и двумя двухосными тележками по концам. Фотография электроваза дана на рис. 337. Главнейшие данные электроваза следующие:

Диаметр движущих колес	1 750 мм
Диаметр тележечных колес . . .	970 "
Общая длина между буферами . .	17 780 "
Расстояние между крайними осями	14 150 "
Передаточное число	1:2,55 "
Вес электр. оборудования	43,4 т
Вес металлических частей	75,2 "
Сцепной вес	72 "
Общий вес электроваза E № 501 ²	118 "
Нагрузка на движущие оси	18 "
Часовая мощность при скорости 65 км/час. и 1 350 в напряжения .	3 600 л. с.
Соответств. сила тяги	14 700 кг
Часовая мощность при напряжении 1 500 и скорости 71 км/час. .	4 000 л. с.
Длительная мощность при скорости 70 км/час. и напряжении 1 350 в .	3 000 л. с.
Напряжение нормальное	1 500 в
Высота центра тяжести наддресорного строения	1 680 мм
Вес наддресорного строения для электроваза E № 5-1	100,5 т
Высота центра тяжести всего электроваза	1 580 мм
Максимальная сила тяги при трогании, при коэф. сцепления $\frac{1}{3}$	21 600 кг

Механическая часть. Рамы электроваза состоят из трех частей (Приложение IV): средняя часть выполнена из листов толщиной 25 мм при расстоянии в свету 1 200 мм; по обоим концам изнутри приклепаны листы толщиной 20 мм. Поперечные скрепления располагаются между движущими

¹ См. BBC Mitteilungen № 8 и 9. 1927 „Die 4000 PS Gleichstromlokomotiven der Paris—Orléans-Bahn“ F. Gubler.

² Электроваз E № 502 имеет оборудование для рекуперации и вес его выше—124,7 т.

осями над тележечными шкворнями; по концам имеются прочные буферные брусья.

В средней части имеются вспомогательные рамы толщиной 18 мм, прикрепляемые снаружи главных рам при помощи распорок из стального литья; вспомогательные рамы несут подшипники вала электромотора и больших зубчатых колес. Электровоз опирается на 4 ведущие оси и на опоры тележек. Буксы тележечных осей выполнены с приливами для прикрепления деревянных брусьев для токоснимателей. Подвешивание над-рессорного строения дано на рис. 234. Жесткость рессор движущих осей 145 кг/мм и все они сочленены при помощи балансиров. Тележечные оси имеют двойные рессоры (листовые) с коэф. жесткости 220 кг/мм и спиральные с коэф. жесткости 128 кг/мм. Для вписывания в кривые радиусом 80 м была разработана особая конструкция тележки в смысле получения такой возвращающей силы, которая, с одной стороны, при езде на прямых участках (при больших скоростях) не допускала бы влияния тележки, с другой стороны, при вписывании в кривые малых радиусов возвращающая сила не была бы чрезмерно большой благодаря большому поперечному отклонению тележки. Балансир АА (рис. 235) может вращаться около оси ОО, укрепленной на опоре Z, составляющей одно целое с междурамным скреплением главных рам.

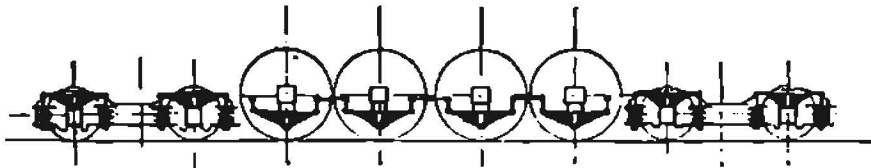


Рис. 234.

Благодаря указанному балансиру при неровностях пути тележка может совершать галлопирование без заметной перегрузки осей. Балансир на своих концах несет шаровые опоры S и S_1 , лежащие на подпятниках C и C_1 , перемещающихся по особым плоскостям скольжения при поворачивании тележек. Собственно возвращающее тележку в среднее положение приспособление состоит из четырех коленчатых рычагов DEF , $D'E'F'$, $D_1E_1F_1$ и $D'_1E'_1F'_1$, оси вращения коих F , F' и F'_1 укреплены на тележке. Своими свободными концами D , D' , D_1 и D_2 , оканчивающимися роликами, рычаги опираются на опорные поверхности балансира AA' , к которому они прижимаются спиральными рессорами EE' и $E_1E'_1$. При отклонениях тележки, коленчатые рычаги опираются на особые опоры B , B' , B_1 и B'_1 , укрепленные к тележкам. Усилия рессор EE' увеличиваются при отклонениях тележки. Кривые (рис. 235 и 235а) дают величину возвращающей силы при поперечном перемещении тележки и при угловом отклонении ее. Для получения меньшей нагрузки на первую тележечную ось, чем на вторую, опорная пятая тележки сдвинута на 150 мм назад. У электровоза № Е 502 у тележки имеется поводок P ; в дальнейшем предполагается испытать работу тележки при больших скоростях при различной длине поводка (рис. 236). Передача усилий от моторов к ведущим колесам происходит по системе Vichli, причем в виду высокой мощности каждого мотора вал мотора продолжается по обе стороны, и зубчатые колеса располагаются симметрично с обеих сторон электровоза. Благодаря небольшой ширине зубчатых колес оказалось возможным отказаться от применения шаровой опоры у малого зубчатого колеса.

Концы моторного вала, на которые насажены шестеренки, имеют опорные подшипники, укрепленные на тех же стальных отливках, на которых установлены подшипники больших зубчатых колес, чем достигнуто жесткое закрепление центров зубчатых колес и правильное зацепление их.

На электровозе предусмотрено торможение тележечных и ведущих осей, общее давление колодок 84 000 т, т. е. 70% веса электровоза. Кроме

