



ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ

НТБ
ДНУЗТ

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СПРАВОЧНИКИ- РУКОВОДСТВА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ТРАНСПОРТНОЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ 1 9 3 8

НТБ
ДНУЗТ

62.335
И62

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ВЫПУСК I

ИРОВАРНО 1967

ДИТ
БЕЛМОТЕМА

№ _____

33176

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ТРАНСПОРТНОЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ

1 9 3 8

НТБ
ДНУЗТ

Книга является первым выпуском серии справочников по электроподвижному составу; посвящена тяговым двигателям и вспомогательным машинам подвижного состава магистральных электрифицированных железных дорог. В справочнике дается описание тяговых двигателей и вспомогательных машин, приводятся расчеты по выбору тяговых двигателей и проверке их мощности, описываются схемы управления тяговыми двигателями, даются производственные нормы по испытанию двигателей и технологические характеристики по изготовлению их деталей.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников электрифицированных железных дорог и может быть использована как учебное пособие для студентов транспортных вузов.



Цена книги 13 р. 50 к.

Переплет 1 р. 50 к.

Отв. редактор *А. Г. Галанов.*

Технический редактор *К. М. Шалимова*

Сдано в набор 8/X 1936 г.

Подписано к печати 11, III 1938 г.

Размер бумаги $62 \times 94 \frac{1}{16}$. 20 $\frac{1}{2}$ п. л.

85.760 зн. в 1 п. л. Тираж 3230 экз.

ЖДИЗ 2819. Ж-56. Зак. № 2085.

Уполн. Главлита Б—18546.

Типография им. Мяги треста «Полиграфкнига» г. Куйбышев

НТБ
ДМУЗТ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие

VIII

Глава I. Тяговые двигатели

I. Типы тяговых двигателей и их характеристика	1
II. Нормы испытания тяговых двигателей	2
1. Международные нормы испытаний	2
2. Нормы американского института инженеров-электриков	8
3. Нормы СССР	15
4. Испытания по методу обратной работы	16
5. Подробные испытания тяговых двигателей	18
III. Вентиляция и нагрев тяговых двигателей	29
IV. Тяговые двигатели постоянного тока	35
1. Универсальные характеристики, скорости и параметры	35
2. Расчет тягового мотора	37
V. Однофазные тяговые двигатели (коллекторные)	49
1. Питающая частота. Коммутация	49
2. Улучшение пусковой коммутации	49
3. Типы двигателей пониженной частоты	50
4. Однофазный коллекторный двигатель нормальной частоты системы д-ра Бенедикта (з-да «Динамо» им. Кирова)	56
VI. Однофазный асинхронный двигатель системы Пунга-Шен	57
VII. Асинхронные трехфазные двигатели	58
1. Регулирование скорости	58
2. Обмотки	59
3. Расчет	69
VIII. Конструкция тяговых двигателей	69
1. Вал	69
2. Балансировка. Критическое число оборотов	71
3. Коллектор	71
4. Обмотка якоря коллекторных моторов	77
5. Пропитка и сушка якорей в эксплуатации	84
6. Статор—остов	90
7. Железо ротора	90
8. Катушки полюсов тяговых двигателей	90
9. Щетки. Щеткодержатели	94
10. Подшипники. Уплотнения	95
11. Электрические испытания деталей тяговых моторов в процессе производства	108
IX. Данные о выполненных тяговых двигателях	111
X. Приложения	126
Стандарт на электротехническую листовую сталь	126
Изоляционные материалы	137

Глава II. Управление тяговыми двигателями и схемы электровозов и моторвагонов постоянного тока

I. Управление тяговыми двигателями	139
1. Общие понятия	139
2. Реостатный пуск тягового двигателя	139
3. Шунтировка поля	155
4. Электрическое торможение	159
5. Безреостатный пуск	179

V

НТБ
ДНУЗТ

II. Системы управления тяговыми двигателями	182
III. Схемы электровозов и моторных вагонов	186
1. Схемы силовой цепи тяговых двигателей	186
2. Цепи управления	201
3. Схемы вспомогательных силовых цепей	213
4. Вспомогательные цепи управления	215
Глава III. Выбор тягового двигателя и проверка его мощности	
I. Рабочие характеристики тягового двигателя. Характерные точки. Часовая и длительная мощности. Нормы повышения температуры	217
1. Рабочие и тяговые характеристики	217
2. Характерные точки рабочих характеристик	219
3. Длительная и часовая мощности двигателей	219
II. Условия для проверки работоспособности тягового двигателя	221
III. Уравнение нагревания однородного твердого тела. Постоянная времени	223
1. Уравнение нагревания однородного твердого тела	223
2. Постоянная времени	225
IV. Нагревание тягового двигателя	227
1. Обмотка, опасная по нагреву	227
2. Основные способы учета потерь, нагревающих обмотку	227
V. Коэффициент удельной теплоотдачи двигателя	232
VI. Расчетные величины теплоемкости и постоянной времени проверяемого двигателя	234
VII. Определение перегревов двигателя в эксплуатационных условиях	237
VIII. Приближенная проверка тягового двигателя на нагрев по способу автора	244
1. Общее	244
2. Обозначения	244
3. Перегрев при установившемся режиме работы	244
4. Численный пример	245
5. Нахождение перегрева в начале и в конце рейса при установившейся работе	247
6. Перегрев при промежуточных рейсах	248
7. Графический способ определения перегревов	250
IX. Расчетный перегрев двигателя	252
1. Нахождение поправки	252
2. Поправка на разность характеристик	253
3. Работа на различных ступенях возбуждения	255
4. Нормальный цикл при моторвагонной тяге	256
5. Общее заключение по разделу	257
X. Метод проверки нагревания двигателя моторного вагона по эквивалентному току	257
1. Эквивалентный ток	257
2. Нагревающие потери и эквивалентные напряжения	258
3. Теплоотдача и постоянная времени	259
4. Выражение для эквивалентного тока	260
5. Нахождение D_{max}	264
6. Примерный расчет	265
XI. Выбор двигателя для маневрового электровоза	266
XII. Выбор двигателя для магистрального и промышленного электровоза по методу эквивалентного тока	274
1. Основные предпосылки	274
2. Квадратичный ток при работе без рекуперации и без учета пуска	275
3. Поправка на пуски	278
4. Учет вредных уклонов	279
5. Основные соотношения при рекуперативном торможении	279
6. Построение характеристик выбранного двигателя	280
7. Другое решение	280
XIII. Предварительный выбор тягового двигателя	281
1. Общий ход решения задачи о предварительном выборе тягового двигателя	281
2. Универсальная характеристика серийного двигателя постоянного тока	281

3. Значение регулировки поля	282
4. Ускорение и замедление .	284
5. Построение характеристики двигателя	285
6. Построение кривых движения	285
7. Коммерческая скорость	285
8. Нахождение экономического эффекта	285
9. Эквивалентный перегон	285
10. Эквивалентный подъем	286
11. Получение величины удельного расхода энергии из тягового расчета	287
12. Определение расхода энергии аналитическим способом	287

Г л а в а IV. Вспомогательные машины

I. Вспомогательные машины постоянного тока .	290
1. Общая характеристика и возбуждение вспомогательных машин	290
2. Преобразователи.	290
3. Мотор-генераторы служебного тока	291
4. Генератор управления	295
5. Мотор-вентиляторы.	297
6. Мотор-компрессоры	298
7. Мотор-генераторы рекуперации	302
II. Вспомогательные машины переменного тока	307
Перечень сокращений и обозначений	312
Алфавитный указатель	314

ПРЕДИСЛОВИЕ

Быстрое развитие электрификации железных дорог СССР поставило перед издательством задачу — создать настольную книгу в виде справочника для работников электроподвижного состава. Справочник-руководство содержит материал не только чисто справочного характера, но также и такой, который, являясь по существу монографическим, дает возможность читателю пополнить свои сведения по вопросам электрификации железных дорог.

Справочник разбит на несколько частей, которые выйдут отдельными выпусками. Настоящий выпуск посвящен вопросам конструкции, расчета и эксплуатации тяговых двигателей и вспомогательных машин электроподвижного состава магистральных железных дорог; промышленные электровозы и городской электротранспорт затронут лишь частично. Следующие выпуски будут содержать материал по оборудованию электроподвижного состава, механической части электровозов и мотор-вагонов и эксплуатации электроподвижного состава.

В главе I дается описание конструкций тяговых двигателей и приводятся главнейшие производственные нормы по тяговым двигателям и изготовлению их деталей. Главное внимание уделено двигателям постоянного тока.

В главе II излагаются вопросы управления тяговыми двигателями постоянного тока и схемы их соединения в электровозах и моторвагонах.

Глава III, в которой излагаются вопросы работы тяговых двигателей и проверки его мощности, представляет собой работу не столько справочно-нормативного, сколько исследовательско-теоретического порядка. Статья приводится в справочнике в качестве монографии по этому вопросу, тесно связанному со всей тематикой I части. Разделы VIII—XII излагают метод, впервые предложенный проф. Д. К. Миновым.

В главе IV дается конструкция и описание работы вспомогательных машин электровоза: мотор-генераторов, мотор-компрессоров и т. д.

2) Надежная коммутация, т. к. с ростом нагрузки автоматически усиливается возбуждение.

3) Нечувствительность к резким толчкам напряжения. При внезапном повышении напряжения толчок тока быстро намагничивает дв-ль.

Недостатки дв-лей с серийной характеристикой сводятся к невозможности прямого (автоматического) перехода на рекуперацию.

б) Шунтовая характеристика. Достоинством дв-лей с этой характеристикой является автоматический простой переход на рекуперацию, как только скорость локомотива переходит предел, установленный возбуждением (или числом пар полюсов у асинхронных ТД).

Недостатки. 1) Неравномерное распределение нагрузки между включенными параллельно дв-лями, работающими на механически не связанные оси.

2) Чувствительность дв-ля к резким колебаниям питающего напряжения. Благодаря большой индуктивности обмотки возбуждения ток возбуждения и магнитный поток изменяются относительно медленно. Поэтому при резком увеличении напряжения получается толчок тока, не смягченный, как это имеет место у серийс-дв-ля, быстрым ростом потока и противоэдс дв-ля. Эти свойства шунтовой характеристики делают ее нежелательной для коллекторных дв-лей (коммутация).

3) Увеличенный габарит катушек возбуждения.

в) Компаундная характеристика позволяет вести рекуперацию без установки специального агрегата. При рекуперативном режиме дв-ль работает как противокомпаундный генератор, на последней ходовой позиции — как чисто серийный мотор. Вес компаундного дв-ля больше соответствующего по моменту серийного на 10—15%.

г) Распределение нагрузки между дв-лями непосредственно влияет на привод. Дв-ли серийной и компаундной характеристик выполняются в последнее время почти исключительно как дв-ли индивидуального привода. Дв-ли шунтовой характеристики выполняются для группового привода. С точки зрения производства и эксплуатации предпочтительнее относительно небольшие и легкие дв-ли индивидуального привода.

Примечание. Существует ряд эл/в (Норфольк. Зап. ж. д. США), у к-рых асинхронные дв-ли (шунтовая характеристика) работают в параллель на механически не связанные оси. В этом случае по мере износа бандажей применяется специальное регулирование распределения нагрузки с помощью жидких реостатов в цепи ротора. При пуске все же получается значительная разница нагрузок.

II. НОРМЫ ИСПЫТАНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НОРМЫ ИСПЫТАНИЙ

Международные нормы относятся к ТМ, за исключением моторов рудничных эл в, моторов, имеющих часовую мощность менее 15 kW, и, до нового указания, моторов постоянного тока сложного возбуждения (компаунд-моторы).

Условия применения. Международные нормы применяются к моторам, работающим в след. условиях.

1) **Высота.** Поскольку нет точных данных о высоте над уровнем моря, на к-рой должен работать мотор, принимается, что эта высота не должна превышать 1200 м. Для больших высот норм еще не установлено.

2) **Темпера.** В случаях превышения 40° Ц в тени м. б. применены специальные правила по соглашению между конструктором и эксплуатирующим мотор.

а) Международные режимы. Категории режимов. Существуют 2 категории международных режимов: а) международный длительный режим; б) международный часовой режим. При отсутствии др. указаний номинальная мощность ТМ является его часовой мощностью на валу.

Международный длительный режим ТМ — это тот режим, к-рый может выдержать мотор на испытательном стенде в течение неограниченного пер. без того, чтобы были превзойдены установленные пределы нагрева. При этом д. б. соблюдены и все пр. соответствующие предписания настоящих норм.

Международный часовой режим ТМ — это тот режим, к-рый может выдержать мотор на испытательном стенде в течение часа (испытание д. б. начато при холодном моторе и точно соответствовать условиям, данным ниже, без того, чтобы были превзойдены темп-рные пределы). При этом д. б. соблюдены и все пр. соответствующие предписания настоящих норм.

ДНУЗТ

Номинальным напряжением мотора является напряжение, указанное на его клеммах. Номинальное напряжение мотора — то же, что и номинальное напряжение питания тяговой сети, во всех случаях, когда мотор питается непосредственно от к-тной сети. При моторах переменного тока, питаемых через тр-р, установленный на подвижном составе, это напряжение равно 90% максимального напряжения на вторичной обмотке тр-ра при холостом ходе (включая, если они есть, проходные катушки) при питании первичной обмотки номинальным напряжением тяговой сети.

Для моторов, работающих постоянно в последовательном соединении, номинальное напряжение равно частному от деления номинального напряжения, определенного выше, на число последовательно включенных моторов.

Мощность на валу мотора. Мощностью ТМ является механическая мощность, развиваемая на валу мотора, выраженная в киловаттах.

Примечание. Мощность эл/в или м/в определяется, как сумма мощностей моторов, измеренных на валу на испытательном стенде. Номинальная мощность эл/в или м/в есть сумма часовых мощностей моторов.

Для каждой мощности эл/в или м/в, часовой или длительной, следует указывать соответствующую ей скорость, а также максимальную скорость в км/ч.

Пример. Эл/в может идти с максимальной скоростью в 100 км/ч и имеет, с одной стороны, номинальную мощность в 1400 kW при 60 км/ч и, с другой стороны, длительную мощность в 1000 kW при 70 км/ч, поэтому д. б. обозначен след. обр.: 1400 kW при 60 км/ч, 1000 kW при 70 км/ч (макс. 100 км/ч).

Число, указывающее длительную мощность, подчеркивается. При отсутствии обратного указания данные скорости считаются соответствующими максимальному полю.

б) Пределы нагрева. Классификация изоляционных материалов.

Класс 0: хлопок, шелк, бумага и т. п. органические материалы не пропитанные.

Класс А: хлопок, шелк, бумага и т. п. органические материалы пропитанные, а также вещества, смазываемые лаком и применяемые для эмалированной проволоки.

Класс В: производимые из миканита, асбеста и всех др. аналогичных материалов, содержащих агломерирующее вещество.

Когда материалы класса А применяются в небольших количествах, как несущие части, в комбинации с материалами класса В, то комбинированные материалы могут рассматриваться как изоляция класса В — при условии, что изоляция не изменяется ни с эл., ни с механической точки зрения от применения темп-ры, допущенной для изоляционных материалов класса В (слово «изменяется» применено в смысле: происходит изменение свойств, к-рое ухудшает изоляцию).

Примечание. Материал считается пропитанным, когда воздух между его волокнами вытеснен соответствующим веществом, даже в том случае, если это вещество нецеликом заполняет промежутки между изолированными проводниками. Пропитывающий материал должен обладать хорошими изоляционными свойствами, покрывать волокна, связывать их между собой и с проводником; не образовывать пустот в результате испарения растворителя или по каким-либо иным причинам, не должен течь при работе с полной нагрузкой при обусловленных темп-ных пределах, не должен перерождаться под длительным действием тепла. Термин «пропитанный» подразумевает так же и массивную пропитку обмотки.

Класс С: миканит без агломератора, фарфор, стекло, кварц и т. п. материалы.

Примечание. Классификация этих веществ временная. Обсуждается вопрос о включении их в класс В.

Изоляция, создаваемая различными материалами. В изоляции, состоящей из нескольких различных изолирующих веществ (за исключением случая, указанного для класса В), повышение темп-ры каждого из этих изоляционных веществ не должно превосходить предела, предусмотренного для этого вещества.

Примеры. а) Когда различные изоляционные материалы применены в различных частях одной и той же обмотки (напр., в пазах или в лобовых частях), пределом темп-ры для какой-либо из этих частей будет предел, предписанный для изоляции этой части.

б) Когда изоляция какой-либо части машины состоит из наложенных слоев изоляционных материалов классов А и В, то следует различать 2 случая: 1) если возможно произвести измерение темп-р в различных слоях изоляций, тогда для каждого из материалов предусматривается соответствующий ему предел темп-ры; 2) если такое измерение темп-ры не возможно, то пределом темп-ры для рассматриваемой части обмотки будет предел, установленный для изоляции с наименьшей предельной темп-рой, если только эта изоляция не играет роли несущей части или механической защиты.

Пределы нагрева. Табл. 2 и 3 дают пределы перегрева, допустимые на испытательном стенде по отношению к темп-ре окружающего воздуха (25° Ц), для

4
различных частей машины, изолированных материалами классов А и В, согласно п. «б» и «г», полагая, что испытания осуществляются в условиях, предусмотренных нормами. Для материалов классов 0 и С пока еще нет никаких пределов нагрева.

Табл. 2.

Режим	Часть машины	Изоляция	Метод измерения темп-ры	Перегрев °Ц
Длительный	Обмотки якоря и магнитов	Класс А	Сопротивление Термометр	85 65
		Класс В	Сопротивление Термометр	105 85
	Коллектор	Классы А и В	Термометр	85
Часовой	Обмотки якоря и магнитов	Класс А	Сопротивление Термометр	100 75
		Класс В	Сопротивление Термометр	120 95
	Коллектор	Классы А и В	Термометр	90
Длительный и часовой	Подшипники		Термометр	55

При согласии между заказчиком и конструктором табл. 2 м. б. заменена табл. 3.

Табл. 3

Режим	Часть машины	Изоляция	Метод измерения темп-ры	Перегрев и условия темп-ры для окружающего воздуха	
				40° Ц	25° Ц
°Ц					
Длительный и часовой	Обмотка якоря и магнитов	Класс А	Сопротивление Термометр	70 50	85 65
		Класс В	Сопротивление Термометр	90 70	105 85
	Коллектор	Классы А и В	Термометр	70	85
	Подшипники		Термометр	40	55

Примечание. Величины темп-ры подшипников установлены в 55° Ц в табл. 2 и в 40 и 55° Ц в табл. 3 и являются лишь временными в ожидании новых результатов производящихся исследований как в отношении величины допустимых нагревов, так и в отношении метода определения темп-ры.

Напряжение во время испытания на нагрев. Напряжение, приложенное к вентилируемому мотору во время испытания на нагрев, при испытании д. б. одинаково как при часовом, так и при длительном режиме и равно номинальному напряжению моторов.

ДНУЗТ

Что касается полностью герметичных моторов, то испытания часового режима должны производиться при номинальном напряжении мотора, а испытания длительного режима — при 0,75 или 0,5 номинального напряжения мотора, в зависимости от требования заказа.

Спецификация моторов с регулируемым возбуждением устанавливает возбуждение, при котором должно производиться испытание.

Вентиляция во время испытания. Испытание на нагрев производится с мотором, установленным в нормальном положении, со всеми относящимися частями, но без вентиляции, получающейся в результате движения повозки.

в) Измерение температур. Измерение темп-ры охлаждающего воздуха на время испытания на нагрев. Темп-ра охлаждающего воздуха должна измеряться при помощи термометров, расположенных в различных точках вокруг мотора на расстоянии в 1 — 2 м от него и защищенных от всякого излучения и потоков воздуха.

В случае охлаждения принудительной вентиляцией темп-рой охлаждающего воздуха считается темп-ра входящего воздуха, измеренная при входе.

За темп-ру охлаждающего воздуха во время испытания д. б. принята средняя темп-ра из отсчетов, сделанных по термометрам через различные интервалы времени в течение последней четверти пер. испытания.

Чтобы избежать всякой ошибки, могущей произойти вследствие необходимости затраты нек-рого времени на изменение темп-ры моторов больших размеров под влиянием охлаждающего воздуха, следует принимать предосторожности для уменьшения этих изменений, а также происходящих из-за них ошибок.

Метод измерения темп-р обмоток. Приняты след. методы определения темп-р обмоток¹.

1) **Метод термометра.** При этом методе темп-ра определяется при помощи термометров, устанавливаемых на доступных частях машины, немедленно после ее остановки.

2) **Метод изменения сопротивления.** При этом методе нагрев обмоток определяется по увеличению их сопротивления.

Перегрев к концу испытания определяется по след. ф-ле :

$$t_2 - t_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (234,5 + t_1) + t_1 - t_a,$$

где: t_a — темп-ра окружающего воздуха к концу испытания, t_2 — темп-ра обмотки в конце испытания, t_1 — темп-ра обмотки в холодном состоянии в момент измерения первоначального сопротивления, R_2 — сопротивление обмотки к концу испытания в омах, R_1 — первоначальное сопротивление обмотки в холодном состоянии в омах.

Первоначальное сопротивление. Раньше чем приступить к испытанию ТМ на нагрев, необходимо удостовериться, что обмотки имеют одинаковую с окружающей средой темп-ру (в пределах 4°). В случае, если темп-ра окружающего воздуха выше 40° , то м. б. предприняты особые мероприятия по соглашению между поставщиком и заказчиком.

Замечание. Хотя табл. 2 дает допустимые нагревы при 2 методах измерения (термометром и изменением сопротивлений), однако же, как правило, применяется метод измерения темп-ры по изменению сопротивлений. Соотношение между темп-рами, определенными тем и др. методом, не м. б. заранее определено. Разница между величинами нагрева, данными в табл., — средняя и может варьировать в широких пределах в зависимости от типов и размеров моторов. Для моторов больших размеров с распределенными обмотками применение метода изменения сопротивлений может оказаться практически затруднительным. В этом случае прибегают к помощи термометра².

Что касается средних типов моторов, где оба метода измерения могут дать точные измерители, то темп-рами, полученными термометром и превосходящими указанные в табл. нагревы, следует пренебречь, если эти темп-ры по термометру не будут выше полученной методом изменения сопротивлений.

Измеряя темп-ру якоря ТМ постоянного тока методом изменения сопротивлений можно, как показывает опыт, получить достаточные результаты, соблюдая, чтобы измерения до и после испытания на нагрев производились между одними и теми же пластинами коллектора и непосредственно на коллекторе при поднятых щетках.

¹ Несмотря на свою научную ценность, метод измерения темп-ры термометрами до сих пор не принимается в расчет.

² Случаи моторов с параллельной обмоткой якоря и однофазных моторов с сопротивлениями в роторе являются предметом дальнейшей работы МЭЖ.

Ток д. б. доведен до одной и той же величины при обоих измерениях, до и после испытания, а падение напряжения должно измеряться между той же парой пластин, к к-рым подведен ток. Необходимо иметь 2 пары различных к-тов для определения напряжения и для подвода тока.

При измерении сопротивления в холодном и горячем состоянии методом вольтметра и амперметра должен применяться ток примерно в 20% тока часового режима.

г) **Испытание диэлектрической крепости.** Испытательное напряжение д. б. приложено между обмотками и остовом. Оно должно применяться лишь в новой и комплектной машине, со всеми установленными частями, в условиях, эквивалентных нормальной эксплуатации.

Испытание должно производиться на з-дах после испытания на нагрев (при темп-ре обмоток ок. 75° Ц) и на разнос.

Испытательное напряжение д. б. переменное и иметь кривую, как можно более приближающуюся к синусоиде при частоте тока в 45—100 пер/сек.

Испытания начинают с напряжения меньше $\frac{1}{3}$ испытательного напряжения и постепенно повышают его до полной величины. Полное напряжение должно в течение 60 сек. поддерживаться в $2E+1500$ V при минимуме в 2500 V, где E —номинальное напряжение питания тяговой сети.

Для моторов переменного тока, питаемых от тр-ра, расположенного на повозке, E будет наиболее высоким напряжением, к-рое возможно подать к мотору через тр-р (понятно, через переходные катушки, если таковые имеются) в то время, когда первичная его обмотка находится под номинальным напряжением тяговой сети.

При нек-рых специальных обстоятельствах, по соглашению между поставщиком и заказчиком, ф-ла $2E+1500$ V м. б. заменена ф-лой $4E$.

д) **Испытания коммутации.** Испытания коммутации производятся на горячем моторе после испытания на нагрев при часовом режиме.

Для производства каждого испытания вращают мотор при режимах, указанных в табл. 4, в течение 30 сек. в том и др. направлении вращения.

Конструктор имеет право требовать, чтобы между двумя последовательными пер. (по 30 сек. каждый) работы в противоположных направлениях мотор в течение 5 мин. работал при силе тока ниже или (как максимум) равной силе тока, соответствующей часовому режиму, и нормальном напряжении. Направление вращения должно при этом соответствовать направлению во 2-й пер. в 30 сек. Это делается для обеспечения лучшего прилегания щеток.

В промежуток между двумя пер. хода в различных направлениях щетки смещать не следует.

Каждое из этих испытаний мотор должен переносить без остаточных механических повреждений и кругового огня.

Под остаточными подразумеваются повреждения, могущие помешать безупречной работе мотора в дальнейшем, по окончании испытания.

Табл. 4. Испытание коммутации моторов постоянного и переменного тока

Тип мотора	№ испытания	Напряжение	Сила тока	Возбуждение	Примечание
а) Нормальные моторы	I. Моторы постоянного тока				
	1	E	$0,5I$	Полное	Сила тока д. б. установлена так, чтобы не переходить предельное число оборотов, предусмотренное для испытания на разнос
	2	$1,25E$	I		Напряжение д. б. уменьшено, если необходимо, так, чтобы не превзойти предельного числа оборотов, предусмотренного для испытания на разнос
	3	E	$2I$		

НТБ
ДНУЗТ

Продолжение табл. 4

Тип мотора	№ испытания	Напряжение	Сила тока	Возбуждение	Примечание
б) Моторы с регулируемым возбуждением	4 5 6	E $1,25E$ E	$0,5I$ I $2I$	При минимальном допустимом возбуждении, требуемом по заказу при данной силе тока	См. испытание 1 См. испытание 2
в) Моторы, работающие всегда соединенными последовательно по n шт. без механического сцепления		$1,5 \frac{E}{n}$	$0,6I$	При полном возбуждении	
г) Моторы, могущие работать при рекуперации *	8				
д) Моторы для эл. торможения *	9				
II. Моторы переменного тока (однофазн. коллект.)					
а) Моторы нормальные	10 11 12	E $1,10E$ $0,75E$	$0,5I$ I $1,7I$		См. испытание 1
б) Моторы, работающие всегда соединенными последовательно по n шт. без механического сцепления	13	$1,33 \frac{E}{n}$	I		Число оборотов ограничивается в 1,35 числа, соответствующего максимальной указанной скорости локомотива или м/в
<p>E — номинальное напряжение мотора, I — сила тока, соответствующая часовому режиму.</p>					

* Спецификация испытания остается открытой до нового указания. Для испытания при сверхтоке берется напряжение, номинальное для работы при рекуперации, какое указано в заказе, и испытание производится над мотором, работающим в качестве генератора, а не мотора.

е) Испытание пуска. Моторы постоянного тока и 3-фазные. Заторможенный мотор подвергается в течение 1 мин. действию тока, равного минимум 1,7 силы тока, соответствующей часовому режиму; кроме того для 3-фазного мотора ток д. б. нормального напряжения.

Это испытание должно производиться 4 раза с промежутками по 5 мин. и поворачивая каждый раз якорь в одном и том же направлении на $\frac{1}{4}$ полюсного шага.

После испытания на коллекторах моторов постоянного тока не д. б. никаких следов подгара.

Моторы однофазного тока. а) Заторможенный мотор с нормальными пусковыми соединениями подвергается в горячем состоянии в течение 10 сек. силе тока, равной минимум 1,7 силы тока, соответствующей часовому режиму. б) Мотор, вращающийся с уменьшенной скоростью (максимум в 3% максимальной скорости вращения мотора), подвергается в горячем состоянии в течение 1 мин. силе тока, равной минимум 1,7 силы тока часового режима. Это же испытание повторяется и при ходе мотора в обратную сторону. Эти испытания должны оставлять на коллекторе лишь такие следы, к-рые исчезают после нескольких часов работы.

ДНУЗТ

ж) **Испытание на разнос.** Случай, когда в заказе м. б. указана максимальная угловая скорость в нормальной эксплуатации. Каждый мотор д. б. в состоянии перенести в течение 2 мин. после испытания на нагрев угловую скорость, равную 1,25 скорости, соответствующей максимальной скорости локомотива или м/в.

Моторы, снабженные специальными автоматическими приспособлениями, препятствующими разному, подвергаются при испытании на разнос лишь угловой скорости, равной числу оборотов, соответствующему максимальной регулировке защитного аппарата.

Случай, когда максимальная скорость не м. б. указана в заказе. Максимальной угловой скоростью является скорость, указанная конструктором для нормальной работы.

Каждый мотор д. б. в состоянии выдержать в течение 2 мин. после испытания на нагрев угловую скорость, равную 1,25 угловой скорости, указанной для нормальной работы.

Результаты испытания на разнос. После испытания на разнос моторы не должны иметь никаких остаточных деформаций и должны успешно пройти испытания на диэлектрическую крепость и коммутацию.

з) **Унификация номинальных напряжений для питания тяговых сетей.** Унифицированными величинами для номинального напряжения тяговой сети являются след. величины, к-рые приняты смешанным комитетом по тяге в целях нормализации.

Табл. 5. Унифицированные величины и пределы колебаний нормальных напряжений тяговых сетей (V)

	Минимум	Нормальное напряжение	Максимальное напряжение
Сети постоянного тока	400	600	720
	500	750	900
	800	1200	1400
	1000	1500	1800
	1600	2100	2800
	2000	3000	3600
			11000
Однофазные сети (америк. практика)	12000	15000	16500
3-фазные сети	2800	3400	4000

Рекомендуется для ж.-д. тяговых установок местного значения и в трамваях в будущем номинальное напряжение постоянного тока принимать в промежутке 750—1500 и 3000 V.

Рекомендуется для сооружаемых впредь в Европе однофазных тяговых установок заменить напряжение в 11 000 V напряжением в 15 000 V.

2. НОРМЫ АМЕРИКАНСКОГО ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ-ЭЛЕКТРИКОВ

(приняты 25 июня 1935 г.)

а) **Область применения.** Эта часть норм применяется к ТД постоянного тока и к ТД переменного тока. Последние не охватываются во всех деталях, но что касается мощности этих дв-лей, превышения темп-ры и диэлектрических испытаний, то эти величины должны отвечать настоящим нормам.

б) **Условия эксплуатации.** Предельные темп-ры в ТД в эксплуатации и и. Срок службы изоляции зависит как от темп-ры, так и от времени. Темп-ры, к-рые обеспечивают удовлетворительный срок службы изоляции при продолжительной работе дв-ля, м. б. превзойдены в отдельные короткие промежутки времени без заметного ухудшения изоляции. Вообще нельзя провести резких границ между опасной и безопасной рабочими темп-рами.

Эти факторы учитываются при установлении предельных темп-р для ТД, для к-рых тесные габариты и стоимость перевозки мертвого груза заставляют уменьшать размеры и вес до минимума. Темп-ра ТД в эксплуатации колеблется в широких пределах, но обычно дв-ли работают при темп-ре значительно ниже максимальной.

ДНУЗТ

Принимая во внимание многие переменные и неопределенные факторы, влияющие на темп-ру ТД в эксплуатации, невозможно указать твердые рабочие темп-ры. В табл. 6 приводятся рекомендуемые максимальные рабочие пределы темп-р на основании наблюдений за темп-рой ТД.

Табл. 6. Предельные температуры, рекомендуемые для эксплуатации ТД (на основании наблюдений)*

Метод определения темп-ры	Максимальные величины °Ц		Нормальные величины °Ц	
	по сопротивлению	по термометру	по сопротивлению	по термометру
Изоляция класса А	125	105	110	90
» » В	145	120	130	105

* Ин-т учитывает возможности э-дов удовлетворительно применять изоляцию класса В в нек-рых типах ТД для темп-р выше, чем они даны в табл. 6. Однако за неимением достаточных данных относительно этих темп-р, к-рые были бы подтверждены опытом ряда лет, ин-т принимает величины, указанные в табл. 6, как измененные пределы, и увеличение этих значений д. б. предметом специальной гарантии со стороны э-да.

Под максимальными величинами подразумеваются те, к-рые обычно имеют место при максимальной нагрузке дв-ля и при самой высокой темп-ре охлаждающего воздуха.

Под нормальными значениями подразумеваются те, к-рые имеют место при нормальной работе дв-ля и при темп-ре охлаждающего воздуха в 25° Ц.

Очевидно, что максимальная внутренняя темп-ра является основным фактором, влияющим на скорость разрушения изоляции.

Практически самое точное измерение этих максимальных темп-р достигается методом сопротивления. Однако в эксплуатации измерение темп-ры методом сопротивления слишком затруднительно; поэтому темп-ра дв-ля определяется обычным термометром. Темп-ры, к-рые должны определяться методом сопротивления, м. б. приближенно определены прибавлением к темп-рам, полученным при помощи термометра, проц., отвечающего разнице в измерении темп-р методом термометра и методом сопротивления при стендовых испытаниях. В табл. 7 приводятся максимальные темп-ры для обоих методов, — как по сопротивлению, так и по термометру. Одинаковая разница дается для каждого класса изоляции, что отвечает обычным результатам испытания типовых дв-лей.

Необычные условия эксплуатации. Применяя дв-ль в эксплуатации на высоте большей, чем 1000 м, при оценке его рабочей темп-ры необходимо внести соответствующее исправление. Необходимо принять во внимание, что превышение темп-ры увеличивается на 1% на каждые 100 м (330 фт.) сверх высоты 1000 м.

Максимальное эксплуатационное напряжение. В эксплуатации дв-ли должны работать удовлетворительно при напряжении, не превышающем номинальные напряжения свыше 10%, но необязательно в соответствии с нормами, установленными для работы при нормальном напряжении¹.

в) Определения. Данные здесь определения относятся специально к машинам, разбираемым в этом отделе.

Дв-ль является машиной, к-рая преобразует эл. энергию в механическую.

Типы ТД. Существуют 2 обычных типа ТД: а) постоянного тока, обычно последовательного возбуждения, и б) переменного тока, обычно или индукционные, или однофазные коллекторные.

ТД постоянного тока с регулировкой возбуждения — это дв-ль, в к-ром предусмотрена возможность работы с двумя или более различными числами эффективных витков возбуждения. Такое изменение силы поля м. б. выполнено или выключением части витков поля шунтировкой, или сериес-параллельным переключением поля. Сила поля такого дв-ля м. б. обозначена символами *FS-1*, *FS-2*, *FS-3* и т. д.; первое означает максимальное поле, остальные — соответственно след. ступени. Это относится к силе поля, а не к обозначениям кабелей дв-ля.

¹ Это не относится к регенеративному или к какому-либо другому динамическому оборудованию.

НТБ
ДНУЗТ

Совершенно закрытый дв-ль. Совершенно закрытый дв-ль не допускает обмена между наружным и внутренним воздухом, однако он не является герметически закрытым.

Вентилюемый дв-ль. Вентилюемым (или вентилирующимся) дв-лем наз. такой дв-ль, через к-рый прогоняется наружный охлаждающий воздух. Этот общий тип дв-ля м. б. далее классифицирован так:

Самовентилюемый дв-ль. В самовентилюемом дв-ле циркуляция вентилирующего воздуха осуществляется вентилятором, представляющим собой составную часть самого дв-ля.

Дв-ли с независимой вентиляцией. В дв-ль с независимой вентиляцией вентилирующий воздух подается от независимого вентилятора, расположенного вне дв-ля.

г) **Мощность.** Определение мощности.

В этом разд. норм режим ТД характеризуется з-дскими данными отдаваемой или потребляемой мощности, а равно скорости, напряжения и силы тока.

Вышеуказанный режим следует считать испытательным, к-рым определяется потребляемая или отдаваемая мощность, не превышающая максимальной подводимой или отдаваемой при испытании в соответствии с этими нормами.

Различаются след. режимы мощности¹ для ТД.

Часовая мощность. Часовой мощностью ТД наз. отдача на валу дв-ля, измеренная в л. с. (или kW), к-рую дв-ль может развивать при испытании на стенде в течение 1 ч., будучи холодным перед пуском, при номинальных напряжении и частоте (в случае дв-лей переменного тока) с системой вентиляции такой же, как и в эксплуатации, без превышения предельных темп-р, данных в табл. 7.

Длительная мощность вентиляруемого ТД — это отдача на валу дв-ля, измеренная в л. с. (или kW), к-рую дв-ль может развивать в течение неограниченного времени при испытании на стенде, при номинальных напряжении и частоте (в случае дв-лей переменного тока) с системой вентиляции такой же, как и в эксплуатации, без превышения предельных темп-р, данных в табл. 7. Для вентиляруемых ТД постоянного тока м. б. также дана длительная мощность в амперах для полного, трехчетвертного и половинного от номинального напряжений.

Длительная мощность совершенно закрытого ТД постоянного тока д. б. дана в амперах при трехчетвертном и половинном от номинального напряжений.

Номинальная мощность. В случае отсутствия какого-либо обозначения рода мощности под последней должно понимать часовую мощность.

Мощность дв-ля постоянного тока с регулировкой возбуждения должна относиться к работе дв-ля с тем соединением поля, к-рое дает максимальную мощность (это обычно соответствует минимальному полю). Каждая ступень обмотки возбуждения д. б. способна производить работу, для к-рой она предназначена, без превышения обусловленной темп-ры.

д) **Нагревание.** Предельные превышения темп-ры дв-лей при часовой и длительной мощностях. Превышение темп-ры любой из различных частей ТД над темп-рой охлаждающего воздуха при испытании в соответствии с мощностью не должно превосходить величин, данных в табл. 7. Несмотря на то, что предельные темп-ры в этих нормах даются для 2 методов измерений (метод сопротивления и метод термометра), метод измерения темп-ры по сопротивлению рассматривается как основной.

Отношение величины, полученной методом термометра, к величине, определенной по сопротивлению, не является постоянным. Разница между двумя величинами, данная в табл. 7, является только средней разницей и может колебаться в широких пределах для различных типов и размеров дв-лей.

Для нек-рых крупных дв-лей с распределенной обмоткой метод сопротивления не м. б. применен, следовательно, будет необходимо измерение темп-ры термометром. На средних типах дв-лей, где м. б. правильно применены оба метода, темп-рой измерений по термометру, превосходящей величины табл. 7 (для метода термометра), необходимо пренебречь, если только темп-ра по термометру не выше, чем полученная по сопротивлению.

¹ Мощность эл. локомотивов определяется часовой и длительной мощностями их дв-лей. В соответствии с этим величины часовой и длительной силы тяги на ободу колеса определяются вычитанием величин соответствующих потерь в передаче от вала ТД до ведущих колес. Скорости различных режимов эл. локомотивов также д. б. отнесены к соответствующим скоростям ТД.

ДНУЗТ

Табл. 7

Деталь	Тип	Употребляющиеся методы определения темп-ры	Предельное превышение темп-ры °Ц			
			часовая мощность		длительная мощность	
			изоляция класса А	изоляция класса В	изоляция класса А	изоляция класса В
1. Обмотка якоря и полюсов	Вентиляро-	По сопротивлению	100	120	85	105
		По термометру	80	95	65	80
	Совершенно закрытые	По сопротивлению	110	130	95	115
		По термометру	90	105		90
2. Сердечники и мех-части, соприкасающиеся или расположенные в соседстве с изоляцией	Вентиляро-ванные	По термометру	80	95	65	80
	Совершенно закрытые *	По термометру	90	105	75	90
3. Коллектор	Вентиляро-ванные	По термометру	95	110	80	95
	Совершенно закрытые *	По термометру	105	120	90	105

* Повышение темп-ры совершенно закрытых дв-лей берется на 10° Ц выше, чем у вентилярованных, т. к. охлаждение во время испытаний на стенде хуже, чем охлаждение в эксплуатации.

Отдельные части (такие, как щеткодержатели, щетки, полюсные наконечники и т. д.), в отличие от таких деталей, к-рые по своему местоположению могут оказать вредное действие на прилегающие слои изоляции, могут достигать таких темп-р, к-рые не окажутся вредными в каких-либо др. отношениях.

Метод сопротивления для определения темп-ры заключается в определении ее путем сравнения сопротивления при определяемой темп-ре с сопротивлением при известной темп-ре.

Метод измерения сопротивления. У серийных дв-лей сопротивление обмоток обычно мало (менее, чем 1,0 Ω); для измерения таких сопротивлений рекомендуются 2 метода: двойного мостика Кельвина (Томсона) и вольтметра. Оба метода требуют точных приборов.

Условия и методы производства теплового испытания. Величины темп-ры охлаждающего воздуха в течение испытания. Испытание м. б. произведено при темп-ре охлаждающего воздуха предпочтительно не ниже 10° Ц. Должно принять, что превышение темп-ры — одно и то же при всех темп-рах охлаждающего воздуха в пределах от 10 до 40°.

Место для испытания дв-ля. Испытание дв-ля для определения или проверки мощности и др. требований должно производиться на з-де при обычном оборудовании испытательного стенда, если специально не оговорено противное.

ДНУЗТ

В ы с о т а. На номинальную мощность в соответствии с этими нормами дв-ли м. б. испытываемы на любой высоте, не превышающей 1000 м, без поправки к наблюдаемым превышениям темп-ры.

В е н т и л я ц и я дв-лей во время испытания. Дв-ли должны испытываться с крышками и с охлаждающей системой, если возможно — смонтированными так же, как и в эксплуатации. Т. к. одни и те же дв-ли в отношении вентиляции могут работать при различных условиях, необходимо в каждом таком случае определить систему вентиляции. Для дв-лей, охлаждаемых наружным вентилятором, д. б. дано количество воздуха, при к-ром рассчитана мощность.

Ни в коем случае во время стендовых испытаний не д. б. движения или циркуляции воздуха, имитирующего действительные условия эксплуатации.

М е т о д ы нагрузки ТД для тепловых испытаний. Приняты 2 метода нагрузки ТД: 1) вращение такой же или более крупной единицы, работающей в качестве генератора; 2) взаимная нагрузка одного дв-ля на такой же с эл. покрытием потерь.

И з м е р е н и е темп-ры охлаждающего воздуха в течение испытания.

1) **Р а з м е щ е н и е** термометров. а) Темп-ра охлаждающего воздуха вне дв-ля, если он не оборудован подводными трубами или каналами, должна измеряться несколькими термометрами, расположенными в различных местах вокруг дв-ля на половине его высоты, на расстоянии 1—2 м, и защищенными от тяги воздуха и от ненормального теплового излучения предпочтительно так, как указано ниже (см. п. «б»). б) Для определения превышения темп-ры совершенно закрытых частей при охлаждении дв-ля, оборудованного подводными трубами или каналами, темп-ра охлаждающего воздуха должна измеряться в системе подводных труб на расстоянии не менее 1 м от самой машины.

2) **П р и м е н е н и е** сосудов с маслом¹. Чтобы избежать ошибок вследствие сдвига во времени между темп-рой крупной машины и изменяющейся темп-рой охлаждающего воздуха, д. б. приняты все необходимые предосторожности для уменьшения этих изменений и происходящих отсюда ошибок. Т. о., если охлаждающий воздух является предметом таких изменений, к-рые м. б. результатом ошибки в определении превышения темп-ры, термометр для измерения темп-ры охлаждающего воздуха д. б. погружен в подходящую жидкость, напр., масло, в тяжелом металлическом сосуде.