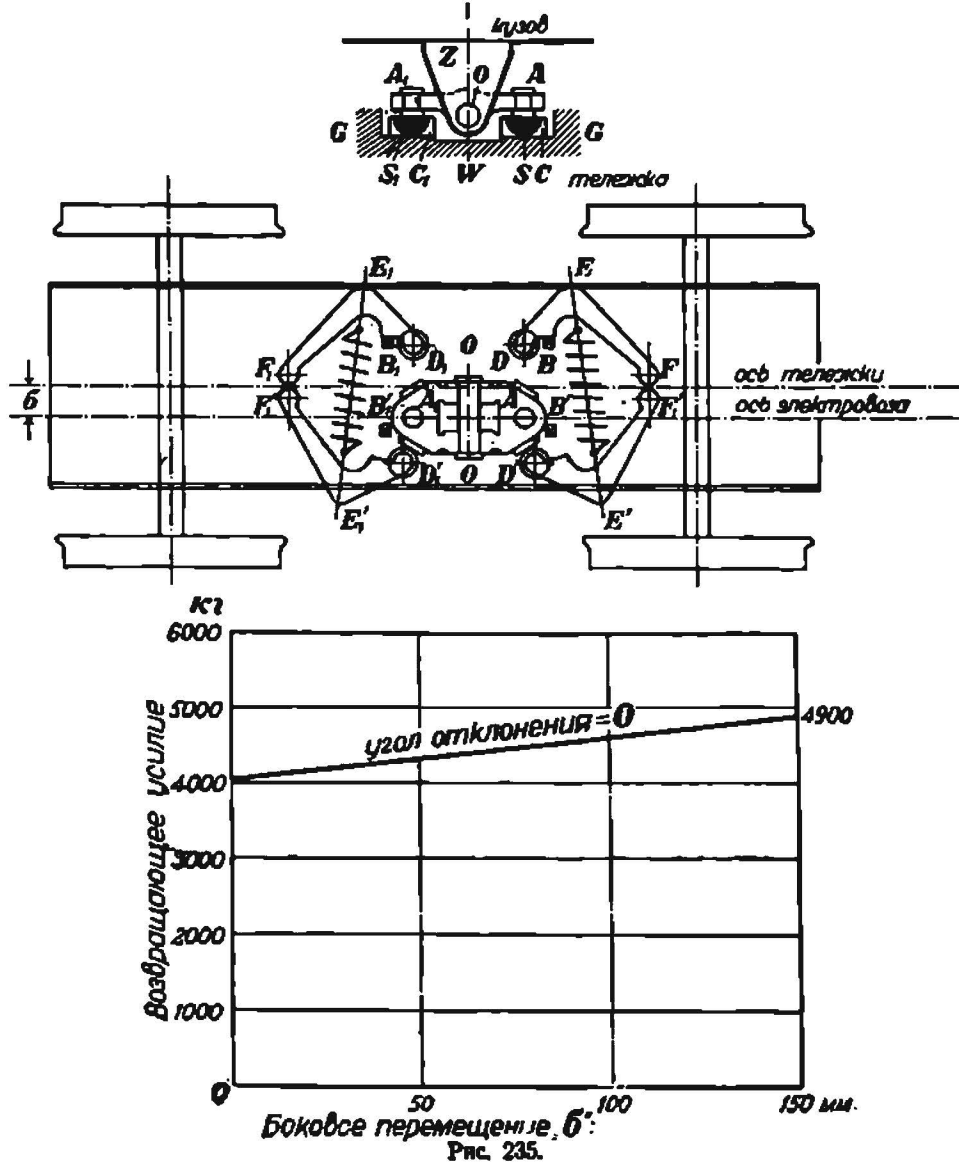


Рис. 235.

тормозов Вестингауза имеется ручной тормоз. При высокой мощности электровоза было опасение боксования при трогании с места, и электровозы снабжены особым приспособлением против боксования, заключающимся в том, что тормозные колодки при трогании с места слегка сжимаются, что уменьшает возможность боксования.

Кабинки машиниста располагаются по обоим концам электровоза, между ними помещается в средней части машинное отделение (см. прило-

жение IV). С обеих сторон имеются дверца и лестницы для входа в кабину. На лобовой стороне имеются три неопускающиеся окна; дверные же окна сделаны опускающимися. Посреди задней стенки кабинки имеется дверь в машинное отделение, по обе стороны машинного помещения имеются проходы, соединяющие обе кабинки. Стенки кузова сделаны по бокам отъемными из железа 2,5 мм толщиной; кроме того отъемными являются и две средние панели крыши, — чем облегчается съёмка для ремонта машин и аппа-

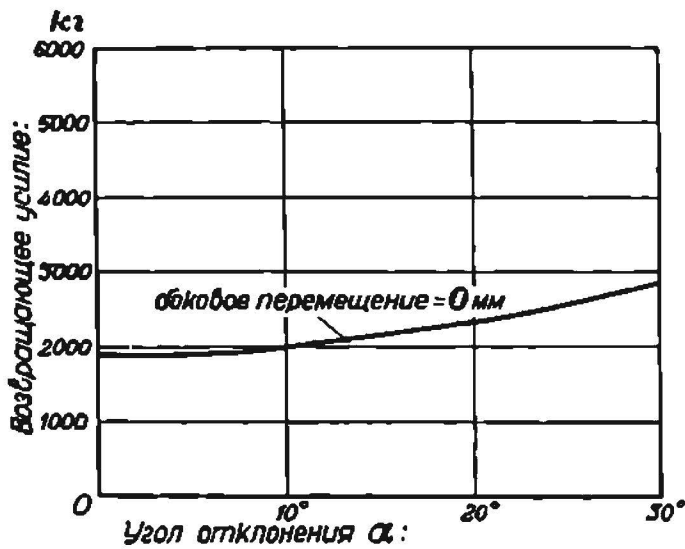
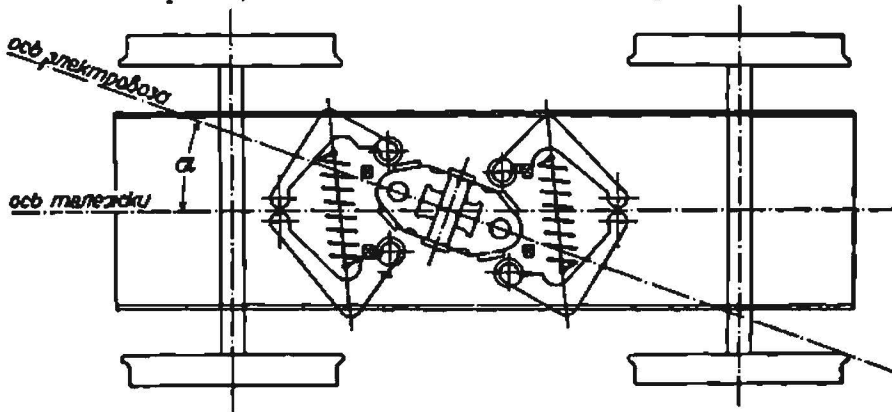


Рис. 235а.

ратуры, смонтированной внутри электровоза. На отъемных панелях крыши укреплены пусковые сопротивления. Аппаратура помещается по углам машинного отделения в особых камерах и перед кабинкою машиниста; дверные запоры всех камер, где помещается аппаратура высокого напряжения, заблокированы и запираются ключом, который может быть вынут лишь после того, как разомкнут главный выключатель и рукоятка контроллера стоит в нулевом положении. Ключ можно вынуть только в том случае, если двери запорты.

На крышу ведет лестница; при пользовании ею автоматически открывается воздушный кран и опускаются токоприемники.

Электрическая часть. Электрическое оборудование обоих электровозов почти одинаково; на электровозе № Е 502 предвидится

рекуперация и установлена поэтому соответствующая дополнительная аппаратура.