3) **С р е д н я я** темп-ра охлаждающего воздуха в течение испытания является средней величиной из показаний термометров, размещенных, как указано в п. «а», при чем эти показания снимаются через равные промежутки времени в течение последней четверти времени испытания.

З а щ и т а шарика термометра. Шарик термометров, употребляющихся для измерения темп-ры, д. б. защищены войлоком или фетром, приклеенным к машине масляной замазкой или бумажными концами. Размеры войлока для измерения темп-ры во время испытания крупных машин д. б. 40 × 50 × 3 мм.

И з м е р е н и е темп-ры дв-ля во время испытаний по методу термометра должно производиться при испытаниях и после выключения³ дв-ля, насколько это окажется необходимым. Для оценки принимается наивысшее полученное значение темп-ры. Темп-ры неподвижных обмоток ТД надо брать по методу вольт-амперметра не более, чем за 1 мин. до выключения дв-ля.

Н а ч а л ь н а я темп-ра двигателя при испытании часовой темп-ры. Испытания дв-ля на часовую темп-ру должны начинаться только при

¹ Удобной формой такого сосуда для масла является металлический цилиндр с отверстием, просверленным на небольшую глубину. Это отверстие заполняется маслом, и термометр помещается в нем так, чтобы его шарик был целиком погружен. Чувствительность термометра к различным скоростям изменения темп-ры будет сильно зависеть от размеров, материала и массы сосуда и м. б. впоследствии отрегулирована подгонкой количества масла в сосуде. Чем крупнее машина находится в испытании, тем крупнее д. б. металлический цилиндр, примененный в качестве сосуда с маслом для определения темп-ры охлаждающего воздуха. Самый маленький сосуд для масла, применимый в каких-либо случаях, должен представлять металлический цилиндр 25 мм диам. и 50 мм высотой.

² Выбор наиболее подходящего метода защиты термометра в практике зависит от след. Если наблюдается темп-ра в течение хода испытания и термометр подвергается влиянию движущегося воздуха, то термометр д. б. защищен хорошей теплоизоляцией; главной целью закрытия является защита шарика термометра от охлаждающего воздуха; если наблюдается темп-ра в течение испытания термометром, находящимся в спокойном воздухе, или после окончания испытания, то в этом случае задачей закрытия термометра является улучшение контакта между шариком термометра и поверхностью, темп-ра к-рой измеряется.

³ Момент выключения определяется как момент снятия нагрузки с дв-ля.

ДНУЗТ

условии, если темп-ра обмоток и др. частей машины отличается от темп-ры охлаждающего воздуха в момент начала испытаний не более, чем на 5° Ц.

Продолжительность теплового испытания дв-ля при определении его продолжительной мощности. Темп-рные измерения должны продолжаться до тех пор, пока поднимается темп-ра, т. е. пока не установится темп-ра постоянного конечного значения, или пока не будет достаточно очевидно, что повышение темп-ры не выйдет из пределов, установленных нормами, если испытание и будет продолжено до достижения постоянного конечного значения темп-ры.

Сокращение времени темп-рных исследований для определения продолжительной мощности дв-ля. Для сокращения длительности времени, необходимого для достижения постоянной темп-ры, можно давать в пер. предварительного подогрева дв-ля умеренные перегрузки.

Выключение машины. Рекомендуется применение вспомогательных средств для ограничения времени останова дв-ля в указанных ниже пределах: для дв-ля мощностью до и включая 100 НР (часовая мощность)—1 мин., для дв-ля мощностью более 100 НР (часовая мощность)—2 мин.

Принудительная вентиляция должна прекращаться с момента выключения.

Правила внесения поправки на время выключения. Если указанные выше предосторожности при выключении были приняты и если определение сопротивления обмоток было произведено в пер. 3 мин. после выключения, то нет никакой необходимости для внесения поправок в наблюдаемые темп-ры.

Если же это время больше, то полученные значения темп-ры д. б. исправлены и отнесены к моменту выключения. Это можно определить приближенным методом, нанеся кривую темп-р и откладывая по оси ординат темп-ры, а по оси абсцисс—время и затем экстраполируя назад, ко времени выключения.

е) **Коэффициент полезного действия.** Определение понятия. Кпд ТД представляет собою отношение отдаваемой мощности на валу дв-ля к мощности, подводимой к клеммам дв-ля.

Рекомендуемый метод определения кпд¹. Косвенный метод определения кпд получается из определения составляющих потерь, большинство к-рых м. б. точно определено, а остальные из них выражаются нек-рыми условными значениями. Кпд, определяемый этим путем, представляет собой отношение отдаваемой мощности к сумме отдаваемой мощности и потерь или отношение разности подводимой мощности и потерь к величине подводимой мощности.

Нормальные условия для нахождения и расчета кпд косвенным методом: а) напряжение—кпд должен определяться для номинального значения напряжения; б) нагрузка—когда кпд определен без особых пояснений об условиях нагрузки; в) относительная темп-ра; — кпд всех аппаратов при всех нагрузках д. б. приведен к относительной темп-ре 75° Ц, но испытания могут производиться при любой подходящей темп-ре охлаждающего воздуха, однако предпочтительно не ниже 10° Ц.

Потери, подлежащие рассмотрению, и их определение².

Определение косвенным методом потерь ТД постоянного тока должно суммироваться из след. величин: а) джоулевы потери в обмотках якоря и полюсов; б) потери на трение щеток, трение в подшипниках якоря и трение о воздух; в) потери холостого хода в сердечнике; г) переходные потери коллектора в к-те щеток; д) дополнительные потери (табл. 8).

Потери д. б. измерены, рассчитаны или условно приняты на основании разъяснений, данных ниже.

Джоулевы потери определяются на основе измерения тока и измерений величины сопротивления и пересчета последней на 75° Ц.

Потери на трение в щетках, на трение в якорных подшипниках и на сопротивление воздуха м. б. в целом получены

¹ За исключением малых машин, метод определения кпд прямыми измерениями подводимой и отдаваемой мощностей непрактичен, если не хотят ставить чрезмерно дорогих измерений, и это относится особенно к ТД. Рекомендуется применение косвенного метода определения кпд. Большинство потерь дв-ля поддается точным измерениям. Те же из них, величины к-рых берутся условно, настолько близки к действительным, что проц. ошибки в определении кпд очень мал. Благодаря высокому кпд обычно ошибка в измерении или определении одной или многих величин потерь оказывает значительно меньший эффект на кпд, полученный косвенным методом, чем та же самая частичная ошибка, к-рая может получиться при измерении отдаваемой или подводимой мощности.

² Когда требуется определение кпд дв-ля, включая и потери в зубчатой передаче, то эти потери следует прибавить к потерям, перечисленным выше. Для одноступенчатой передачи рекомендуется принимать величины потерь, данные в табл. 9.

при условии, что при производстве испытаний дв-ль работает без зубчатой передачи. Род щеток и их давление на коллектор д. б. те же самые, что и в промышленной эксплуатации. Дв-ль пускается без нагрузки, как серийный, при пониженном напряжении. Производство эдс якоря на силу тока при каждой скорости будет равно сумме указанных потерь при данной скорости.

Потери холостого хода в железе¹ на трение щеток, трение в якорных подшипниках и на сопротивление воздуха определяются в целом и из след. условий: при производстве испытаний дв-ли должны работать без зубчатой передачи; род и давление щеток д. б. такими же, как и при промышленной эксплуатации; при независимом возбуждении к зажимам якоря д. б. приложено такое напряжение, к-рое даст при всякой данной силе тока возбуждения ту же скорость вращения якоря, какая получается под нагрузкой при соответствующей силе тока возбуждения и при нормальном напряжении. Сумма перечисленных выше потерь равна произведению противоэдс на силу якоря.

Потери в железе при холостом ходе получаются вычитанием из общих потерь, полученных указанным способом, мощности, потребной для вращения дв-ля при соответствующей скорости, как это было определено выше.

Потери в к-те щеток. В качестве стандартного падения напряжения при определении потерь в к-те щеток для угольных и графитовых щеток должно приниматься полное падение напряжения в 3 V при условии отсутствия соединительных проводников. При наличии соединительных проводников полное падение напряжения принимается в 2 V

Табл. 8. Дополнительные потери при нагрузке

Величина подведенной мощности в проц. от номинальной часовой мощности	Дополнительные потери в проц. от потери в железе при холостом ходе
200	65
150	45
100	30
75	25
50	23
25 и ниже	22

ж) Испытание электрической прочности. Нормы испытательного напряжения. Эл. прочность дв-ля испытывается переменным током промышленной частоты— напряжением, составляющим по нормам удвоенное номинальное напряжение дв-ля плюс 2000 V.

Испытание машины в собранном виде. В том случае, когда машина, состоящая из деталей с разной эл. прочностью, испытывается в собранном виде как одно целое, напряжение при испытании берется на 15%

ниже того, к-рое соответствует детали, наименее прочной в эл. отношении.

Продолжительность испытания напряжения. При испытании машина должна находиться под напряжением непрерывно в течение 60 сек.

Состояние испытываемых дв-лей. Промышленные испытания должны производиться над полностью собранным дв-лем, а не над отдельными его деталями. Дв-ль д. б. в хорошем состоянии, и испытание в н, если это не обусловлено иначе, должно производиться до выпуска дв-ля в эксплуатацию и не должно производиться при условии, если сопротивление изоляции понижено вследствие грязи или сырости.

Испытание в/н, имеющее целью удостовериться, выполнены ли нормы, допустимо только для новых дв-лей.

Место испытания в н. Если это не обусловлено иначе, то испытание в/н должно производиться на з-де.

Темп-ра при испытании в/н. Испытания в/н должны производиться или при нормальной для условий работы дв-ля темп-ре, или при той темп-ре, к-рой дв-ль достигает во время з-дских испытаний.

Место приложения напряжения. Испытательное напряжение д. б. прилагается последовательно между всеми эл. цепями и металлическими заземленными частями.

Частота и форма кривой при испытаниях высоким потенциалом. Общее: форма кривой напряжения, к-рым производится испытание эл. прочности, должна удовлетворять принятым промышленным нормам, т. е. иметь отклонения, не выходящие за пределы, указанные в нормах для альтернаторов. Кривая испытательного напряжения должна иметь амплитуду, равную квадратному корню из удвоенной величины напряжения, принятого при испытании.

Частота испытательного напряжения машины с номинальным напряжением меньше 5000 V м. б. любой в пределах 25 ÷ 60 Hz.

¹ Для дв-лей, предназначенных для работы при переменном поле, потери холостого хода в железе принимаются одинаковыми для всех значений величины поля. Они равны ср.-арифметическому из потерь холостого хода при максимальной и минимальной величинах силы поля.

Частота испытательного напряжения машины с номинальным напряжением 5000 V и выше д. б. не меньше, чем номинальная частота тока машины.

Измерение напряжения при испытании. Для ТД должен применяться метод вольтметра.

При измерении напряжения вольтметром прибор д. б. включен в в/в цепь или непосредственно, или через тр-р напряжения, или при помощи специальной вольтметровой катушки на испытательном тр-ре.

з) Сопротивление изоляции. Сопротивление изоляции машины — величина, определенная по сравнению с величиной эл. прочности. Она подвергается широким изменениям в связи с темп-рой, влажностью и чистотой отдельных деталей. Когда сопротивление изоляции падает ниже предписанных значений, оно в большинстве случаев при хорошей конструкции и при условии отсутствия повреждений м. б. поднято до величины, требуемой нормами, с помощью очистки и просушки машины.

Сопротивление изоляции представляет менее полезный показатель для того, чтобы убедиться, что машина по своему состоянию подходит для испытания в/н, но этот показатель не следует рассматривать как требования норм.

Минимальная величина сопротивления. Сопротивление изоляции машины при ее рабочей темп-ре д. б. не менее величины, получаемой из след. ф-лы:

$$\text{сопротивление изоляции в } \text{M}\Omega = \frac{\text{номинальное напряжение в } V}{\text{мощность в } \text{kW} + 1000}.$$

Испытание сопротивления изоляции д. б. произведено со всеми цепями, имеющими равный по отношению к земле потенциал и соединенными вместе. Цепи или группы цепей, имеющие различный по отношению к земле потенциал, д. б. испытаны отдельно.

и) Характеристики тяговых двигателей. Характеристики ТД д. б. построены в зависимости от силы тока, откладываемой по оси абсцисс; по оси ординат откладываются значения тягового усилия, скорости и кпд. В случае ТД переменного тока по ординатам д. б. еще построены значения коэф-та мощности.

Заголовок кривых должен содержать указание на номинальное напряжение, силу тока и мощность в л. с. на валу дв-ля при часовой и длительной номинальной мощности, а также диам. колес ската и коэф-т зубчатой передачи. Кривые д. б. обозначены: кпд с учетом зубчатой передачи, тяговое усилие и скорость.

Напряжение. Характеристики ТД постоянного тока д. б. отнесены к полному номинальному напряжению.

Для дв-лей с регулировкой поля возбуждения характеристики должны даваться для всех рабочих соединений катушек возбуждения.

к) Потери в движущем механизме. Потери в зубчатой передаче и осе-моторных подшипниках. Потери в зубчатой передаче и осе-моторных подшипниках для индивидуальных дв-лей с одноступенчатой передачей изменяются в зависимости от типа дв-ля, механического выполнения, срока работы и смазки. На основе накопившихся исследований для индивидуальных ТД с одноступенчатой передачей должны применяться след. значения потерь (табл. 9).

Табл. 9. Потери в осе-моторных подшипниках и одноступенчатой зубчатой передаче тяговых двигателей

Подведенная мощность в проц. от часовой номинальной мощности	Потери в проц. от подведенной мощности
200	3,5
150	3,0
125	2,9
100	2,5
75	2,5
60	2,7
50	3,2
40	4,4
30	6,7
25	8,5

Примечание. Дальнейшие исследования могут выявить желательность получения отдельных значений потерь для максимального и ослабленного полей возбуждения или для дв-лей тихоходных и быстроходных.

3. НОРМЫ СССР

Нормы IX ВЭС СССР. Эти нормы в настоящее время пересматриваются. В части нагрева нормы совпадают с международными. Испытание коммутации производится током 2I в течение 60 сек. Испытание на разнос при числе оборотов $n_{исп}$ испытываемого мотора в 1,1 максимального конструктивного числа оборотов производится в течение 2 мин. Испытание диэлектрической прочности производится напряжением 3E или 2E 1000 V в течение 1 мин.

Характеристики дв-ля строятся в пределах величин двойной часовой силы тока — двойной часовой скорости и относятся к темп-ре ниже предельной на 15°

НТБ
ДРУЗТ

Д о п у с к и. Характеристики могут различаться от гарантированных не более, чем на $\pm 5\%$. Разница в числе оборотов в разные стороны вращения не должна превышать 2% . Отклонение от гарантированного КПД не должно превышать величины $\pm \frac{1-\eta}{10}$, где η — гарантированный КПД.

Разработанные Главэнергопромом (з-д «Динамо» им. Кирова) новые нормы должны заменять нормы IX ВЭС (табл. 10).

Табл. 10. Предельные перегревы

Деталь	Вентиляция	Метод измерения	Допустимый перегрев в °C			
			часовой режим		длительный режим	
			класс А	класс В	класс А	класс В
Обмотки якоря и катушек	Независимый	Сопротивление Термометр	100 80	120 95	100 80	120 95
	Самовентилир.	Сопротивление Термометр	100 80	120 95	85 65	105 85
	Закрытый	Сопротивление Термометр	110 90	130 105	95 75	115 90
Железо якоря Бандажи и пр. части соприк. с обмоткой	Независимый	Термометр	80	95	80	95
	Самовентилир.	»	80	95	65	80
	Закрытый	»	90	105	75	90
Коллект.	Независимый	Термометр	95	110	95	110
	Самовентилир.	»	95	110	80	95
	Закрытый	»	105	120	90	105

Примечания 1. Для катушек ДП, намотанных на ребро, допускаемый перегрев увеличивается на 10% .

2. Для катушек полюсов дв-лей, нормально работающих с ослабленным полем, допускаемый перегрев катушек увеличивается на 10% .

Сопротивление изоляции д. б. не ниже:

$$\frac{\text{номинальное напряжение в } V}{\text{мощность в } kW + 1000} \text{ М}\Omega.$$

3. Испытательное напряжение:

Номинальное напряжение	Испытательное напряжение
до 999 V 1000 — 2999 V 3000 V и выше	2E + 1000, но > 1500 V 3E 2E + 2000

4. Характеристики относятся к темп-ре 75° . В остальном нормы совпадают с нормами IX ВЭС, со след. исключениями:

а) допуски (число оборотов, реверс, КПД) не нормируются, а обуславливаются по договоренности при заказе;

б) предусматривается проведение часового режима без вентиляции для моторов с принудительной вентиляцией; этот режим проводится при приемочных испытаниях вместо часового вентилированного;

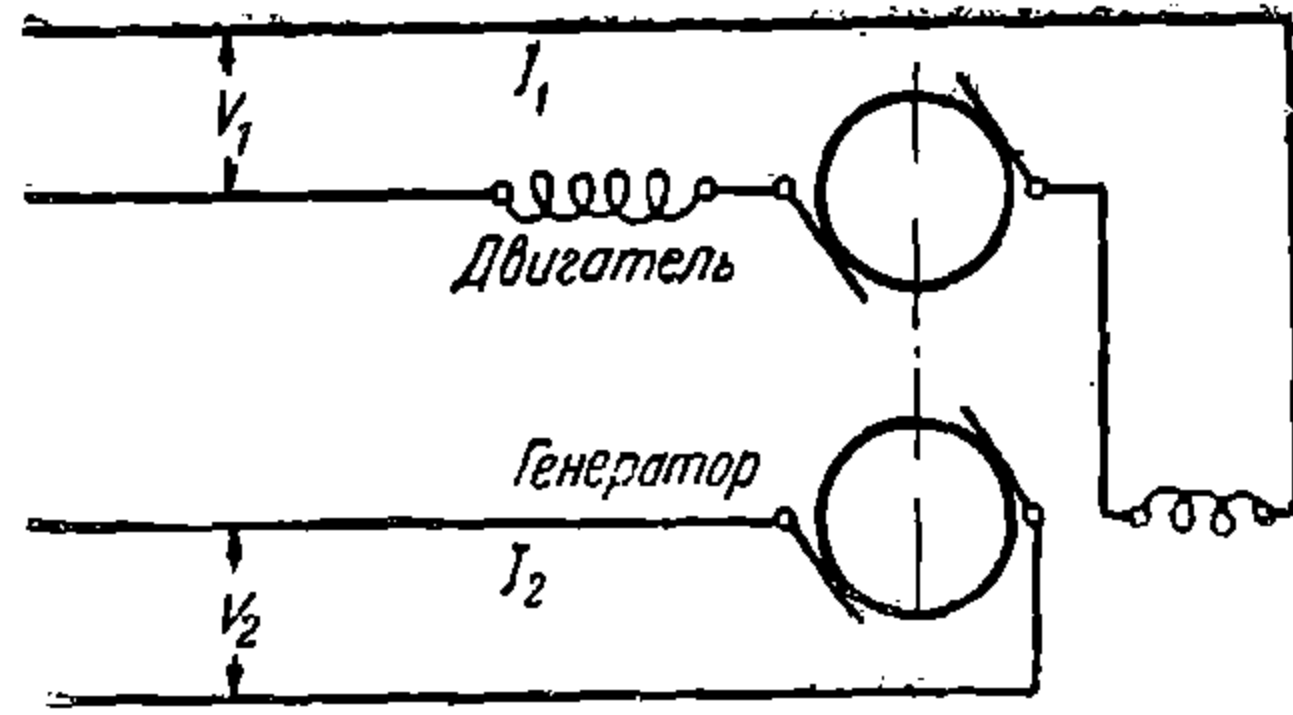
в) если с момента останова мотора до первого отсчета сопротивление якоря проходит время меньше 3 мин., то экстраполяцию на момент останова можно не делать.

4. ИСПЫТАНИЯ ПО МЕТОДУ ОБРАТНОЙ РАБОТЫ

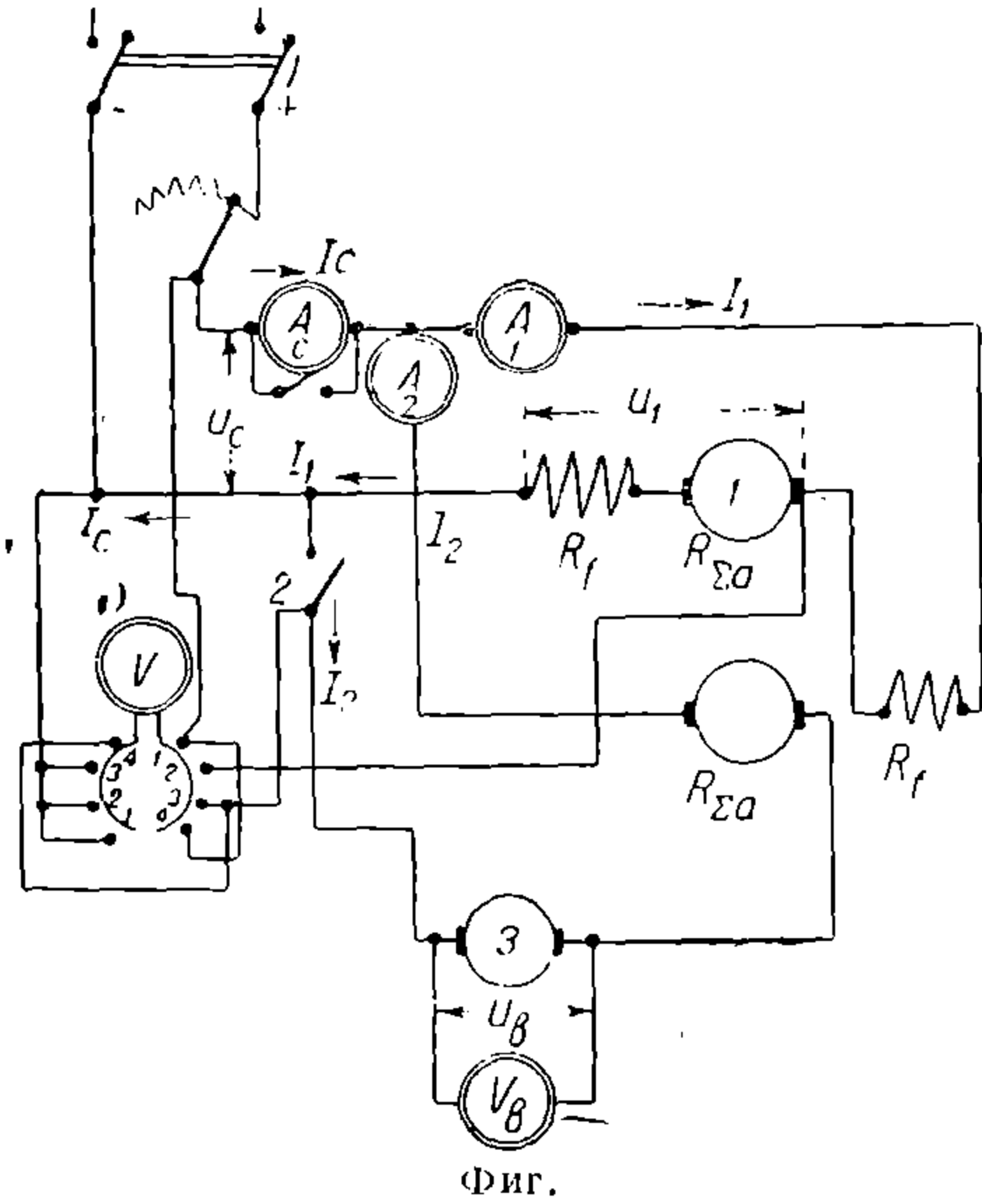
Для промышленных испытаний ТД наиболее целесообразным методом нагрузки является метод обратной работы, при котором от испытательной установки требуется минимальная мощность, равная лишь потерям 2 испытываемых машин. Для производства испытания этим методом требуется наличие 2 однотипных моторов.

ДНУЗТ

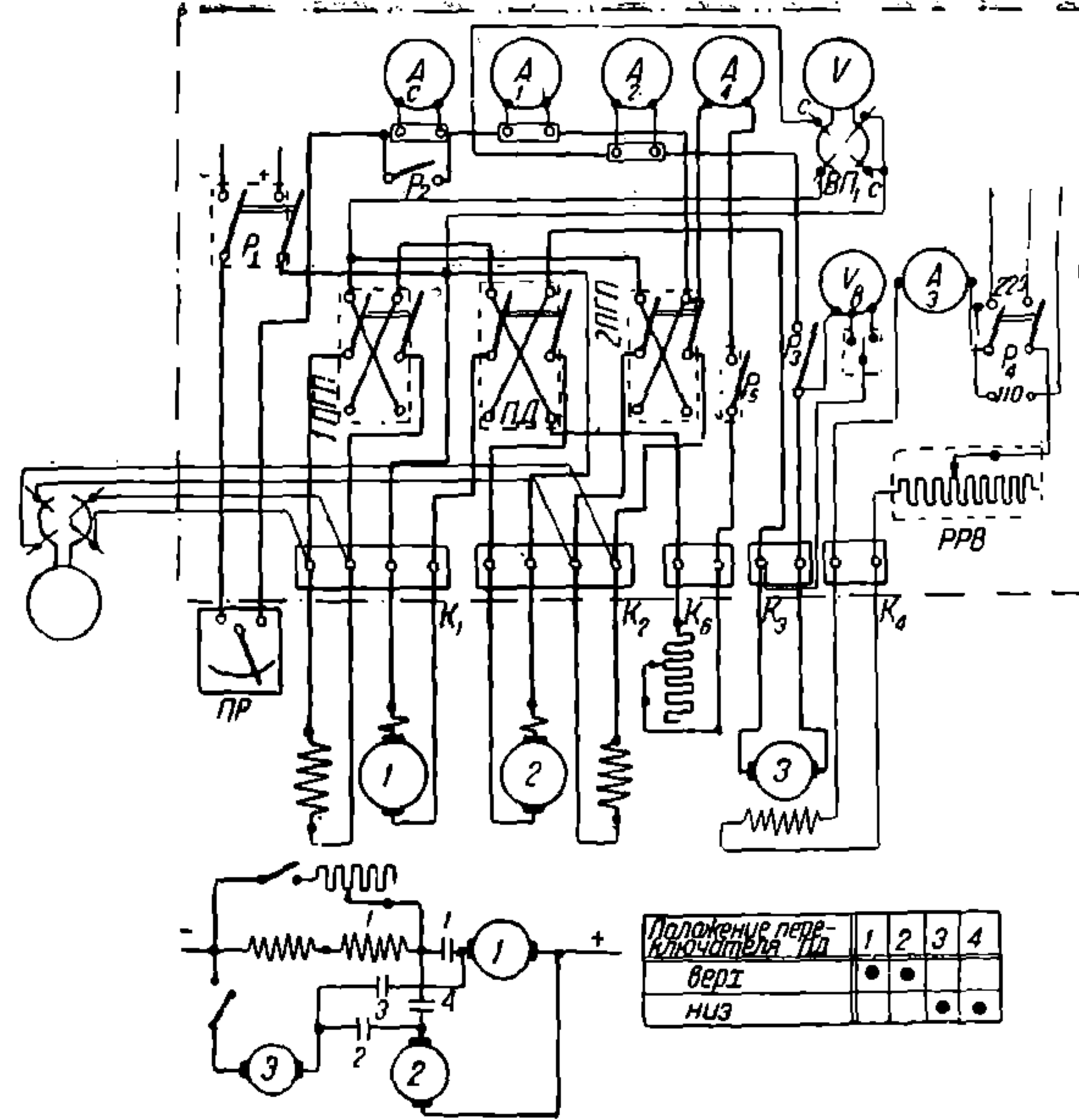
33176



Фиг. 3



Фиг.



Фиг. 5

СИСТЕМА

Принципиальная схема метода приведена на фиг. 3 (сравн. со схемой фиг. 4).

На фиг. 4 обозначено: 1—испытуемый дв-ль, работающий мотором; 2—одно-типный с ним дв-ль, работающий генератором; 3—бустер.

Регулируя возбуждение бустера, можно установить любой нагрузочный ток.

Мощность бустера должна покрывать омические потери обеих испытуемых машин и разницу противоэдс якорей. Напряжение бустера соответственно равно падению напряжения в обеих машинах. Монтажная схема установки для испытаний методом обратной работы приведена на фиг. 5.

5. ПОДРОБНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

а) Установка для специальных испытаний. Когда мотор поступает на испытание, следует снять крышку коллекторного люка и осмотреть щеткодержатели, чтобы убедиться, что они правильно установлены по отношению к коллектору, находятся на должном расстоянии от него и в правильном осевом положении, т. е. не над бандажом и не над выточкой.

Якорь нужно повернуть от руки, чтобы убедиться, что он нигде не трет и свободно вращается.

Если будут обнаружены кое-какие неисправности в сборке, они д. б. устранены. Во многих случаях можно сэкономить время, исправляя дефекты после окончания испытания, в том случае, конечно, если они не мешают испытанию и не искажают его результатов. Перед пуском мотора следует убедиться, что якорные подшипники должным образом смазаны.

Для всех испытаний, за исключением испытаний холостого хода, железных потерь, потерь трения, вентиляционных, эдс/оборот холостого хода нагрева и остывания при перегрузке, должна применяться установка моторов на плитах.

При всех испытаниях моторов в 250 л. с. и выше на внезапное включение и выключение должны применяться жесткие муфты.

Если моторы будут испытываться на нагревание, очень важно расположить их так, чтобы не получить взаимного добавочного нагрева.

Производство в одном помещении нескольких испытаний на нагревание может дать достаточно тепла для того, чтобы создать сильное колебание темп-ры помещения. Этих колебаний следует избегать и держать темп-ру помещения насколько возможно более постоянной.

Простроганные железные подкладки д. б. положены под моторы и подклинены так, чтобы вес мотора распределялся равномерно на все подкладки. Вентилируемые моторы, к-рые испытываются на нагревание и имеют отверстие для засасывания или выпуска воздуха на нижней стороне остова, д. б. установлены на высоте 150 мм над полом, чем обеспечивается свободный проход воздуха.

Особое внимание д. б. обращено на то, чтобы оси якорей были на одной линии и имели достаточную игру (в осевом направлении). Моторы д. б. надежно притянуты к полу. Под каждым хомутом д. б. помещены 2 деревянные подкладки, чтобы защитить моторы и дать нек-рую эластичность. Деревянные подкладки и хомуты д. б. помещены т. о., чтобы не мешать вентиляции мотора.

б) Испытание вентиляции. Если испытуемый мотор имеет принудительную вентиляцию, то определяются:

1) зависимость между количеством проходящего через мотор воздуха и статическим давлением в подводящей трубе;

2) зависимость между количеством проходящего через мотор воздуха и давлением в моторе (обычно под коллекторным люком между коллектором и стенкой остова).

Первая зависимость дает возможность выбора вентиляционного агрегата, вторая зависимость дает возможность проверки количества воздуха и его распределения по дв-лям, установленным на эл/в. Для измерения давления употребляется латунная трубка, к-рая должна проходить через пробку, ввернутую в специально рассверленную дыру в коллекторном люке. Количество воздуха определяется по динамическому напору в подводящей трубе. Количество воздуха определяется из ф-лы:

$$Q = v A = \sqrt{\frac{2g \cdot h_0}{\gamma}} A,$$

где: Q — количество воздуха в $m^3/сек$, v — скорость в $m/сек$, A — площадь тру-

бы в m^2 , h_d — динамическое давление, $2g = 2 \cdot 9,81 = 19,62 \text{ м/сек}^2$, γ — уд. в. воздуха в $к / m^3$;

$$\gamma = \frac{1,293H}{760 \left(1 + \frac{t_{окр}}{273} \right)},$$

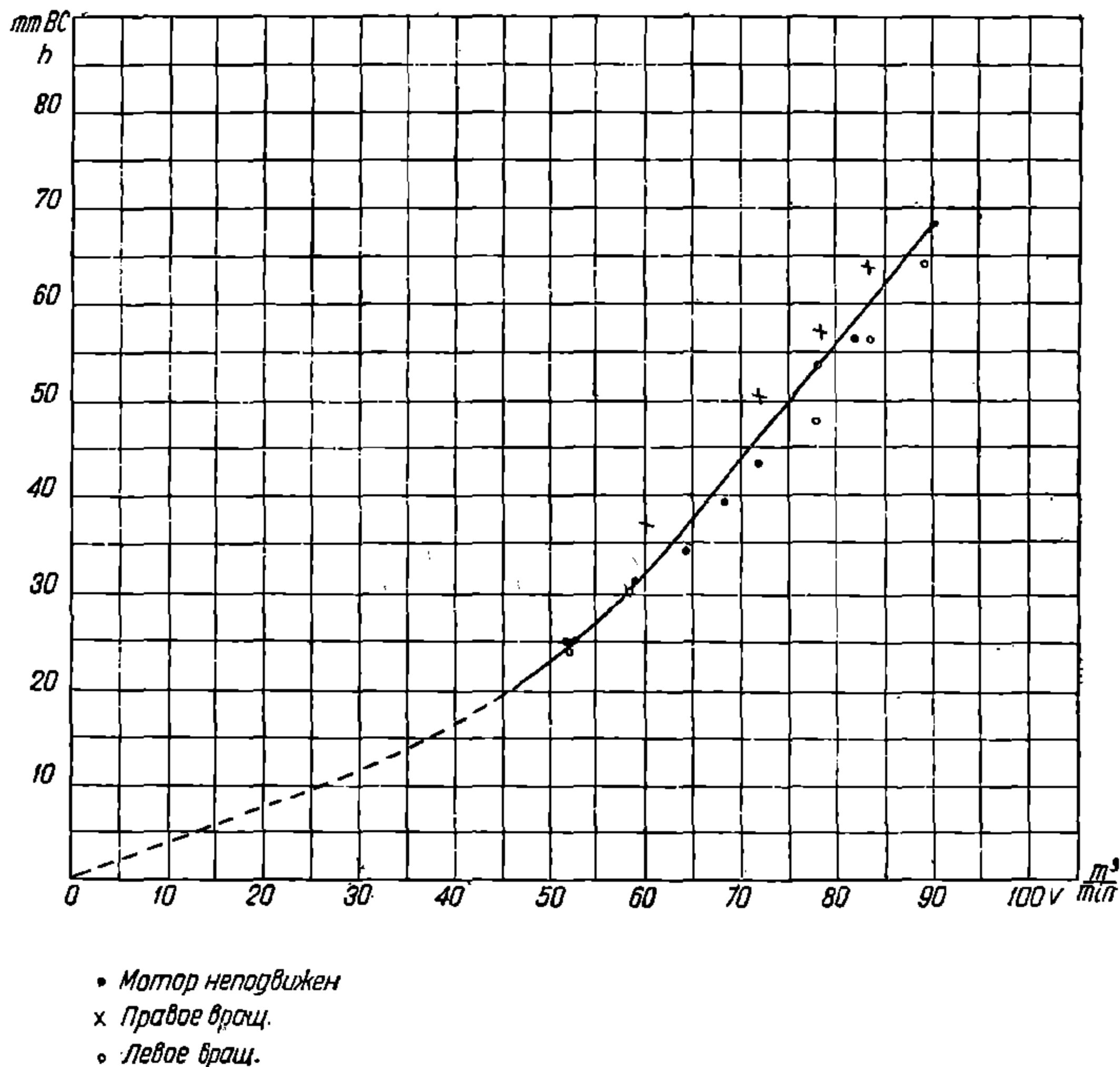
где H — атмосферное давление рт. ст. в $мм$, $t_{окр}$ — темп-ра окружающего воздуха.

При $t_{окр} = \text{ок. } 20^\circ$ можно принять:

$$Q = 4A \sqrt{h_d}$$

Труба, употребляемая для измерения воздуха, должна иметь равномерное поперечное сечение и д. б. прямой на длине, по меньшей мере в 10 раз большей диам. круга, площадь к-рого равна площади поперечного сечения трубы. Не д. б. никаких изгибов в трубах между мотором и местом расположения трубки Пито; труба д. б. соединена с мотором посредством гладкого, постепенно изменяющегося по диам. патрубка с наибольшим углом между осью трубы и образующей патрубка в 7° .

Расстояние между местом входа воздуха в трубу и местом расположения трубки Пито должно равняться 0,75 длины трубы.



Фиг. 6

При выборе размера трубы нужно помнить, что желательно измерять воздух при наибольшей возможной скорости для того, чтобы динамический напор был достаточно велик для получения точного отсчета. Мы ограничены однако напором, к-рый можно получить от имеющихся вентиляторов. Скорость 18 м/сек дает динамический напор около 23 мм вод. ст., обеспечивающий достаточную точность, и в то же время дает давление, к-рое мы можем получить в большинстве испытаний. Скорость в 13 м/сек является наименьшей из применяемых, и скорость в 30 м/сек является наиболее высокой из практически применимых.

Приборы для измерения давления. Стандартными приборами для измерения давления являются двойная трубка Пито и манометр. Резиновые трубки для соединений д. б. из особо толстой резины.

ДНУЗТ

Трубка Пито, измеряющая динамическое давление, д. б. поставлена в центре подводной трубы; однако следует сначала убедиться, что скорости воздуха в различных точках сечения различаются не больше, чем на 10%. В противном случае д. б. снята калибровочная кривая трубы.

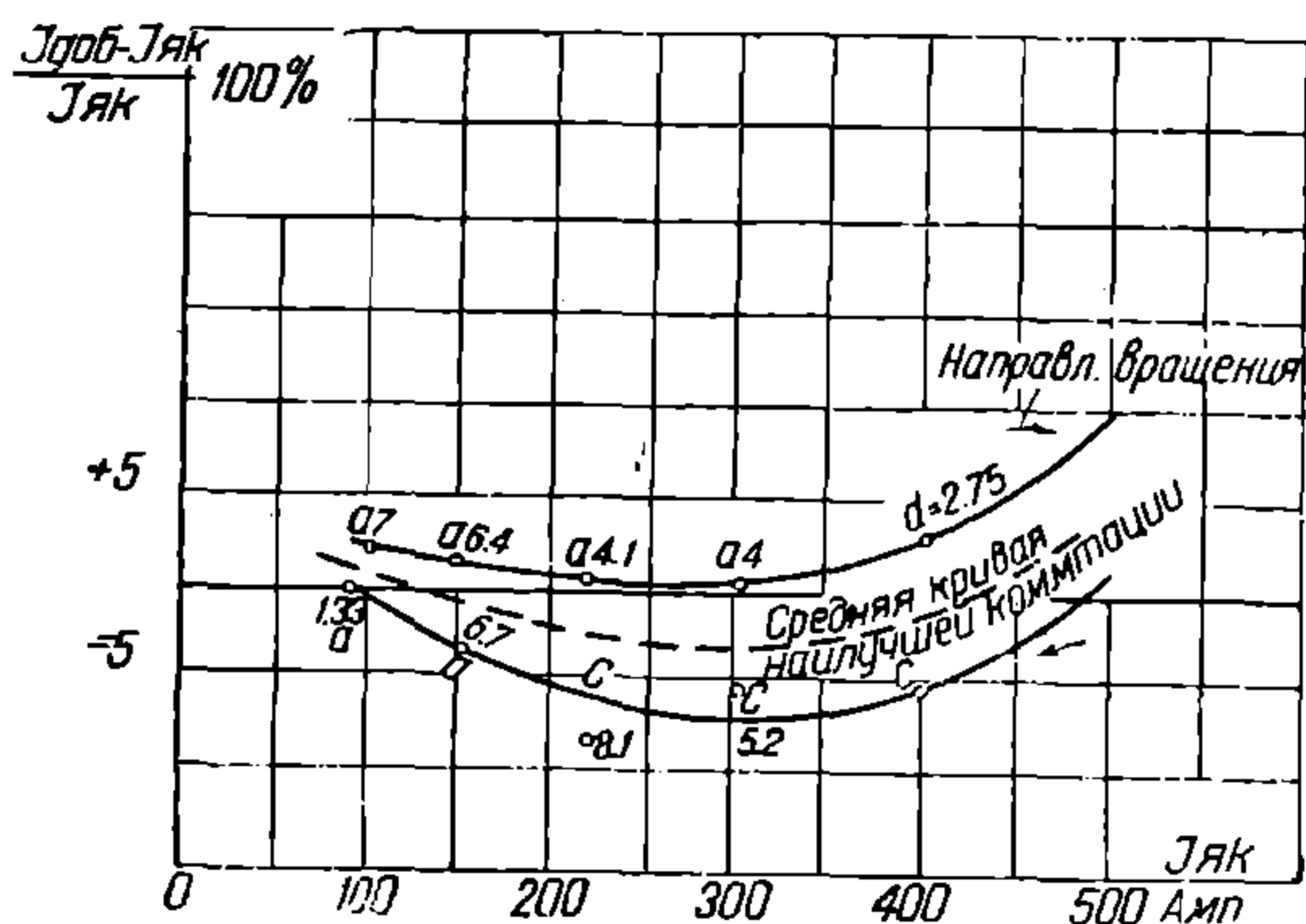
Результаты испытаний д. б. представлены кривыми: 1) статического и динамического напоров в трубе, как ф-ии количества воздуха, и 2) давления в моторе, как ф-ии количества воздуха (фиг. 6).

При испытании самовентилирующихся моторов определяются: 1) количество воздуха, проходящего через мотор, в зависимости от числа оборотов, 2) напор, к-рый дается вентилятором в зависимости от числа оборотов. Первое испытание производится след. обр. Входное отверстие мотора сообщается непосредственно с воздушным резервуаром (кубом). В этот резервуар подается воздух от специального вентилятора, к-рый регулируется т. о., что давление в резервуаре поддерживается равным атмосферному. В этом случае производительности как вентилятора мотора, так и постороннего вентилятора равны между собой. Поэтому промер количества воздуха м. б. сделан, как указано выше, в подводной трубе от постороннего вентилятора к воздушному резервуару. Для промера давления, даваемого вентилятором, производится заглушка выходных отверстий. Следует по возможности учесть все условия, в к-рых будет находиться мотор в тележке. В частности д. б. поставлены шестеренные кожухи в тех случаях, когда они стоят на пути входа или выхода воздуха.

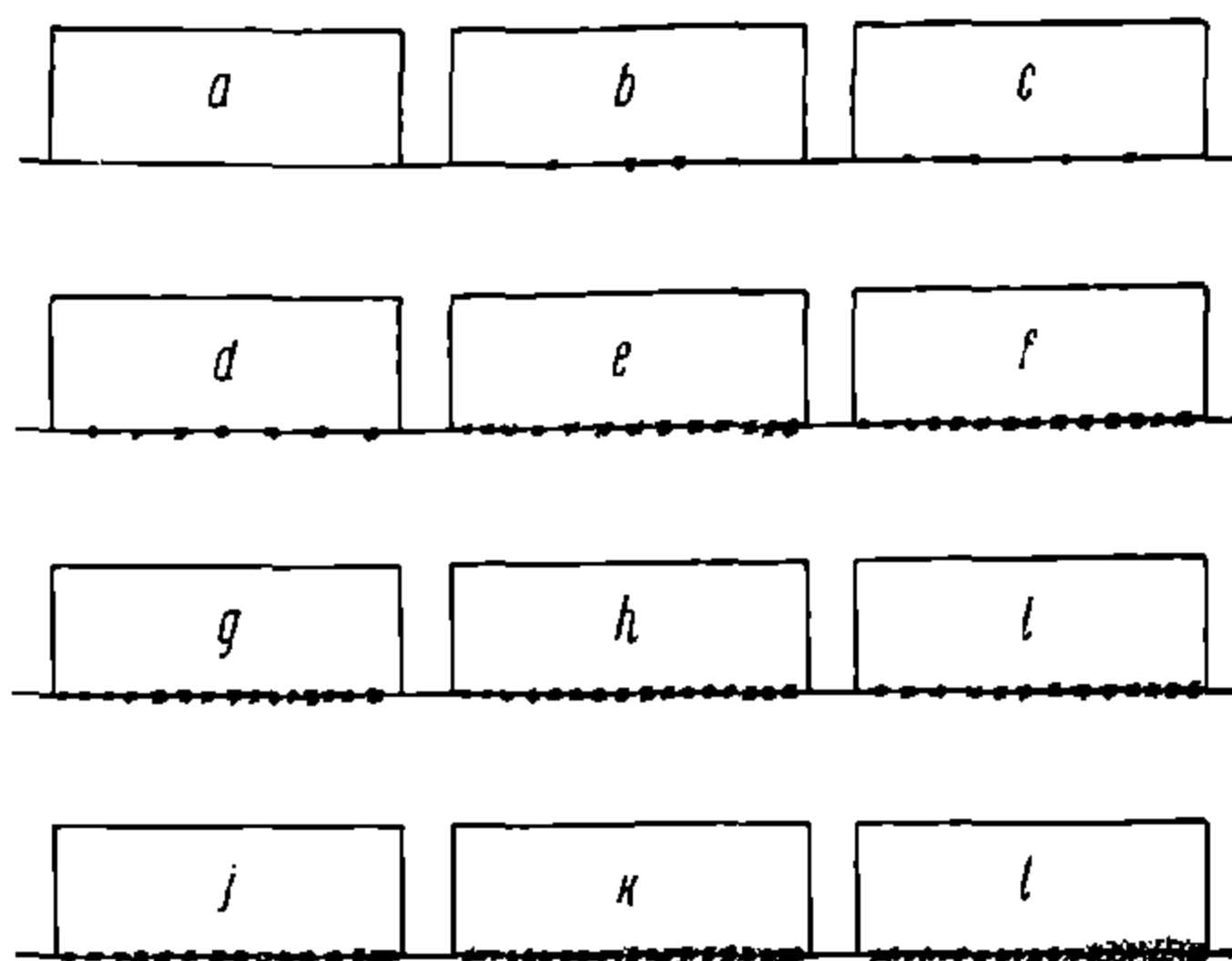
в) Испытания коммутации. Испытания м. б. подразделены на: 1) определение безыскровой зоны мотора, 2) определение тока искрения, 3) ударное испытание т. н. interruption test.

1) Определение безыскровой (или, если она недостижима, то наилучшей по коммутации) зоны производится методом подпитки добавочных полюсов. По этому методу параллельно обмотке добавочных полюсов мотора через регулируемое сопротивление включается бустер. Меняя возбуждение бустера, его полярность и сопротивление в его цепи, можно регулировать по величине и по знаку добавочный ток, накладывающийся на основной ток добавочных полюсов.

При определенной нагрузке мотора во время наблюдения подпитка добавочного полюса производится до тех пор, пока не начнется искрение (или не наступит ухудшение коммутации). Этот предельный ток подпитки записывается. Может оказаться, что коммутация при увеличении подпитки сначала улучшается, и затем, при дальнейшей подпитке, вновь ухудшается. В этом случае следует записать ток подпитки, при к-ром достигается наилучшая коммутация, и ток подпитки, при к-ром вновь начинается ухудшение.



Фиг. 7



Фиг. 7-а

Аналогично проводится наблюдение при обратном знаке бустерного тока, т. е. при ослаблении тока в добавочных полюсах.

Эти наблюдения проводятся для 4—5 нагрузок в пределах 0,5—2 час. Результаты испытаний наносятся в виде кривой (фиг. 7), где по оси абсцисс откладывается ток нагрузки, а по оси ординат — отношения предельных бустерных токов к соответствующим токам нагрузки (в проц). Между нанесенными т. о. кривыми образуется зона наилучшей коммутации, средняя линия к-рой показывает, насколько правильно выбраны число витков, зазоры и сечения в цепи дополнительных полюсов. Если

средняя линия зоны почти на всем рабочем уч-ке параллельна оси абсцисс, но смещена вниз или вверх, то это значит, что дополнительный полюс имеет соответственно меньше или больше витков, чем следует. Проц. увеличения или уменьшения числа витков виден непосредственно на кривой.

Если средняя линия зоны резко наклонена к оси абсцисс, то и зазор и число витков д. б. одновременно изменены.

Качество коммутации определяется согласно «шкале коммутации» (фиг. 7-а). Перед вышеуказанным испытанием д. б. произведена тщательная притирка щеток. Желательна также проверка (индикатором) коллекторного боя и давления щеткодержателей.

Все наблюдения ведутся на сбегающем крае щеток.

2) Ток искрения определяется как ток, при к-ром начинается вредное искрение в виде брызгающих белых искр,—класс I . Этот ток лежит обычно выше двойного часового тока. Напряжение на коллекторе во время опыта д. б. номинальным.

3) Interruption test—испытание, определяющее, насколько тяговый мотор стоек против внезапного перерыва питания и последующего включения под напряжение.

Для испытания собирается схема, в к-рой испытуемый мотор вращает генератор, а этот последний грузится на реостат. В цепи мотора и генератора ставятся к-ры, включающиеся и выключающиеся одновременно. Опыт заключается в том, что цепь мотора и генератора прерывается на 1,5 сек., так что число оборотов не падает, после чего вновь производится включение. Напряжение в моторе поднимается до тех пор, пока при включении не произойдет переброс. Указанное напряжение и является характеристикой мотора в отношении его ударной стойкости (для мотора «ДПЭ-340» полное поле, $V_{y\partial} = 2000 \text{ V}$).

Ток мотора регулируется так, чтобы получалось число оборотов, близкое к максимальному конструктивному.

Примечание. Перед коммутационными испытаниями д. б. проверен «реверс», т. е. число оборотов мотора при вращении по и против часовой стрелки. Разница в числе оборотов не должна превосходить пределов, указываемых нормами (см. стр. 16). Разница чисел оборотов указывает на сдвиг щеток с нейтрали. Для уменьшения разницы щеткодержатели д. б. сдвинуты (подкладками) в сторону большего числа оборотов.

г) Тепловые режимы. Общие меры предосторожности. Основным при снятии кривых нагрева является то, чтобы все факторы, к-рые могут повлиять на нагрев мотора, м. б. контролируемы или учтены, чтобы работа испытания не была обесценена какими-нибудь непредвиденными или необъяснимыми результатами. Необходимо, чтобы темп-ра помещения, в к-ром снимаются кривые нагрева, была практически постоянной, и, если это необходимо, должны иметься средства для регулирования темп-ры помещения. Все возможные предосторожности д. б. приняты для того, чтобы темп-ра воздуха, входящего в вентилируемый мотор, не была более, чем на 3° выше темп-ры помещения. Для обеспечения этого нужно защитить всасывающее отверстие картонными щитами для того, чтобы отклонить горячий воздух, выходящий из нагрузочного генератора и из самого мотора.

Тепловые режимы можно разделить след. обр.: часовой режим, опыт длительности нагрузки, длительный режим, нагрев при перегрузке. Каждый из этих режимов м. б. как с искусственной вентиляцией, так и без нее.

Измерительные приборы, применяемые при снятии кривых нагрева, д. б. выбраны так, чтобы все отсчеты брались на 2-й половине шкалы.

Метод определения темп-ры холодного мотора при измерении холодного сопротивления перед началом теплового режима д. б. след.: термометр помещается на каждой из след. частей: коллектор, секция якоря (конец якоря, если он доступен), катушка главных полюсов, катушка дополнительного полюса, остов и др.

Все термометры укрепляются с помощью замазки. Если имеется разница в показаниях этих термометров больше, чем на 1° , или разница между показаниями термометров на моторе и в воздухе, непосредственно окружающем мотор, больше, чем на 4° , то мотор должен простоять до тех пор, пока разница темп-р не будет в указанных пределах. Лучше всего производить измерение холодного сопротивления, как только мотор готов к испытанию, но до того, пока какой-либо ток прошел через его обмотки.

Темп-ра охлаждающего воздуха при снятии кривых нагрева в моторах с искусственной вентиляцией и в др. моторах, снабженных вводными воздушными трубами, измеряется термометром, помещенным в трубе на расстоянии не менее 914,4 мм (3 фт.) от самой машины.

Перед началом теплового режима следует поместить термометры на неподвижных частях мотора, прилепив шарики замазкой. Один термометр д. б. помещен наверху ос-

това, ок. центра, а др.—ок. середины стороны подвески. По крайней мере один термометр (желательно 2) д. б. помещен на катушках возбуждения. При тепловых режимах с частично включенным возбуждением важно, чтобы термометр был помещен на невыключенной части катушки. Один или несколько термометров д. б. помещены на катушках дополнительных полюсов. Следует обращать внимание, чтобы термометры были помещены на катушках непосредственно над выводами или др. местами, где применяется замазка для выравнивания катушки перед ее изоляцией.

При тепловых режимах на моторах с собственной вентиляцией по меньшей мере 2 термометра д. б. подвешены во входном отверстии для воздуха так, чтобы измерять темп-ру входящего воздуха.

При снятии тепловых режимов на всяком вентилируемом моторе по крайней мере 2 термометра д. б. подвешены в выходном отверстии остова для измерения темп-ры исходящего воздуха. При испытании моторов с искусственной вентиляцией в случае наличия параллельных потоков воздуха с отдельными выходными отверстиями термометры д. б. помещены во всех выходных отверстиях.

При выключении моторов после снятия теплового режима следует как можно скорее произвести полную остановку мотора. Это очень важно потому, что темп-ра меди падает очень быстро,—сразу же после выключения тока, и горячее сопротивление якоря д. б. поэтому измерено как можно скорее.

В случае теплового режима с искусственной вентиляцией вентилятор д. б. остановлен примерно за 10 сек. до выключения тока.

Хорошим способом быстрой остановки мотора является применение тормоза, прикладываемого к полумуфтам, соединяющим машины. Этот тормоз может представлять собой длинный деревянный рычаг, поддерживаемый подкладкой ок. муфты, к-рая служит точкой опоры. При выборе длины рычага следует быть осторожным, чтобы не повредить муфту, подшипники или оси.

Время, употребленное на остановку машины, м. б. уменьшено быстрым уменьшением сопротивления в цепи генератора так, чтобы поддержать большой ток. Скорость уменьшения этого сопротивления ограничивается коммутацией машины, применяемой в качестве генератора. При небольших скоростях нагрузочный генератор м. б. замкнут накоротко.

Горячее сопротивление и кривые охлаждения. При измерении горячего сопротивления применяются те же методы, что и при измерении холодного. В первую очередь надо измерить сопротивление якоря, быстро поворачивая его от руки до тех пор, пока не станут доступными пластины, на к-рых измерялось холодное сопротивление.

После этого измеряется горячее сопротивление главных и дополнительных катушек. Измерение сопротивления якоря д. б. проделано не более, чем через 1 мин. после выключения тока, а сопротивление катушек возбуждения — в течение 1 ÷ 1,5 мин. после выключения тока.

Измерив в 1-й раз горячее сопротивление якоря и обмоток, следует немедленно повторить измерение и продолжать эти измерения в течение 25 мин. За это время д. б. сделано не менее 5 измерений.

В момент каждого измерения д. б. отмечено время в мин. и в долях мин., прошедшее с момента выключения тока.

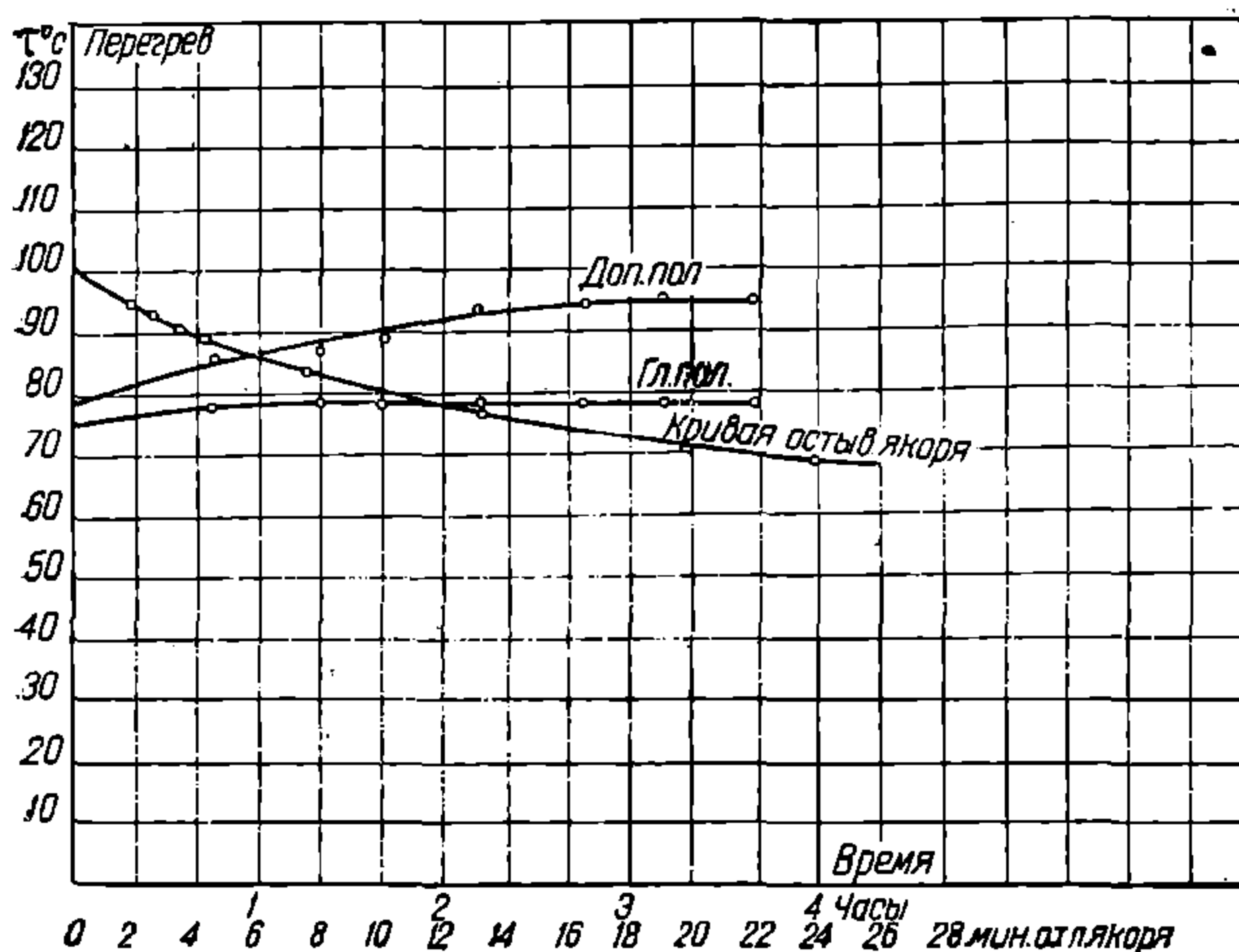
Когда мотор остановлен и производится измерение горячего сопротивления, добавочные термометры д. б. поставлены на наиболее горячие места на катушках и на якоре. Эти места, в случае вентилируемых моторов, забирающих воздух со стороны коллектора, вероятнее всего находятся далеко назад со стороны шестерни, где вентилирующий воздух имеет уже большую темп-ру.

Результаты измерения горячего сопротивления и показания термометров д. б. представлены в виде «кривой охлаждения». Для этого откладывают град. перегрева по сопротивлению против времени, прошедшего после выключения тока. Отдельный ряд точек д. б. нанесен для каждой обмотки и плавная кривая проведена для каждого ряда точек.

Каждая кривая д. б. экстраполирована на 0 времени, указывая, т. о. перегрев данной обмотки в момент выключения. На каждой кривой д. б. написано, к какой части машины она относится.

На листе с кривыми д. б. заголовок, полностью определяющий машину, режим, условия испытания и т. п. Также следует поместить табл. максимальных перегревов по термометрам, отмеченных на различных частях машины, среднюю темп-ру помещения, темп-ру входящего воздуха и значения, к к-рым отнесены все перегревы. На фиг. 8 даны перегревы ТД «ДПЭ-340» при длительном тепловом режиме $V = 1500 \text{ V}$ $I = 200 \text{ A}$ и полном поле, $Q = 78 \text{ м}^3/\text{мин}$. На фиг. 8-а дана характеристика длительного режима

при $V = 1500$ V, силе тока 220 А, полном поле $Q = 78$ м³/мин. Рабочий ток отдельных частей при темп-ре 120° Ц равняется: якорь — 223,5 А, главные полюсы — 232 А, дополнительные полюсы — 218 А.



Фиг. 8

Величина перегревов (фиг. 8)

По сопротивлению

По термометрам

	гл. п	τ Доп. п	Замеры перед окончанием режима				τ _{подшипн}		После останова		
			τ корпуса		выхода у якоря	τ возду- ха у кат.			τ кол	τ як	вала
			сверху	сбоку			передн.	задн.			
100	70	945	28,5	29	21,5	17	14	34	49,5	58	35

д) **Часовой режим.** Часовой режим м. б. определен как включение нек-рой постоянной нагрузки на 60 мин. для определения повышения темп-ры за это время.

Тот факт, что постоянная мощность д. б. приложена к мотору на определенный промежуток времени, делает особо важным, чтобы нагрузка на мотор была отрегулирована на требуемые величины силы и напряжения тока насколько возможно быстрее. Так, если пройдет больше 20 сек. от момента его включения до момента окончательной регулировки мощности мотора, режим будет неправилен.

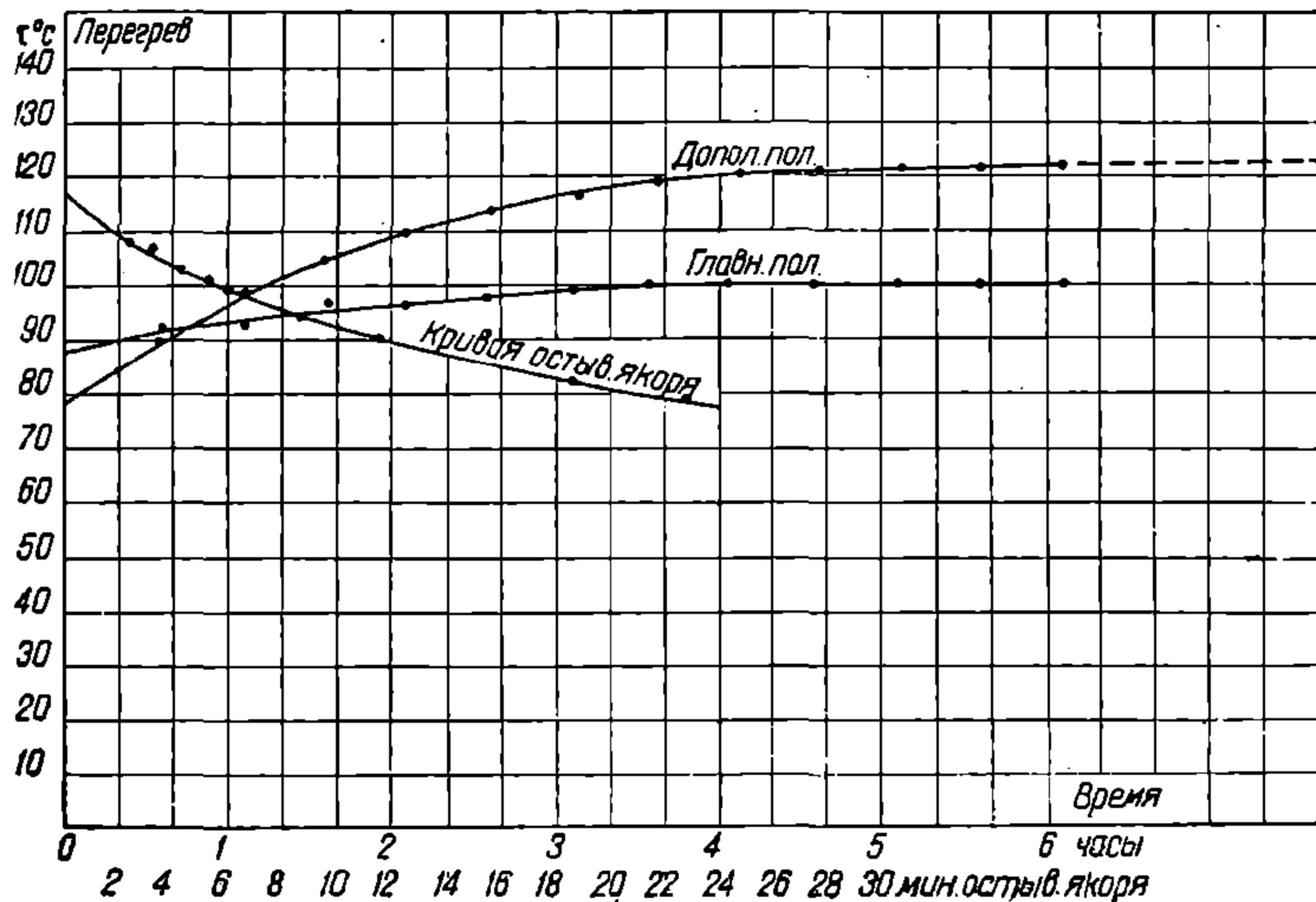
Часовой режим должен начинаться с холодного состояния мотора. Ни при каких обстоятельствах нельзя пропускать тока через мотор после измерения холодного сопротивления или проверки темп-ры и до начала часового режима.

Перед испытанием мотор д. б. выключен и охлажден до темп-ры, отличающейся не более, чем на 3° от темп-ры помещения; часовой режим можно начинать только после того, как мотор простоит после этого еще 2 ч.

Во время часового режима следует брать отсчеты напряжения тока, падения напряжения в главных и добавочных катушках, числа оборотов и показания всех термометров. В случае режима с искусственной вентиляцией следует также измерять динамический и статический напоры в воздухопроводе; 1-й отсчет скорости и падения напряжения д. б. взят, как только отрегулирована нагрузка. Все остальные отсчеты и последующие сер. отсчетов берутся каждые 15 мин. (всего 5 отсчетов: 1-й—в момент включения нагрузки и последний—непосредственно перед выключением).

ДНУЗТ

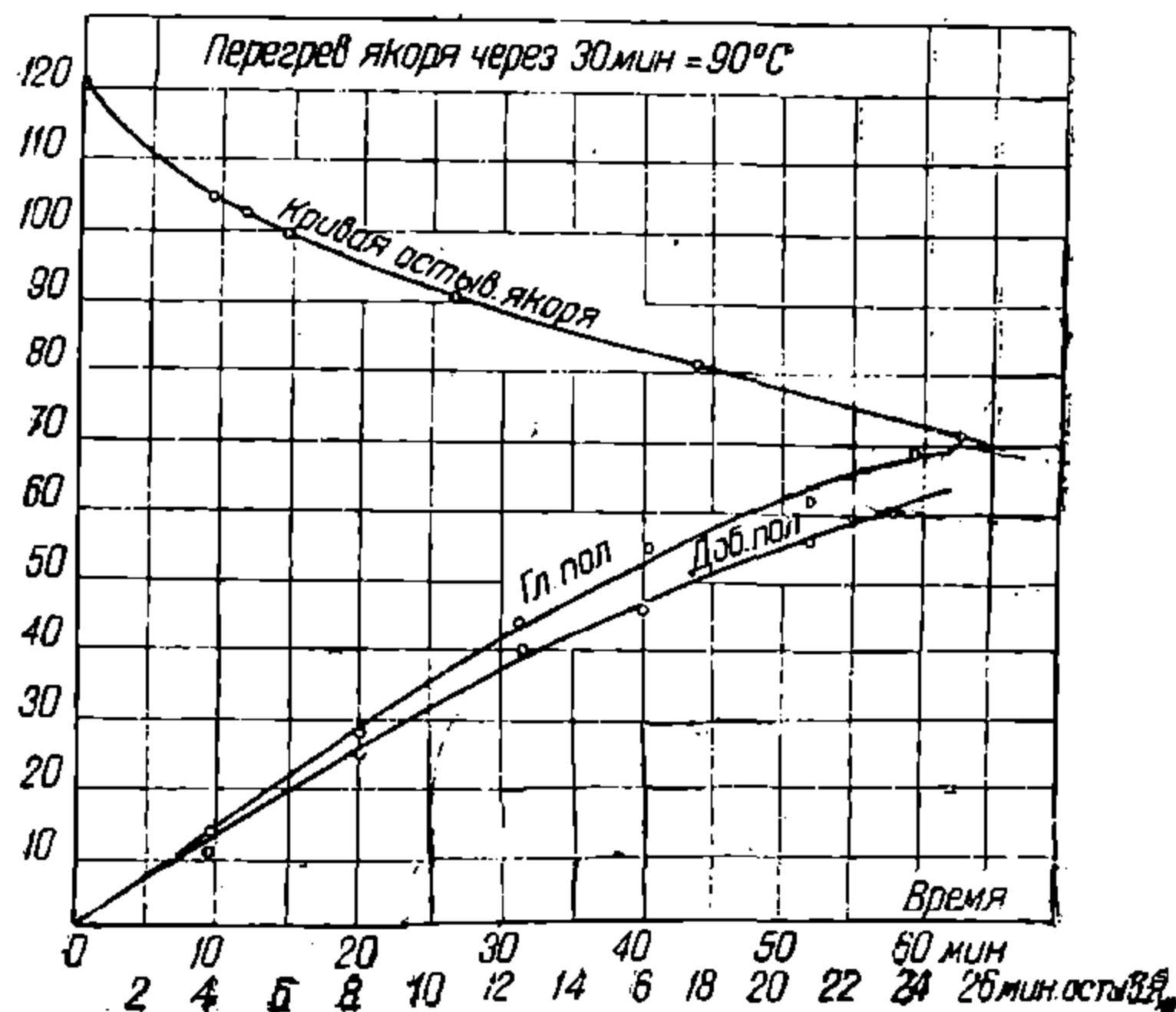
Данные, полученные во время часового режима, представляются в виде протокола, к которому прилагается кривая охлаждения фиг. 9 (мотор «ДПЭ-340», $V=1500$ V, $I=250$ A полное поле $Q=78$ м³/мин).



Фиг. 8-а

е) Режим длительности нагрузки. Режимом длительности нагрузки наз. включение нек-рой постоянной нагрузки на такое время, чтобы все части машины достигли постоянной, или «установившейся», темп-ры.

1-й частью испытания является часовой режим. Затем мотор охлаждается до темп-ры, отличающейся не более, чем на 3° Ц, от темп-ры помещения, после чего он охлаждается еще в течение 2 ч.



Фиг. 9

Начало 2-й части испытания несколько похоже на часовой режим, за исключением того, что нагрузка включается только на 30 мин., после чего снимается кривая охлаждения только якоря в продолжение 3 мин. После этих 3 мин. остановки нагрузка снова быстро включается еще на 90 мин., после чего снова снимается 3-мин. кривая охлаждения якоря. За этим следуют повторные ц. 60-мин. включения и 3-мин. кривой охлаждения якоря и так в течение 3 или 4 ч. до тех пор, пока отсчеты

сопротивления и скорости не покажут, что все обмотки достигли установившейся темп-ры. Горячее сопротивление обмоток возбуждения во время 3-мин. остановок не измеряется, но сопротивление (и темп-ра) подсчитывается из измерений падения напряжений непосредственно перед остановкой.

Результаты режима длительности нагрузки д. б. представлены в виде 3 кривых: 1) кривая нагрева, 2) длительная кривая охлаждения, описанная выше, 3) последовательные 3-мин. кривые охлаждения якоря.

ж) Длительный режим. Длительный режим отличается от режима длительности нагрузки тем, что время не имеет значения и определяется только конечная темп-ра. Первоначальное состояние мотора в отношении темп-ры не имеет значения. Конечная темп-ра д. б. постоянной в течение такого промежутка времени, когда будет очевидно, что она не изменится при дальнейшем приложении той же нагрузки.

Отсчеты берутся через каждые полчаса, и д. б. получены по крайней мере 3 последовательных одинаковых показания, прежде чем нагрузка выключается.

Если мотор пускается холодным, нагрев м. б. ускорен кратковременной перегрузкой мотора до тех пор, пока падение напряжения не укажет, что получен желаемый или ожидаемый перегрев.

Перед пуском следует подсчитать сопротивление обмоток возбуждения при темп-ре приблизительно на 5° выше желаемой. Мотор м. б. нагружен приблизительно на 50% выше номинальной нагрузки.

Посредством частых определений сопротивления (вычисленных из линейного тока и падения напряжения) можно видеть, когда обмотки возбуждения достигнут темп-ры приблизительно на 5° выше желаемой. Если после этого быстро отрегулировать нагрузку на величину, при к-рой д. б. проведен режим, темп-ры скоро примут постоянную величину.

Данные длительного режима включают в себя кривую охлаждения. Перегревы относятся к среднему из 3 последних показаний термометров в масляных чашках, если мотор с естественной вентиляцией, или к среднему из 3 последних отсчетов темп-ры охлаждающего воздуха в воздухопроводе, если мотор с искусственной вентиляцией.

з) Опыт нагрева и охлаждения при перегрузке. Чтобы определить тепловой режим при перегрузке, следует пропускать через обмотку ток определенной силы. Целью перегрузочного испытания является определение мощности мотора при таких перегрузках, к-рые будут получаться вблизи от точки скольжения колес. При этих условиях ограничивать мощность мотора всегда будет якорь, и испытание производится только на якоре.

В практике эта чрезмерно большая перегрузка происходит обычно при n/n так, что железные потери будут оказывать на нагрев или очень малое влияние, или совсем никакого. Даже при полном напряжении потери в меди $I-R$ настолько велики, что величиной железных потерь можно пренебречь.

Во время испытания якорь держат неподвижно, чтобы темп-ру м. б. определить более точно. В условиях чрезмерно больших перегрузок машина нагревается настолько скоро, что мало вероятен обмен тепла между катушками возбуждения и якорем. Поэтому возбуждения выключаются, чтобы мотор не развивал большого момента. Все же якорь д. б. заторможен, т. к. остаточный магнетизм дает достаточный момент для вращения якоря.

Испытание производится только над моторами, имеющими темп-ру воздуха при 3 значениях тока, дающих плотности тока в проводах якоря в 6, 7 и 9 А/мм².

Чтобы избежать повреждения коллектора и щеткодержателей от перегрева сильным током, необходимо поместить кусок листовой меди под все щетки. Эта медь д. б. загнута кверху по краям щетки и зажата под пальцы щеткодержателя, образуя медный шунт вокруг угольных щеток. Т. к. нагрев происходит в проводах якоря, замер темп-ры термометром не производится.

Падение напряжения на якоре измеряется между 2 точками, а именно на коллекторе, на 2 пластинах между находящимися друг против друга краями щеток. 2 пластины, на к-рых держатся вольтметровые концы, д. б. слегка накернены. Перед включением нагрузки холодное сопротивление измеряется с помощью АБ. Токовые концы прикладываются к щеткодержателям, а вольтметровые — к накерненным пластинам. Следует заметить, что это не является измерением полного сопротивления якоря, а лишь большей части его.

Выбранные пластины м. б. теми же, на к-рых определялось частичное сопротивление якоря для тепловых режимов АБ. Приборы, употребляемые для этого измерения холодного сопротивления, д. б. наготове, т. к. они будут применены для снятия кривой охлаждения.

ДНУЗТ

После измерения холодного сопротивления следует включить ток и быстро отрегулировать его на требуемое значение. Точное время включения тока д. б. отмечено, и отсчеты тока и напряжения между накерненными пластинами должны производиться после этого через каждые 0,5 мин. (с точностью до 0,01 мин.), что продолжается до тех пор, пока перегрев по измерениям падения напряжения не достигнет 125°C для изоляции класса А или 140°C для изоляции класса В. Это соответствует увеличению сопротивления приблизительно на 48% при изоляции класса А или на 54% при изоляции класса В при темп-ре воздуха в 25°C . Когда эта точка достигнута, следует отметить время и выключить ток. Немедленно после выключения тока д. б. включена АБ и измерены значение тока и падение напряжения — так же, как и при измерении холодного сопротивления.

В течение первых 10 мин. отсчеты берутся по кривой охлаждения каждые 0,5 мин. В течение следующих 20 мин. отсчеты берутся через каждые 2 мин. и в течение следующих 30 мин. — через каждые 5 мин., после чего испытание прекращается. Точное время снятия отсчетов отмечается так же, как и при нагреве. Результаты перегрузочного испытания представляются в виде табл. и кривых нагрева и охлаждения для каждой плотности тока. Эти кривые нагрева и охлаждения для каждой плотности тока должны показывать перегрев в град. Ц, отложенный по ординатам, и время, отложенное по абсциссам. Перегревы относятся к темп-ре, при к-рой было измерено холодное сопротивление.

и) Кривая электродвижущей силы (обороты при нагрузке). Скоростная характеристика ТМ определяется по кривой эдс/оборот. (противоэдс на число об/мин.).

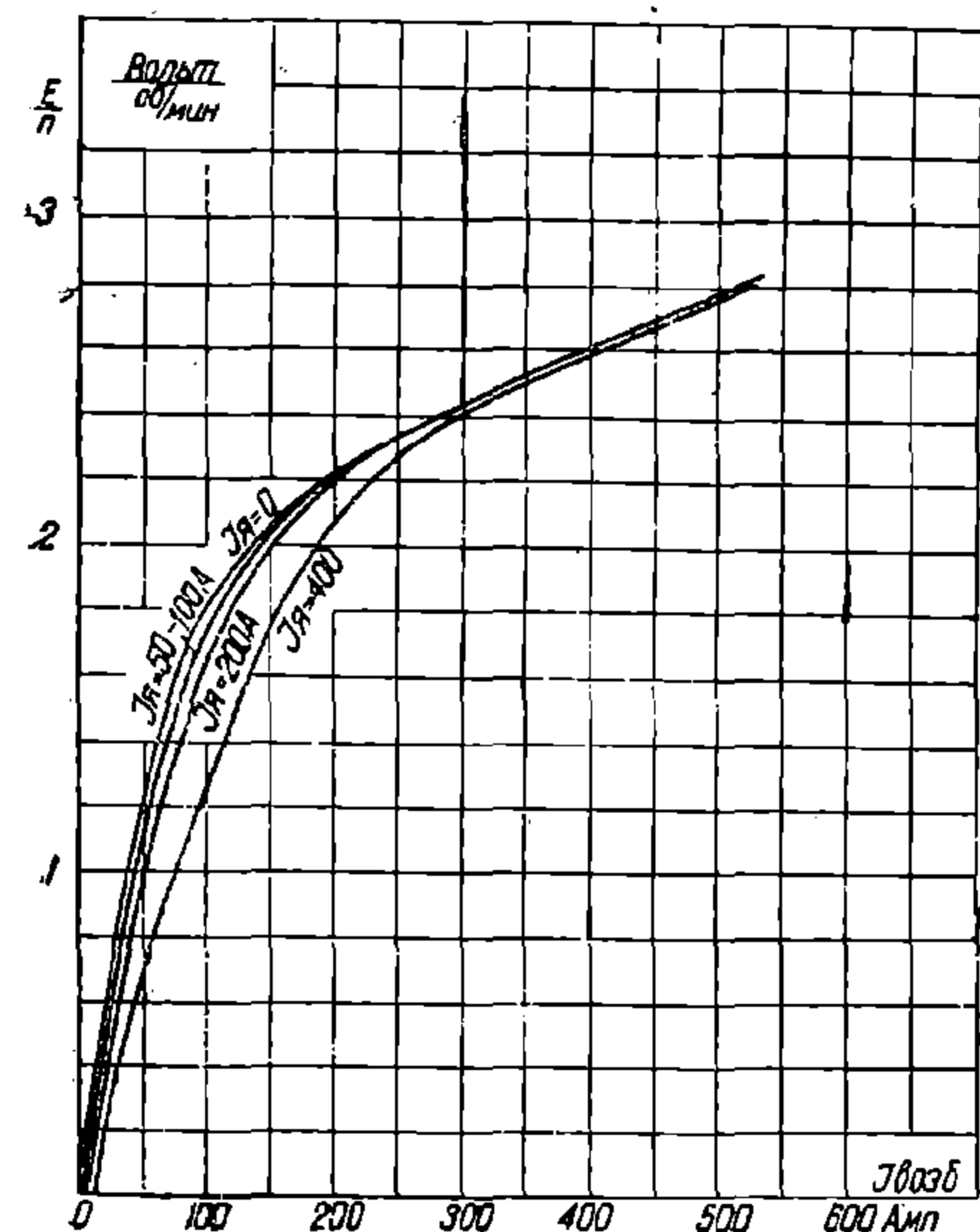
Испытуемый мотор устанавливается согласно указаниям. Вентиляторы м. б. нужны во избежание чрезмерного нагрева мотора или генератора, но количество воздуха измерять не нужно. Частичное холодное сопротивление якоря д. б. измерено, как при подготовке к тепловому режиму. Если такое измерение производилось ранее, м. б. употреблены те же самые значения сопротивления и те же коллекторные пластины.

Щетки д. б. применены того же размера и той же марки, какие поставляются с мотором. Они д. б. тщательно притерты всей поверхностью. Одна щетка в каждом из 2 соседних щеткодержателей д. б. изменена т. о., чтобы одна часть ее была изолирована от остальной, дабы не проводить какого-либо тока от коллектора к щеткодержателю. Т.к. изолированная часть щетки соприкасается с коллектором, но не несет никакого тока, к-тым падением напряжения можно пренебречь, и вольтметр, присоединенный к 2 изолированным щеткам, будет измерять действительное напряжение якоря.

Опыт показал, что изолированные щетки могут подсакивать или дрожать и вследствие этого давать неправильное показание якорного напряжения. Поэтому все измерения якорного напряжения, сделанные с помощью изолированных щеток, должны одновременно проверяться измерением напряжения между щеткодержателями.

Напряжение между щеткодержателями не д. б. более, чем на 5 V, выше якорного напряжения.

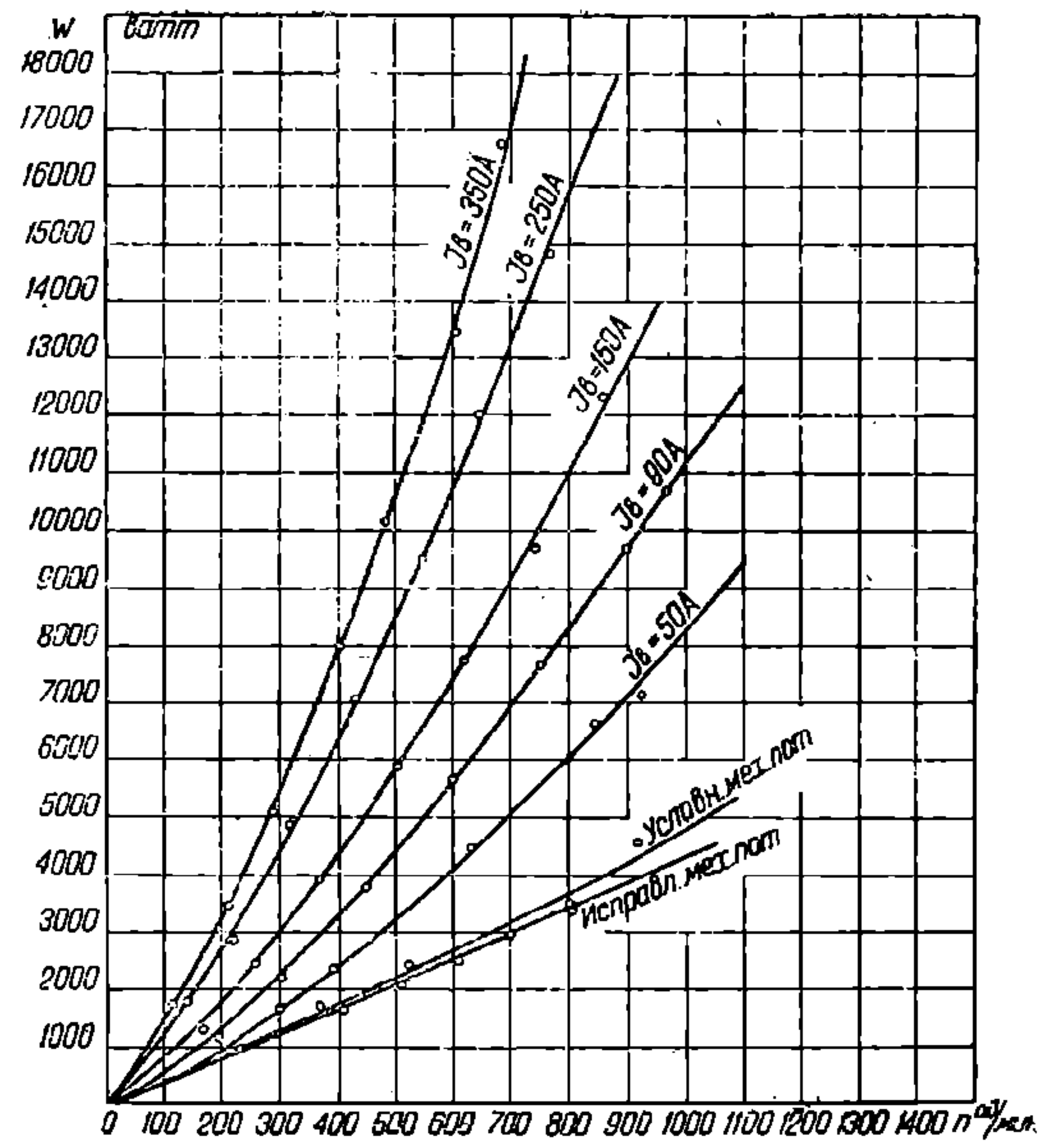
Измеряются линейное напряжение, линейный ток, ток шунта (если мотор с шунтировкой поля), скорость и напряжение якоря.