На электровозах имеется по 4 тяговых мотора; вал мотора несет эластично насаженные шестеренки для передачи усилий движущим осям по системе Buchli и опирается, как выше было упомянуто, на 4 подшипника. Моторы выполнены шестиполюсными с дополнительными полюсами; на стороне, противоположной коллектору, установлен двойной вентилятор, который всасывает воздух через каналы в железе якоря, а также через воздушный промежуток между якорем и магнитными катушками. Помимо того предусмотрена искусственная вентиляция (каждый мотор имеет отдельный вентилятор, подающий 120 м³ воздуха при давлении 100 мм водяного столба). Вентиляторы приводятся в движение от отдельных

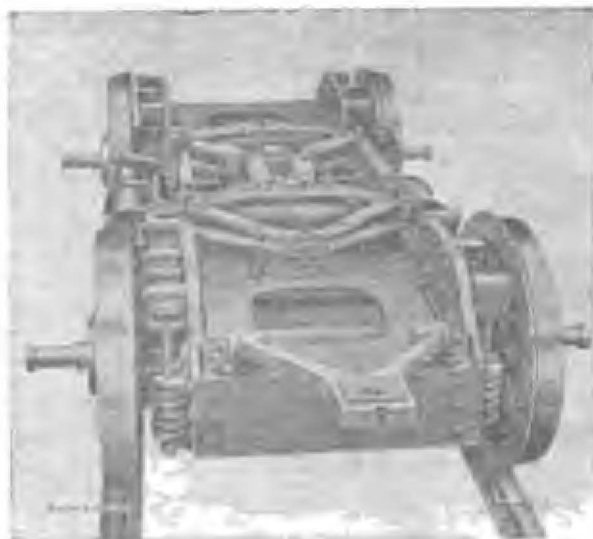


Рис. 236.

моторов последовательного соединения длительной мощностью 12 *квт*, присоединяемых к напряжению 1350 *в*; пуск в ход производится при помощи электромагнитного контактора. На рис. 237 видны входное и выходное отверстия для воздуха, подаваемого от устанавливаемого над мотором вентилятора. Оба моторных подшипника выполнены с баббитовой заливкой и кольцевой смазкой. Снятие тока производится 18 угольными щетками сечением 35×30 *мм*. При смене щеток щеткодержатели приподнимаются вращением рукоятки, хорошо видимой на рис. 237. На том же рисунке ради лучшей видимости сняты крышки у коллектора, нормально закрытые. Все моторы изолированы на полное напряжение в 1500 *в* и должны безукоризненно работать при перенапряжении до 1800 *в*. Длительная мощность каждого мотора при полном магнитном поле и напряжении 1350 *в* равна 790 л. с. (сила тока 460 *амп*, число оборотов 540, часовая мощность при тех же условиях 950 л. с. при 500 обор./мин.) При полном напряжении в 1500 *в* мощность на 10% выше. Предельная температура нагревания, определяемая путем измерения сопротивления, предписана в 120° С.

Кривые мотора даны были на рис. 13. Моторы помимо испытания на нагревание были подвергнуты пробе на коммутацию при 1950 *в*. и 720 *амп* при вращении в обоих направлениях, а также быстрому изме-

нению напряжения между 1100—1500 и 1800 в и 460 амл. Моторы были проверены на 1280 обор./мин., что соответствует скорости электровоза в 165 км/час. Выносливость мотора в отношении образования кругового огня проверена при 500 амл и 2500 в.

Воздушный промежуток тяговых моторов сделан большим, что позволяет широко применять изменение скоростей путем ослабления магнитного поля; последнее предвидено путем изменения числа витков и путем шунтирования его. При напряжении на клеммах в 1500 в имеются две ступени ослабления магнитного поля в 61 и 78%; при напряжении же 750 и 375 в по три ступени, а именно в 43, 61 и 78%. Таким образом, применяя соединение моторов последовательно, последовательно-параллельно и параллельно, получаем 11 ступеней скоростей при езде без реостатов а именно скорости: 15, 17, 20, 26, 33, 37, 44, 57, 70, 77 и 89 км/час при напряжении



Рис. 237.

в 1350 в; число оборотов моторов равно соответственно: 116, 131, 155, 205, 255, 285, 340, 440, 540 595 и 690).

Для получения необходимого для управления и для воздушного тормоза воздуха установлен мотор-компрессор поршневого типа, подающий воздух под давлением 8 амл. Мотор имеет часовую мощность 8 квт при 1350 в напряжения и делает 500 обор./мин. Пуск в ход производится при помощи электромагнитного контактора.

В кабинках машиниста помещаются следующие измерительные инструменты: вольтметр, дающий напряжение в контактном проводе, амперметр с шунтом, включенным в цепь одного мотора, счетчик, через шунт которого протекает весь ток электровоза, и наконец регистрирующий скоростимер.

Электровоз № 502. Этот электровоз во всем одинаков с электровозом, ранее описанным, но оборудован для рекуперации энергии, и в дальнейшем будет описана дополнительная аппаратура. Тяговые моторы, как уже ранее было отмечено, снабжены компенсационной обмоткой, позволяющей шире применять ослабление магнитного поля. Для возбуждения моторов при рекуперации установлен специальный мотор-генератор: мощность мотора, присоединяемого непосредственно к напряжению контактного провода, равна 22 квт; он вращает два генератора: один из них дает напряжение в 12 в, другой—25 в. Возбуждение этих генераторов имеет две ступени: при одной получается постоянное напряжение около 12 в при нормальном числе оборотов, при другой—25 в; энергия для возбуждения получается от умформера освещения, работающего параллельно с аккумуляторной батареей. При переходе на рекуперацию приключают

генераторы к обмоткам возбуждения тяговых моторов; напряжение генераторов повышается при надобности до 25 в. Рекуперация предвидится для всех трех группировок тяговых моторов, причем в случае последовательного и последовательно-параллельного соединения моторов генераторы возбуждения соединены последовательно, а при параллельном соединении тяговых моторов — параллельно. Все необходимые переключения тяговых моторов при рекуперации, а также приключение группы возбуждения производится при помощи особого переключательного валика. Контроллер машиниста имеет специальную рукоятку с двумя положениями: нормальной езды и рекуперации. При перестановке этой рукоятки во второе положение при помощи особого контактора включается группа возбуждения, производится соответствующая установка переключательного валика рекуперации и включается вентилятор для охлаждения реостатов рекуперации; последние служат для лучшего распределения тока и воспринимают толчки тока при колебаниях напряжения в контактной сети. При переходе на рекуперацию рукоятка контроллера устанавливается на нуль, а рукоятка реверсера устанавливается на ход вперед и в зависимости от требуемой скорости — в положение I, II или III; затем рукоятка рекуперации устанавливается на R; таким образом все оказывается подготовленным к рекуперации, и рукоятка контроллера переводится из нулевого в первое положение; напряжение возбуждения регулируется таким образом, чтобы ток, проходящий через тяговые моторы, был бы близким к нулю, после чего реостаты путем дальнейшего вращения рукоятки контроллера могут быть совершенно выключены (13-е положение контроллера). Путем дальнейшего увеличения напряжения возбуждения и при увеличении скорости происходит увеличение силы тока рекуперации и желаемая степень торможения.