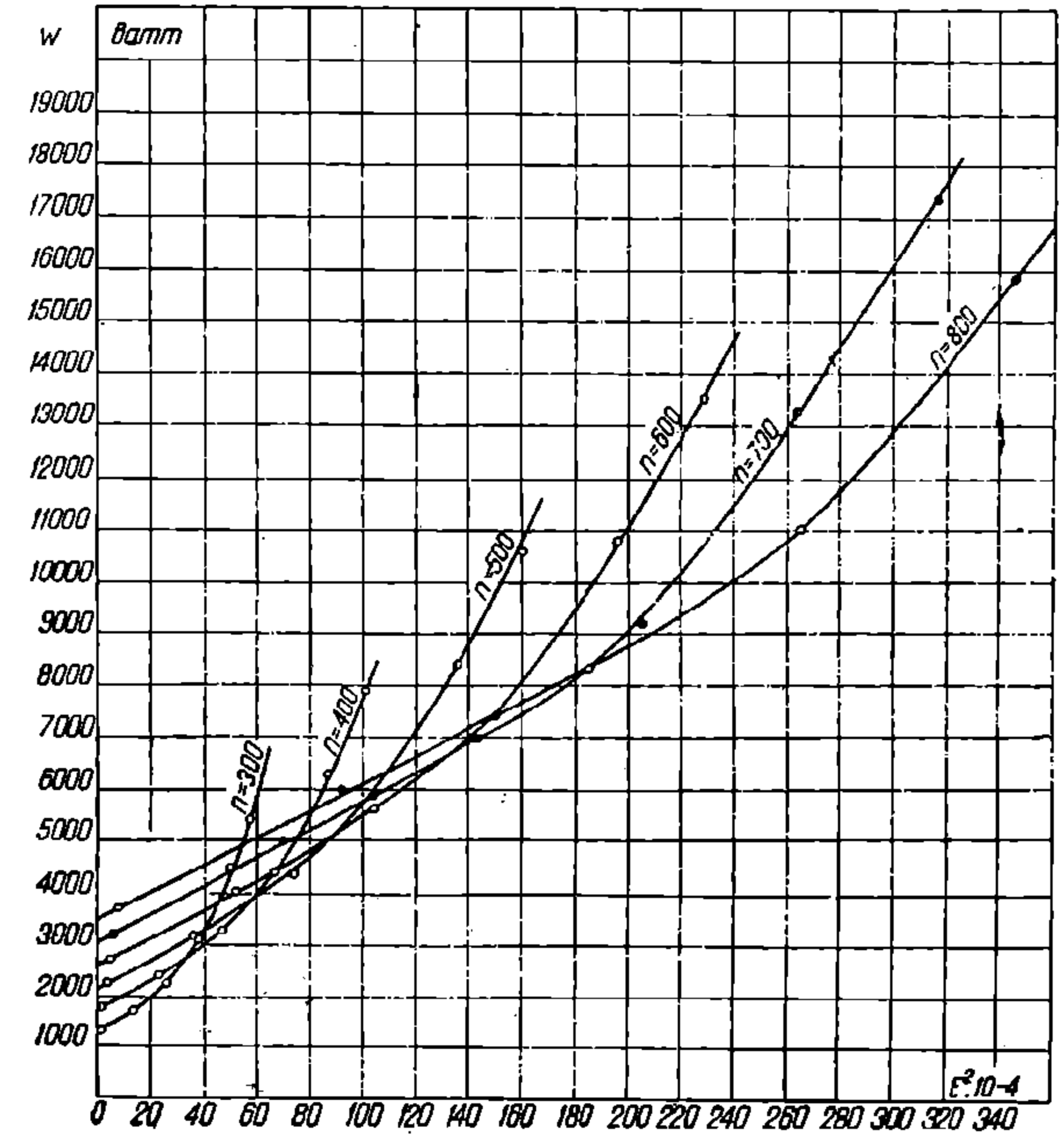
Фиг. 10

Результаты измерений и вычислений д. б. представлены в виде кривых скорости, и эдс/оборот. (V об/мин.) откладывается для соответствующих значений линейного тока, отложенного по абсциссе. Общепринятое правило применения маленьких кружочков для вращения против часовой стрелки и маленьких крестиков для вращения по часовой стрелке д. б. соблюдено при построении как измеренной скорости, так и вычисленной эдс/оборот. Точки скоростей при пониженных напряжениях не наносятся.

ДНУЗТ



Фиг. 11



Фиг. 12

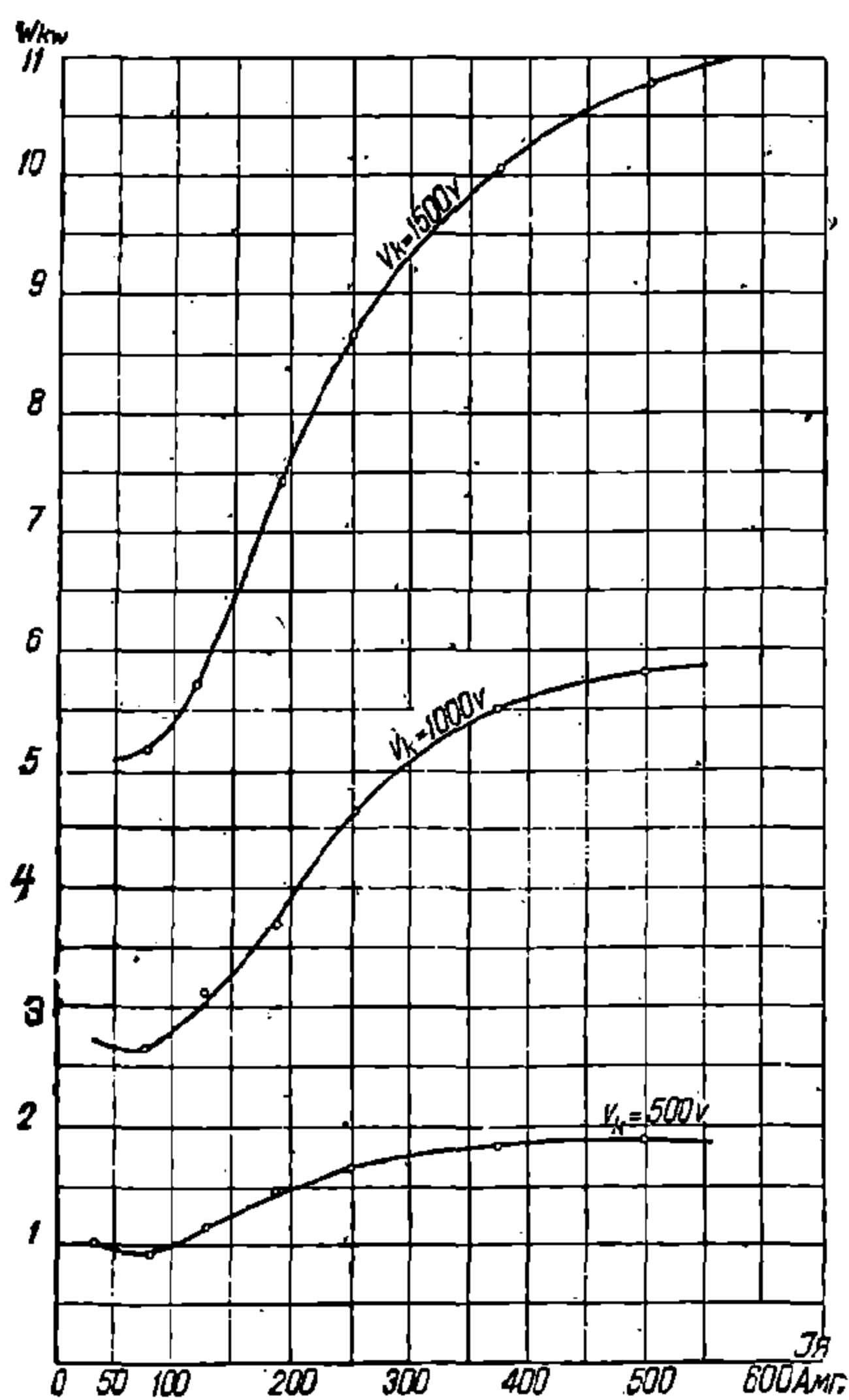
Отдельный ряд точек д. б. нанесен для каждой силы поля. Плавные кривые д. б. проведены через каждый ряд точек, и сила поля отмечена на кривой.

Если есть разница в скорости или эдс/оборот. между различными направлениями вращения, то кривые должны показывать среднее из обоих направлений вращения.

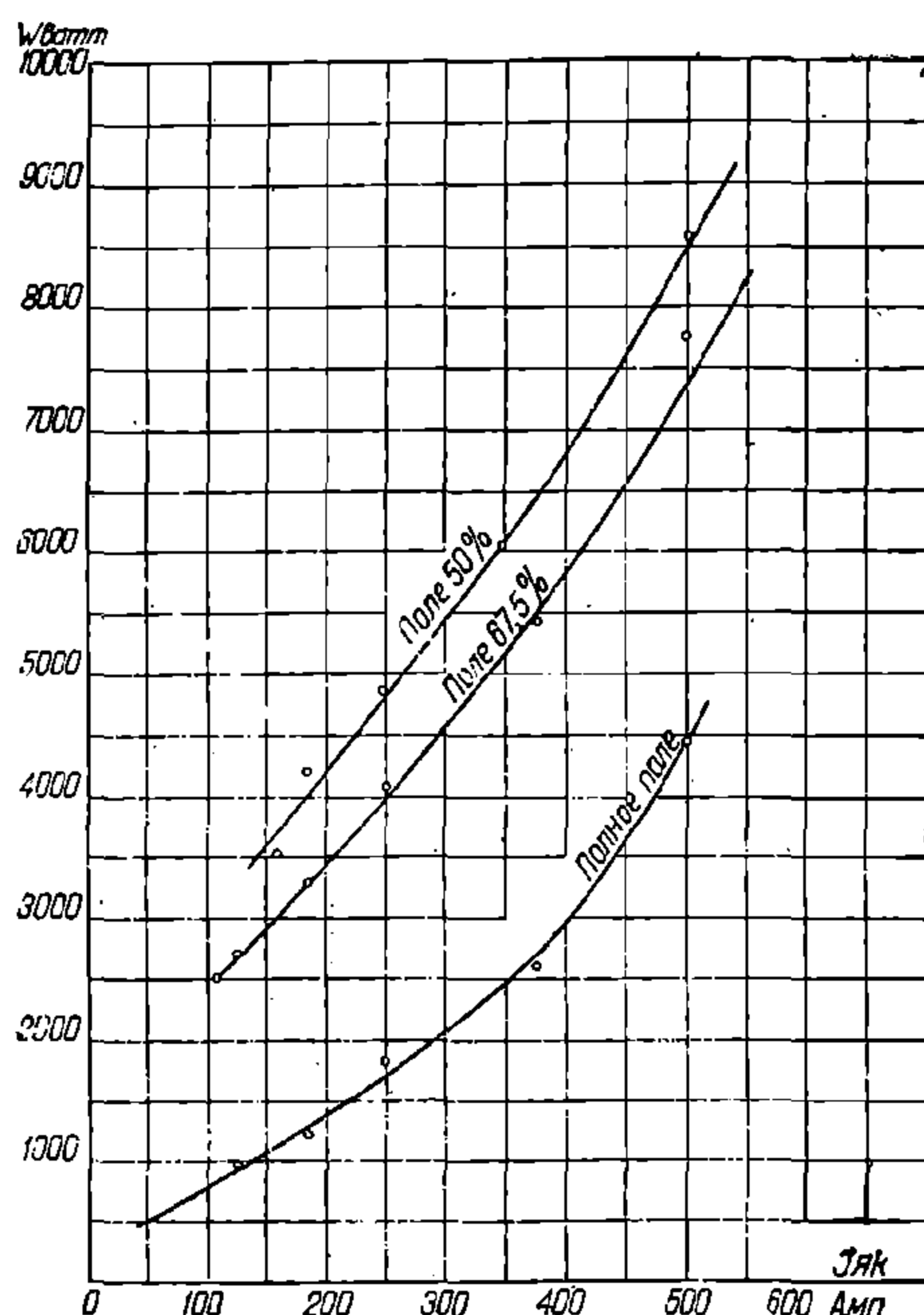
Лист с кривыми должен содержать данные, полностью определяющие тип мотора. Средний измеренный зазор и число испытаний, на основании к-рых построены кривые, также д. б. указаны (фиг. 10 для дв-ля «ДПЭ-340»).

к) Потери холостого хода и механические потери. Эти потери определяются при независимом возбуждении мотора. Мотор при этом механически не связан с машиной (холостой ход). Производятся измерения тока возбуждения, тока якоря и напряжения на якоре. Напряжение на якоре измеряется с помощью изолированных щеток (см. выше).

Подведенная к якору мощность за вычетом $I^2 R_{я}$ идет на покрытие потерь холостого хода. Эта мощность откладывается в ф-ии числа оборотов для различных токов возбуждения. Подобная кривая для мотора «ДПЭ-340» приведена на фиг. 11 (давление на щетку—4 кг).



Фиг. 13



Фиг. 14

Для выделения из потерь холостого хода механических потерь строится кривая зависимости потерь холостого хода от квадрата эдс или квадрата E/n при постоянном числе оборотов (кривая фиг. 12 для «ДПЭ-340»). Экстраполированные до оси ординат эти кривые дают механические потери при данном числе оборотов. Результаты экстраполяции строятся в ф-ии числа оборотов в виде кривой $W_{мех} = f(n)$ (см. на фиг. 11 «исправленные механические потери»). Это построение должно быть проконтролировано снятием потерь холостого хода при серийном возбуждении. Поскольку при этом режиме благодаря очень малым токам через катушки возбуждения железные потери малы, подведенная к якору мощность за вычетом $I^2 R_{я}$ идет в основном на механические потери. Эти потери строятся в ф-ии числа оборо-

НАБ
ДНУЗТ

тов на кривой потерь холостого хода и должны близко совпадать с механическими потерями, найденными экстраполяцией.

Кроме того результаты серийного режима д. б. нанесены на кривой $W_{xx} = f(E)_2$ (см. на фиг. 11 «условные механические потери»).

При снятии вышеуказанных кривых следует обратить внимание на то, чтобы все отсчеты брались лишь при установившемся числе оборотов и при установившейся темп-ре подшипников.

На кривых фиг. 13 даны железные потери мотора «ДПЭ-340» в ф-ии тока мотора при напряжении 1500, 1000 и 500 V, а на кривых фиг. 14—добавочные потери при нагрузке (см. стр. 45, п. «ж») в зависимости от тока при 1500 V.

III. ВЕНТИЛЯЦИЯ И НАГРЕВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ТД делятся на: а) закрытые невентилируемые, б) самовентилирующиеся и в) с принудительной вентиляцией. Закрытые невентилируемые дв-ли находят себе применение в специальных случаях, как-то: взрывоопасных установках, при наличии угрожающих изоляции паров, газов и т. д.

Вентилируемые дв-ли различаются по схеме воздушных потоков внутри машины. Быстроходные дв-ли выполняются обычно с аксиальной вентиляцией, а тихоходные крупные дв-ли группового привода—с радиальной вентиляцией.

Аксиальная вентиляция. Наиболее употребительна параллельная схема (фиг. 15). Направление воздушных струй у дв-лей постоянного тока м. б. взято любым.

Расположение вентилятора у самовентилирующихся дв-лей м. б. как со стороны коллектора, так и с противоположной стороны. Последнее расположение имеет ряд преимуществ конструктивного порядка, более простое и надежное крепление вентилятора, возможность встроить больший вентилятор.

Регулирование воздухораспределения при принудительной вентиляции достигается или отдельным выходом струй и регулировкой размеров выходных отверстий, или установкой между полюсными наконечниками специальных заслонок. При самовентилиации это регулирование достигается подбором формы лопатки у однокамерных вентиляторов или применением двухкамерного вентилятора.

П о с л е д о в а т е л ь н а я с х е м а п р и м е н е н а ф и р м о й Дж. Эл. для высоковольтных моторов 1500/3000 V Лакаванской ж.д. По этой схеме воздух, забранный с крыши, просасывается под якорем, нагнетается вентилятором в пространство между катушками и выходит на стороне входа наружу. При этой схеме в дв-ле не получается вакуума, так что сквозь неплотности крышек дв-ль не засасывает влагу и тормозную пыль. В этом крупное достоинство схемы. Однако эта схема вентиляции менее эффективна и требует высоких давлений вентилятора, отчего может применяться лишь для быстроходных дв-лей.

Для дв-лей, расположенных под экипажем, должен быть особо проработан вопрос забора и выпуска воздуха.

Выход воздуха должен быть устроен так, чтобы устранить возможность попадания снега или песка в мотор в пер. вынужденной стоянки эл/в.

У о д н о ф а з н ы х дв-лей с мощностью порядка $300 \div 1000 \text{ kW}$ применяются сложные вентиляционные схемы с комбинированной само- и принудительной вентиляцией. Схема (фиг. 16 и 17) в основном должна удовлетворять требованиям: а) интенсивное охлаждение коллектора и унос коллекторной пыли; б) интенсивное охлаждение железа и обмоток статора (невозвращающаяся часть).

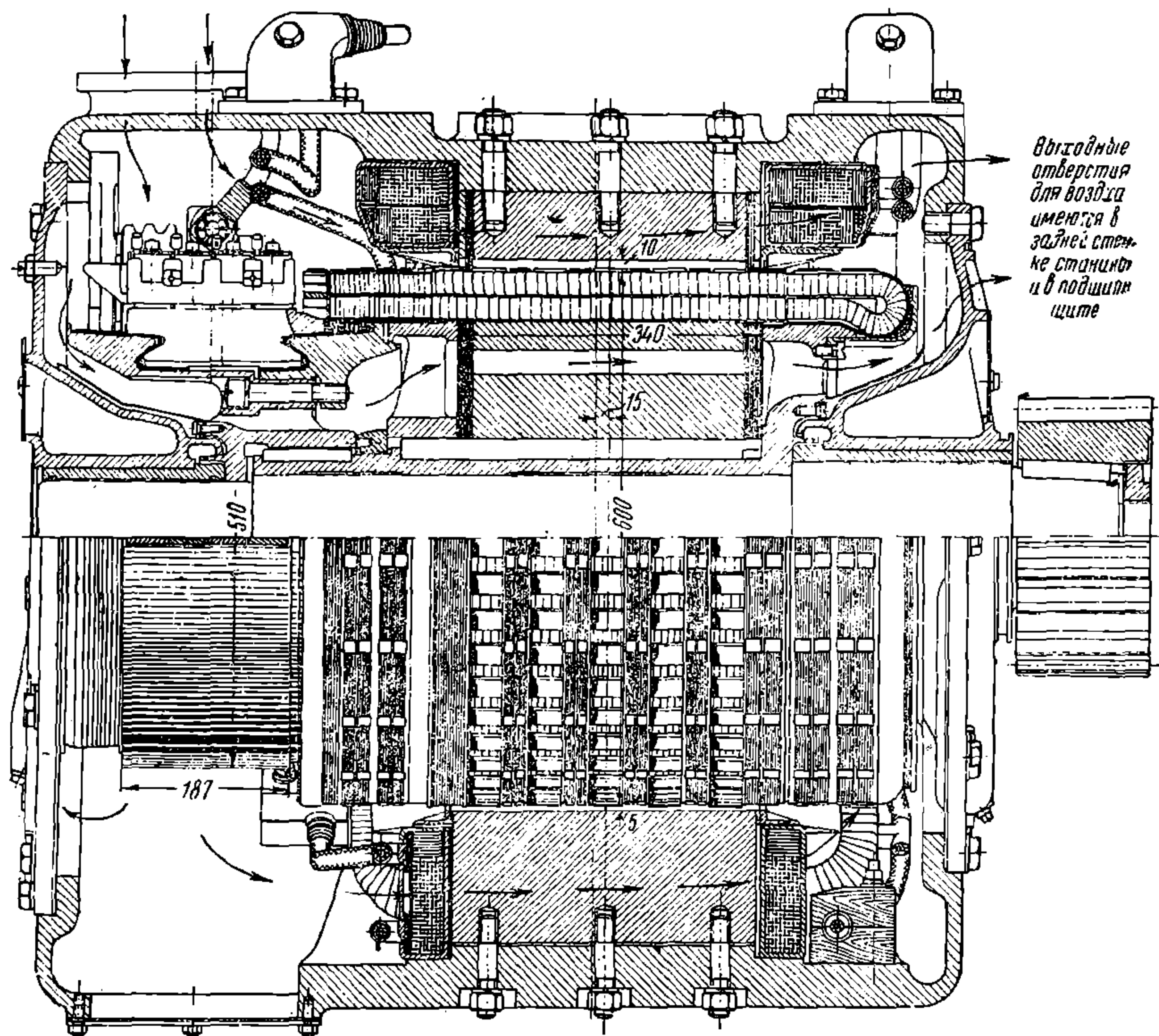
Интенсивность вентиляции характеризуется отношением длительного тока к часовому. Это отношение колеблется в пределах:

закрытые двигатели	$0,4 \div 0,5$
самовентилирующиеся	$0,6 \div 0,8$
с принудительной вентиляцией	$0,8 \div 0,9$

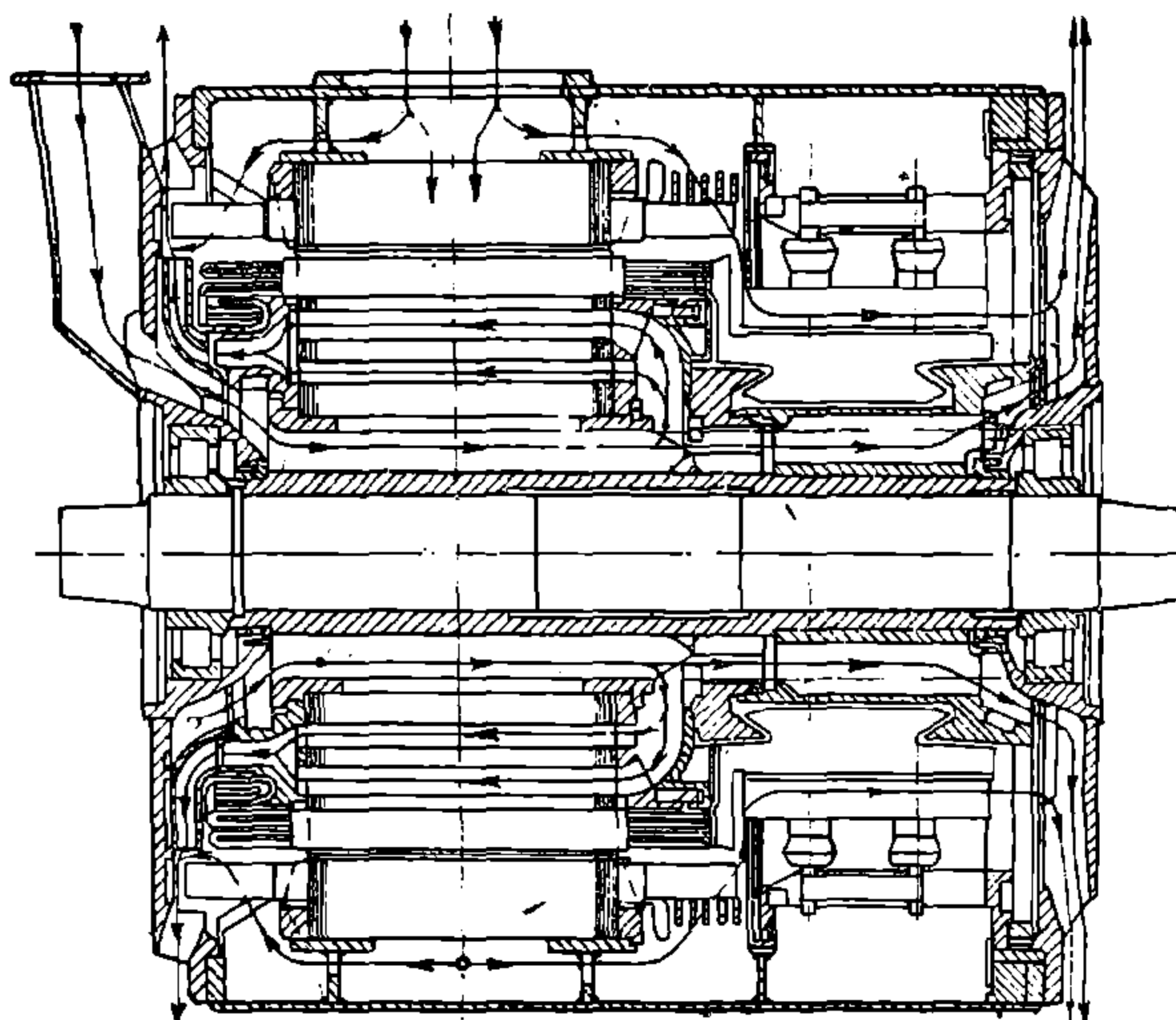
Количество воздуха на 1 kW потерь длительного режима при принудительной вентиляции— $2,5 \div 3,2 \text{ м}^3/\text{мин}$.

При самовентилиации количество просасываемого через мотор воздуха зависит от степени быстроходности мотора и колеблется в пределах $1 \div 2 \text{ м}^3/\text{мин}$.

НТБ
ДНУЗТ

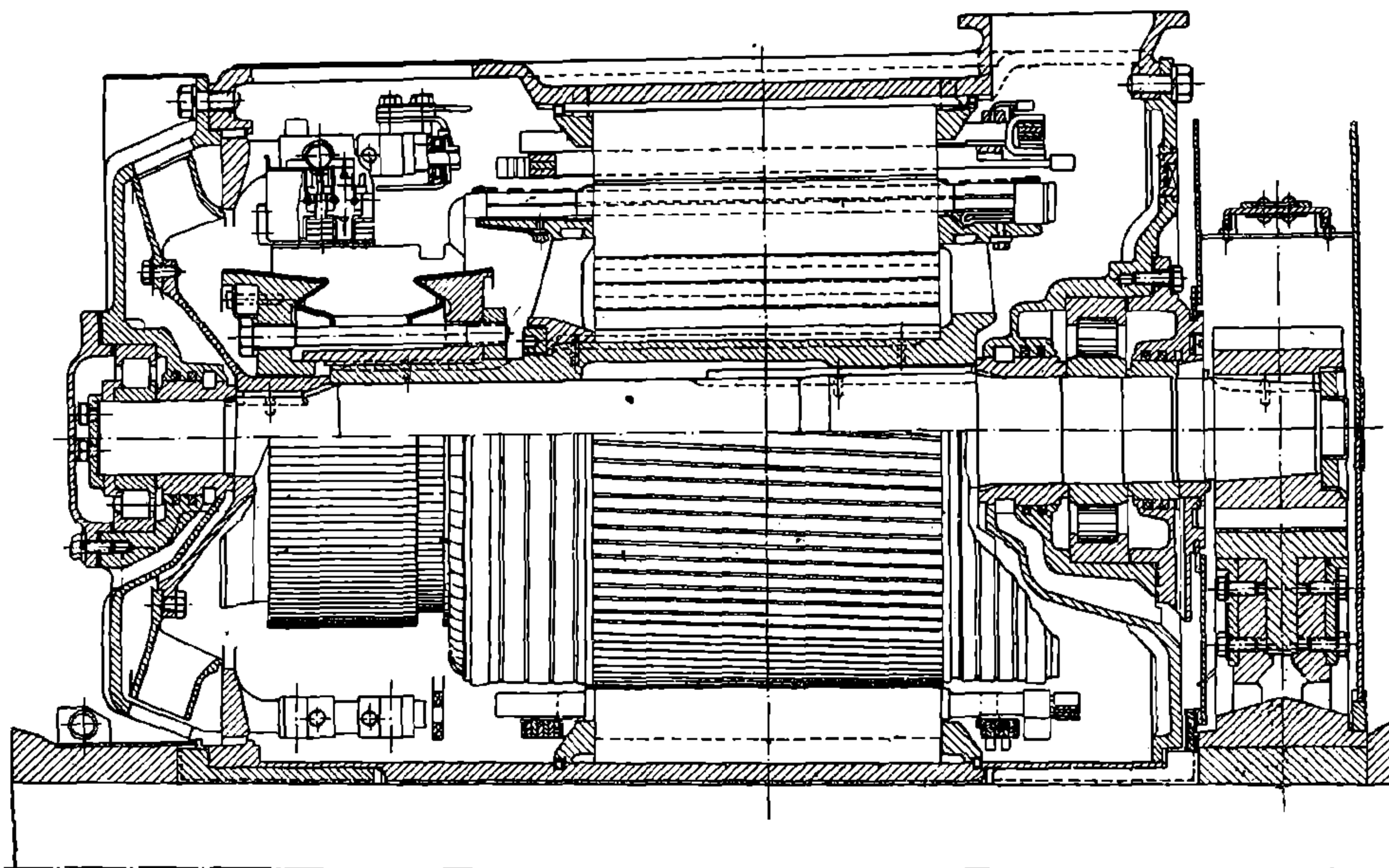


Фиг. 15



Фиг. 16

Давление H , к-рое необходимо, чтобы прогнать через мотор определенное количество воздуха Q м³/сек, расходуется на преодоление местных сопротивлений (статическое давление). Таковыми являются разные сужения и расширения, повороты и изгибы воздушных каналов.



Фиг. 17

Величина потерь давления в этих сопротивлениях м. б. вычислена по данным табл. 11. Кроме того часть давления расходуется на преодоление трения в каналах якоря (табл. 11 и 12).

Табл. 11

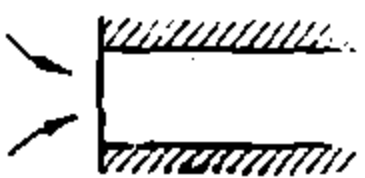
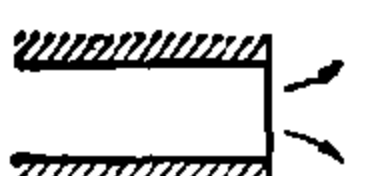




Причина потери давления	Ф-ла перепада в мм вод. ст.	Пример
Внезапное сужение	$0,0305v^2$ v — скорость после сужения	Вход в аксиальные или радиальные каналы
Внезапное расширение	$0,061(v_1 - v_2)^2$ v_1 — скорость в начале, v_2 — скорость в конце	Выход из аксиальных или радиальных каналов
Трение	(1) $0,0075 \frac{l}{d} v^2$ l — длина канала, d — диаметр канала, v — скорость в канале,	Круглые аксиальные каналы с шероховатыми стенками
	(2) $0,0025 \frac{l}{d} v^2$	
Отверстия с острыми краями	$0,034 v^2$, обычно применяемая $0,15 v^2$, полученная на выполненных машинах v — скорость в отверстии	Отверстия в щите
Внезапный поворот	$0,061v^2$ v — скорость в повороте	Переходы из аксиальных в радиальные

Плотность воздуха принята в этих ф-лах равной 1,2 кг/м³. Скорость — в м/сек.

НТБ
ДНУЗТ

Табл. 12. Коэффициенты местных сопротивлений ζ

$$\Delta H = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad \gamma \text{ мм вод. ст.}$$

Случай	Эскиз	ζ	Отнесено к скорости
Вход в трубу и отверстие с острыми краями		0,5	В отверстии
Выход из трубы в отверстие		1,0	
Колено 90°		1,5	В колене
Колено 135°		0,5	
Внезапное расширение поперечного сечения от f до f_1		$\left(1 - \frac{f}{f_1}\right)^2$	В малом сечении
Внезапное сужение от f_1 до f		$f/f_1 = 0,1$ 0,50 $f/f_1 = 0,1$ 0,48 $f/f_1 = 0,2$ 0,46 $f/f_1 = 0,3$ 0,42 $f/f_1 = 0,4$ 0,37 $f/f_1 = 0,5$ 0,32 $f/f_1 = 0,6$ 0,26 $f/f_1 = 0,7$ 0,20 $f/f_1 = 0,8$ 0,13 $f/f_1 = 0,9$ 0,06 $f/f_1 = 1,0$ 0,00	

Наконец, часть давления идет на сообщение ускорения выходящему из мотора воздуху. Эта часть, носящая название динамического давления, м. б. определена ф-лой:

$$P_d = \gamma \frac{v^2}{2g} \text{ мм вод. ст.,}$$

где: γ — уд. в. воздуха = $1,2 \text{ кг/м}^3$, v — скорость воздуха на выходе в м/сек , g — ускорение силы тяжести.

Для дв-лей трамповески с параллельной аксиальной вентиляцией полное давление м. б. приближенно определено ф-лой:

$$H = 0,4 \div 0,5 v_{cp}^2,$$

где v_{cp} — средняя скорость в среднем сечении дв-ля в м/сек ; для параллельной аксиальной принудительной вентиляции давление колеблется в пределах $50 \div 100 \text{ мм вод. ст.}$

Влияние количества воздуха на длительную мощность дается кривой фиг. 18.

Влияние количества воздуха на кратковременную мощность дается на фиг. 18, где *ДВ*—длительный режим, *КВ*—кратковременный режим.

Количество тепла, уносимое воздухом из мотора, м. б. определено ф-лой:

$$kW = Q \Delta t \cdot 1,1,$$

где: Q — количество воздуха в $\text{м}^3/\text{сек}$, Δt — перегрев воздуха в моторе, kW — количество тепла в киловаттах (потери в моторе).

Размеры вентилятора. Диамет. вентилятора берется настолько большим; насколько это позволяет конструкция. Обычно

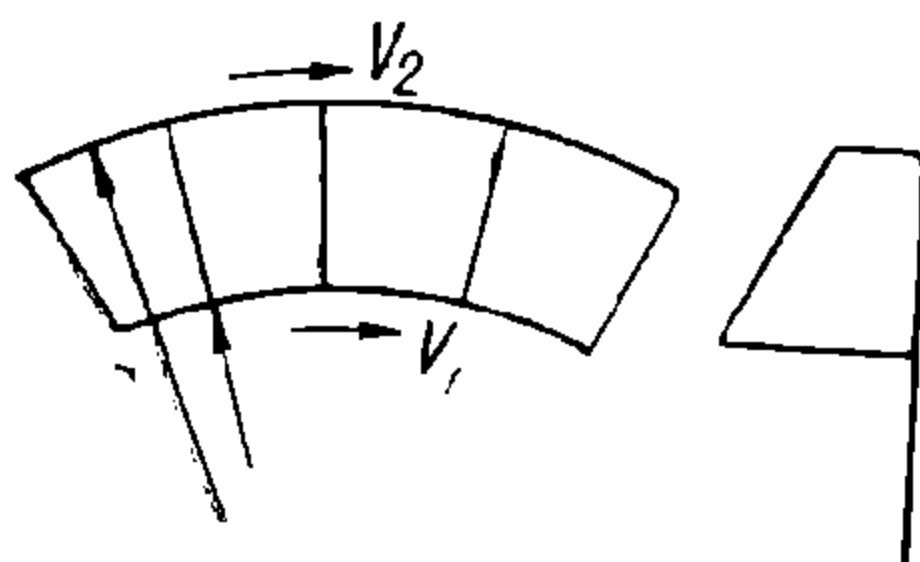
$$\frac{D_b}{D_a} \approx 1,3,$$

где: D_b — диамет. вентилятора и D_a — диамет. якоря.

Ширина лопатки берется с таким расчетом, чтобы радиальная скорость воздуха в камерах вентилятора не превышала 5 м/сек .

Давление, к-рое дает вентилятор, м. б. подсчитано по ф-ле (фиг. 19):

$$N = \frac{v_2^2 - v_1^2}{g} \eta,$$



Фиг. 19

где: v — окружная скорость на наружном радиусе в м/сек , v_1 — окружная скорость на внутреннем радиусе в м/сек , η — коэф-т, учитывающий потери на удар при входе воздуха в вентилятор; $\eta = 0,3$ для радиальных лопаток.

Нагрев обмоток дв-ля подчиняется классическим законам нагревания однородного тела.

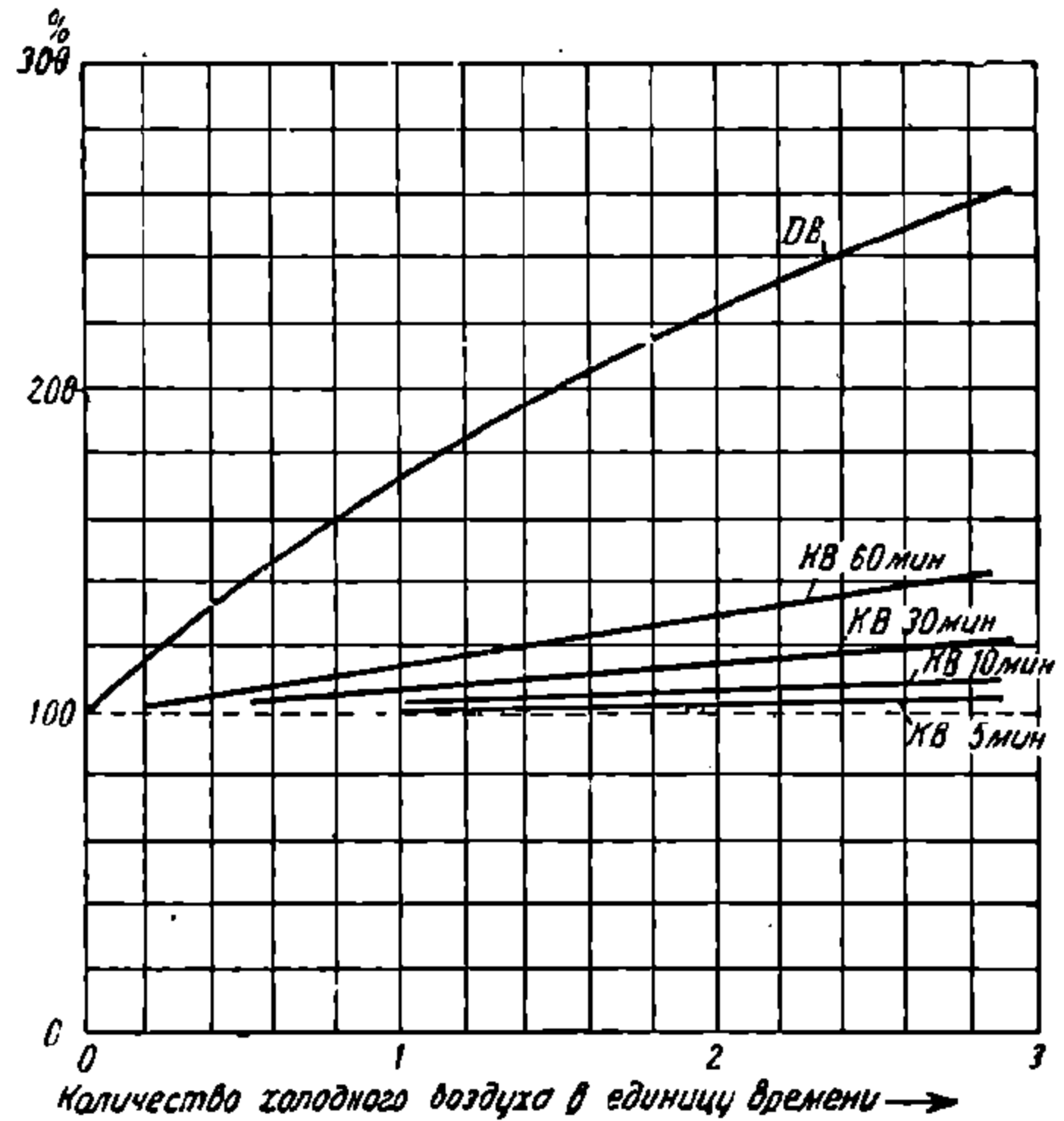
При I и $E = \text{const}$ перегрев в ф-ии времени выражается ф-лой:

$$= \tau_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}} \right),$$

где: τ — перегрев обмоток за пер. времени t , τ_{∞} — установившийся перегрев и T — постоянная времени при данных I и E , τ_0 — начальный перегрев. Влияние режима работы (I и E) на перегрев м. б. учтено, если положить

$$\tau_{\infty} = \frac{I^2}{B},$$

где B — эквивалентная теплоотдача дв-ля при данном режиме. Поскольку в этой ф-ле нагревание задано зависящим от квадрата тока (омические потери), то коэф-т B должен учитывать влияние магнитных потерь. Коэф-ты B и T меняются в ф-ии скорости v .



Фиг. 18

33176

ДНУЗТ

Для определения $B = f(v)$ з-дом д. б. даны длительные мощности при нескольких вольтажах (скоростях).

Для определения T исходят из ур-ия:

$$\tau_2 = \frac{I_2}{B_2} \left(1 - e^{-\frac{60}{T_2}}\right),$$

откуда

$$T_2 = \frac{60}{2,3 \lg \left(1 - \frac{\tau_2 B_2}{I_2^2}\right)}.$$

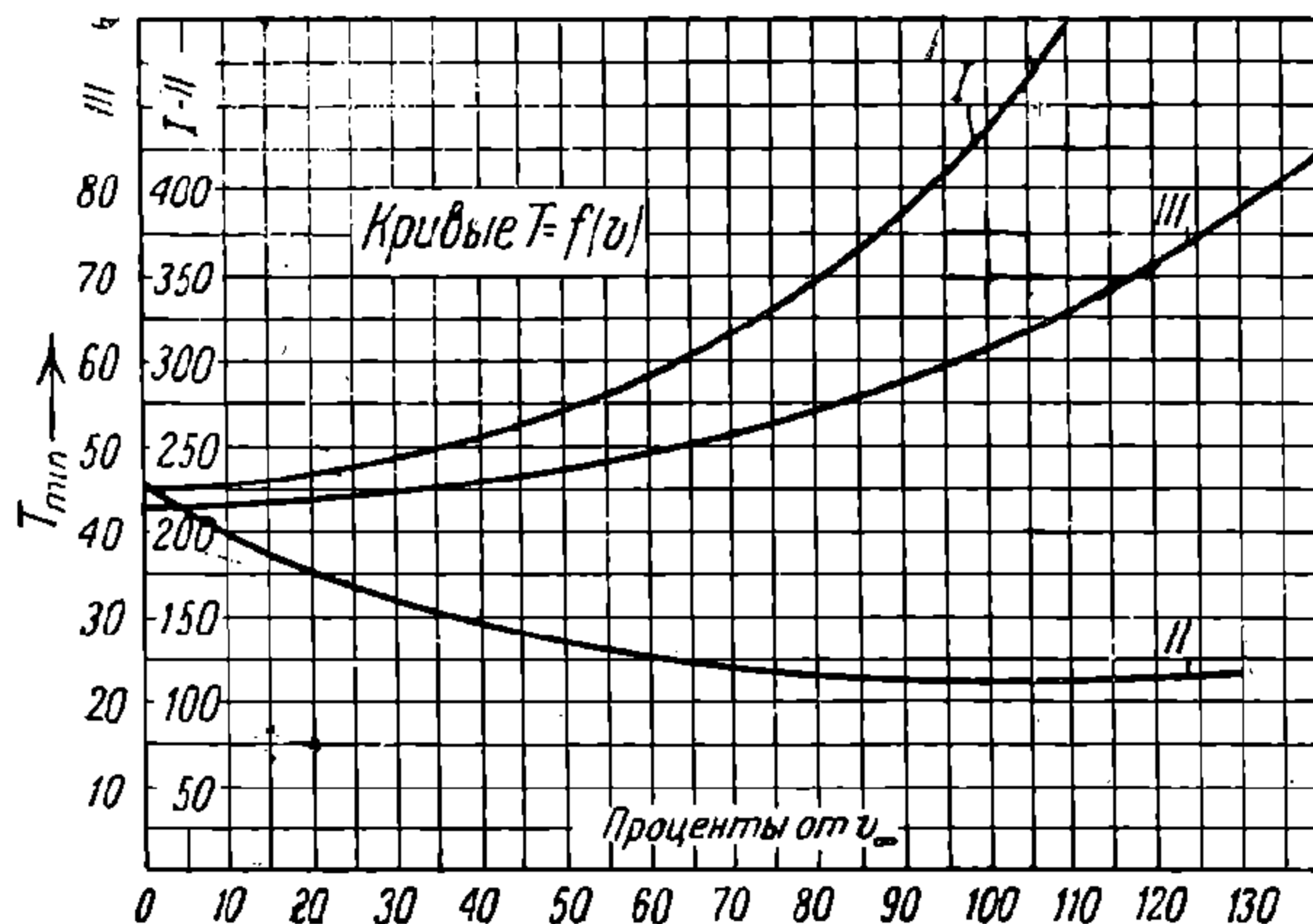
Здесь τ_2 — перегрев при часовом токе, B_2 — эквивалентная теплоотдача, определенная по построенной кривой $B = f(v)$ при $v = v_{\text{час}}$. Т. к.

$$BT = A = \text{const},$$

где A — теплоемкость, то:

$$T = \frac{A}{B},$$

откуда м. б. построена зависимость $T = f(v)$. Приблизительная зависимость указана на фиг. 20.



Кривые обозначают: I — закрытые Т.М; II — самовентилир. $k_B = 0,65$; III — с принудительной вентиляцией $k_B = 0,8$.