57. Электровозы с зубчатым зацеплением

В заключение остановимся на электровозе японских жел. дор., работающем и на сцеплении колес с рельсами, и при помощи зубчатого зацепления. Первый электровоз построен на 600 в в 1910 г., весит 61 т, причем сила тяги в 10 600 кг развивается на 50% при помощи сцепления и на 50% в зубчатом зацеплении; таким образом, коэф. сцепления колес с рельсами составляет всего $\frac{5 \times 3}{61} = \frac{1}{11,5}$; на каждое же зубчатое колесо приходится 2 650 кг силы тяги, или, при ширине зубцов в 25 мм, на 1 мм ширины приходится $\frac{2\ 650}{3 \times 25} = 35,5$ кг. Несмотря на небольшое усилие, обнаружился сильный износ зубчатой рейки (до 20 мм в 7 месяцев), что потребовало частую смену реек. На основании изложенного, при проектировании новых электровозов решено было возможно менее нагружать зубчатое зацепление и большую долю тягового усилия развивать путем сцепления колес с рельсами. Новый электровоз, построенный заводом ВВС в 1924/25 г., имеет сцепной вес 59,5 т, т. е. при коэф. сцепления в $\frac{1}{10,5}$ может развивать силу тяги в 9 200 кг, тогда как при езде в подъем в 25‰ с поездом веса 160 т достаточно сила тяги всего 6 000 кг; при езде же в 67‰ подъема работает сцепление колес с рельсами вместе с зубчатым зацеплением, при этом $\frac{1}{3}$ силы тяги, т. е. 4 000 кг, развивается в зубчатом зацеплении и $\frac{2}{3}$, т. е. 8 000 кг, — сцеплением колес с рельсами.

Главнейшие данные электровоза следующие:

Ширина колес	1 067 мм
Напряжение	600 в
Мощность на ободах колес	690 л. с.
Мощность на валу моторов	770 л. с.

Максимальная сила тяги электровоза	. 12 000 кг
Длина между буферами	. 13 000 мм
Полная база электровоза	9 000
Жесткая база	2 500
Диаметр движущих колес	1 067 .
Нагрузка на движущие оси	15 т
Вес механической части	40,0 .
Вес электрической части	19,5 .
Общий вес и сцепной	59,5

Электровоз снабжен тремя моторами, из коих два работают на сцепные оси и один — на зубчатое зацепление.

Первые два мотора устанавливаются на двух двухосных тележках; усилие каждого мотора передается при помощи зубчатой передачи на отбойный вал и далее при помощи спарников — на движущие оси. Внутренние движущие оси имеют удлиненные буксовые коробки, образующие постели для средней рамы, на которой устанавливается мотор с зубчатой передачей и зубчатым зацеплением. Схематическое изображение ходовых частей электровоза дано на рис. 238.

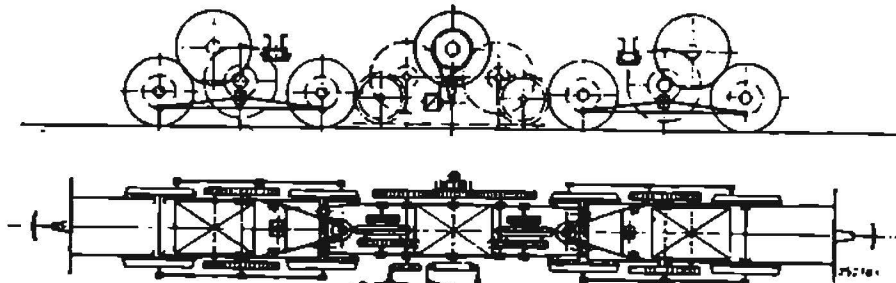


Рис. 238.

Рамы тележек выполнены из листового железа толщиной 22 мм с литым поперечным скреплением, кожух мотора служит также междурамным скреплением. С внешних концов тележки имеется буферный брус с центральным сцепным прибором.

Сцепление тележек со средней рамой выполнено при помощи литого треугольника, подвешиваемого двумя концами к рамам тележки; в вершине треугольник несет отверстие, в которое входит шкворень, для прикрепления треугольника к средней раме; помимо того, средние рамы прикреплены к удлиненным буксам внутренних движущих колес болтами, допускающими однако в кривых установку тележек под углом относительно средних рам. Средние рамы из листового железа (22 мм толщиной) имеют также междурамное скрепление в виде каркаса мотора, а также расположенных по концам суппортов, при помощи которых средняя ходовая часть опирается на тележки.

Кабинка машиниста располагается с одной стороны и, благодаря тому, что она шире кузова электровоза, в задней стенке кабинки удалось устроить узкие окна, которыми пользуются вместе с боковыми окнами при езде задним ходом. Электровоз снабжен аппаратурой электрического торможения, воздушными тормозами Вестингауза и ручным тормозом; при помощи последнего можно тормозить лишь оси передней тележки при езде под уклон.

Помимо того на отбойном валу этой тележки помещен регулятор, соединенный с лепточным тормозом на валу мотора; регулятор приводит в действие тормоз, как только скорость электровоза превысит при спуске

по зубчатой рейке скорость в 22 км. Электрическое оборудование выполнено для 600 в. Большой интерес представляет соединение моторов. При езде со сцеплением только от движущих колес работают 2 мотора, расположенных на тележках; при этом электровоз с поездом веса 160 т на подъеме в 25‰ развивает скорость в 22 км/час. Перед входом на участок с зубчатым сцеплением (а также при сходе с него) обмотки статоров всех трех моторов соединяются параллельно, а якоря моторов — последовательно между собою, благодаря чему число оборотов всех трех моторов оказывается одинаковым независимо от нагрузки. При правильном подборе зубчатой передачи и диаметра движущих колес окружная скорость движущих колес и зубчатых колес сцепления будет одинакова, и въезд на зубчатую рейку происходит без толчка. При съезде с зубчатой рейки употребляется то же соединение моторов; это диктуется необходимостью сохранить число оборотов среднего мотора, когда последний потеряет нагрузку при сходе электровоза с рейки. На случай, если бы по недосмотру это переключение не было перед сходом с рейки сделано, имеется центробежный регулятор. Как только зубчатое колесо въехало на рейку, производят переключение моторов; сначала оба мотора, работающие на движущей оси, соединяются между собою параллельно и последовательно с третьим мотором, почему последний мотор получает ток, равный сумме силы тока в обоих первых моторах; затем постепенно выключается девять ступеней сопротивления, и производится параллельное соединение всех трех моторов, с приключением в первое время сопротивления (5 ступеней).

При электрическом торможении, при котором моторы переключаются на сопротивление, оба мотора, работающие на сцепные оси, соединяются между собою параллельно, а третий мотор — последовательно с ними.