Фиг. 20

Более точно перегрев м. б. определен, если положить у обмотки ротора (и статора у ТД переменного тока):

$$\tau_{\infty} = \frac{I^2 R_0 + W'_{жс}}{B - I^2 R_0 \alpha}.$$

Катушки полюсов ТД постоянного тока:

$$\tau_{\infty} = \frac{I_2 R_1}{B - I_2^2 R_0 \alpha}.$$

Здесь: α — темп-ный коэф-т материала обмотки, R_0 — сопротивление соответствующей обмотки (холодное), B — физическая теплоотдача, зависящая исключительно от вентиляции, $W'_{жс}$ — греющие железные потери при данных E и I .

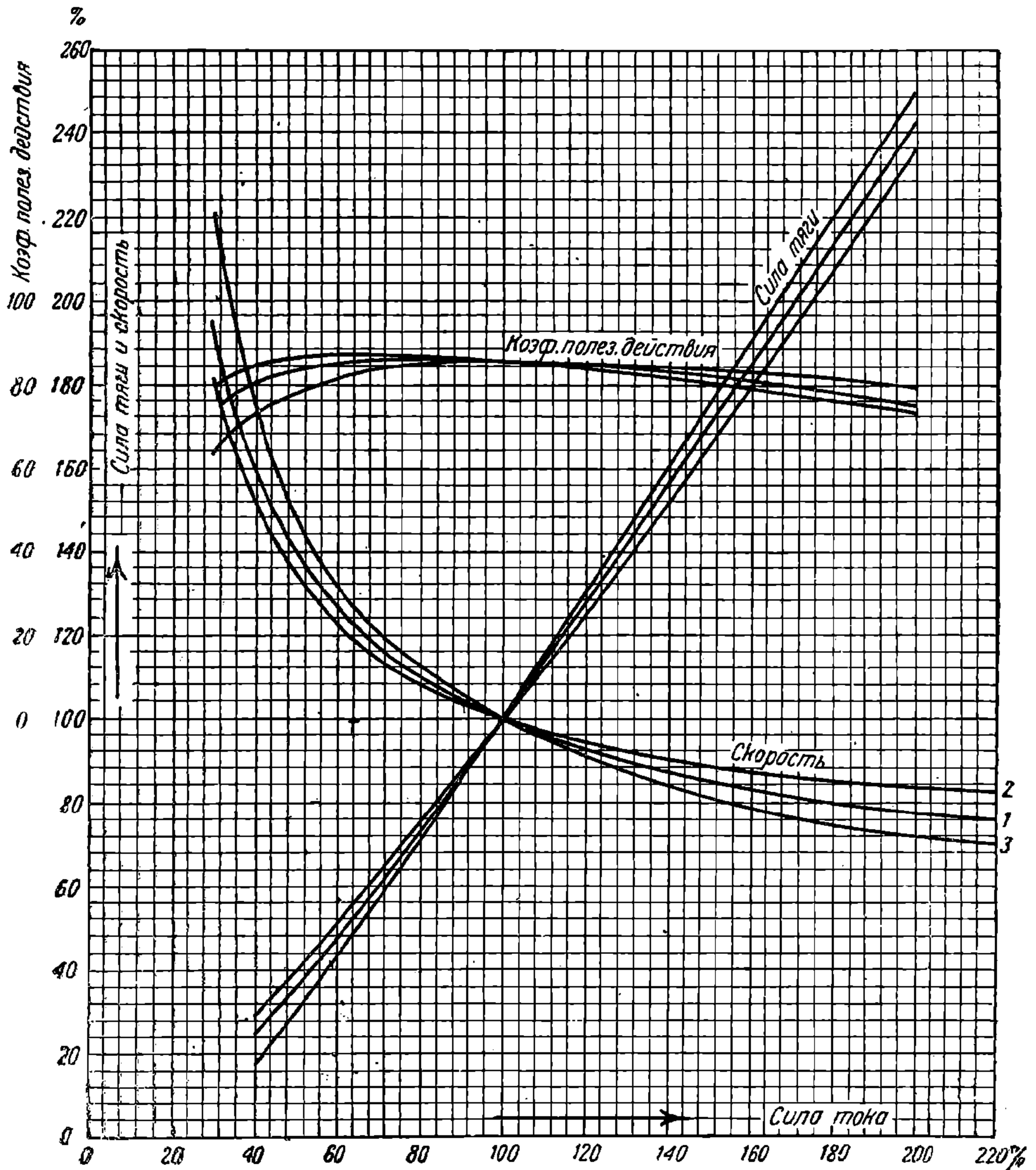
Для ТД с принудительной вентиляцией при $E = \text{const}$ установившиеся перегревы относятся:

$$\frac{\tau_{\infty}}{\tau'_{\infty}} = \left(\frac{I}{I'}\right)^{1,5}$$

IV. ТЯГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, СКОРОСТИ И ПАРАМЕТРЫ

Универсальная характеристика дв-ля (сериеc) приведена на фиг. 21 и 22.



Фиг. 21

Регулирование скорости производится изменением напряжения на зажимах и изменением магнитного поля дв-ля (шунтировка, выключение части витков катушки главного полюса).

При изменении напряжения от E_1 до E_2 при токе I число оборотов соответственно изменится от n_1 до n_2 :

$$n_2 = n_1 \frac{E_2 - I \Sigma R}{E_1 - I \Sigma R} \approx n_1 \frac{E_2}{E_1},$$

НТБ
ДНУЗТ

где ΣR — полное сопротивление цепи мотора. Вращающий момент:

$$M_2 = M_1 \frac{E_2}{E_1} \frac{n_1}{n_2} \frac{\eta_2}{\eta_1} \approx M_1 \frac{\eta_2}{\eta_1},$$

где η_{11} — кпд при токе I и E_1 ; η_2 — кпд при I и E_2 . Пересчет кпд — см. разд. «Потери».

Степень изменения поля характеризуется соотношением:

$$\frac{I_k \omega}{I_{Я} \omega_{Г.П}} = a,$$

где $I_{Я}$ — ток в якоре, I_k — ток в катушке главного полюса, $\omega_{Г.П}$ — полное число витков катушки главного полюса, ω — действующее число витков катушки главного полюса.

Если при токе I и полном поле ($a = 1$) число оборотов n , то при изменении поля в a раз и токе $\frac{I}{a}$ число ампер-витков в катушке главного полюса не изменится. Поэтому число оборотов n_a при изменении поля a и токе $\frac{I}{a}$ (пренебрегая якорной реакцией):

$$n_a = n \frac{E - \frac{I}{a} (R_{Я} + R_{\partial.n}) + I R_{Г.П}}{E - I (R_{Я} + R_{\partial.n} + R_{Г.П.})} \approx n,$$

где E — напряжение на зажимах.

Вращающий момент:

$$M_a = M \frac{n}{a} \frac{\eta}{n_a \cdot \eta_a} \approx M \frac{1}{a} \cdot \frac{\eta}{\eta_a},$$

где η_a — кпд при токе $\frac{I}{a}$ и изменении поля a . Изменение поля м. б. произведено или шунтировкой катушек главного полюса, или выключением части витков катушек. Последний метод более экономичен, т. к. отпадает необходимость в установке шунтов. Однако он требует добавочных выводов из катушки, являющихся слабым в смысле изоляции местом.

Шунты д. б. индуктивными с тем, чтобы при нестационарных режимах не получалось перераспределения тока. При недостаточной индуктивности шунта мотор при нестационарном режиме будет работать со слабым полем и наклоном к круговому огню.

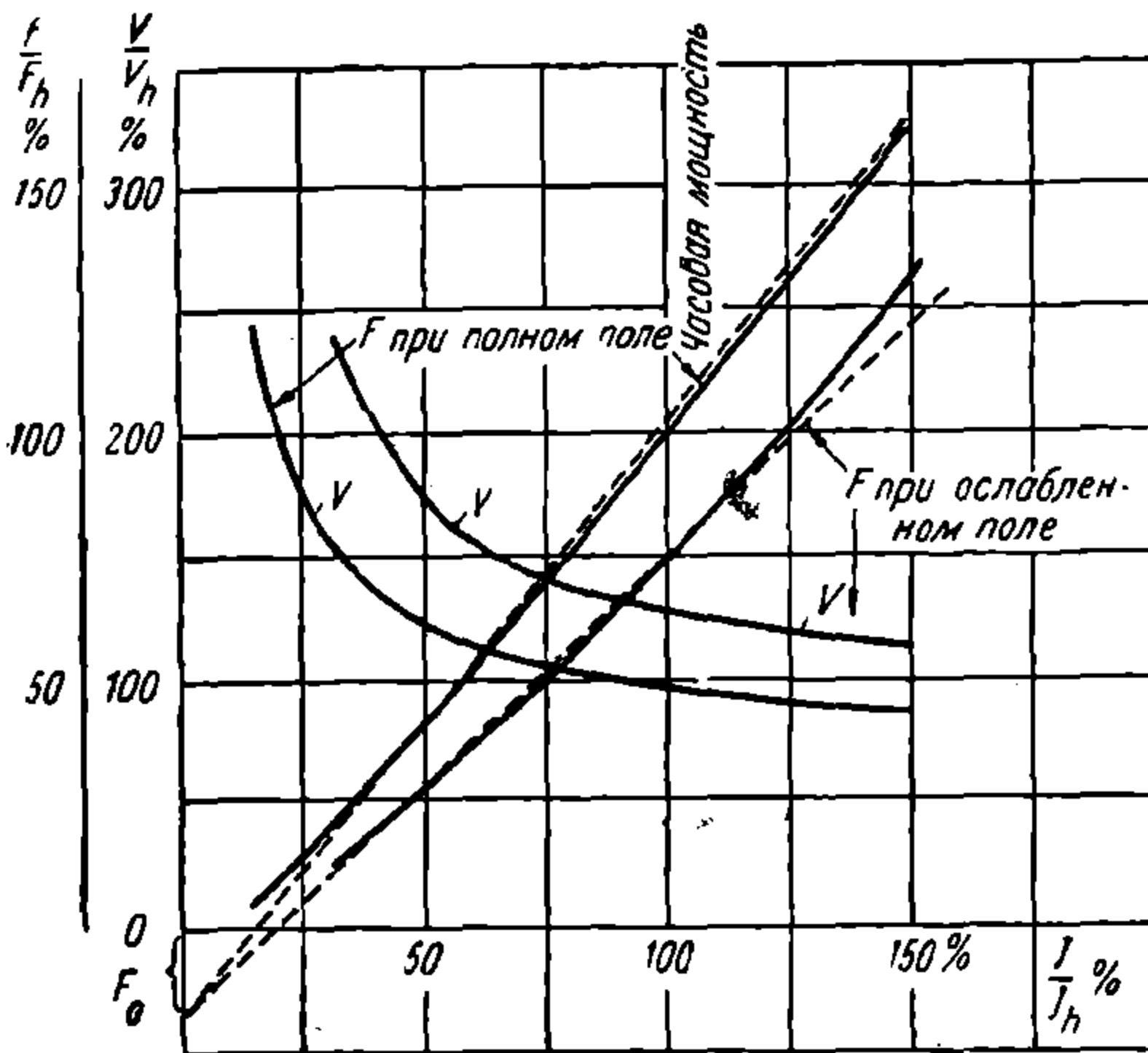
Коэф-т самоиндукции катушек главного полюса зависит от степени насыщения магнитной цепи.

Индуктивность шунта подбирается так, чтобы при часовом режиме число потокоцеплений $\Phi \omega$ катушки шунта было близко к таковому катушек главного полюса. Окончательная регулировка производится изменением воздушного зазора в цепи шунта.

Наибольшее допустимое ослабление поля зависит от соотношения

$$\frac{\text{ампер-витки зубцов и воздуха}}{\text{ампер-витки якорной реакции под полюсом}},$$

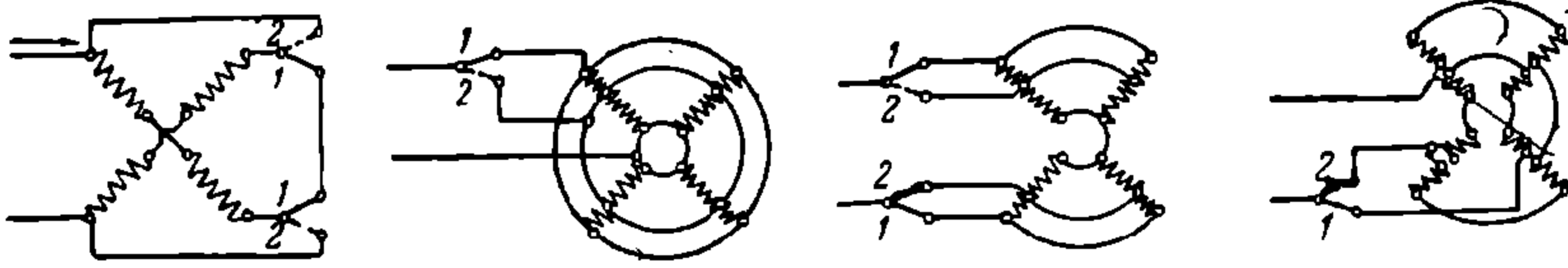
поределяющего степень искажения поля. Это соотношение не д. б. меньше 1. Переход на ослабленное поле влечет за собой бросок тока тем больший, чем сильнее был нагружен дв-ль. Поэтому во избежание коммутационных осложнений инструкция для машиниста должна указывать максимальный ток, при котором еще возможен переход на шунтировку.



Фиг. 22

ДНУЗТ

Изменение поля может достигаться также комбинированным методом, — различной группировкой катушек (фиг. 23). При схемах, данных на фиг. 23 (первые две для электровозных дв-лей и вторые две для моторвагонных дв-лей), отпадает необходимость в индуктивных шунтах. Однако требуется добавочная аппаратура.



Фиг. 23

ТД постоянного тока строятся с изоляцией до 4000 V на корпус с напряжением на коллекторе до 1500 V. Оптимальное напряжение на коллекторе, при к-ром для мотора данной мощности получается наиболее легкий и конструктивный якорь, м. б. определено ф-лой:

$$E \approx 2000 \frac{e_s}{2p t_k} \sqrt[3]{\frac{kW_\infty}{n_\infty}}$$

где: e_s — среднее межсегментное напряжение в V, $2p$ — число пар полюсов, t_k — коллекторное деление (по рабочей поверхности коллектора) в мм, kW_∞ и n_∞ — мощность и число оборотов длительного режима.

Дв-ли постоянного тока (групповой привод, Пенсильванская ж. д., США,) строились до мощностей 2000 kW.

Использование ТМ характеризуется кривыми фиг. 23-а и 23-б—для э/в и фиг. 23-в и 23-г—для м/в.

Окружные скорости на якоре и коллекторе при режиме, соответствующем максимальной скорости, доходят до 55 м/сек и м. б. несколько повышены в эксплуатации.

Число пар полюсов дв-лей трамвайной подвески обыкновенно 2. Исключение составляют дв-ли узкой колеи (рудничные), у к-рых находят применение 6-полюсные конструкции, уменьшающие за счет диаметральных осевые размеры.

Для диапазона мощностей 500—2000 kW число полюсов лежит выше 4 и устанавливается в зависимости от напряжения на коллекторе. Чем выше последнее, тем меньше полюсов м. б. взято при определенном диам. якоря. Относительная в/в обуславливает малое число полюсов ТД постоянного тока.

Коммутационные свойства дв-ля определяются (по проф. Перевозскому) произведением $AS \times e_s$ линейной нагрузки на среднее межсегментное напряжение. Это произведение, являющееся физически мощностью, приходящейся на пару параллельных ветвей обмотки и на 1 см полюсного деления, не должно превышать:

$$\left. \begin{array}{l} 7000 \text{ — нормальная обмотка} \\ 9000 \text{ — ступенчатая обмотка} \end{array} \right\} \text{ часового режима.}$$

Обмотка 4-полюсных ТД обыкновенно последовательная $2a = 2$. В этом случае возможно применение всего 2 щеткодержателей (см. стр. 78).

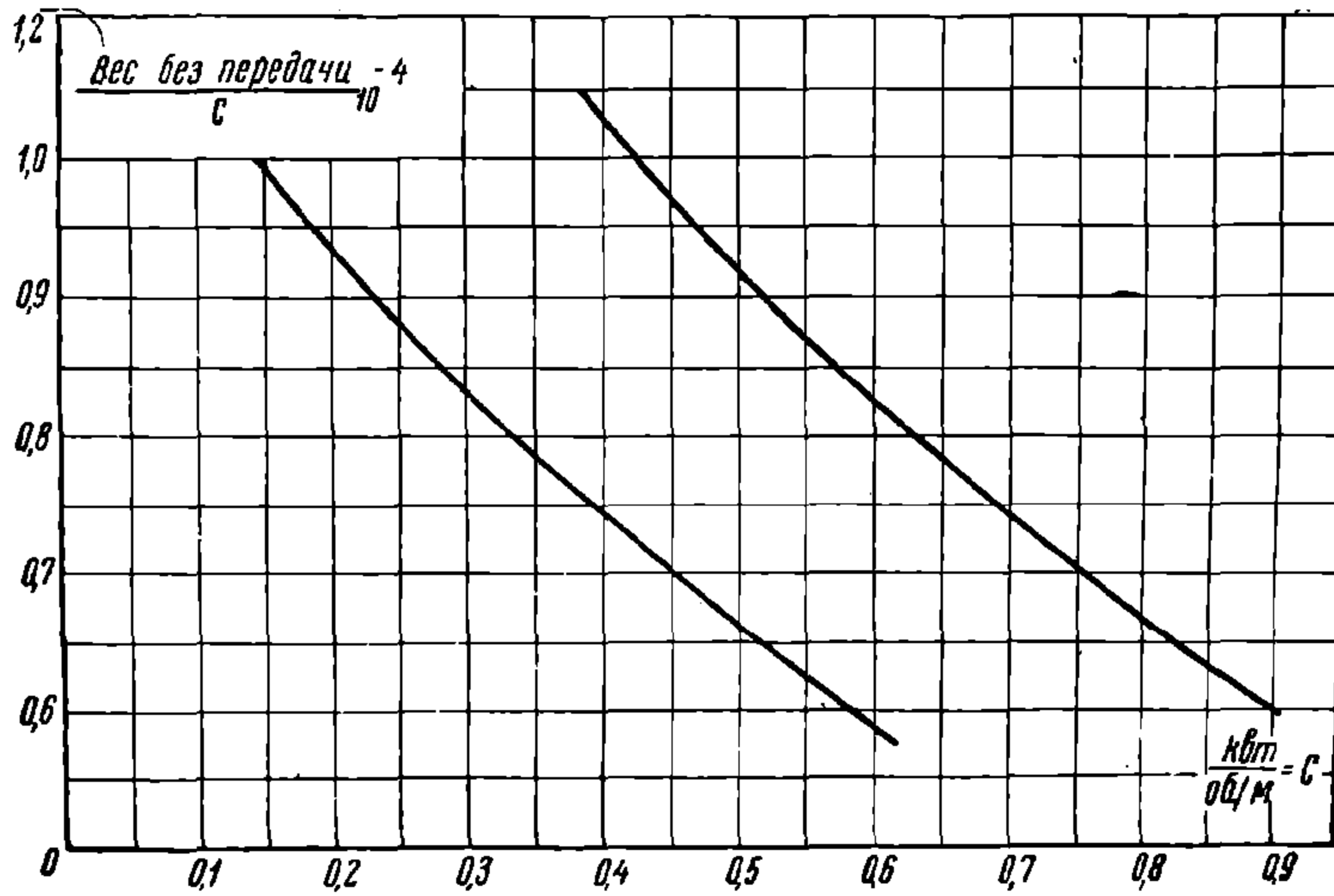
Изоляция моторов со стержневой обмоткой—миканит (класс Б). За последнее время заграничные фирмы начали применять асбестовую изоляцию в виде наклеенных на проводник асбестовых волокон. Подобная изоляция значительно теплопроводнее и дешевле миканитовой.

Изоляционные материалы—см. стр. 136.

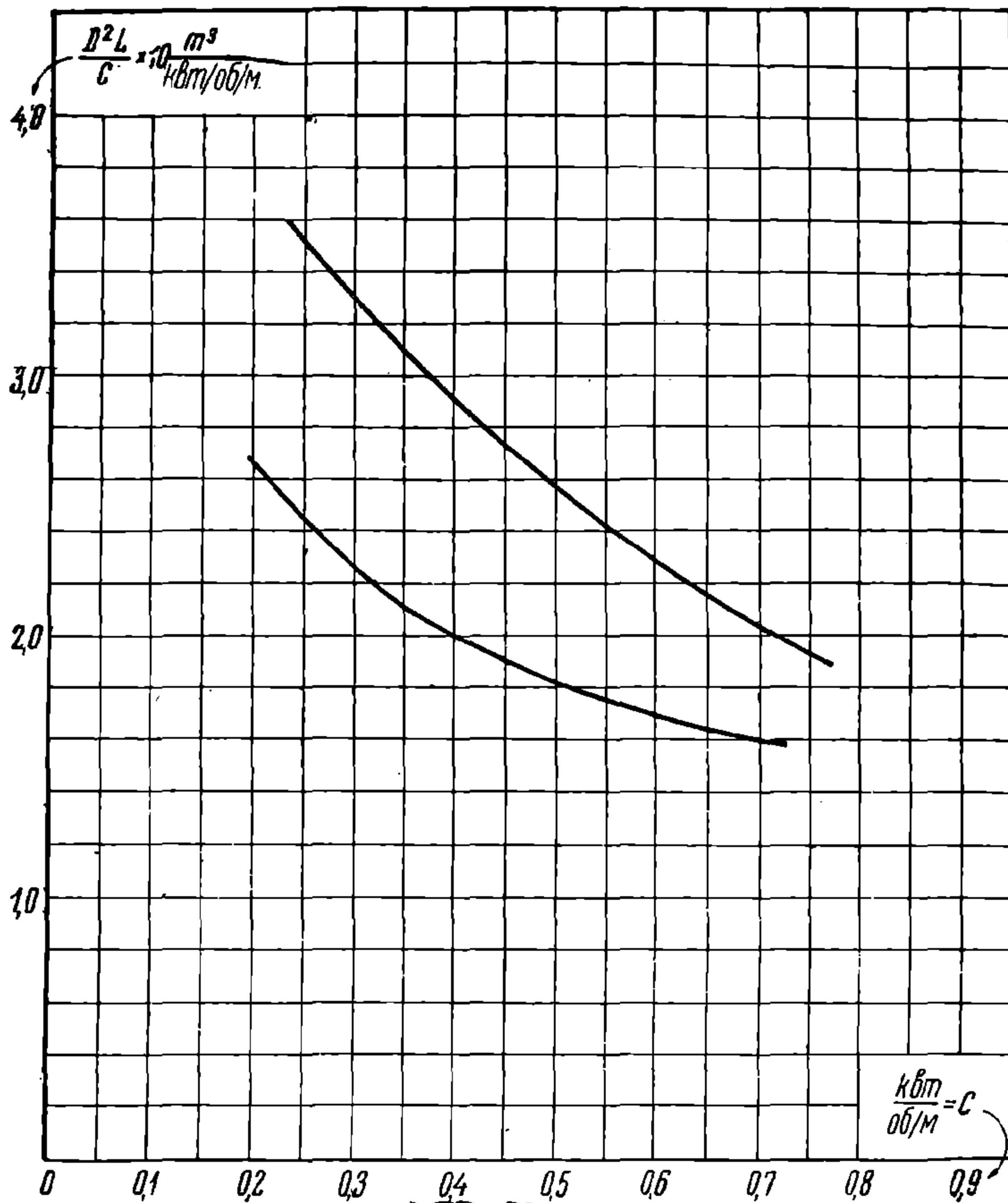
2. РАСЧЕТ ТЯГОВОГО МОТОРА

Для расчета д. б. даны: 1) часовая мощность, 2) скорость при часовой мощности, 3) максимальная конструктивная скорость, 4) минимальное допустимое расстояние между головкой рельса и кожухом передач, 5) напряжение троллея и на коллекторе, 6) наличие эл. реостатного торможения или рекуперации,—в первом случае задается максимальная скорость, при к-рой возможны реостатное торможение и тормозное усилие, 7) допустимый габарит, 8) методы подвески и передачи момента.

ДНУЗТ

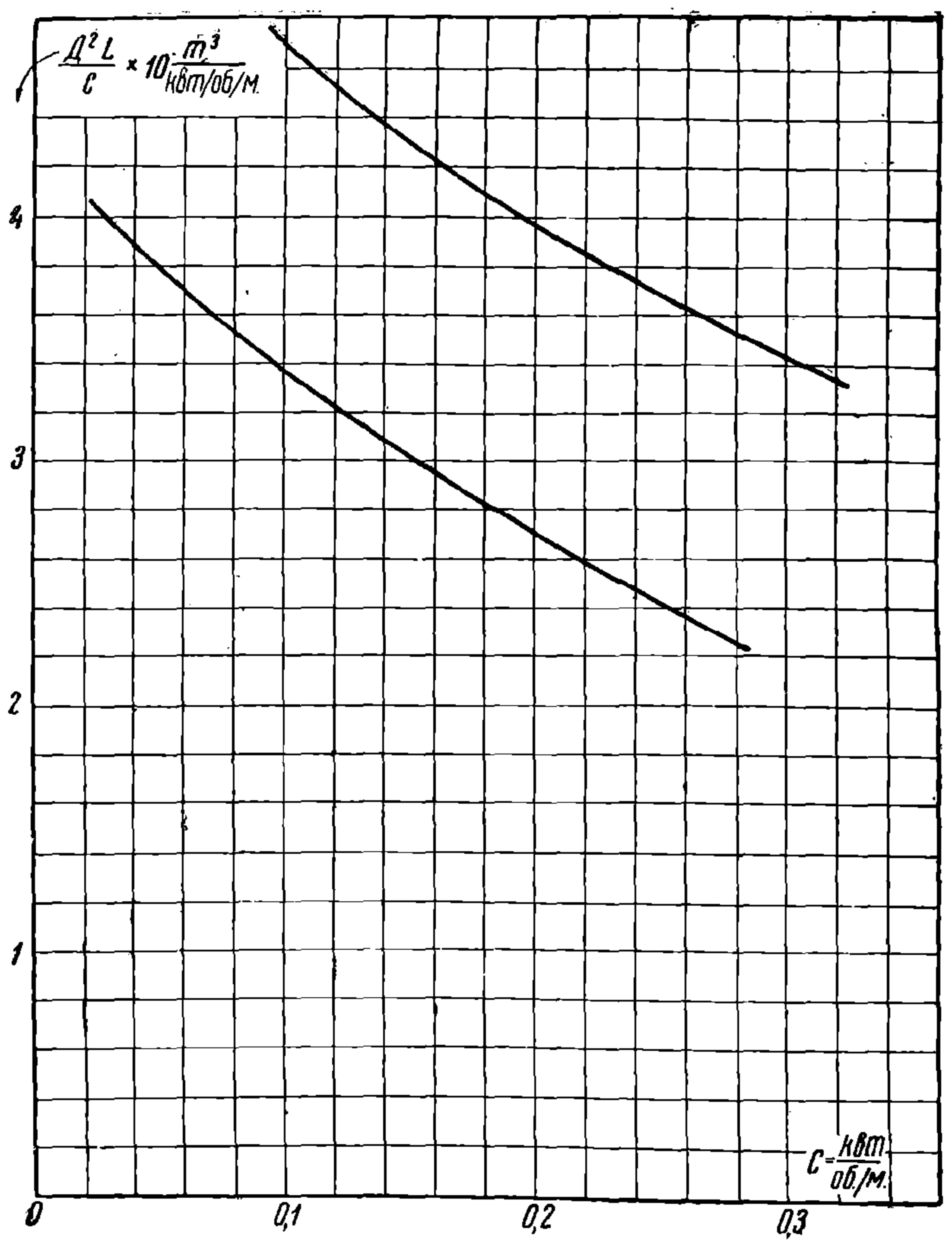


Фиг. 23-а

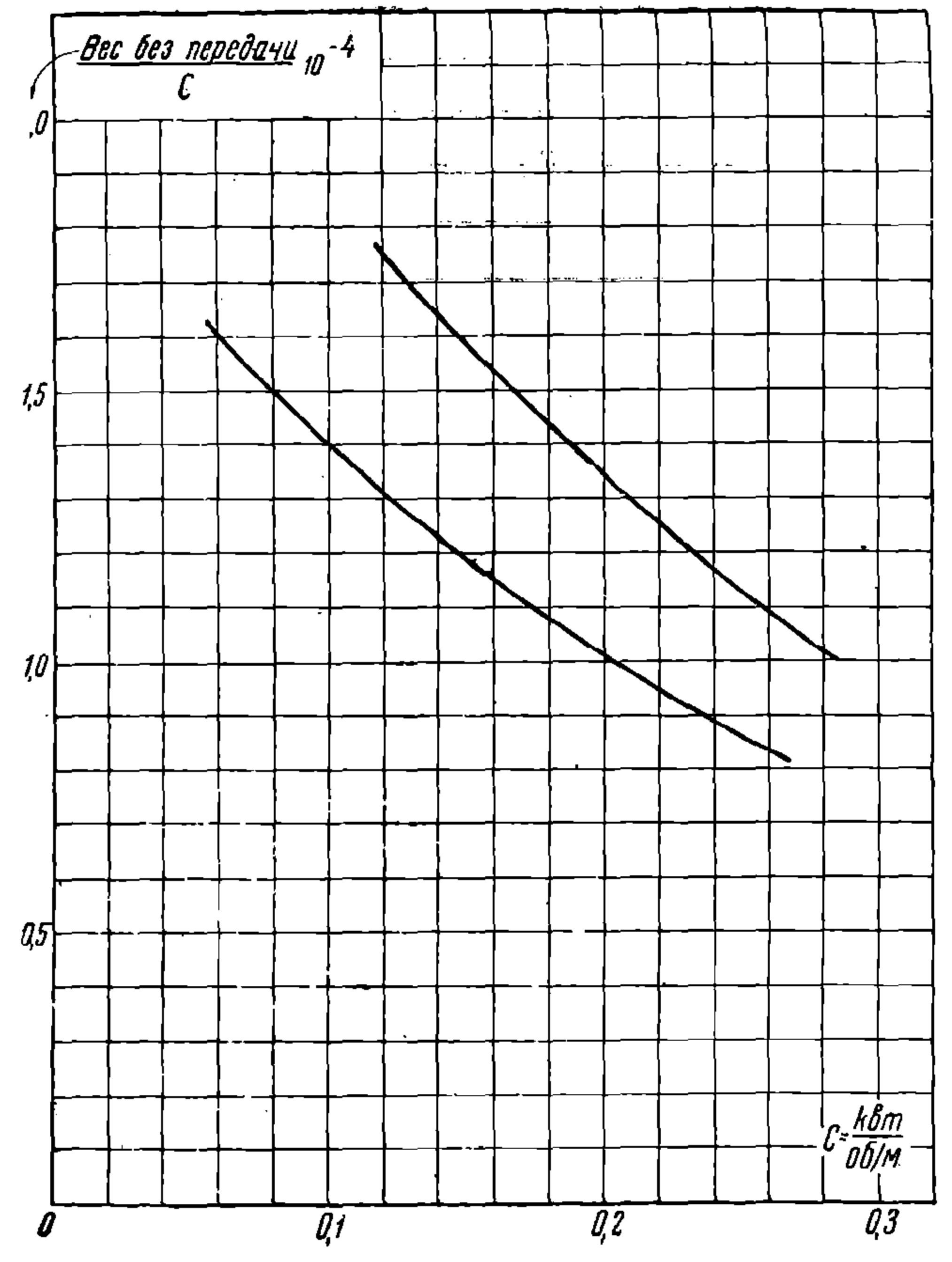


Фиг. 23-б

НТБ
ДНУЗТ



Фиг. 23-в



Фиг. 23-г

В дальнейшем ходе расчета имеются в виду гл. обр. дв-ли индивидуального привода. Расчет идет приблизительно по след. схеме: 1) Выбор передачи. Число оборотов. Централь. Диам. якоря. 2) Коллектор. Число пластин. Диам. коллектора. Щетки. 3) Обмотка. Число пазов. Паз. 4) Магнитный поток. Насыщение зубцов. Длина железа. 5) Воздушный зазор. Катушка главного полюса. Катушка дополнительного полюса. 6) Расчет магнитной цепи. Характеристики. 7) Потери. 8) Нагрев. 9) Коммутация.

а) Выбор передачи. Число оборотов. Централь. Диаметр якоря. Максимальное передаточное число лимитируется минимальным допустимым расстоянием, от головки рельса до кожуха передачи, минимальным количеством зубцов и размером шестерни. Первое условие ограничивает размер и число зубцов зубчатки.

Число зубцов:

$$Z_1 = \frac{D_1}{m} - 2;$$

$$D_1 = D_{в.к} - 2(b_1 + b_k + b) = D_{в.к} - 2b_1 - (20 \div 30),$$

$$Z_1 = \frac{D_2}{m} - 2,$$

где: $D_{в.к}$ — диам. ведущего колеса, D_1 — диам. (наружный) зубчатки, b_1 — нормированное расстояние от головки рельса до кожуха, b_k — толщина стенки кожуха, b — зазор между головкой зубца и кожухом.

Табл. 13

Давление на ось m	Модуль
5 — 8	7
8 — 11	8
11 — 15	9
15 — 20	10
20 — 25	11
25 — 30	12

Модуль m ориентировочно м. б. взят, в зависимости от давления на ось, по табл. 13 с проверкой в дальнейшем прочности зубца.

Зубцов в шестерне д. б. не меньше 13, т. к. с уменьшением этого числа падает прочность из-за подрезания ножки зубца и уменьшения продолжительности зацепления. Кроме того минимальное число зубцов при данном модуле и конусе на валу зависит от необходимых по прочности размеров тела шестерни. При малых числах зубцов целесообразен выбор передачи с косым зубцом. Передача, как правило, выполняется с коррегированным зубцом, при котором только и возможно получение указанного минимального

числа зубцов и к-рое снижает износ передачи. Наиболее распространена коррекция по AEG и Maag.

Проверка прочности зубца м. б. сделана по ф-ле:

$$k_{из} = 15 \frac{P}{b_z t} \text{ кг/см}^2,$$

где: t — шаг, b_z — аксиальная ширина зубца, P — расчетное усилие на передачу. Расчетное усилие P должно определяться для режима двойного часового тока или по коэф-ту тяги $\psi = 0,5$ (см. расчет вала, стр. 69).

Ширина зубчатки берется в пределах $2,5 \div 3,5 t$, но не больше 150 мм, если она сидит на консоли вала, т. к. в этом случае при изгибе консоли возможен излом краев зубца.

Ширина зубчатки д. б. проверена по уд. давлению:

$$p = \frac{P}{b};$$

$$p \leq 600 \div 700 \text{ кг/см}.$$

Подсчитанное по ф-ле напряжение изгиба в ножке получается преувеличенным. Допускаемой величиной является $k_{из} \leq 40 \text{ кг/мм}^2$ при материале с характеристиками: временное сопротивление 80—90 кг/мм², предел упругости — 50 кг/мм², ударная проба — 6 кг/см².

При установленной т. о. максимальной передаче число оборотов мотора:

$$n_M = n_{сi} = \frac{v \cdot 60}{3,6 \pi D_{в.к.}} \cdot \frac{Z_1}{Z_2},$$

НТБ
ДНУЗТ

где n — число оборотов ската в мин. при скорости v км/ч и диам. ведущего колеса $D_{в.к}$ в м. Диам. якоря м. б. определен по ф-ле Шенфера:

$$D_a = 80 \div 90 \sqrt[3]{\frac{kW_\infty}{n_\infty}} \text{ см,}$$

где: kW_∞ — поглощенная при длительном режиме мощность, n_∞ — обороты при длительном режиме.

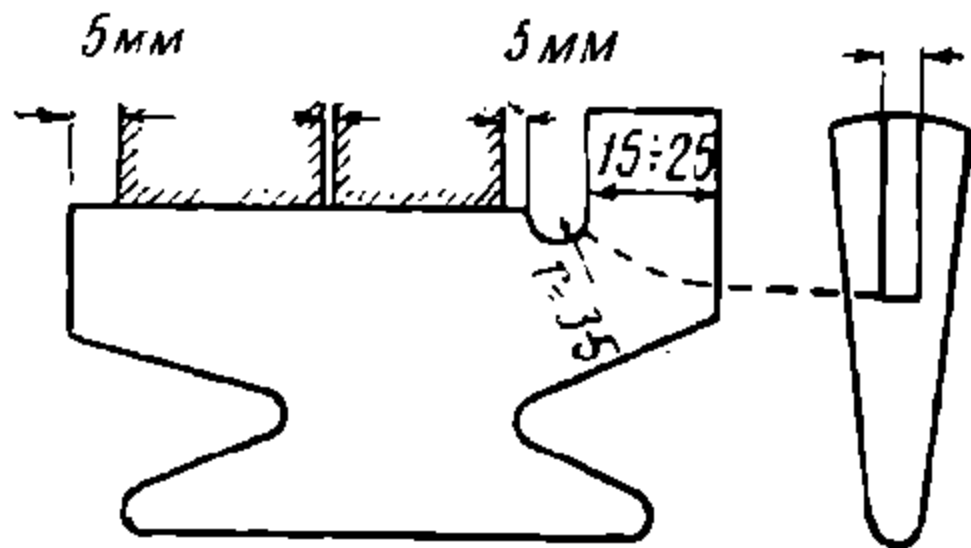
Диам. якоря должен обеспечивать возможность устройства аксиальных каналов в железе для прохода вентилирующего воздуха. Правильный предварительный учет указанных соображений зависит от опыта инженера, производящего расчет. Для дв-лей трамвайной подвески диам. якоря связан с централью. Максимальный диам. якоря, к-рый м. б. введен в данную централь, составляет $D_a \leq a$ при диагональном расположении главных полюсов и $D_a \leq 1,15a$ при крестовом, где a — централь.

б) Коллектор. Число пластин. Диаметр коллектора. Щетки. Число пластин коллектора определяется выбранным средним межсегментным напряжением l_s . Эта величина совместно с линейной нагрузкой AS определяет коммутационную надежность дв-ля. Выбор величины l_s в свою очередь зависит от возможных перенапряжений на коллекторе. В случае применения рекуперации и особенно в случае применения реостатного торможения перенапряжения могут достигать значительной величины. Если реостатное торможение применяется как экстренное (трамвай), без защиты дв-ля от перенапряжений, то перенапряжения могут достигать двукратной и выше величины, в зависимости от того, на какой скорости начато торможение. Рекуперация как средство торможения перед остановкой (троллейбус) также вызывает значительное повышение напряжения на коллекторе. В связи с вышеуказанным межсегментное напряжение м. б. выбрано по табл. 14.

Число пластин найдется по ф-ле:

$$k = \frac{2p \cdot E}{l_s}$$

Диам. коллектора берется в пределах $(0,8 \div 0,9) D_a$. Определенный т. о. диам. коллектора д. б. проверен с таким расчетом, чтобы не получить слишком тонкой пластины. Минимальная возможная толщина пластины определяется необходимостью сделать шлиц в петушке. Размер шлица зависит от размера якорного проводника. Кроме того должны остаться достаточно толстые стенки (фиг. 24), больше 1,6 мм на обе стороны.



Фиг. 24

Длина пластины определяется выбранным размером щетки и числом их на болт. Сечение щетки подбирается по допустимой плотности тока (табл. 38).

Ширина щетки берется в пределах $b_{щ} = (2,5 \div 3,5) t_k$, где t_k — коллекторное деление, равное

$$\frac{\pi D_k}{k}$$

По этим данным определяется длина рабочей поверхности коллектора. Если в случае последовательной обмотки число щеточных болтов уменьшено с $2p$ до 2 , то длина рабочей поверхности коллектора увеличивается в p раз. Если это увеличение длины допускается габаритом, то следует еще учесть ухудшение коммутационных свойств (см. разд. «Обмотка»).

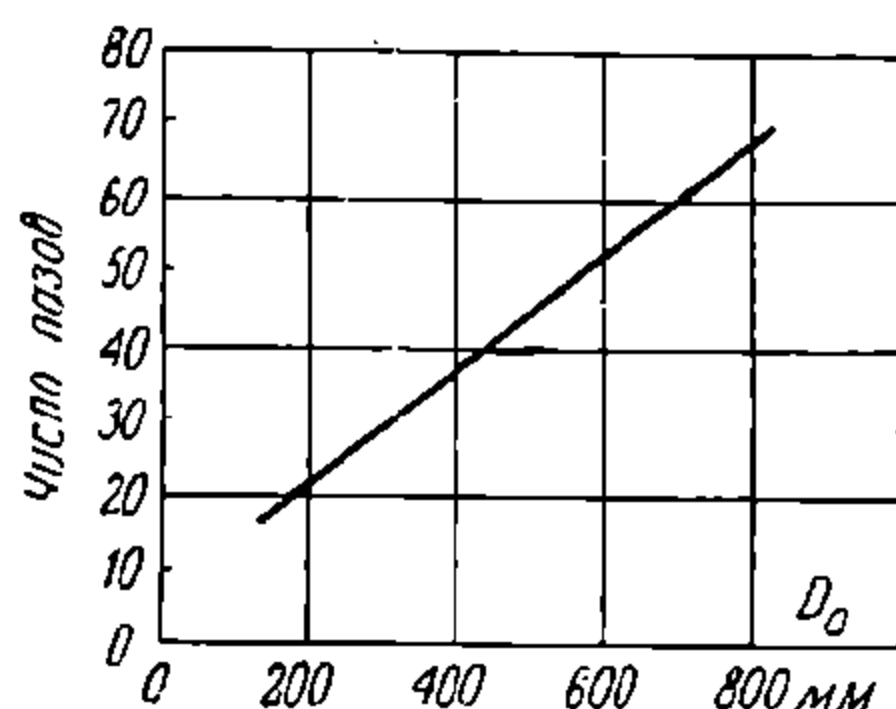
Характеристику щетки см. разд. «Щетки».

Табл. 14

Особые условия	Допустимое среднее межсегментное напряжение V
Реостатное напряжение без защиты по максимальному напряжению	10 ÷ 12
Рекуперация на магистральной дороге. Реостатное торможение с ограничением по напряжению	14 ÷ 18
Без рекуперации и реостатного торможения	21

НТБ
ДНУЗТ

в) Обмотка. Число пазов. Число пазов м. б. взято по кривой фиг. 25. В случае последовательной обмотки число пазов на пару полюсов берется дробным, в случае параллельной — нечетным целым, т. к. этого требует размещение эквипотенциальных соединений. От кривой (фиг. 25) возможны значительные отступления.



Фиг. 25

Табл. 15

D_a мм	AS
200	250
250	280
350	345
450	390
550	430
650	465
750	500

Число проводов обмотки д. б. определено по линейной нагрузке. Линейная нагрузка в ф-ии диам. приведена в табл. 15.

Число проводов определяется по ф-ле:

$$N = \frac{\pi D AS}{\frac{l}{2a}}$$

где $2a$ — число пар параллельных ветвей обмотки.

Полученное число проводов и число пазов корректируются так, чтобы первое нацело делилось на второе.

Число витков в секции обмотки:

$$W = \frac{N}{2K_{min}}$$

где K_{min} — найденное по наибольшему допустимому межсегментному напряжению минимальное число пластин. Число пластин д. б. поправлено (в сторону увеличения) так, чтобы получить целое число витков.

Если при последовательной обмотке получается слишком малое число проводов и соответственно число пластин, то следует перейти к параллельной обмотке. Плотность тока в якорных проводниках 4—5 А/мм² с проверкой по «фактору нагрева».

Отношение высоты паза к ширине колеблется в пределах 2,5 ÷ 4,5. Изоляция — по фиг. 92.

г) Магнитный поток. Магнитный поток машины определяется ф-лой:

$$\Phi = \frac{(E - \Delta e) \cdot a \cdot 60 \cdot 10^9}{p \cdot N \cdot n} \quad (\text{Максвелл}),$$

где: E — напряжение на коллекторе, Δe — падение напряжения в моторе, a — число пар параллельных ветвей обмотки, p — число пар полюсов, N — число проводов, n — число об/мин.

Магнитное покрытие:

$$\alpha = \frac{\text{полюсная дуга}}{\text{полюсное деление}}$$

колеблется в пределах 0,60 ÷ 0,68. Величина его устанавливается точно из тех соображений, что в полюсной дуге должно укладываться целое число зубцовых делений:

$$\frac{\text{полюсная дуга}}{\text{зубцовый шаг}} = \text{целое.}$$

Такой выбор полюсной дуги снижает до минимума пульсации магнитного потока главного полюса, улучшает коммутацию и снижает потери.

Магнитное насыщение в зубцах дв-ля на $\frac{1}{3}$ высоты м. б. взято по кривой фиг. 26 в ф-ии числа пер. перемагничивания.

С увеличением периодичности допустимая индукция падает (потери). Перенасыщение зубцов сверх указанного не дает выигрыша в габарите (см. ниже «Длина железа»), т. к. получаются вытеснение силовых линий в паз и значительные добавочные потери, снижающие мощность.

Магнитные насыщения остальных уч-ков магнитной цепи даны в табл. 16.



Фиг. 26

Табл. 16

Деталь	Насыщение
Якорь	13 000—15 000
Полюс	15 000—16 000
Ярмо	13 000—14 000
Воздух	11 000

Длина железа якоря при выбранной индукции в зубцах и покрытии:

$$l = \frac{\Phi}{aZ_{y_3} b_z B_{zy_3} \cdot 0,95}$$

Для дв-лей трамвайной подвески (и дв-лей с передачей на полый вал) длина железа так же, как и др. составляющие аксиальные размеры зависят от количества передач и наличия собственного вентилятора. Длина железа не должна превышать данных табл. 17.

Табл. 17

Колея	Передача	Вентиляция	Длина железа в мм
1000 мм		Самовентилирующая	250
1524 мм	Односторонняя	Принудительная	450
		Самовентилирующая	400
	Двусторонняя	Принудительная	350

д) Воздушный зазор. Катушки. Воздушный зазор мотора д. б. взят так, чтобы удовлетворить условию:

$$\frac{A\omega_z + A\omega_e}{A\omega_{p.я}} \geq 1,$$

где $A\omega_{p.я}$ — ампер-витки реакции якоря, приходящиеся на 1 полюс:

$$A\omega_{p.я} = \frac{Ni}{2 \cdot 2p};$$

$A\omega_z$ — ампер-витки на зубцы, $A\omega_e$ — ампер-витки на воздушный зазор.

Число ампер-витков главной катушки м. б. взято ориентировочно:

$$A\omega_{Г.П} = 1,2 \quad 1,3 (A\omega_z + A\omega_e + 0,15 A\omega_{p.я}).$$

НТБ
ДНУЗТ

Последний член ф-лы учитывает компенсацию размагничивающего действия поперечных якорных ампер-витков. Число витков:

$$\omega_{Г.П} = \frac{A\omega_{Г.П}}{I}$$

Сечение меди:

$$q = \frac{I}{S_{Г.П}}$$

где $S_{Г.П}$ — плотность тока в катушках главного полюса.

Поскольку выбором плотности тока определяется нагрев катушки (при определенной форме ее и эффективности вентиляции), то плотность тока д. б. установлена в зависимости от допустимой плотности теплового потока W/cm^2 на охлаждающей поверхности катушки. Плотность теплового потока м. б. рассчитана до определения размеров катушки по ф-ле (см. стр. 47):

$$W/cm^2 = (0,015 \div 0,020) \sqrt{\frac{A\omega}{1000}} (S)^{1,5}.$$

Допустимая плотность теплового потока при длительном режиме и перегреве 105° дается в табл. 19. Плотность теплового потока при неизменной вентиляции прямо пропорциональна перегреву.

Кэф-т перед ф-лой учитывает форму катушки. При американском крестовом расположении главных полюсов отношение сторон катушки в среднем 1 : 3 и кэф-т равен 0,018. Катушки дополнительного полюса при этом расположении имеют отношение сторон 1:5 и кэф-т 0,14. Кв. катушка имеет отношение сторон 1:1 и кэф-т 0,2 (см. «Катушки», стр. 47). Число ампер-витков катушки дополнительного полюса берется в пре-

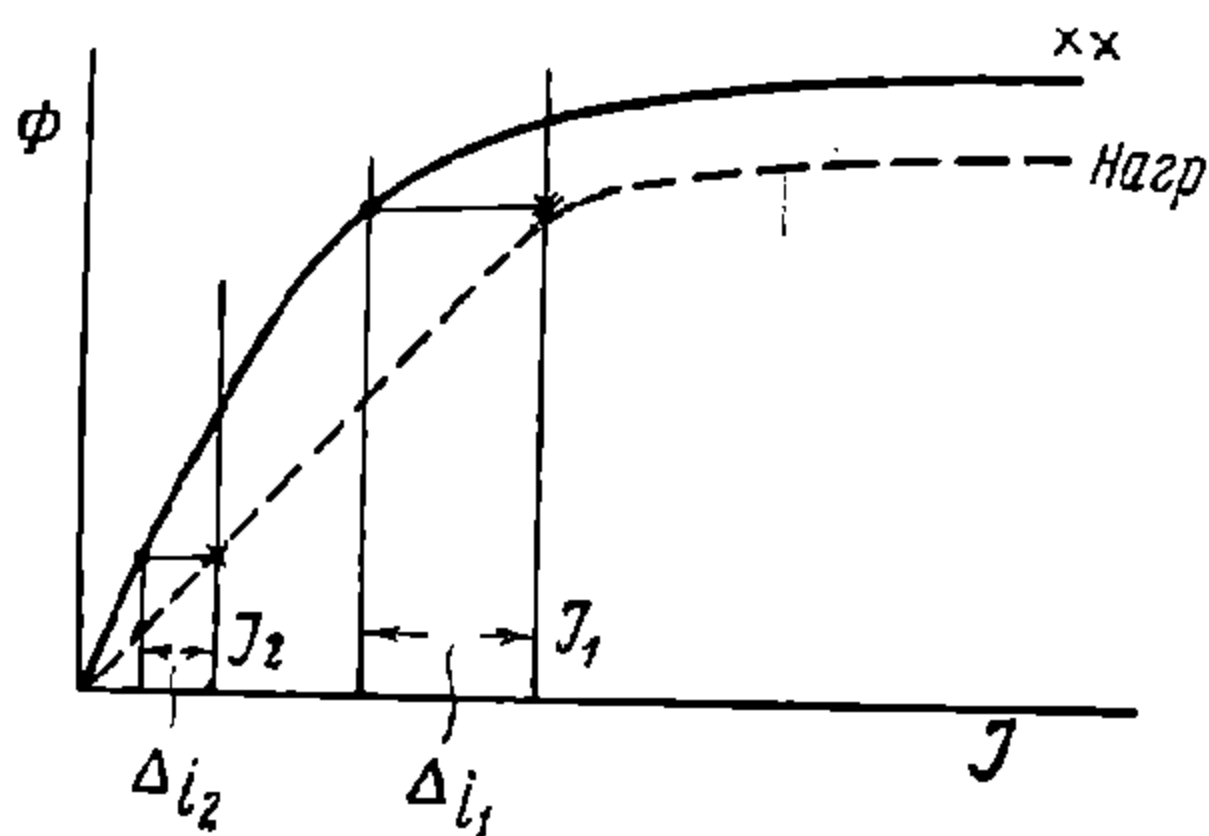
делах $A\omega_{д.п} = (1,2 \div 1,3)A\omega_{р.я}$. Число витков: $\omega_{д.п} = \frac{A\omega_{д.п}}{I}$

Сечение меди и плотность тока выбираются по ф-ле и данным табл. 19.

Конструкция и изоляция—см. «Катушки» (стр. 90).

Сечение сердечника дополнительного полюса м. б. рассчитано, исходя из того, что полюс в середине нагружен потоком — $0,1 \div 0,15\Phi$, где Φ —поток главного полюса, и индукция в этом месте не должна превышать 8000 гаусс (часовой режим). Длина полюса $1 \div 1,2l$, где l — длина железа якоря.

Воздушные зазоры в цепи дополнительного полюса — см. «Коммутация».



Фиг. 27

е) Расчет магнитной цепи. Расчет магнитной цепи проводится на общих основаниях. Ампер-витки зубцов находятся по индукции на $1/3$ высоты зубцов.

Полученная характеристика холостого хода д. б. перестроена в характеристику: поток при нагрузке в ф-ии тока (ампер-витков).

Подобное перестроение м. б. выполнено графически (фиг. 27). Задаемся током дв-ля I и вычисляем ток Δi , к-рый, проходя по главной катушке, создает ампер-витки, компенсирующие действие якорной реакции:

$$\Delta i = \frac{A\omega_{р.я}}{\omega_{Г.П}} \quad k = \frac{N I k}{2 \cdot 2p W_{Г.П} 2a} \cdot I.$$

Кэф-т k характеризует влияние якорной реакции. Этот кэф-т зависит от степени насыщения дв-ля и неодинаков при различных режимах. Приблизительно он м. б. взят равным $0,1 \div 0,15$.

По построенной характеристике строится скоростная характеристика. Число оборотов или скорость в ф-ии тока:

$$n = \frac{(E - I\Sigma R) a \cdot 60 \cdot 10^3}{\Phi \cdot p \cdot N}.$$

НТБ
ДНУЗТ

ж) Потери двигателя. Омические потери определяются ф-лой:

$$V_{ом} = I^2 \Sigma R + I \Delta e_{щ},$$

где: R — сопротивление цепи дв-ля, $\Delta e_{щ}$ — падение напряжения под парой щеток — 3 В. При компаундном возбуждении в ф-лу добавляется член, учитывающий потери шунтовой обмотки. Сопротивления д. б. отнесены, согласно нормам ВЭС, к темп-ре на 15° Ц ниже предельной, указанной в табл. 2.

Железные потери даются ф-лой:

$$V_{жс} = 0,3 f^{1,5} \left[\left(\frac{B_{zy_3}}{10\,000} \right)^3 v_z + \left(\frac{B_a}{10\,000} \right)^3 v_a \right] W,$$

где f — частота перемангничивания, B_{zy_3} — индукция на $1/3$ высоты зубца, B_a — индукция в якоре, v_z — объем зубцов в $дм^3$., v_a — объем тела якоря в $дм^3$.

З-дом «Динамо» рекомендуется ф-ла:

$$V_{жс} = 0,22 f^{1,4} \left[\left(\frac{B_{zy_3}}{10\,000} \right)^2 \left(\frac{B_{zy_3}}{16\,000} \right)^3 v_z + \left(\frac{B_a}{10\,000} \right)^2 v_a \right] W$$

Обе указанные ф-лы учитывают добавочные потери от вытеснения силовых линий в паз при значительно насыщенных корнях зубцов.

Коэф-ты перед ф-лами соответствуют динамному железу марки «ЕСІА» (см. ОСТ 6391).

Если при числе оборотов n потери в железе $V_{жс}$, то при числе оборотов n' и постоянном напряжении на коллекторе потери в железе $V'_{жс} = V_{жс} \left(\frac{n}{n'} \right)^{1,5}$

Потери на трение щеток о коллектор:

$$V_{т.щ} = 9,81 v g F f W,$$

где: v — линейная скорость на окружности коллектора в $м/сек$, g — уд. давление в $кг/см^2$, F — к-тная поверхность всех щеток, f — коэф-т трения (см. табл. 38).

Потери на трение в подшипниках при часовом режиме м. б. ориентировочно оценены как 0,5 — 1% подводимой к дв-лю при часовом режиме мощности. Потери на трение в подшипниках и на коллекторе прямо пропорциональны числу оборотов.

Потери в вентиляторе:

$$V_v = \frac{1,6 H Q}{\eta} 10^3 W,$$

где: H — полный напор вентилятора в $мм$ вод. ст., Q — количество воздуха, прогоняемое вентилятором, в $м^3/мин$, η — кпд для вентилятора с радиальными лопатками, равный 0,3; потери в вентиляторе пропорциональны n^3 .

Д о б а в о ч н ы е п о т е р и. Вследствие значительного насыщения и относительно высокой быстроходности ТД добавочные потери достигают значительной величины. Они м. б. разделены на 3 группы: а) добавочные потери в меди от вытеснения силовых линий в паз, б) добавочные потери от вытеснения тока в коммутирующих стержнях, в) добавочные потери от искажения поля в воздушном зазоре. Добавочные потери группы «а» учитывались в ф-лах. Добавочные потери групп «б» и «в», т. н. «нагрузочные» потери, м. б. учтены в зависимости от железных потерь по данным АІЕЕ, табл. 8.

Раздельное определение добавочных потерь по группам в достаточной степени сложно.

В частности для борьбы с добавочными потерями группы «в» применяется транспозиция якорных стержней или разделение их по высоте. Транспозиция обязательна, если высота стержней достигнет критического значения. Под критической высотой понимается высота стержня, после к-рой дальнейшее увеличение высоты, несмотря на растущее сечение меди, вызывает увеличение потерь. Эта критическая высота м. б. определена по ф-ле:



Фиг. 28

ДНУЗТ

$$h_{кр} = \frac{1,9 \sqrt[3]{1 + \lambda}}{am^{2/3}} \cdot \sqrt[6]{\frac{b_{щ} + (u - 1)t_k}{\tau_k}}$$

Здесь: $\lambda = \frac{\text{длина лобовой части секции}}{\text{длина пазовой части}}$, m — число проводников по высоте паза,

$$a = 2\pi \sqrt{\frac{nb}{a} \frac{f}{\rho \cdot 10^5}} \text{ 1/см,}$$

где: n — число проводников одного горизонтального слоя, b — ширина проводника, a — ширина паза, f — частота = $\frac{pn}{60}$, ρ — проводимость меди $\Omega \text{ мм}^2/\text{м}$, $b_{щ}$ — ширина щетки, u — число секций в пазу, t_k — коллекторное деление, τ_k — полюсное деление по коллектору. При $h = h_{кр}$ сопротивление обмотки составляет $1,5 R_0$, где R_0 — сопротивление обмотки невращающегося якоря.

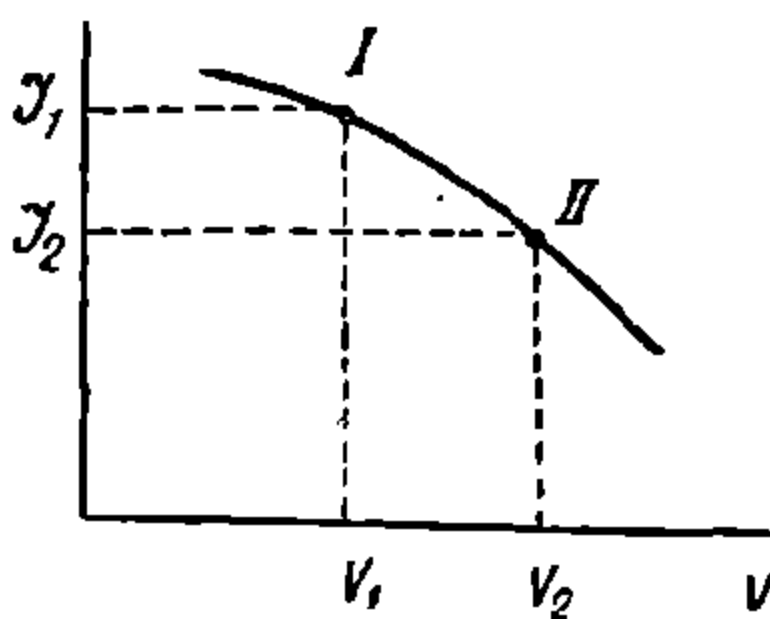
Уменьшение добавочных потерь групп «а» и «б» может быть достигнуто применением зубца с параллельными стенками и соответственно трапециoidalного паза (фиг. 28). Указанная конструкция дает возможность увеличить использование якорного объема.

з) Нагрев. Установившийся перегрев частей ТД при определенной интенсивности вентилирования пропорционален плотности теплового потока на теплоотдающих поверхностях. Поэтому контроль перегрева при расчете сводится к определению плотностей тепловых потоков деталей ТД, т. н. «факторов нагрева» (Heating Factor), ΦH и сравнению их с ΦH выполненных близких по типу машин.

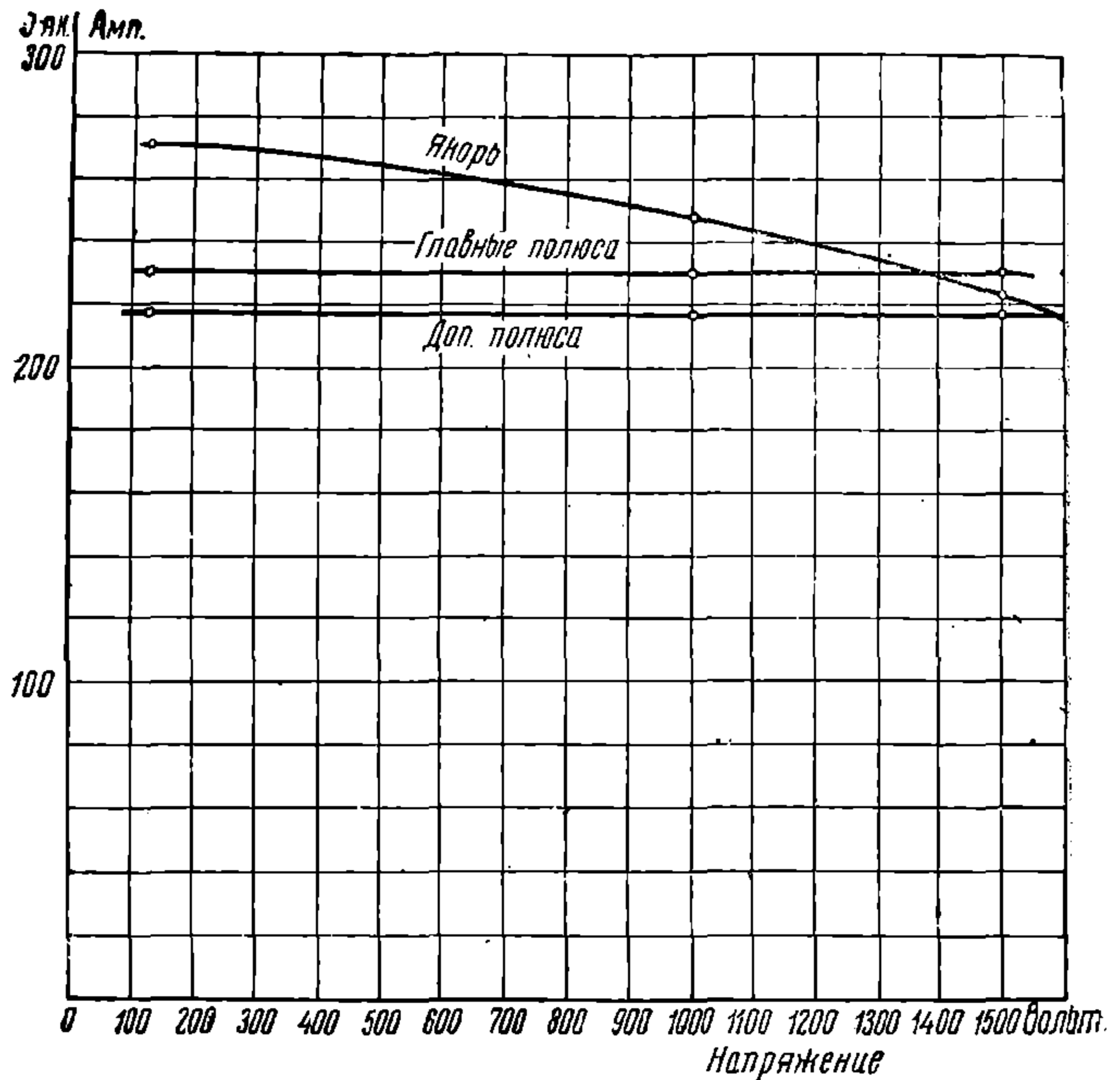
Я к о р ь.

$$\Phi H_{\text{якоря}} = \frac{I^2 R + k \omega_{ж}}{\pi D l}$$

где: $I^2 R$ — омические потери пазовой части обмотки, $\omega_{ж}$ — потери в железе, $k\omega_{ж} = \omega'_{ж}$ — греющая якорь часть железных потерь, $k = 0,3 \div 0,6$. Приблизительно можно положить $k\omega_{ж} = \omega_{ж.з}$, где $\omega_{ж.з}$ — железные потери в зубцах. Коэф-т k м. б. определен опытным путем. Для этой цели снимается зависимость между допустимым током дающим нормированный длительный перегрев, и напряжением (фиг. 29)



Фиг. 29



Фиг. 29-а

при неизменной вентиляции (фиг. 29-а для мотора «ДПЭ-340»). Тогда, если для точки I омические потери $I^2 R$ и железные $\omega_{ж1}$ (по опытным кривым) при I_1 и E_1 и соответственно $I^2 R$ и $\omega_{ж2}$ для точки 2, то (т. к. перегрев одинаков) имеем:

$$I_1^2 R + k\omega_{ж1} = I_2^2 R + k\omega_{ж2},$$

НТБ
ДНУЗТ

откуда:

$$k = \frac{(I_1^2 - I_2^2)R}{\omega_{ж2} - \omega_{ж1}}$$

Катушки полюсов:

$$\Phi H = 0,08k(S)^{1,5} \sqrt{\frac{A\omega}{1000}} \text{ W/cm}^2,$$

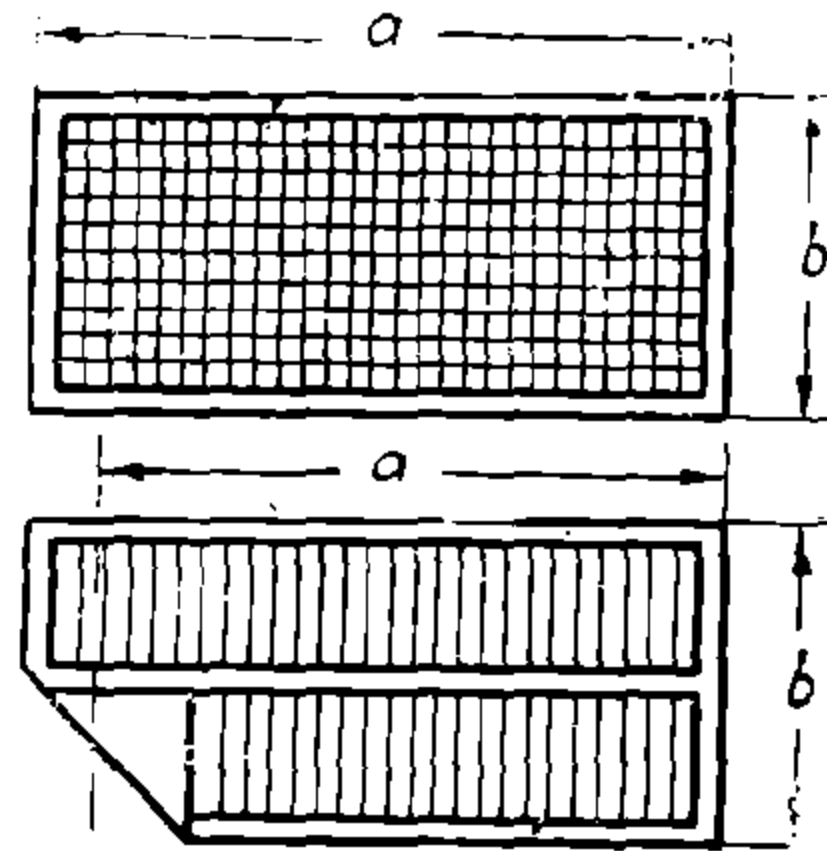
где: S — плотность тока A/mm^2 , $A\omega$ — число ампер-витков катушки, k — коэф-т, зависящий от формы сечения катушки (табл. 18, где a и b — по фиг. 30):

П а з

$$\Phi H = \frac{I \cdot S \cdot 2u\omega}{a \cdot p \cdot 8 \cdot 10^3} \text{ W/cm}^2,$$

Табл. 18

a/b	k
1	0,25
2	0,24
3	0,21
4	0,20
5	0,18



Фиг. 30

где: I — ток дв-ля, S — плотность тока в якорной цепи, $2u\omega$ — число проводов в пазу, a — число пар параллельных ветвей обмотки, p — периметр стенок паза в см.

К о л л е к т о р

$$\Phi H = \frac{V_{Т.Щ} + \Delta e_{щ}}{D_k l} I$$

где: $V_{Т.Щ}$ — потери на трение щеток (см. стр. 45), $\Delta e_{щ}$ — потери в к-те, D_k — диаметр коллектора, l — длина рабочей поверхности.

Допустимые величины (дв-ли индивидуального привода с аксиальной вентиляцией для перегрева 105°) даны в табл. 19.

и) Коммутация. Наиболее тяжелыми для коммутации режимами являются: а) рекуперация при сильно ослабленном поле и больших токах в якоре (аналогично — шунтировка поля при моторном режиме); б) отрыв пантографа и обратное его включение или переход эл/в с одного секционного уч-ка конт. пр. на др. с разницей напряжений.

В случае «а» в моторе получаются сильно искаженное поле и увеличенные вблизи щеток межсегментные напряжения (до 2 ÷ 2,5 кратной величины).

Кроме того такой режим имеет место на повышенных скоростях, так что реактивные напряжения под щеткой относительно высоки и возможность механических влияний на коммутацию повышена.

В случае «б» в моторе имеют место изменения тока (толчки с очень большой скоростью). С такой же скоростью меняется реактивное напряжение секции. Поток же дополнительного полюса благодаря демпфирующему действию токов Фуко в массивном магни-

Табл. 19

Деталь	Макс.	W/cm^2
	самовент.	принуд.
Якорь . . .	0,7	1
Катушка главн.	0,15	0,2
Катушка доп.	0,1	0,12
Паз . . .	0,1	0,15
Коллектор	1	2

НАТЬ
ДНУЗТ

топроводе отстает. В результате имеют место значительные некомпенсированные реактивные напряжения под щеткой и искрение.

Стендовые испытания, имитирующие вышеуказанные режимы, чрезвычайно желательны («interruption test»), см. стр. 21.

Круговой огонь возникает от щеточного искрения при достаточной его интенсивности и высоких межсегментных напряжениях вблизи щетки. Скорость его распространения равна окружной скорости коллектора. Первопричиной кругового огня является только щеточное искрение. Последнее в свою очередь м. б. вызвано след. причинами: а) механическими (непродороженный коллектор, слабый нажим пальцев щеткодержателей, грязный коллектор, испорченная поверхность коллектора, — поджоги, нецилиндричность, заедание щеток в щеткодержателях и т. д.); б) электрическими. Эти причины сводятся к след.: реактивная эдс секции меняется во времени по определенной ступенчатой кривой, компенсирующая ее эдс дополнительного полюса меняется по плавной кривой соответственно плавному изменению индукции в зазоре под дополнительным полюсом.

В результате несовпадения кривых остаются некомпенсированными эдс, вызывающие искрение. Некомпенсированные эдс особенно велики в случае перенасыщенного добавочного полюса и ярма, когда при перегрузке добавочный полюс не дает нужного коммутирующего потока.

Расчет коммутации. Точный расчет коммутации затруднителен. Контрольные точки в общем эл. расчете мотора указаны ниже.

а) Фактор коммутации по проф. Перевозскому.

б) Глубина паза и объем тока на паз.

в) Насыщения дополнительного полюса (не выше 8000 и по возможности малое).

г) Насыщение ярма (не выше 14 500 и по возможности малое, но не ниже 11 000).

д) Величина реактивной эдс одной секции при отсутствии в пазах др. коммутирующих секций (взаимоиндукция) и в предположении прямолинейной коммутации:

$$e_{R_0} = 2 AS v, \omega \lambda l \frac{1}{\beta} 10^{-6},$$

где: AS — линейная нагрузка расчетного режима в A/cm ; ω — число витков в секции; v — окружная скорость якоря в m/sec при расчетном режиме; λ — проводимость 1 cm длины — $5 \div 6$, l — длина железа; β — покрытие:

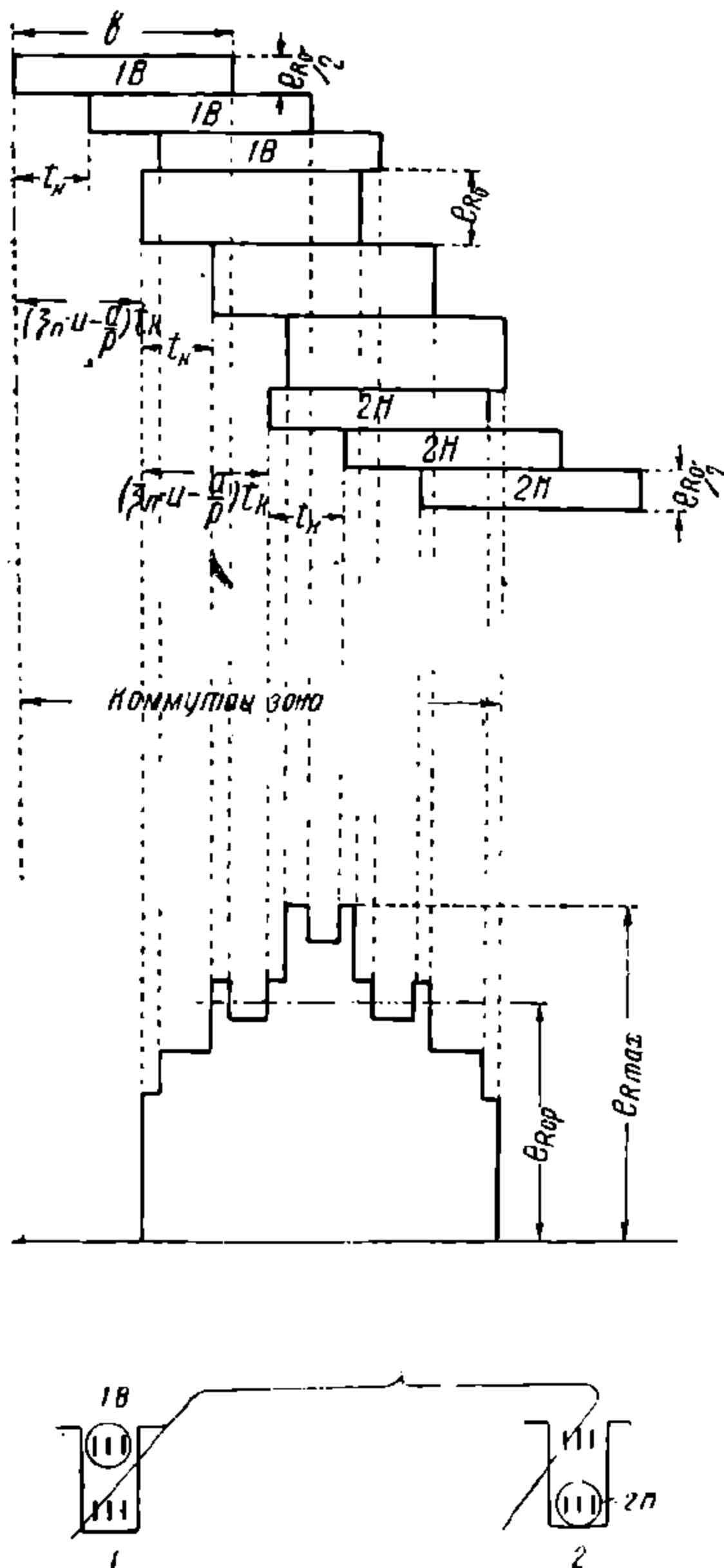
$$\beta = \frac{\text{ширина щетки}}{\text{коллекторное деление}}$$

е) Величина реактивной эдс секции e_R при u секциях в пазу и прямолинейной коммутации м. б. наиболее просто найдена графически согласно фиг. 31.

На фиг. 31: t_k — коллекторное деление, ζ_n — укорочение шага в пазовых делениях (см. стр. 77), b — ширина щетки; a — число пар параллельных ветвей обмотки; p — число пар полюсов.

Из графика непосредственно находят ширину коммутационной зоны, выраженную в коллекторных делениях. Чтобы получить действительную зону, следует размер по фиг. 31 увеличить в отношении:

$$\frac{D_{\text{я}}}{D_{\text{к}}} = \frac{\text{диаметр якоря}}{\text{диаметр коллектора}}.$$



Фиг. 31

Построение даст возможность проверить, насколько хорошо выбраны ширина щетки и укорочение шага. При удачном подборе этих величин сводятся к минимуму пики в кривой реактивной эдс.

ДНУЗТ

Указанное построение не совсем точно, т. к. подобному суммированию должна подвергаться лишь эдс пазовой части провода; кроме того коэф-т взаимной индукции не равен 1, как это предполагается построением. Однако все эти допущения вызывают лишь нек-рое преувеличение e_{Rmax} ; и e_{Rcp} .

ж) Величина реактивной эдс секции e_{Rcp} м. б. приближенно определена, как

$$e_{Rcp} = e_{R_0} \quad (u > \beta),$$

где β — покрытие:

$$e_{Rcp} = 2AS \cdot \omega \cdot v \cdot \lambda \cdot l \cdot 10^{-6} \text{ V.}$$

Эта величина не должна превышать при наихудшем режиме $4 \div 5 \text{ V}$

з) Коммутирующая индукция под полюсом (середина):

$$B_k = \lambda AS.$$

Здесь $\lambda = 6 \div 7$, что дает нек-рую полезную перекоммутацию. Число ампер-витков дополнительного полюса $1,25 \div 1,35 A \psi_{p.я}$.

и) Расчет магнитной цепи при насыщениях ярма ниже 11000 сводится к расчету ампер-витков на воздушный зазор с индукцией B_k и тело полюса.

к) При индукциях $B_i > 12000$ расчет магнитной цепи затруднителен, т. к. значительная часть ампер-витков идет на ярмо. В этом случае величина зазора подбирается.

Для уменьшения рассеяния часть воздушного зазора устраивается между телом дополнительного полюса и ярмом, где ставятся немагнитная прокладка и немагнитные болты. 1 мм зазора сверху полюса эквивалентен $3 \div 4 \text{ мм}$ зазора между полюсом и ярмом.

V. ОДНОФАЗНЫЕ ТЯГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ (КОЛЛЕКТОРНЫЕ)

1. ПИТАЮЩАЯ ЧАСТОТА. КОММУТАЦИЯ

Питающая частота связана с коммутацией дв-ля. Наводящаяся в короткозамкнутой секции благодаря пульсации потока тр-рная эдс при пуске дв-ля не м. б. уничтожена полем дополнительного полюса. Эта тр-рная эдс вызывает значительные ТКЗ и поджоги коллектора и щеток. Тр-рная эдс определяется выражением:

$$e_t = 4,44 f \omega \Phi \cdot 10^{-8}, \quad (\omega = 1)$$

откуда видно, что для уменьшения ее следует: 1) уменьшать питающую частоту f , 2) уменьшать поток на полюс Φ . Уменьшение потока на полюс м. б. в свою очередь получено: а) увеличением числа пар полюсов, б) увеличением быстроходности, или, иначе, увеличением роторной периодичности $f_R = \frac{pn}{60}$.

Снижение тр-рной эдс лишь за счет увеличения роторной периодичности ограничено след. моментами. Увеличение числа пар полюсов пропорционально уменьшает напряжение на коллекторе, утяжеляет дв-ль и аппаратуру и ухудшает его коэф-т мощности. Увеличение быстроходности имеет предел по механической прочности ротора. Поэтому практически кроме возможного увеличения f_R для достижения удовлетворительной коммутации (без применения специальных мер) питающую частоту приходится брать не выше 25 Hz.

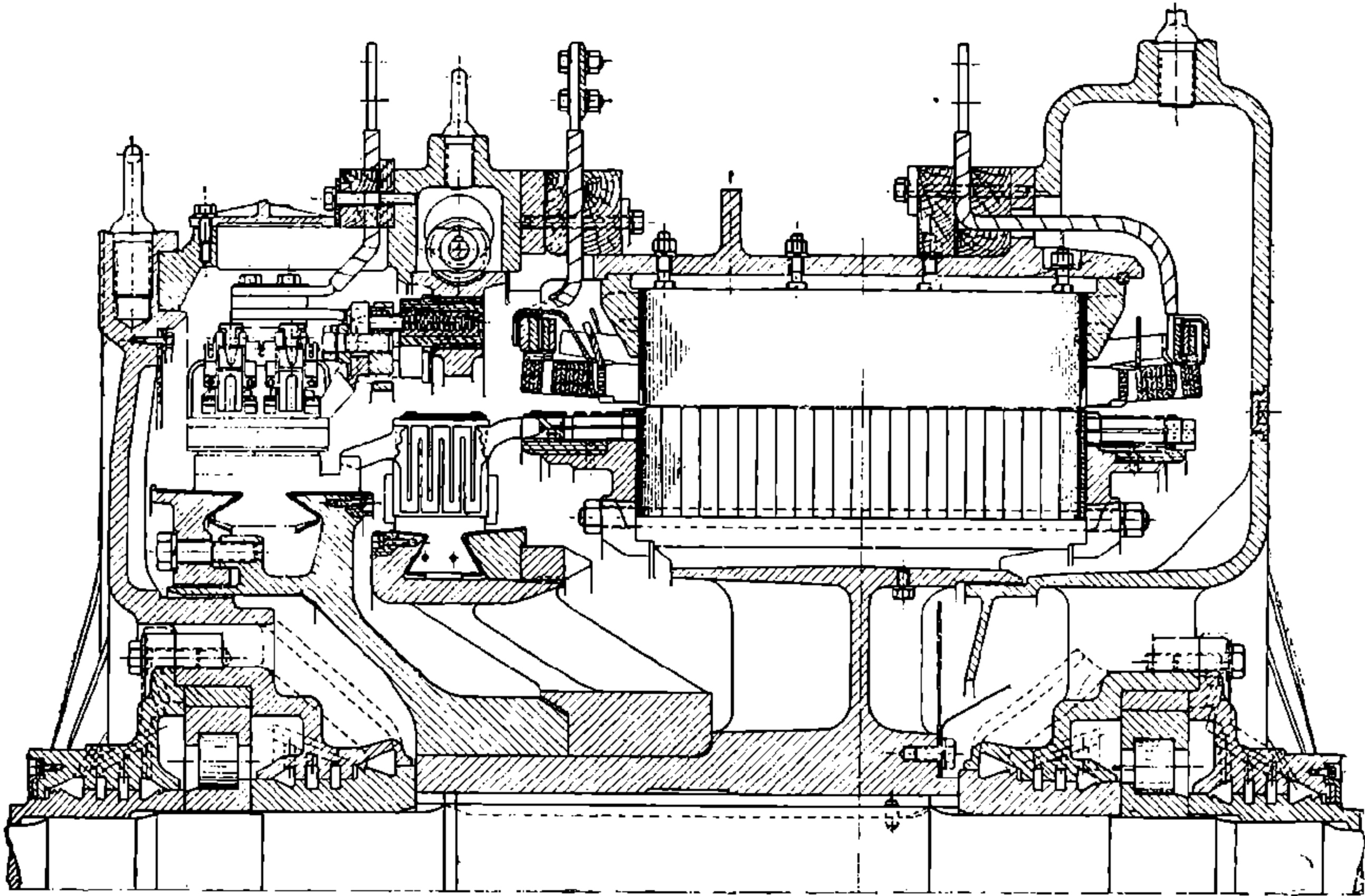
Т. о., для уменьшения тр-рной эдс следует увеличивать отношение $\frac{f_R}{f}$, носящее название «сверхсинхронизма».

2. УЛУЧШЕНИЕ ПУСКОВОЙ КОММУТАЦИИ

Улучшение пусковой коммутации м. б. получено за счет увеличения сопротивления короткозамкнутого контура и уменьшения тем самым ТКЗ. Увеличение сопротивления

м. б. получено: а) включением сопротивлений между коллектором и обмоткой якоря; сопротивление м. б. омическим и индуктивным (метод акад. Шенфера); б) применением слоеных щеток.

Включение омических сопротивлений в обмотку ротора имеет тот недостаток, что при повторных пусках эти сопротивления легко сжечь, что и имело место на практике, т. к. контроль нагрева их невозможен. Конструктивное выполнение их фирмой Броун Бовери см. фиг. 32. Включение индуктивных сопротивлений в виде проводников, зало-



Фиг. 32

женных в специальные пазы железа ротора, идущих от коллектора к расположенным с др. торца ротора выводам секций, имеет тот недостаток, что, уменьшая ТКЗ от тр-ной эдс, вызывает увеличение реактивной эдс. По расчетам последний метод позволит питать дв-ль от сети 50 Hz.

Слоеные щетки представляют собой ряд тонких угольных щеток, склеенных между собой огнеупорным изолирующим веществом. В опытах д-ра Касперовского в качестве клеящего вещества применялся бакелит, при чем для лучшей изоляции между слоями прокладывались бумага или шелк. Ведутся опыты по применению металлической оксидной пленки. Склеенная т. о. щетка обладает большим сопротивлением поперечным токам, к-рые могут замыкаться лишь через объединяющую отдельные слои головку щетки. Щетки д. б. изолированы от щеткодержательной обоймы. В опытах Касперовского применялись щетки, у к-рых каждый слой имел вывод. Выводы включались в цепь через сопротивление. Эта конструкция позволяет еще более увеличить сопротивление поперечным токам, однако усложняет конструкцию щеткодержателей и щеток и ухудшает доступность коллектора. Проведенные испытания показали, что моторы, построенные для $16\frac{2}{3}$ Hz, могут без переделок работать от 50 Hz при применении слоеных щеток с отдельными отводами и сопротивлениями. Коэф-т мощности был при этом достаточно высоким.

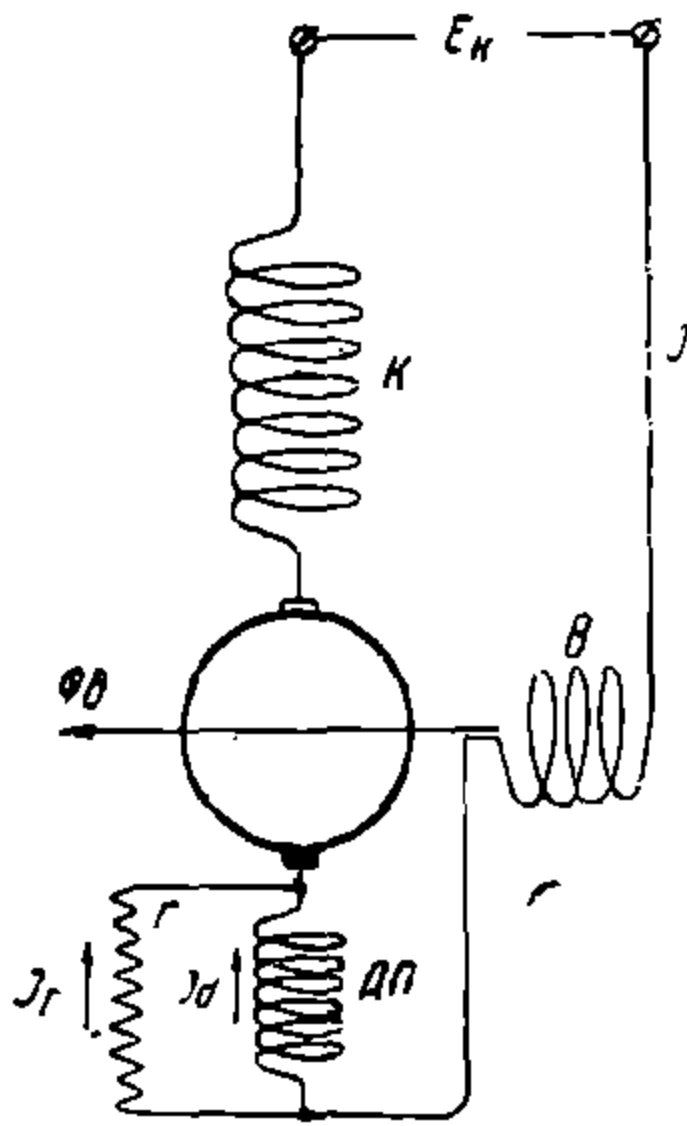
3. ТИПЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОНИЖЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Коллекторные дв-ли пониженной частоты ($16\frac{2}{3}$ Hz) подразделяются на: 1) серийные, 2) репульсионные, 3) серийно-репульсионные (двойного питания), 4) компенсированные (Винтер-Латур-Эйхберга), 5) системы Дери.