Так как на перегонах питание производится от третьего рельса и на конечных станциях при помощи воздушного контактного провода, то электровозы оборудованы и токоснимателем от третьего рельса и пантографом.

Тяговые моторы выполнены шестиполусными с дополнительными полюсами, с асбестовой изоляцией магнитных катушек; обмотки якоря изолированы шелковой миканитовой лентой. Моторы — с искусственной вентиляцией; вентиляторы расположены над моторами и подают 1,34 м³/сек. воздуха при давлении 50 мм водяного столба. Все три мотора совершенно одинаковы и взаимно заменяемы. Главный выключатель — однополюсный с релэ максимального тока и нулевого напряжения.

Принимая во внимание, что для горных электровозов желательно иметь особенно малый вес, дабы не затрагивать при езде в крутые подъемы большой непродуцируемой работы на поднятие самого электровоза, по возможности все детали электровоза стремились спроектировать более легкими; в частности реостаты выполнены из константановой ленты искусственным охлаждением, что дало возможность получить вес в два раза меньший, чем при чугунных сопротивлениях. При торможении поезда весом 160 т на 67‰ мощность в 360 квт поглощается сопротивлениями без всякого вреда для последних в течение полчаса; при этом повышение температуры достигает 309° С.

В эксплуатации предполагается лишь половину поезда тормозить электрически, а остальная часть тормозится равномерно по всему поезду механически.

Для управления поездом и освещения имеется ток напряжением в 100 в, получаемый от мотор-генератора мощностью 2 квт, питаемого от контактной сети. Мотор-генератор работает параллельно с аккумуляторной батареей — 40 ам/час, состоящей из 50 элементов.

ВСЕ ИЗДАНИЯ
ГОСТРАНСИЗДАТА
ПРОДАЮТСЯ В МАГАЗИНАХ
КНИГОЦЕНТРА ОГИЗ'А



ЕДИНИЧНЫЕ ЭКЗЕМПЛЯРЫ
ВЫСЫЛАЕТ
НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ
„КНИГА-ПОЧТОЙ“
при магаз. МГОСГИЗ'А № 8
Москва, Масницкая ул., № 8

НТБ
ДНУЖТ

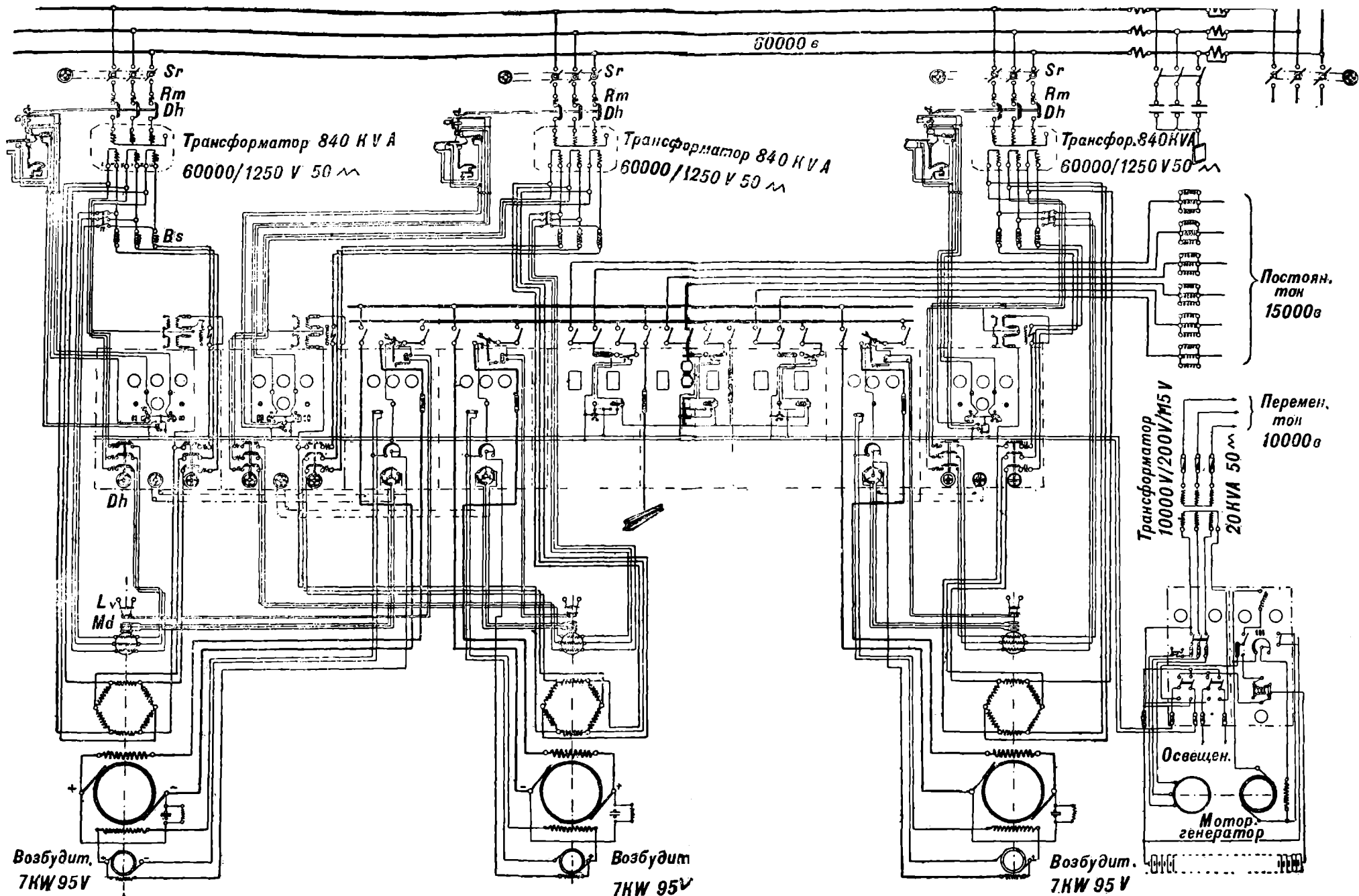


Схема подстанции Coaraze-Nay, оборуданной умформерами Южн. франц. жел. дор.

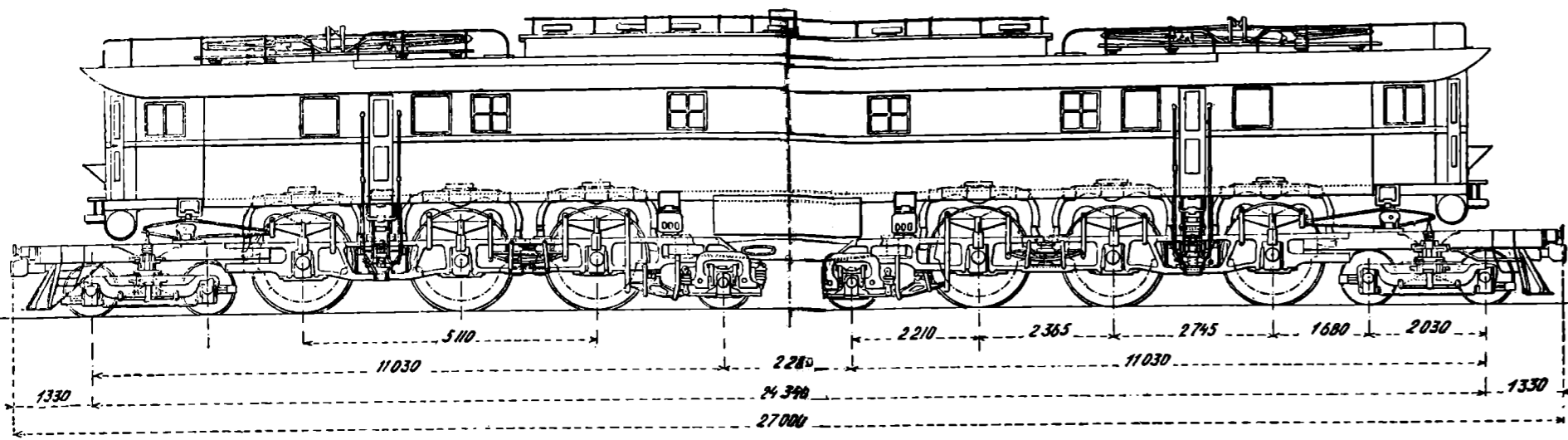
A — амперметр.
At — " заземление.
Bs — катушка индукционная.
C — конденсатор.
Co — счетчик.
D — пусковой реостат.
Da — выключатель максим. тока.
Dh — мгновенный выключатель (Ultra rapide).
E — возбудитель.

I, Is — выключатели.
I₀ — переключатель.
Lp — фазные лампочки.
Ls — сигнальные лампочки.
L₀ — регулятор скорости (пределн.).
Md — пусковой мотор.
R — сопротивление.
Rr — реле обратного тока.
Re — реостат возбуждения.
Rm — максимальное реле.

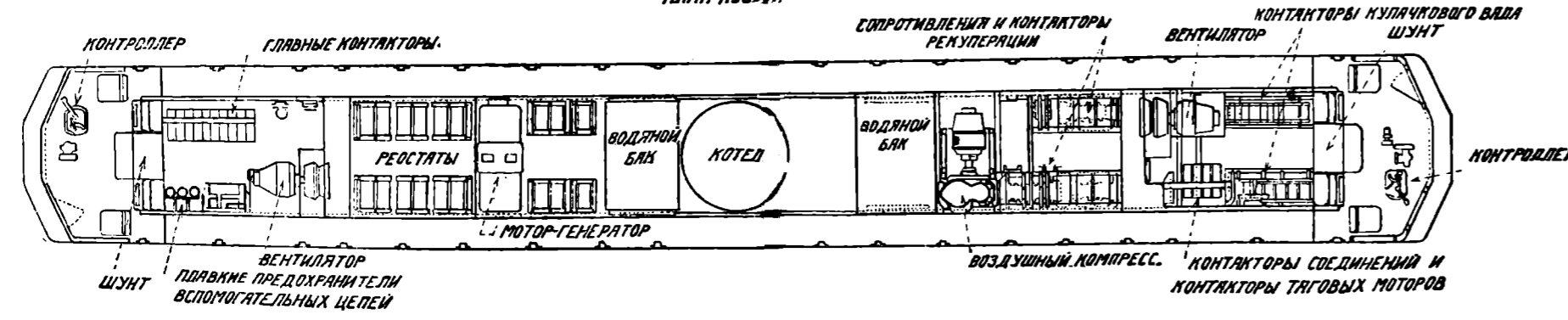
Rt — реле заземления.
S — разъединитель.
St — трехполюсный разъединитель.
Sh — шунт.
Su — синхроскоп.
To — трансформатор тока.
Ti — трансформатор напряжения.
Ph — фазометр.
V — вольтметр.
Ve — аппарат, регистрирующий напряжение.

ДРУЖТ

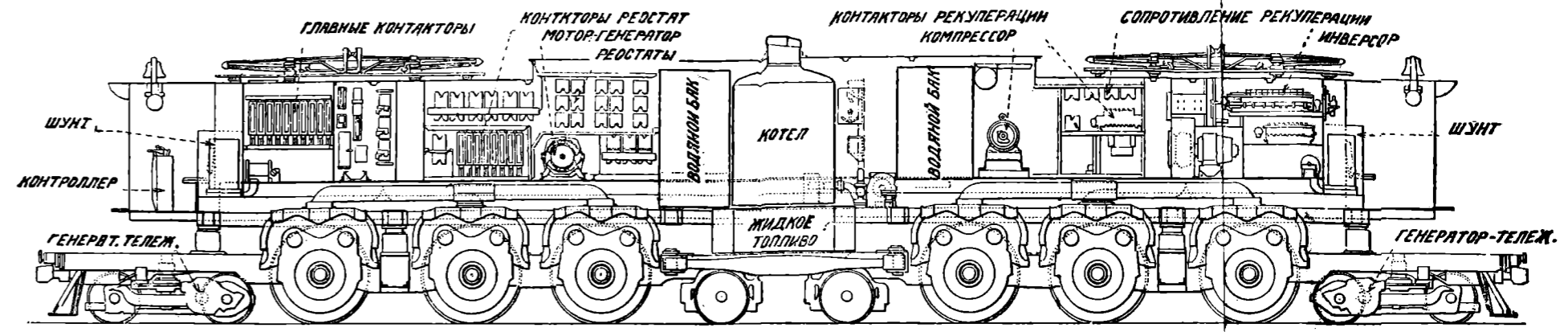
БОКОВЫЙ ВИД



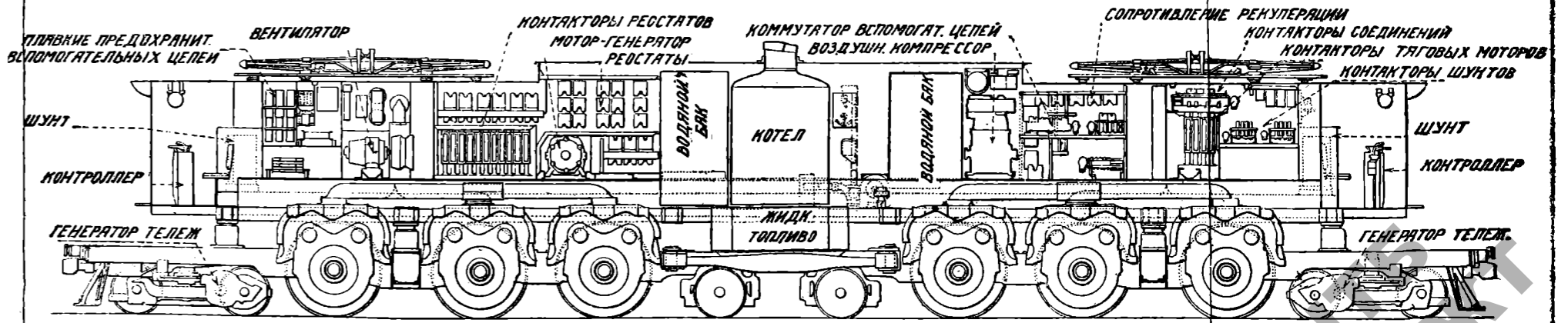
ПЛАН КУЗОВА



ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ (ВИД СТОРОНЫ ГЛАВНЫХ КОНТАКТОРОВ)