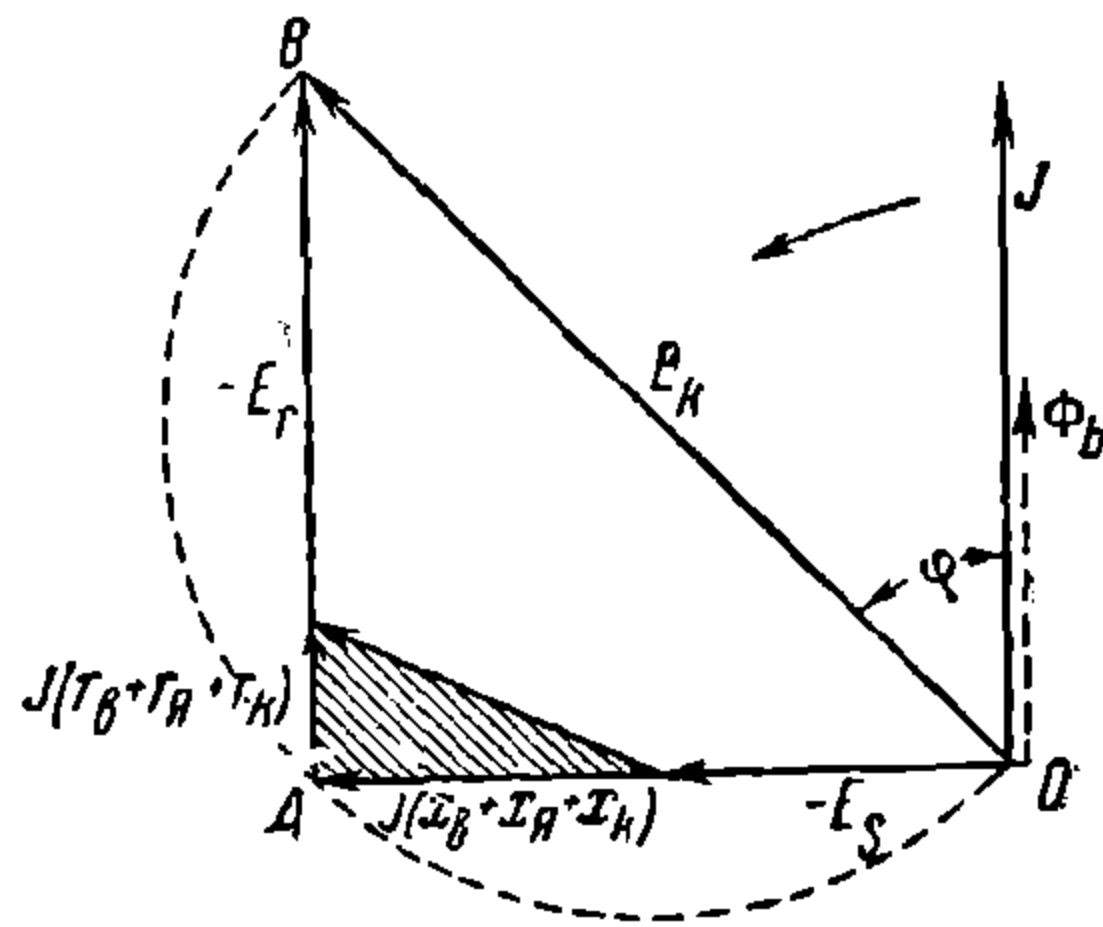
а) **Серийные дв-ли.** Наибольшее распространение получили серийно-дв-ли. Схема включения серийно-дв-ля приведена на фиг. 33, где обозначено: *B*—обмотки возбуждения, *K*—компенсация, *ДП*—дополнительный полюс, *r*—сопротивление, Φ_δ —поток возбуждения.

КАТЕ
ДНУЗТ

Векторная диаграмма дана на фиг. 34, где обозначено: I —ток мотора, Φ_δ —поток возбуждения, E_s —эдс, наводимая потоком Φ_δ в катушке B , $I(x_\theta + x_\gamma + x_\kappa)$ —на-



Фиг. 33



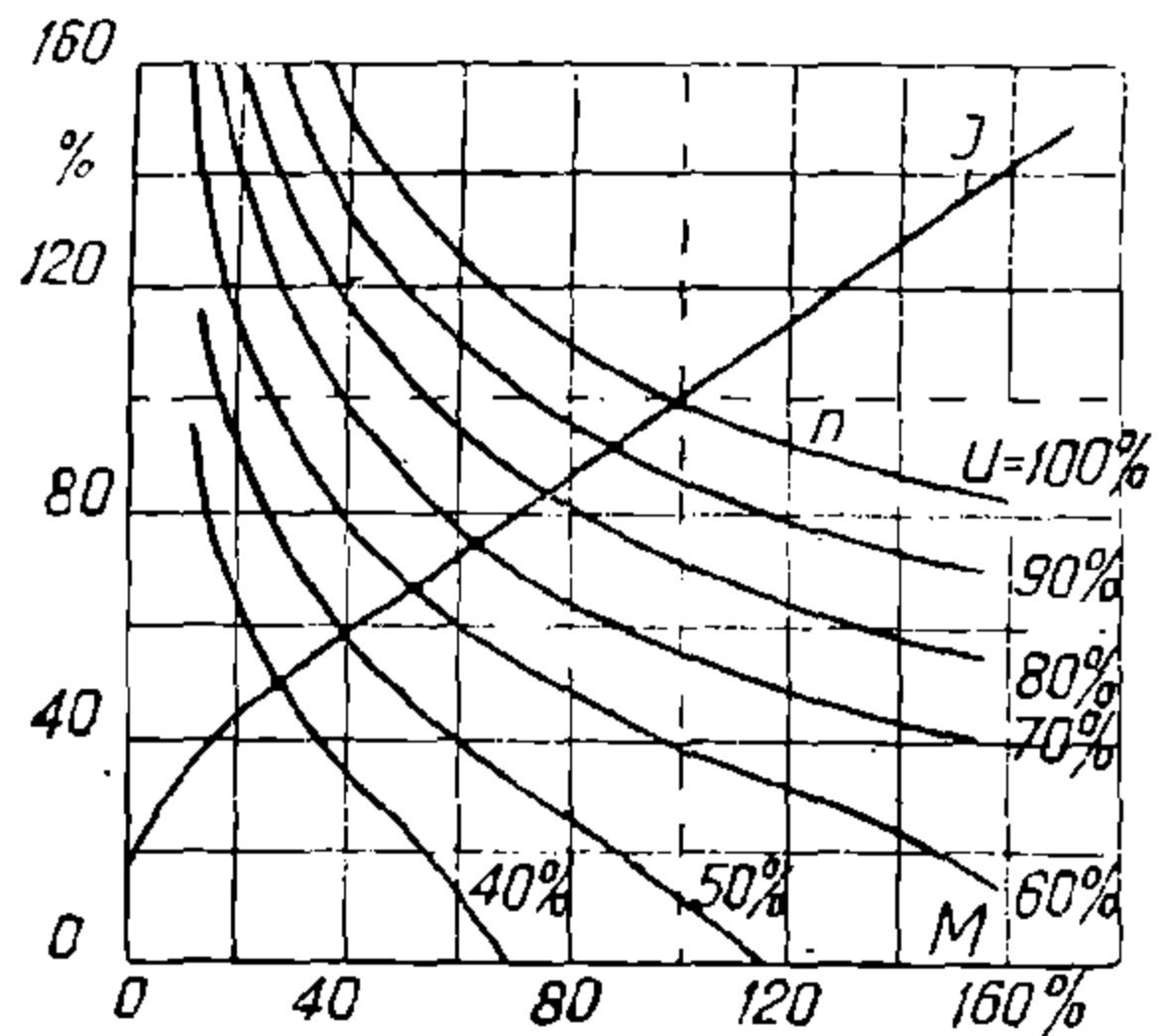
Фиг. 34

пряжение от потоков рассеяния в обмотках, $I(r_\theta + r_\gamma + r_\kappa)$ —омические падения напряжения в обмотках, E_r — противоэдс якоря мотора, E_k — клеммовое напряжение.

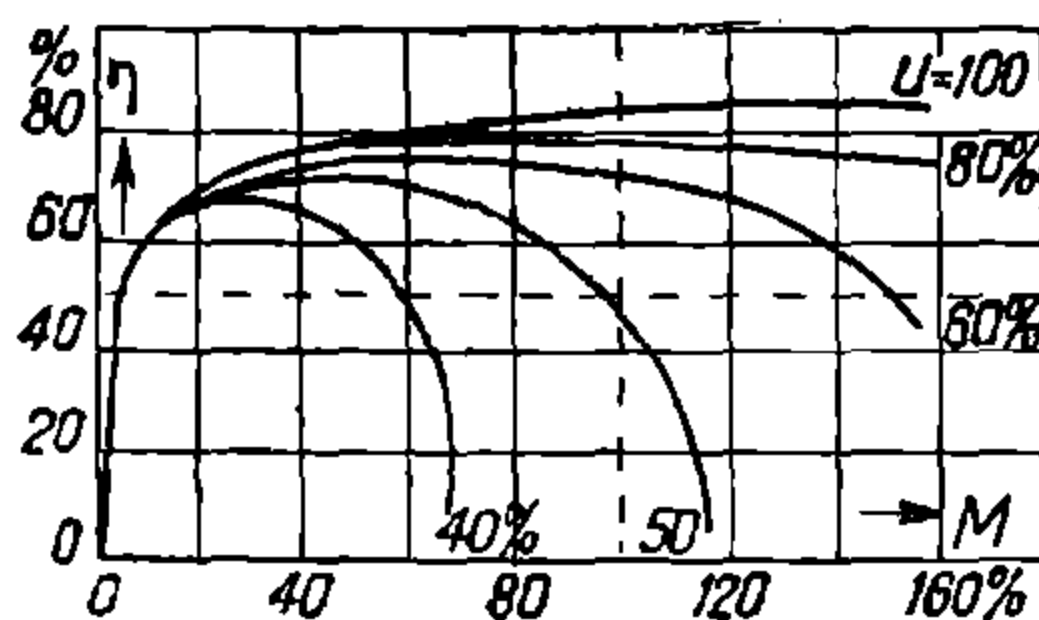
Типовые характеристики дв-лей приведены на фиг. 35-а, 35-б и 35-в.

Регулирование скорости производится изменением напряжения на зажимах. Последнее достигается переключением тр-рных отводов. Для уменьшения толчков тока при переключении и уменьшения тем самым возможности боксовки применяется межступенное регулирование специальным аппаратом (Feinregler).

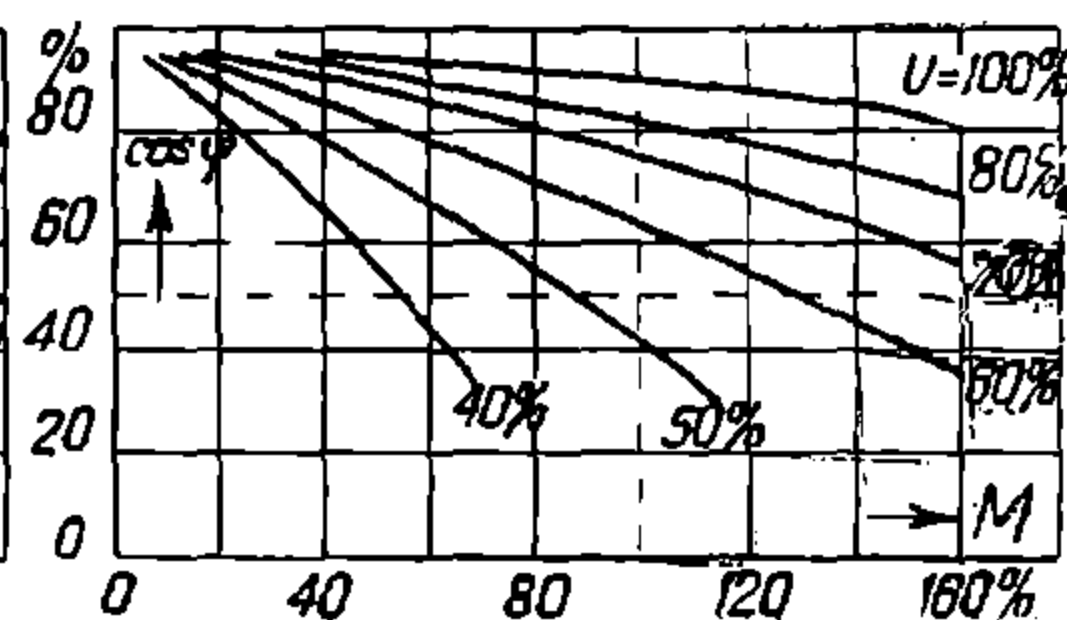
Компенсационная обмотка применяется у большинства дв-лей этого типа. Уничтожая якорное поле, она тем самым повышает коэф-т мощности. В последнее время фирмой Броун Бовери выпускались серийес-дв-ли без компенсационной обмотки с достаточно высоким коэф-том мощности. Добиться таких результатов удается за счет того, что: 1) исключается индуктивное сопротивление (рассеяние) самой компенсационной обмотки и 2) уменьшается магнитное сопротивление в цепи главного потока, т. к. отсутствуют пазы для компенсационной обмотки. Это дает возможность уменьшить число витков катушек возбуждения. Дополнительные полюсы обязательны для этих типов дв-лей.



Фиг. 35-а



Фиг. 35-б



Фиг. 35-в.

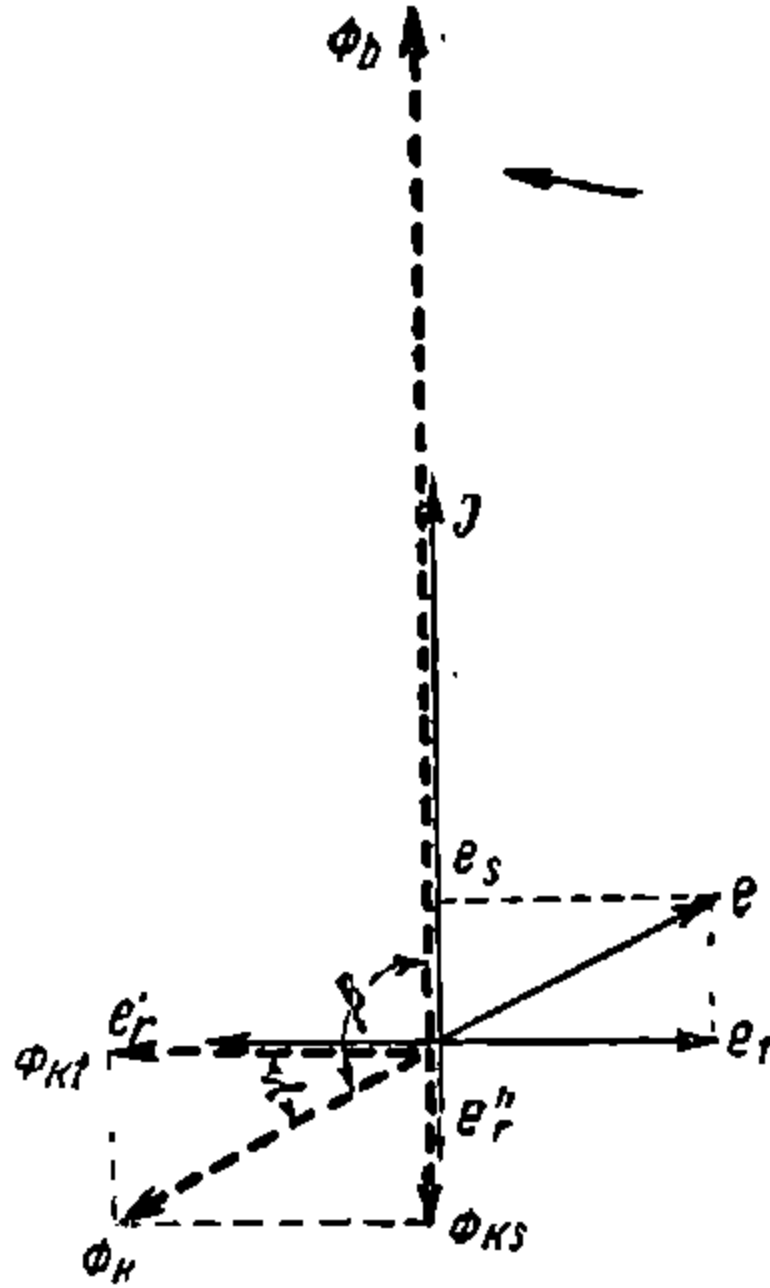
Возбуждение их производится обычно согласно схеме фиг. 33 включением параллельно обмотке дополнительного полюса омического сопротивления. Такая схема имеет целью сдвинуть по фазе поток дополнительного полюса относительно тока дв-ля с тем,

КАТЕ
ДУЗТ

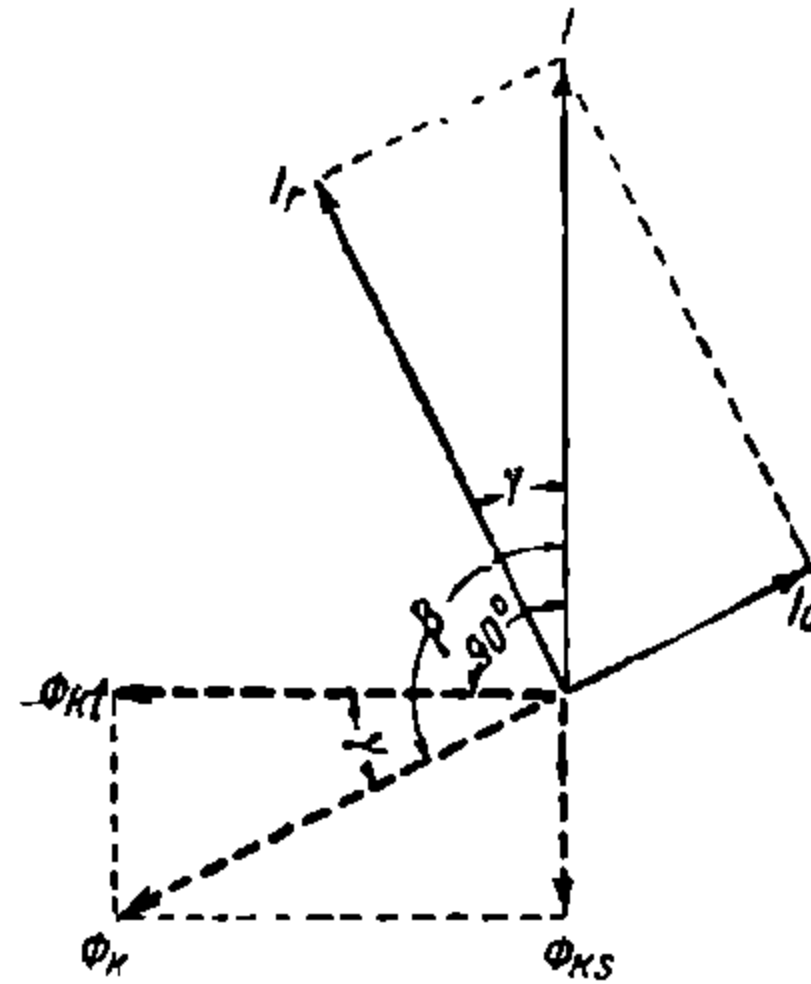
чтобы наводимая им эдс e_k была в противофазе с результирующей эдс секции e . Эта последняя складывается геометрически из двух эдс: тр-рной — e_t , коммутации — e_R :

$$e = \sqrt{e_t^2 + e_R^2}$$

Указанное положение иллюстрируется векторными диаграммами фиг. 36 а и 36-б, где обозначено: I — ток дв-ля; Φ_θ — поток возбуждения; e_t — тр-рная эдс; e_s — реактивная эдс секции; e — суммарная эдс; Φ_k — поток дополнительного полюса; Φ_{kt} и Φ_{ks} — составляющие его, компенсирующие эдс e_t и e_s

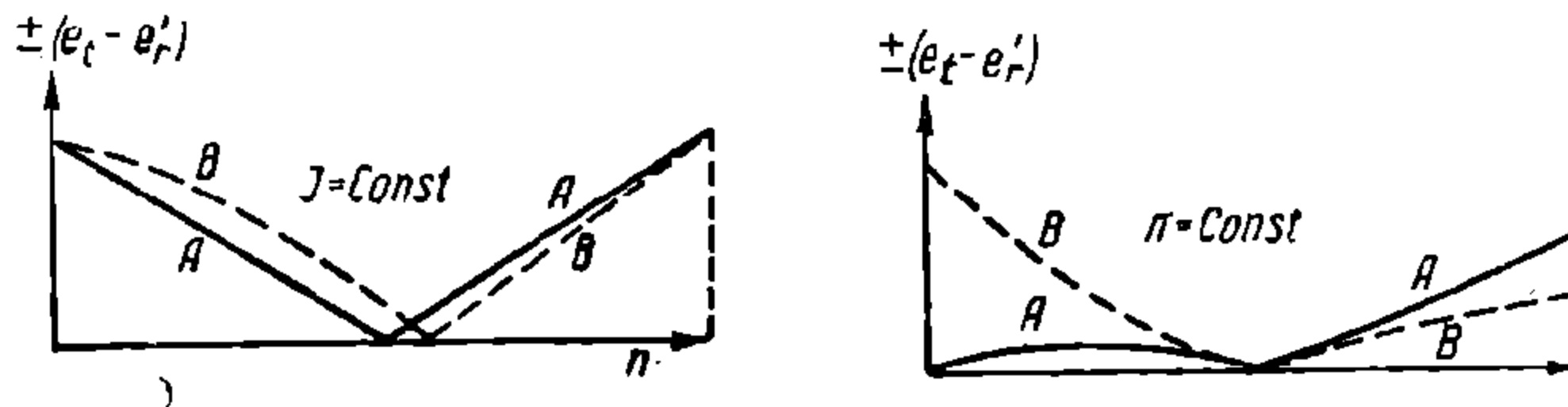


Фиг. 36-а



Фиг. 36-б

Поглощаемая сопротивлением мощность колеблется в пределах 1—0,5% подведенной. Этот наиболее применяемый метод дает возможность компенсировать эдс e_R при всех режимах работы дв-ля; эдс e_t поддается компенсации значительно хуже. На фиг. 37 приведены кривые изменения эдс e_t и компенсирующей ее составляющей.



Фиг. 37

Высшие гармонические кривой тока, питающего однофазный коллекторный дв-ль, сильно влияют на его коммутацию и износ щеток. Дв-ль, удовлетворительно коммутировавший на стенде при чистой кривой напряжения, плохо коммутирует на дороге. Это объясняется тем, что при наличии высших гармонических амплитуда ТКЗ секции увеличивается при том же эффективном значении ТКЗ. Это увеличение амплитуды и определяет ухудшение коммутации и увеличенный износ щеток. По данным д-ра Касперовского, если износ щеток при питании дв-ля током с 11,5% 3-й гармоникой принять за 100%, то снижение амплитуды 3-й гармоники до 3,5% основной волны снижает износ щеток до 54%. Напряжение, питающее дорогу, должно иметь поэтому по возможности чистую кривую. Источником высших гармоник (кроме пазовых) м. б. и самый дв-ль в случае его перенасыщения. Поэтому гармоники особенно сильны при пуске.

Мерой борьбы в этом случае является шунтирование возбуждения омическим сопротивлением или дросселем. Высокочастотные пазовые гармоники, влияющие на провода связи, уничтожаются применением косого паза.

Вес дв-ля при $16\frac{2}{3}$ Hz м. б. ориентировочно подсчитан по ф-ле:

$$G = 36 - 40M^{3/4},$$

где M — момент часового режима в кг-м.

Веса дв-лей одного и того же крутящего момента (при числе пер. $16\frac{2}{3}$, 25, 50) относятся как 1, 1,2, 1,6.

Мощность дв-лей при переходе на питание от $16\frac{2}{3}$ Hz на постоянный ток повышается в 1,2—1,25 раза. Мощности дв-лей на $16\frac{2}{3}$, 25 и 50 пер/сек. при одинаковом объеме, весе и стоимости относятся как 100 : 85 : 55.

Расчет. Заданы: мощность W (часовая), число оборотов (см. стр. 40) часового режима, число оборотов максимальное и питающая частота f .

Расчет ведем для часового режима.

1) Мощность на пару полюсов:

$$W_0 = \frac{AS \cdot v \cdot e_t}{30f},$$

где: v — окружная скорость для часового режима, м. б. принята $0,7v_{max}$, $v_{max} = 55-60$ м/сек, AS — линейная нагрузка, м. б. взята в пределах 400—500 А/см, e_t — тр-рная эдс, $e_t < 3$ V (новые дв-ли без сопротивления в роторе), $e_t < 6$ V (дв-ли с сопротивлением в роторе).

2) Число пар полюсов:

$$P = \frac{W}{W_0}.$$

3) Магнитный поток:

$$\Phi_\delta = \frac{e_t \cdot 10^8}{4,44f\omega}.$$

4) Полюсное деление:

$$\tau = \frac{\Phi_\delta}{a \cdot l \cdot B},$$

где: B — индукция в воздухе, м. б. взята в пределах 6000 — 8000 гаусс при $f = 25$ и 7000—9000 при $f = 16\frac{2}{3}$ Hz, l — длина железа (см. табл. 17), a — магнитное покрытие 0,6—0,7.

5) Диамет. ротора:

$$D_a = \frac{\tau}{\pi} \cdot 2r.$$

6) Проверка по v_{max} :

$$v_{max} \frac{\pi D_a n_{max}}{60} < 60 \text{ м/сек.}$$

7) Диамет. коллектора:

$$D_k = 0,75 \quad 0,85 D_a.$$

8) Число коллекторных пластин (приблизленно):

$$K = \frac{\pi D_k}{\beta_k},$$

где β_k — коллекторное деление 3,5—4,5 мм.

9) Напряжение на коллекторе:

$$E = \frac{e_t V_k}{K \beta_k f}.$$

где

$$V_k = \frac{\pi D_k n}{60}$$

10) Ток дв-ля:

$$I \approx \frac{W}{E}$$

11) Далее следует расчет обмотки якоря. Обмотка якоря всегда петлевая ($2a = 2p$). Число пазов на пару полюсов нечетное целое и колеблется в пределах 19—31. Выбор числа проводов, шага обмотки, сечения меди, формы и изоляции паза см. ниже.

12) Плотность тока в компенсационной обмотке берется в пределах 2,5—3,5 А/мм². Число ампер-стержней на полюс:

$$A\omega_{k0} = \pi a A S.$$

13) Насыщения магнитной цепи:

зубцы ротора 16 000—20 000

тело ротора 7 000—10 000

зубцы статора 16 000—20 000

спинка статора ~ 12 000

14) Воздушный зазор д. б. по возможности малым. Величина его колеблется в пределах 2—4 мм.

15) Коэф-т мощности м. б. определен ориентировочно (без учета рассеяния и потерь) по ф-ле:

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \frac{1}{2} \pi ab\right)^2}}$$

где:

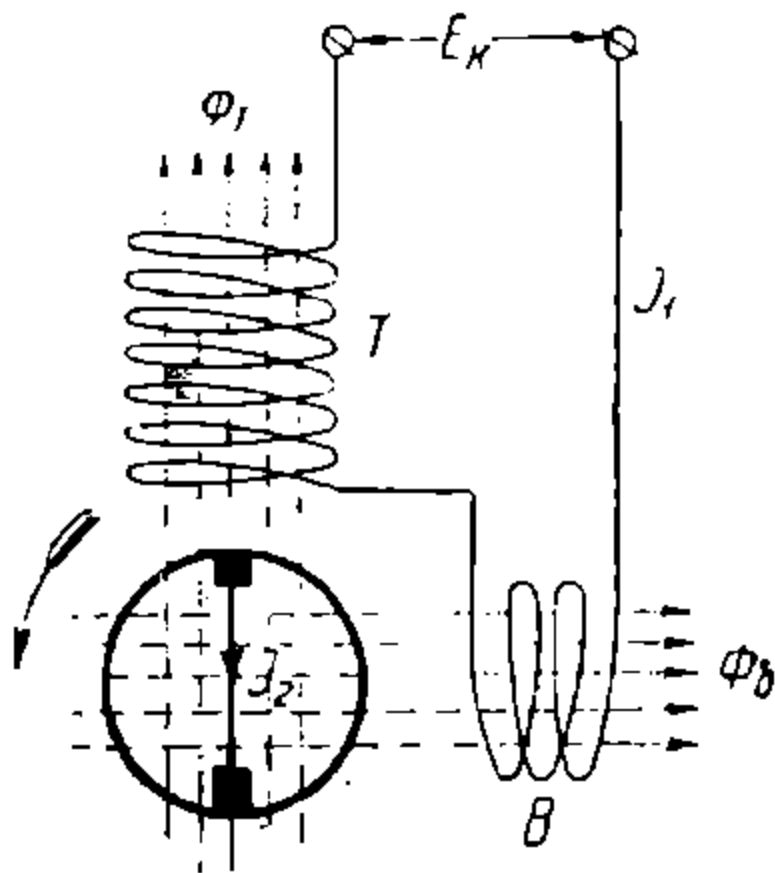
$$a = \frac{\text{число витков возбуждения}}{\text{число витков якоря в одной параллельной ветви}}$$

$$b = \frac{\text{синхронная скорость об/мин.}}{\text{скорость ротора об/мин.}}$$

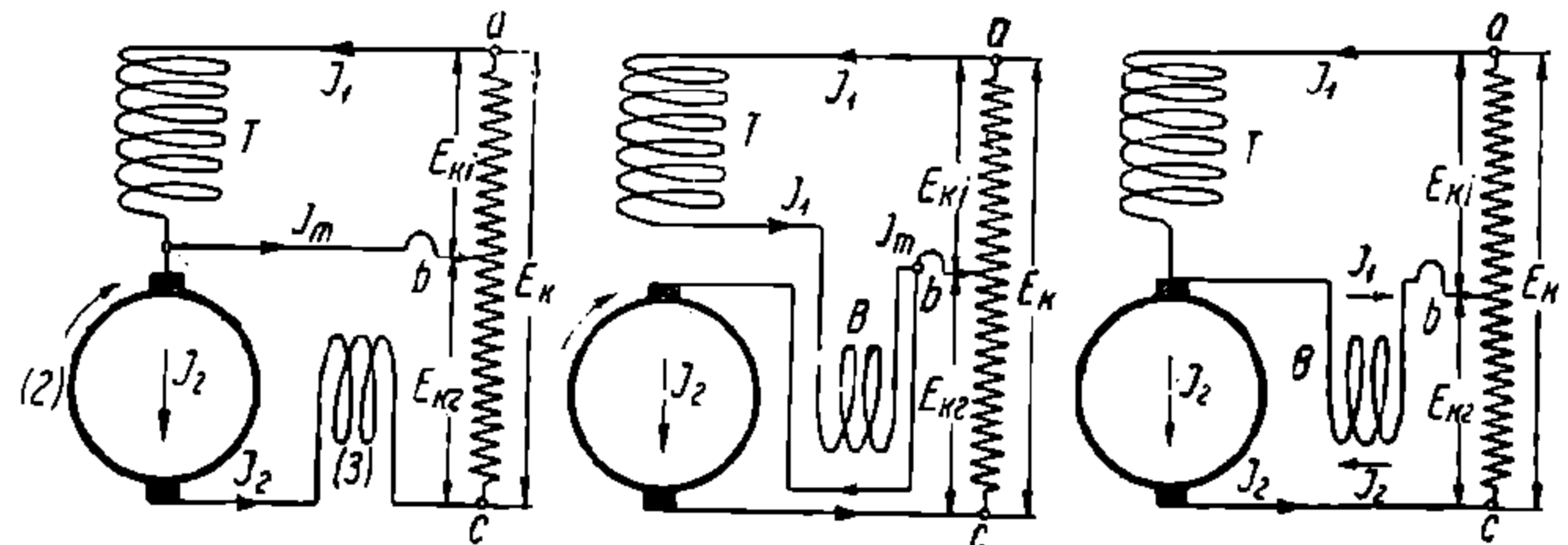
Ф-ла дает преувеличенные результаты.

б) Репульсионные двигатели. Схема соединений дв-ля приведена на фиг. 38. Питание подводится к статору. Ротор получает энергию индуктивным путем. Это дает возможность питать статор относительно в/н (до 1000 В). В этом основное достоинство репульсионных дв-лей.

Коммутация дв-ля удовлетворительна лишь на узком диапазоне скоростей, близких к синхронной. При скоростях выше синхронной для получения удовлетворительной



Фиг. 38



Фиг. 39

коммутации дв-ль переводится на двойное питание, при котором коммутирующее поле м. б. регулируемо. Синхронная скорость дв-ля при 16²/3 Нз получается невысокой. Поскольку однако дв-ль должен работать вблизи синхронной скорости, то

НАТЬ
ДНУЗТ

при $16\frac{2}{3}$ Hz дв-ли получают тихходными, тяжелыми. Так, напр., репульсионный дв-ль поставки АЕГ для Ретийской дороги при часовой мощности 220 kW 370 об/мин. весит 4700 кг. Поэтому применение репульсионных дв-лей целесообразнее при частоте порядка 25 Hz.

в) Двигатель двойного питания. Схема дв-ля приведена на фиг. 39. Регулировкой напряжения V регулируют коммутирующий магнитный поток Φ при различных скоростях дв-ля.

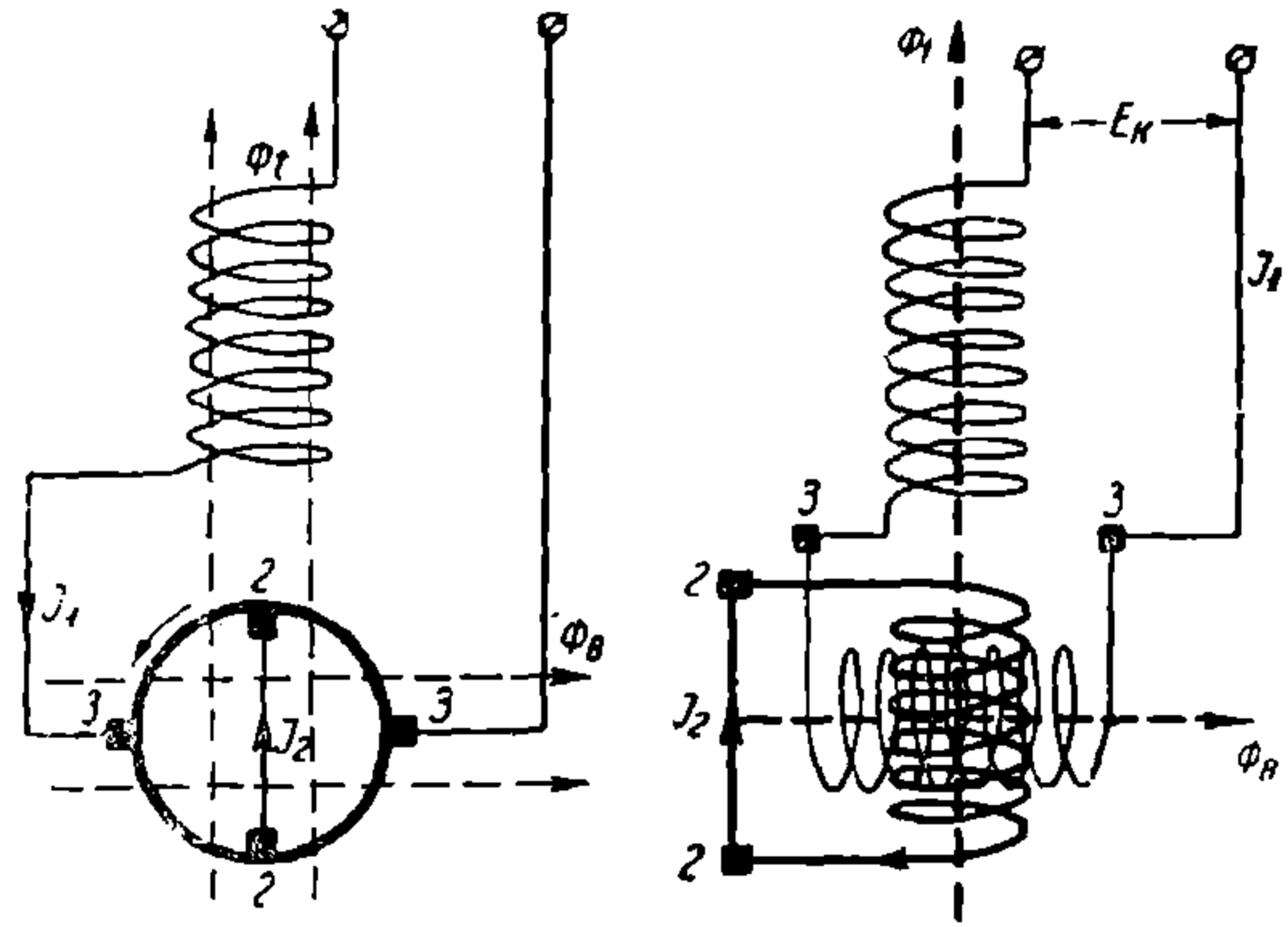
Наилучшая коммутация достигается при след. отношениях:

$$\frac{E_{k_1}}{E'_{k_1} + E_{k_2}} = \left(\frac{f}{f_R}\right)^2$$

где E'_{k_1} — приведенное к роторной обмотке напряжение E_{k_1} , равное:

$$E'_{k_1} = E_{k_1} - \frac{k_1 \omega_2}{k_2 \omega_1}$$

где k_2 — обмоточный коэф-т обмотки ротора, ω_2 — число витков обмотки ротора в одной параллельной ветви, k_1 — обмоточный коэф-т обмотки T статора, ω_1 — число витков обмотки T статора на полюс. Т. о., при синхронной скорости $\frac{f}{f_R} = 1, E_{k_2} = 0$, т. е. дв-ль работает как репульсионный. При очень больших скоростях $f_R \rightarrow \infty, E_{k_1} = 0$, дв-ль переходит в серийный с короткозамкнутой компенсационной обмоткой.



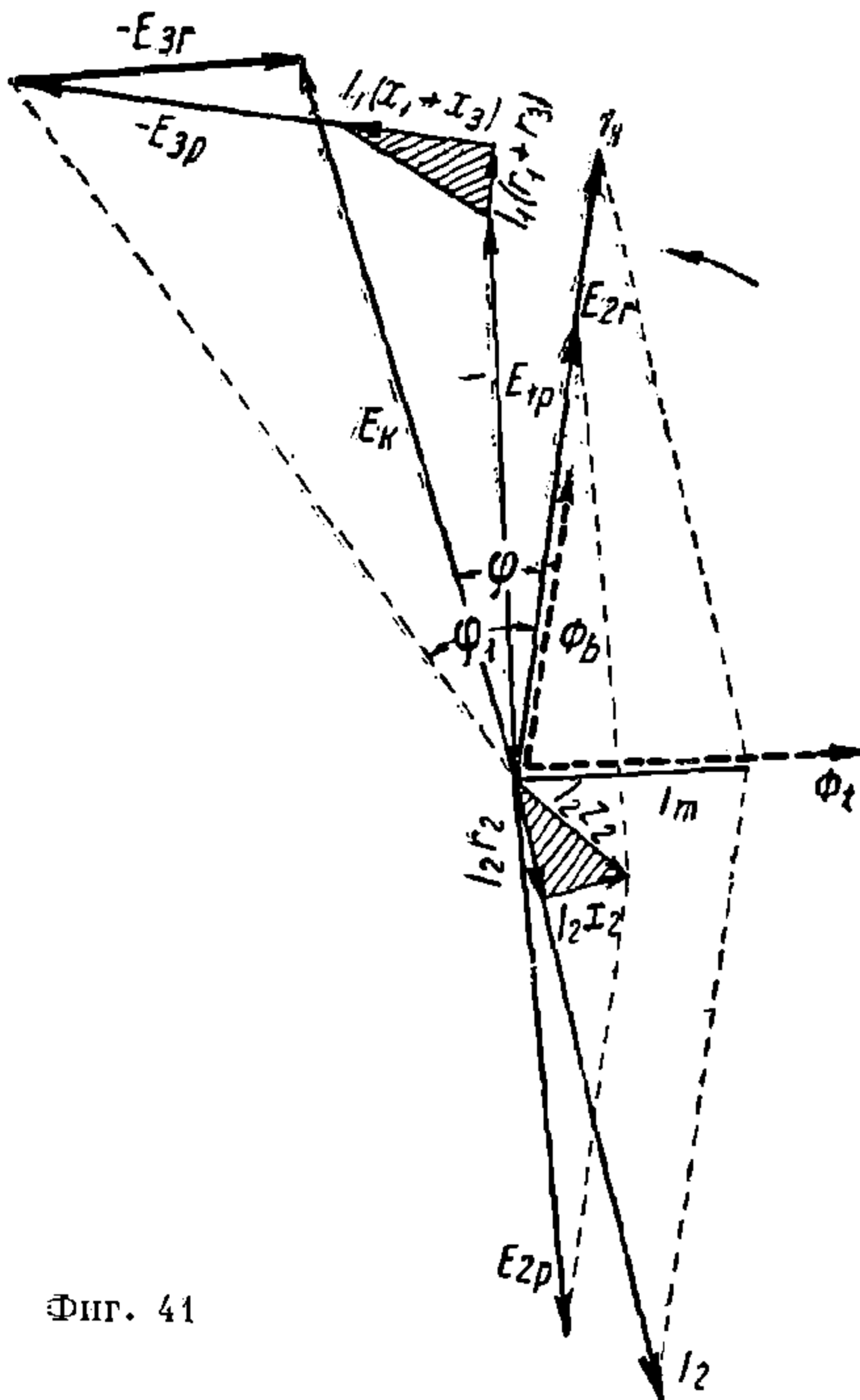
Фиг. 40

При очень больших скоростях $f_R \rightarrow \infty, E_{k_1} = 0$, дв-ль переходит в серийный с короткозамкнутой компенсационной обмоткой.

г) Компенсированные репульсионные двигатели. Схема дв-ля приведена на фиг. 40. Векторная диаграмма — на фиг. 41. Обозначения на диаграмме: Φ_t и Φ_b — магнитные потоки по фиг. 40; I_1 — ток мотора, I_2 — ток через короткозамкнутые щетки, I_m — намагничивающий ток, E_{2p} — напряжение на щетках 2—2, наводимое пульсациями потока Φ_t , E_{2r} — напряжение вращения на щетках 2—2, $I_2 Z_2$ — полное падение напряжения в роторе, E_{1p} — напряжение, наводимое в статоре потоком Φ_t , E_{3p} — напряжение на щетках 3—3 от пульсации потока Φ_b , E_{3r} — напряжение вращения на щетках 3—3. Благодаря введению в цепь эдс вращения E_{2r} коэф-т мощности дв-ля при синхронной скорости близок к 1.