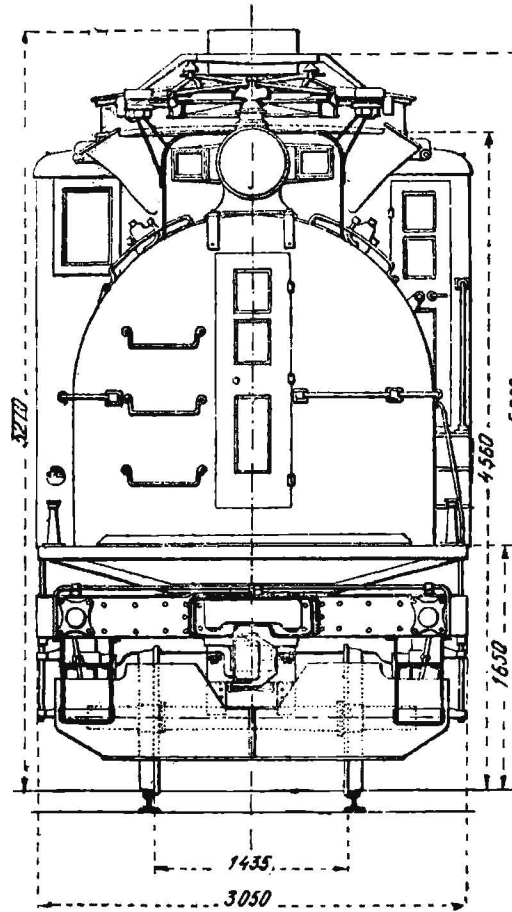
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ (ВИД СТОРОНЫ КОНТАКТОРОВ СОЕДИНЕНИЯ)



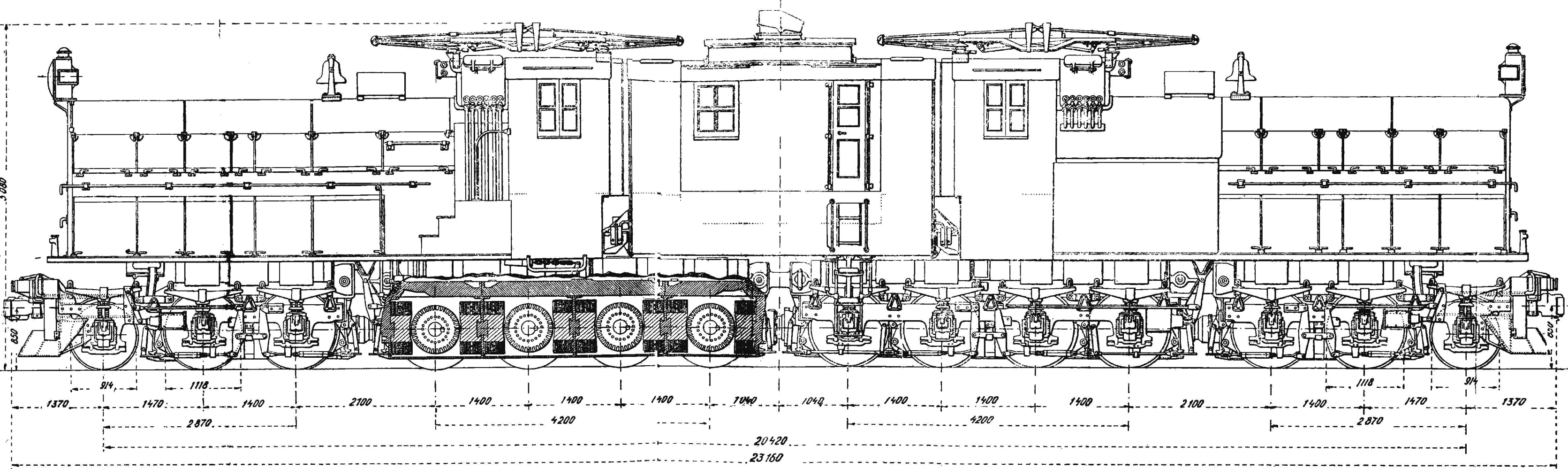
Железная дорога Ch. M., St.-Paul. Электровоз компании Вестингауз, серии 10300.

ДНУЖ

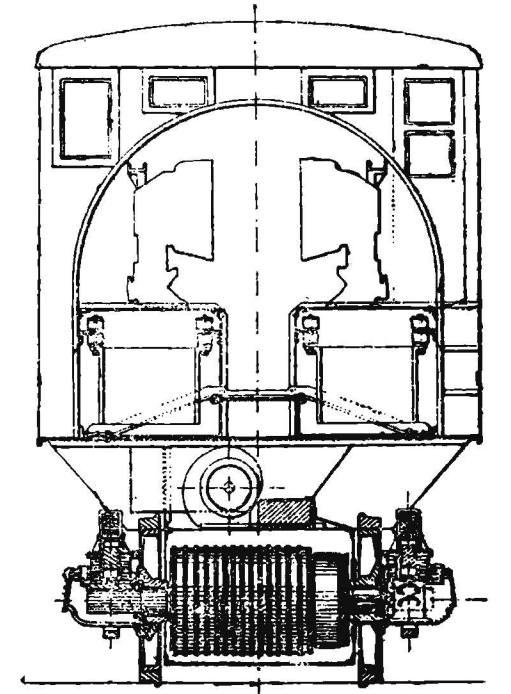
ВИД С КОНЦА



БОКОВОЙ ВИД И ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ

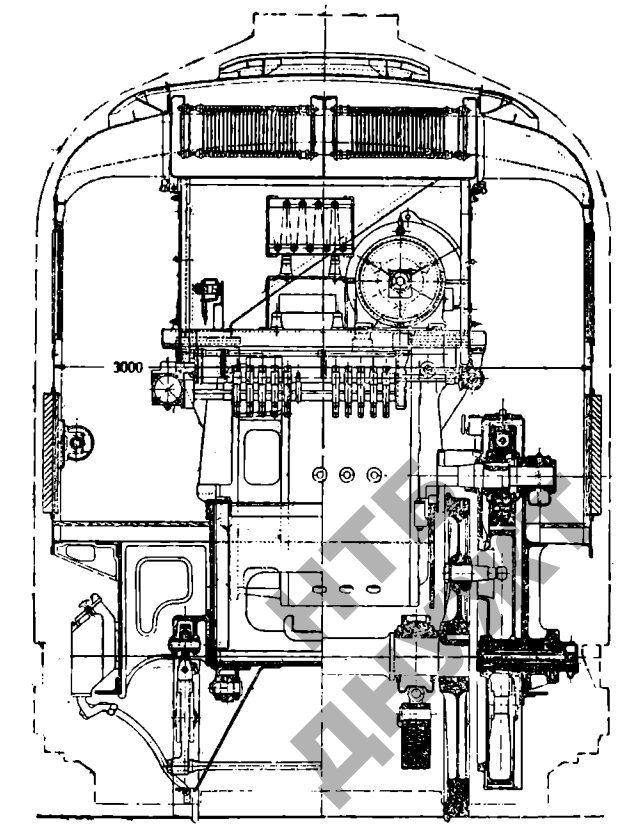
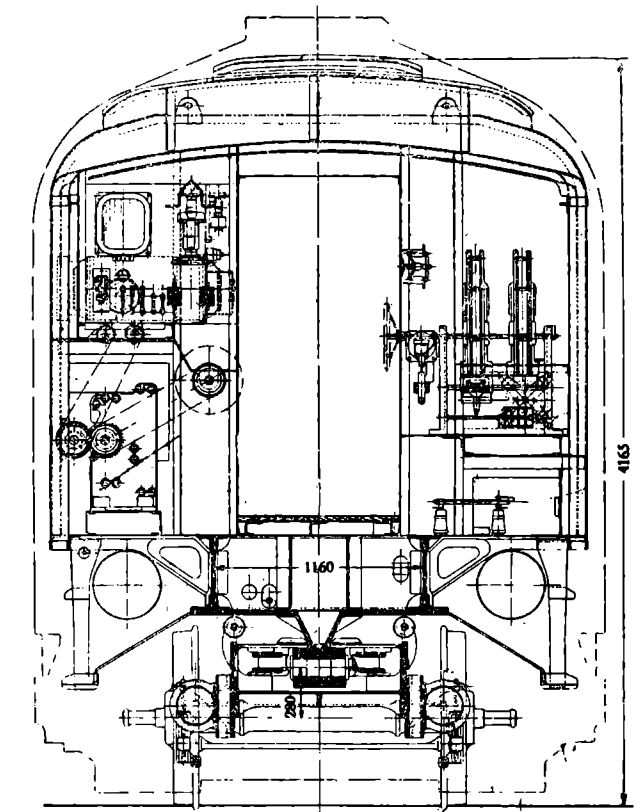
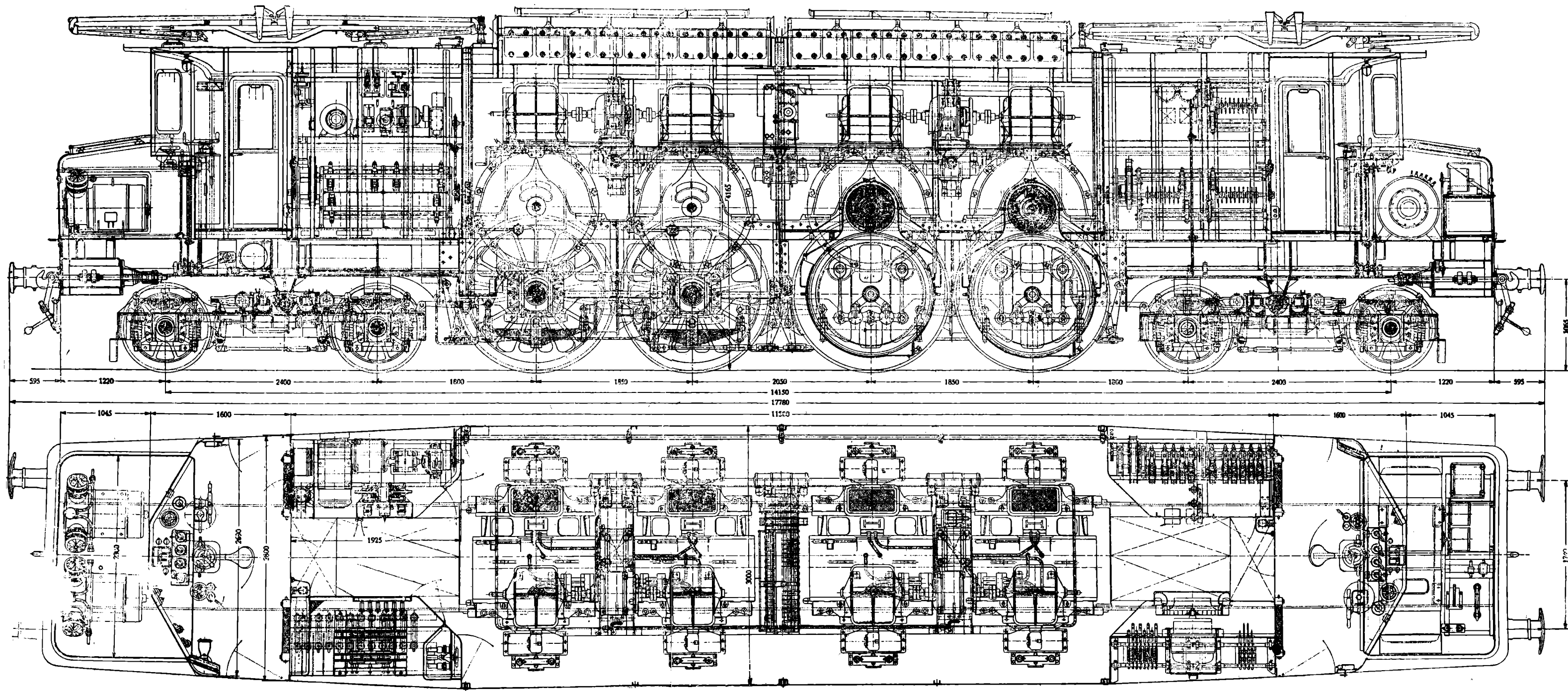


ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ



Железная дорога Ч. М. Ст.-Риц. Электровозы типа „Gearless“, Дженераль Электрик Ко, серии 10250.

НТБ
ДНУЖТ



Париж-Орлеанская железная дорога. Электровоз 2-4-2.

ВСЕ ИЗДАНИЯ
ГОСТРАНСИЗДАТА
ПРОДАЮТСЯ В МАГАЗИНАХ
КНИГОЦЕНТРА ОГИЗ'А



ЕДИНИЧНЫЕ ЭКЗЕМПЛЯРЫ
ВЫСЫЛАЕТ
НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ
„КНИГА-ПОЧТОЙ“
при магаз. МОСОГИЗ'А № 8
Москва, Мясницкая ул., № 6

Сканировала Брюховецкая Е. А.

ПЕЧАТЬ
ДНУЖТ