Дв-ль имеет ряд недостатков: 1) увеличенное число щеток; 2) увеличенный габарит ротора, т. к. на него перенесена обмотка возбуждения; 3) при пуске коэф-т мощности мотора не отличается от некомпенсированных репульсионных дв-лей; 4) коммутация на щетках 3—3 неудовлетворительна.

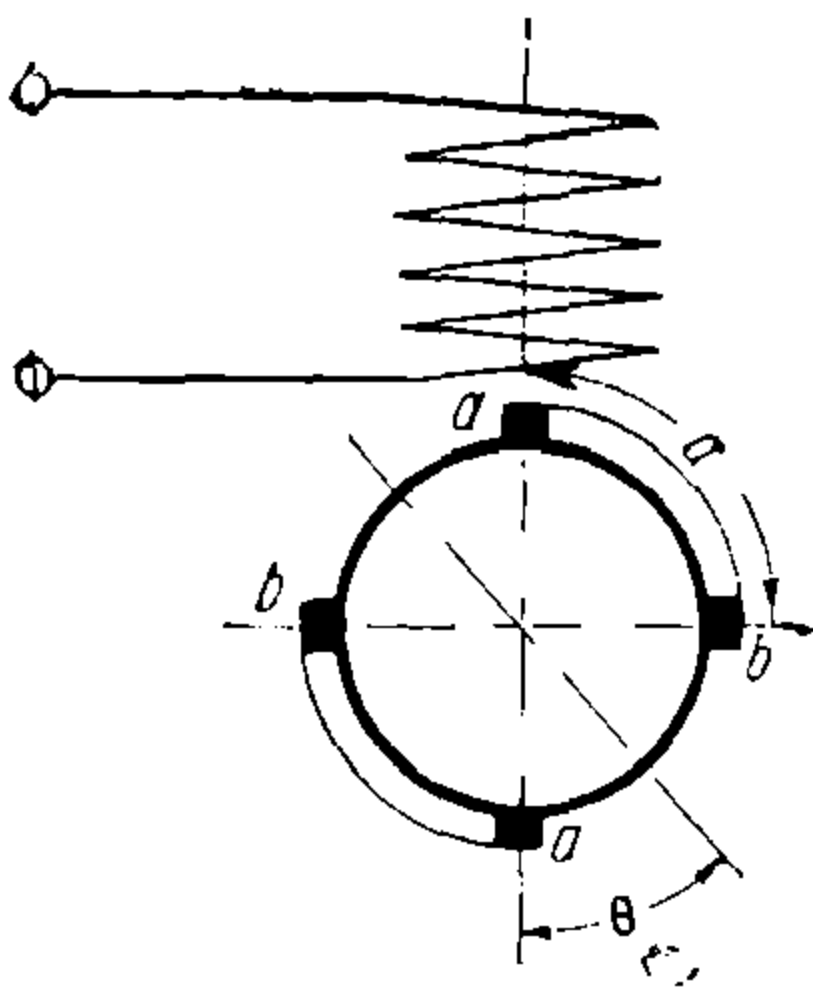
Указанные недостатки дв-ля ограничили его применение в тяге.



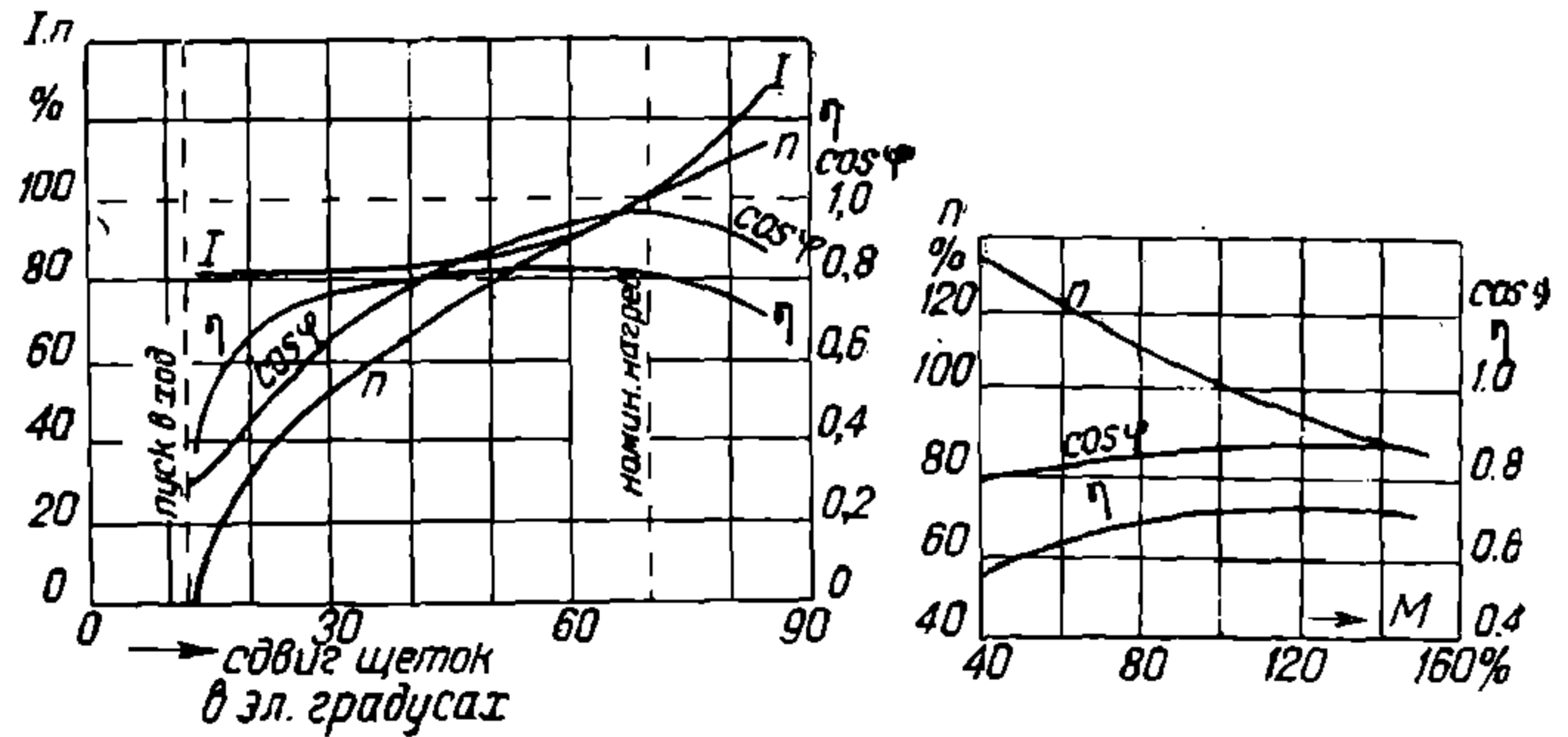
Фиг. 41

НТБ
ДНУЗТ

д) Репульсионные двигатели Дери. Схема дв-ля дана на фиг. 42, характеристика его — на фиг. 43. Регулирование скорости производится перемещением щеток. Этот способ регулирования сильно упрощает аппаратуру. Однако двойное количество щеток, низкий



Фиг. 42



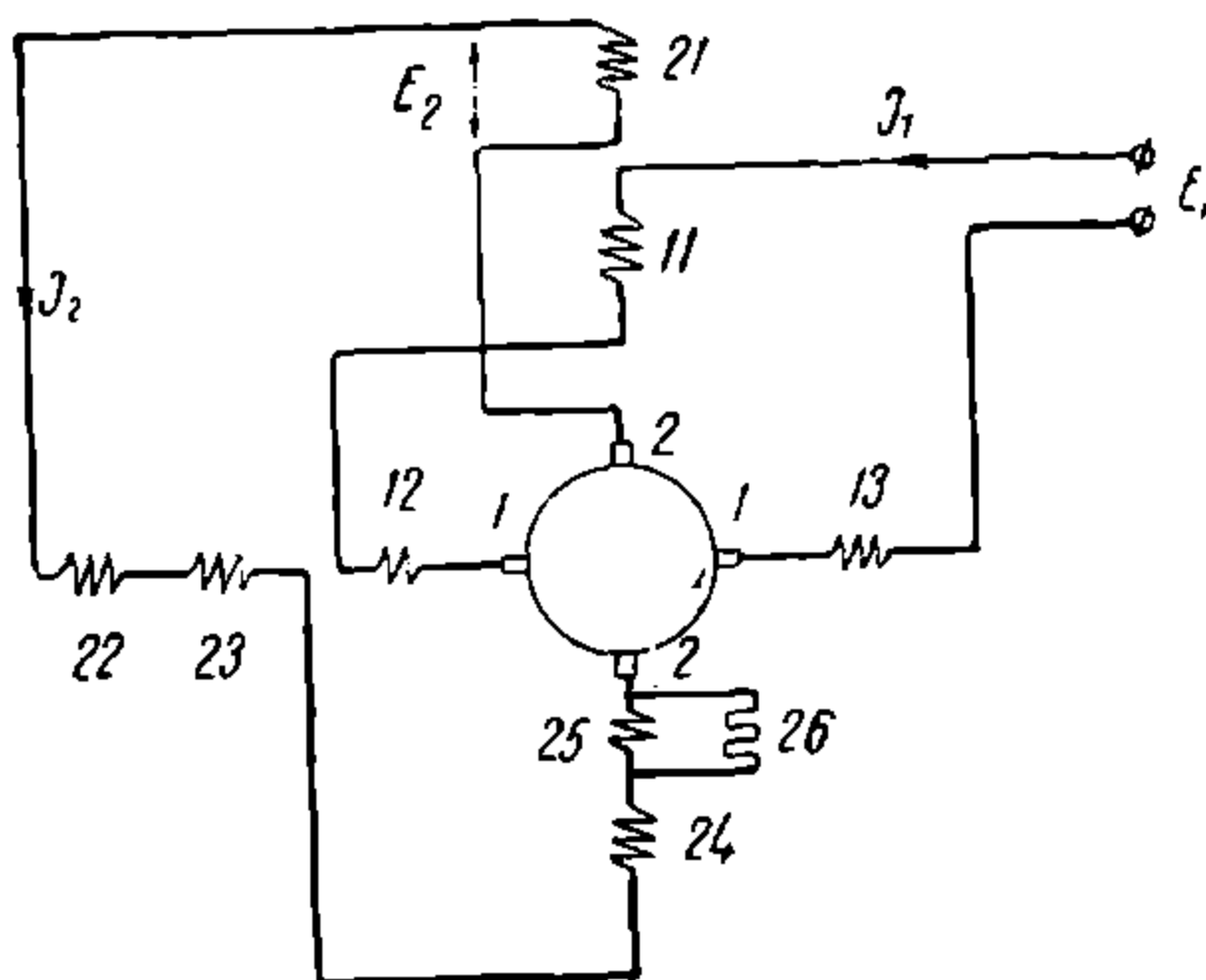
Фиг. 43

коэф-т мощности и плохая коммутация при малых скоростях приводили к неважным эксплуатационным показателям (износ коллекторов и щеток, угольная пыль). Дв-ли в настоящее время не применяются.

4. ОДНОФАЗНЫЙ КОЛЛЕКТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НОРМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ СИСТЕМЫ Д-РА БЕНЕДИКТА (3-Д ДИНАМО ИМ. КИРОВА)

Питание дв-ля нормальной частотой и потребность удерживать тр-ную эдс в допустимых пределах ($4 V_{max}$) приводят к необходимости уменьшать поток на полюс. Поскольку однако крутящий момент дв-ля д. б. сохранен, то соответственно уменьшению потока на полюс д. б. увеличено число полюсов. Это приводит к понижению напряжения на зажимах и утяжелению дв-ля и связанной с ним аппаратуры.

В дв-ле сист. Бенедикта уменьшение потока на полюс достигнуто без увеличения числа полюсов, но при увеличенном количестве щеткодержателей. Этот дв-ль представляет собою как бы 2 дв-ля, каждый из к-рых пронизывается частью магнитного потока и имеет соответственно пониженную тр-ную эдс. Оси главных полюсов дв-лей смещены на 90 эл. град. так, что ось главных полюсов одного дв-ля совпадает с осью дополнительных полюсов др.



Фиг. 44

Принципиальная схема дв-ля дана на фиг. 44. Цепь «1-го» дв-ля состоит из обмотки возбуждения 11, обмотки дополнительного полюса 12, компенсационной обмотки 13. Цепь «2-го» дв-ля состоит из обмотки 21, через к-рую дв-ль тр-но получает питание, обмотки возбуждения 22, обмотки 23, относящейся к дополнительному полюсу «1-го» дв-ля (принцип работы ее см. ниже), компенсационной обмотки 24, обмотки 25 дополнительного полюса «2-го» дв-ля и включенного параллельно обмотке 25 безындукционного сопротивления 26.

Коммутация дв-ля различна для щеток 1—1 и 2—2. Коммутирующее поле щеток 1—1 создается обмотками 23 и 12. Обмотка 12 создает составляющую коммутирующего потока, находящуюся в фазе с током I_1 . Эта составляющая компенсирует при всех скоростях реактивную эдс e_{R_1} под щетками 1—1.

Обмотка 23 обтекается током I_2 . Этот ток сдвинут по фазе на 90° относительно тока I_1 и величина его уменьшается при увеличении числа оборотов дв-ля. Подобное положение вытекает из след.: если пренебречь реактанцем в цепи тока I_2 , то напряжение

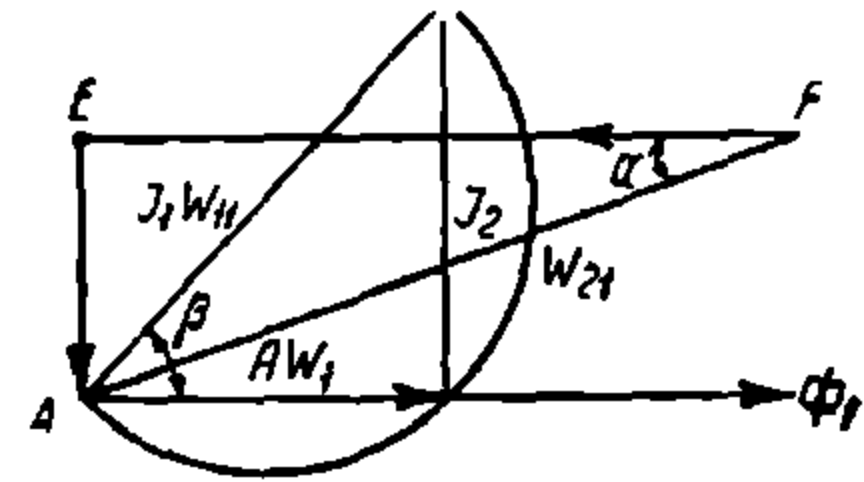
вращения E_{κ} , на щетках 2—2 должно целиком уравновешивать эдс E_2 , наведенную потоком Φ_1 в обмотке 21. Т. к. эдс E_2 отстает от потока Φ_1 (а следовательно, и от тока I_1) на 90° , то поток Φ_2 , создаваемый током I_2 и наводящий (обмотка 22) в якоре эдс E_{R_2} , д. б. сдвинут относительно потока Φ_1 и тока I_1 на 90° . Поскольку же поток Φ_2 находится в фазе с током I_2 , то и последний д. б. сдвинут относительно I_1 на 90° . Т. к., с др. стороны, напряжение E_2 при постоянных Φ_1 и I_1 не зависит от скорости, то и напряжение E_{R_2} д. б. постоянно и не зависит при этих условиях от скорости. Если напряжение $E_{R_2} = \Phi_2 n = I_2 n = \text{const}$, то при увеличении скорости ток I_2 должен падать.

Установленный характер тока I_2 дает возможность получить очень хорошую компенсацию тр-рной эдс e_{t_1} под щетками 1—1. Действительно, эдс e_{t_1} отстает на 90° от потока Φ_1 и не зависит от скорости при неизменных Φ_1 и I_1 . Компенсирующая ее эдс вращения должна, следовательно, создаваться полем, отстающим от Φ_1 на 90° и убывающим со скоростью. Как раз такое поле создается током I_2 , протекающим через обмотку 23 дополнительного полюса. Т. о., компенсация эдс короткозамкнутой секции щеток 1—1 получается значительно совершеннее, чем при обычных методах возбуждения дополнительных полюсов.

Коммутация щеток 2—2 в основном не отличается от коммутации обычных низкочастотных коллекторных дв-лей. Величина ее не выходит за пределы 4 V , т. к. поток Φ_2 представляет лишь часть потока низкочастотного дв-ля соответственного крутящего момента. Дополнительный полюс возбуждается обычным методом.

Коэф-т мощности дв-ля м. б. сделан равным 1 или близким к нему. Высокий коэф-т мощности сохраняется дв-лем в широком диапазоне скоростей (исключая пуск). Подобное положение иллюстрируется диаграммой фиг. 45.

На диаграмме (фиг. 45) $A\omega_1$ — геометрическая сумма ампер-витков катушек 21 и 11, создающая поток Φ_1 . Вектор AF представляет собою напряжение сети E_1 , уравновешивающее напряжение вращения на щетках 1—1 — E_{R_1} (вектор EF) и напряжение, наводимое в катушке 11 пульсациями потока Φ_1 и полем рассеяния EA . Если угол $\alpha = \beta$, то $\cos \varphi = 1$. При увеличении скорости увеличится вектор EF и соответственно уменьшится угол α . Однако в такой же мере уменьшатся ток I_2 , вектор $I_2 \omega_2$ и угол β . В результате сохранится соотношение между углами и $\cos \varphi$.

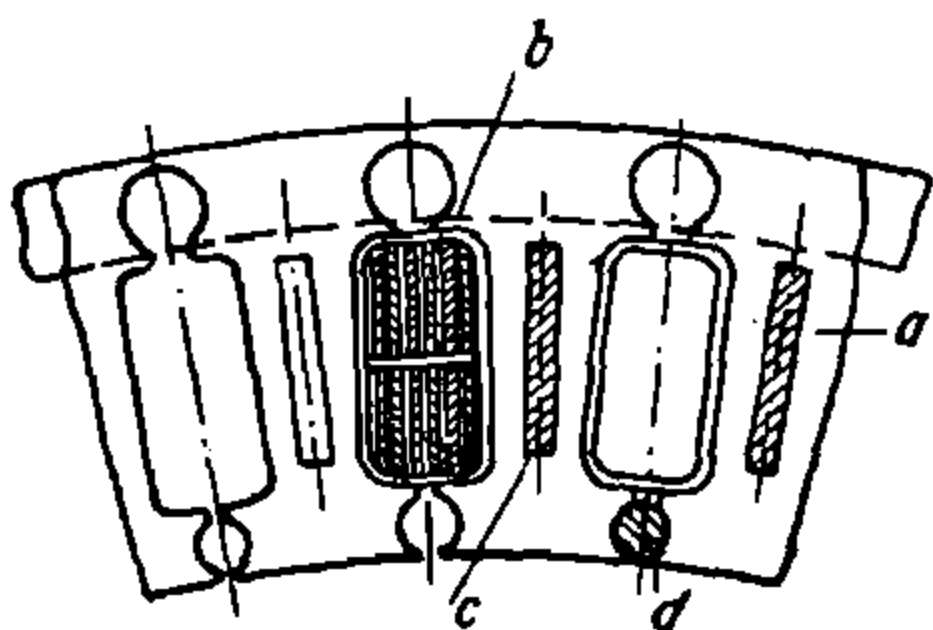


Фиг. 45

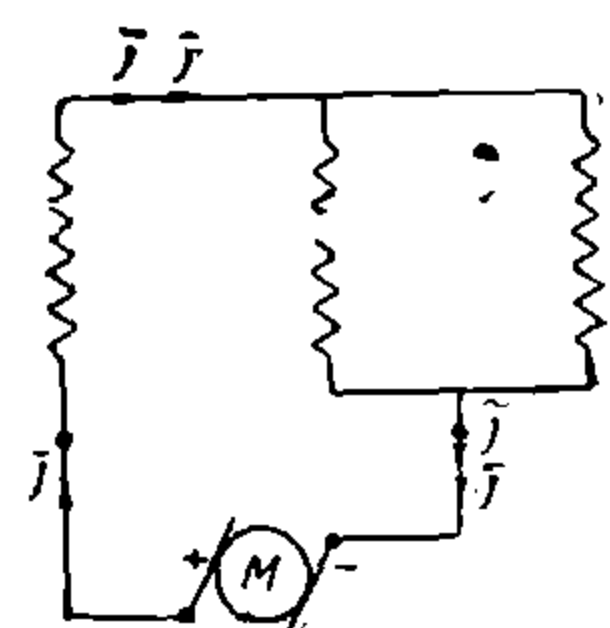
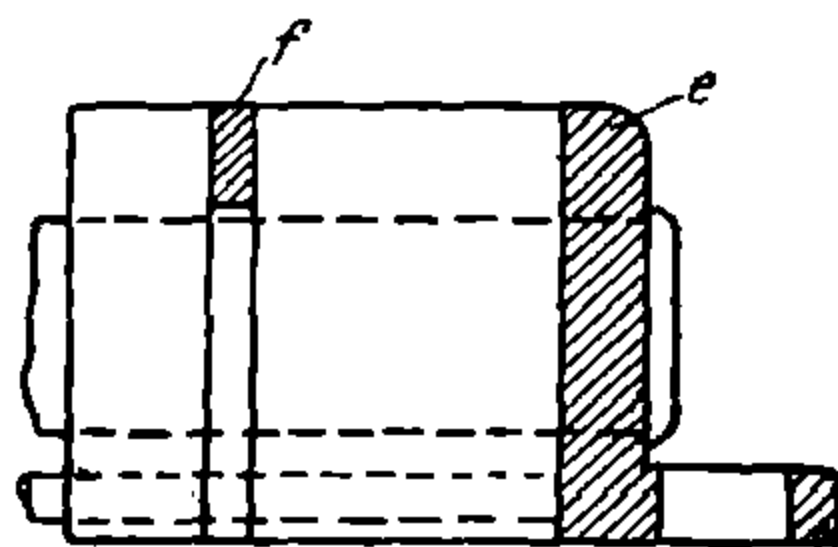
Примечание. Если учитывать влияние реактанцев, а не отбрасывать их, как это сделано в предыдущих рассуждениях, то принципиальные положения не изменяются.

VI. ОДНОФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ СИСТЕМЫ ПУНГА-ШЕН

В этом дв-ле благодаря наличию промежуточного постоянно вращающегося ротора создается круговое вращающее магнитное поле, воздействующее на рабочий ротор. Промежуточный ротор (фиг. 46) содержит демпферную обмотку, уничтожающую инверс-



Фиг. 46



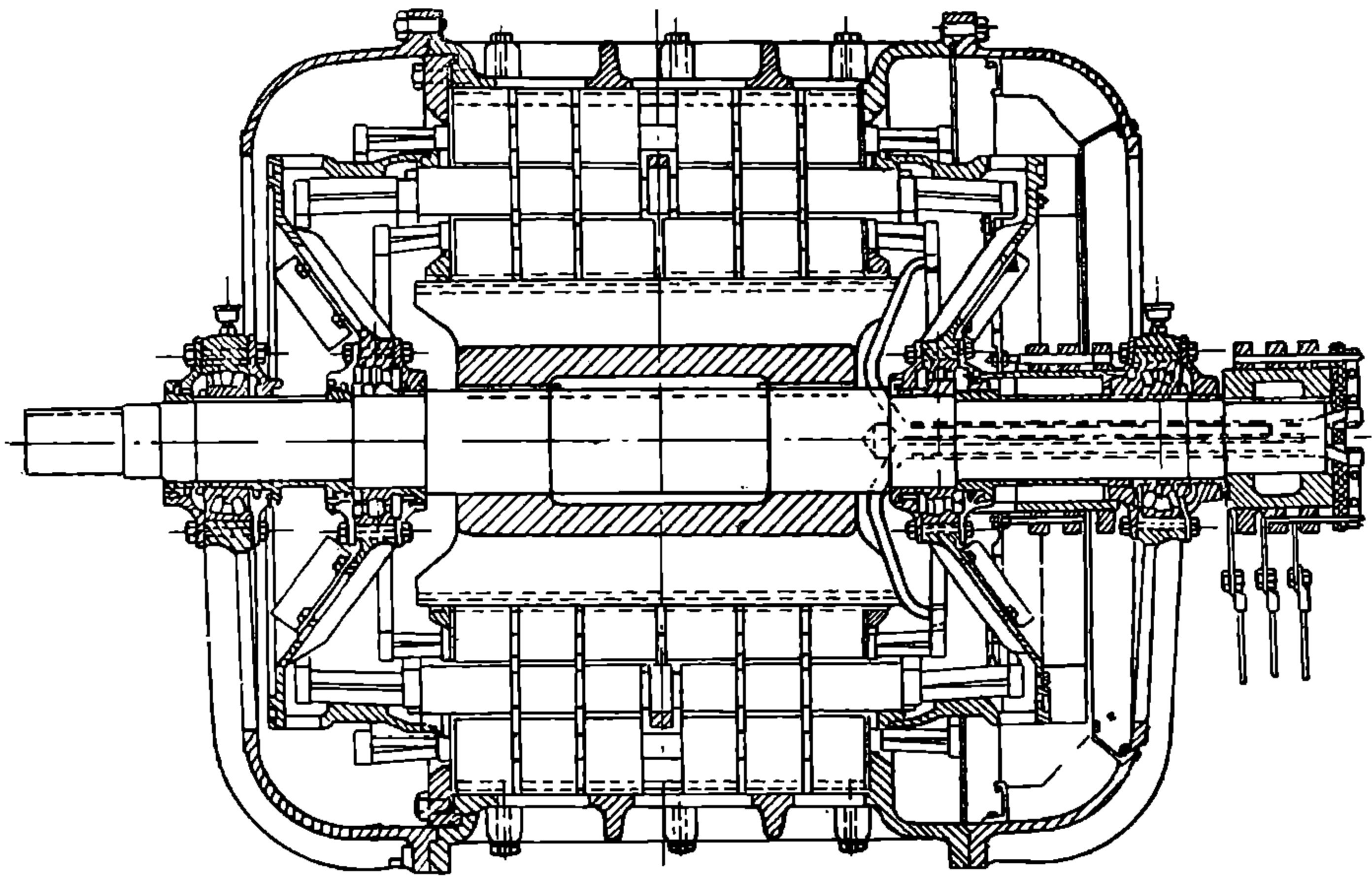
Фиг. 47

ное поле, и обмотку, питаемую постоянным током. Последняя дает возможность регулировать потребление намагничивающей мощности из сети, так что дв-ль может потреблять даже опережающий ток.

ИТЬ
ДНУЗТ

Реверсировка м. б. получена без останова промежуточного ротора переносом питания со статора на ротор.

Конструкция такого дв-ля дана на фиг. 48.



Фиг. 48

VII. АСИНХРОННЫЕ ТРЕХФАЗНЫЕ ДИГАТЕЛИ

1. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ

Регулирование скорости производится переключением числа пар полюсов и включением в каскад. Переключение числа пар полюсов м. б. произведено или перегруппировкой катушек обмотки, или изменением числа фаз: а) перегруппировкой катушек м. б. получено (практически) 2-ступенчатое регулирование скорости в отношении 1 : 2, или 2 : 3, или 3 : 4; б) изменением числа фаз м. б. получена широкая регулировка скорости (6 ступеней и более). Однако этот метод требует наличия статического или вращающегося фазообразователя, дающего соответствующее число фаз.

На эл/в, не имеющих преобразователей, ограничиваются 2 числами фаз, получаемыми с помощью тр-ра Скотта, или при наличии 2 моторов — группировкой их статоров по схеме Скотта. В последнем случае отпадает необходимость в установке тр-ра.

Изменение числа фаз по схеме Скотта с 3 на 2 (или 4) дает 2-ступенчатую регулировку в отношении 2 : 3 или 3 : 4. Применение одновременно методов п. «а» и «б» дает 3-ступенчатую регулировку.

4-ступенчатая регулировка м. б. получена применением 2-обмоточных асинхронных ТД, у к-рых каждая обмотка рассчитана на 2 числа пар полюсов. Чтобы не усложнять схему фазным ротором, дающим 4 ступени и имеющим значительное число колец, в этом случае применяется короткозамкнутый ротор (дорога Бургдорф—Тун). Это решение однако применимо для относительно маломощных дв-лей, т. к. в этом случае для получения удовлетворительного пускового момента в ротор вводятся сопротивления, снижающие кпд дв-лей и греющие ротор. Пуск в этом случае требует установки автотр-ра.

Для мощных дв-лей целесообразно применение схемы Кандо, при к-рой ротор дв-ля выполняется 2-обмоточным и питание подводится к ротору. Статор имеет многофазную обмотку, присоединенную к пусковому реостату, и на ходовых положениях замыкается накоротко. 4-ступенчатая регулировка м. б. получена и с помощью одной обмотки—изменением числа фаз. Число ступеней м. б. расширено применением каскадного включения.

ДНУЗТ

Основные соотношения при переключении. Индукции в зазоре при числе полюсов p_1 и p_2 относятся:

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{\omega_2 f_1 p_1 U_1}{\omega_1 f_2 p_2 U_2},$$

где: U_1 и U_2 — фазовые напряжения сети; ω — число витков на фазу; p — число пар полюсов; индекс 1 обозначает одно число пар полюсов, 2 — др.

Максимальные вращающие моменты:

$$\frac{M_{max_1}}{M_{max_2}} = \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^2 \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 \frac{P_2}{P_1}.$$

Намагничивающие токи (пренебрегая насыщением):

$$\frac{I_{M_1}}{I_{M_2}} = \frac{B_1}{B_2} \frac{P_1}{P_2} \frac{\omega_2}{\omega_1} \frac{f_2}{f_1}.$$

ТКЗ (принимая рассеяние одинаковым при P_1 и P_2):

$$\frac{I_{K_1}}{I_{K_2}} = \frac{U_1}{U_2} \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2.$$

2. ОБМОТКИ

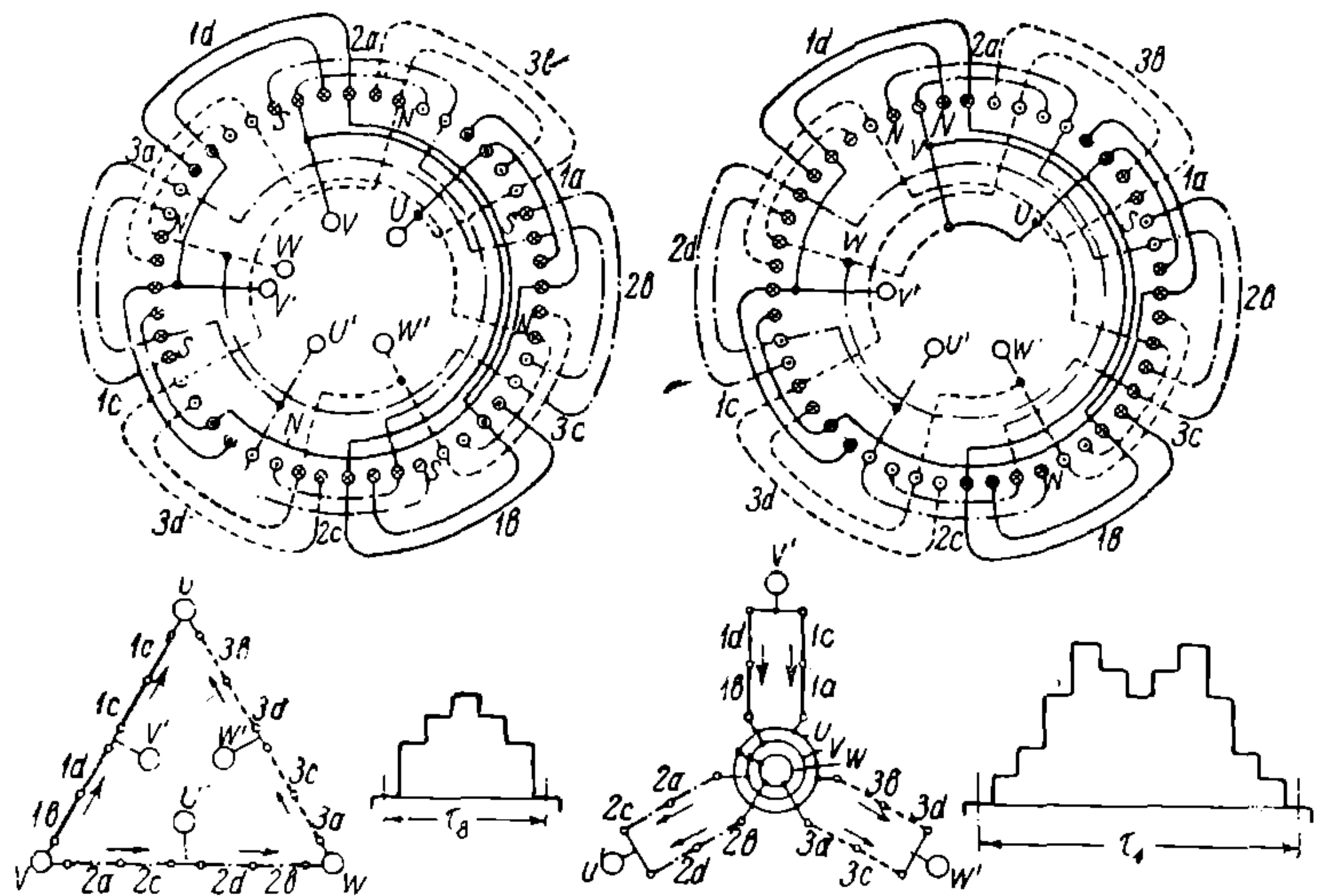
Основные требования, предъявляемые к обмотке с переключением: 1) минимальное количество выводов, 2) высокие обмоточные коэф-ты, 3) неискаженная форма поля.

В обмотке для регулирования скорости в отношении 1 : 2 и для изменения числа пар полюсов с 2×2 на 1×2 достаточно изменить направление тока в половине проводов каждой фазы на обратное. Это м. б. наиболее просто сделано переносом питания в середину фазы. При этом требуется лишь 6 выводов.

Табл. 20

Обозначения	$1 \times 2 p$	$2 \times 2 p$
У	—	τ
S	—	$\frac{1}{2}\tau$
ζ	0,699	0,955
B l	0,8	1
W	1,6	1

Число выводов — 6.
Характеристики:
У шаг по катушечным сторонам
S ширина, занятая одной фазой
 ζ обмоточный коэф-т
B l индукция в воздухе
W мощность



Фиг. 49

На фиг. 49 представлена однослойная катушечная обмотка для подобного переключения. Обмотка может применяться как статорная, так и роторная. Обмотка применена у эл/в 1С1 сер. 364, Симплон. Характеристики обмотки сведены в табл. 20¹.

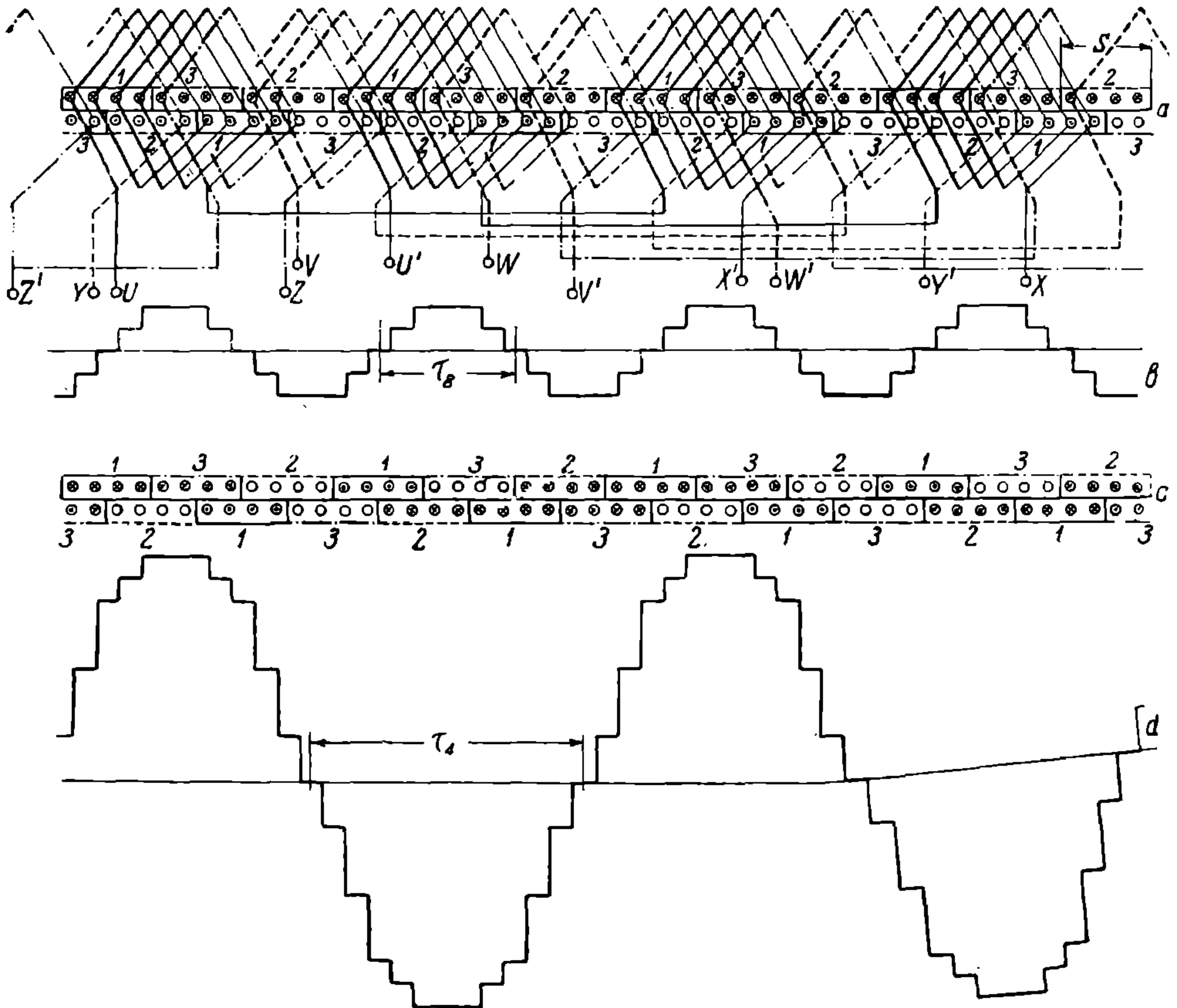
¹ Указываемые в табл. 20 и в последующих табл. мощности даны из расчета:

При $AS = \text{const}$ $n \equiv \frac{I_1}{p}$; $W \equiv n M$ $M \equiv Bl$ $W \equiv \frac{Bl}{p}$.

НТБ
ДНУЗТ

Следует отметить, что рассчитанная т. о. мощность является чисто теоретической и что ограничение мощности при повышенных скоростях устанавливается нагревом.

Недостатки обмотки — низкий обмоточный коэф-т и плохая форма поля при $1 \times 2p$.



Фиг. 50

Табл. 21

Обозначения	$1 \times 2p$	$2 \times 2p$	Обозначения	$1 \times 2p$	$2 \times 2p$
Y	—		B	0,71	1
S	—	$\frac{1}{3} \tau$	W	1,42	1
ζ	0,675	0,827			

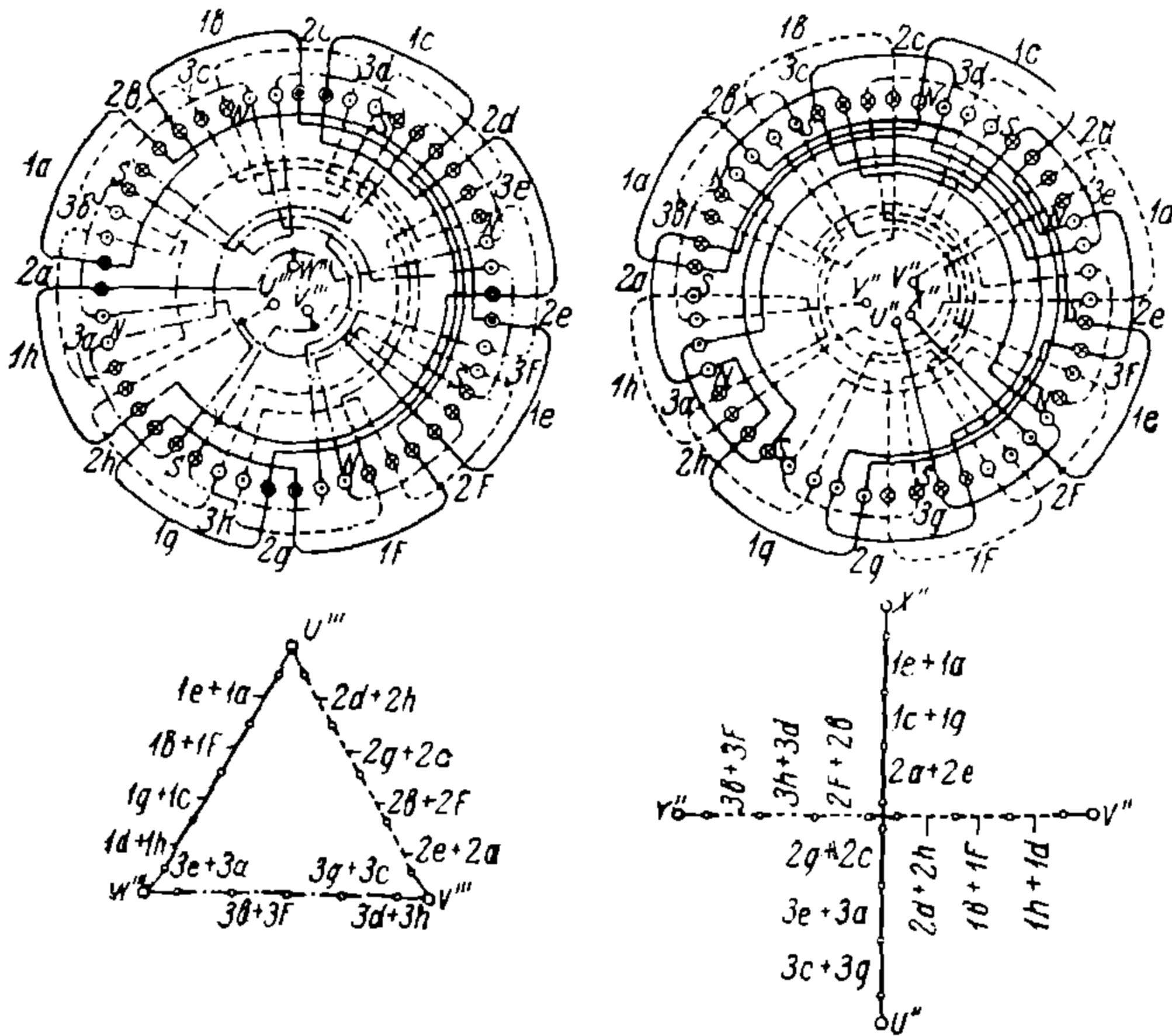
Фиг. 50 дает разрезную 2-слойную обмотку (статорная обмотка), у которой изменение числа полюсов достигается переключением одной половины каждой фазы.

Так, напр., при 8 полюсах конец x' соединяется с u' , а при 4 полюсах конец x' соединяется с x .

Характеристика обмотки — табл. 21. Число выводов — 12. Обмотка применена на эл/в 1С1, Симплон, сер. 364.

Регулирование в отношении 2/3. 1) Изменением числа фаз. На фиг. 51 приведена схема статорной обмотки. Характеристика — табл. 22. Число выводов — 24. Здесь E — фазовое напряжение.

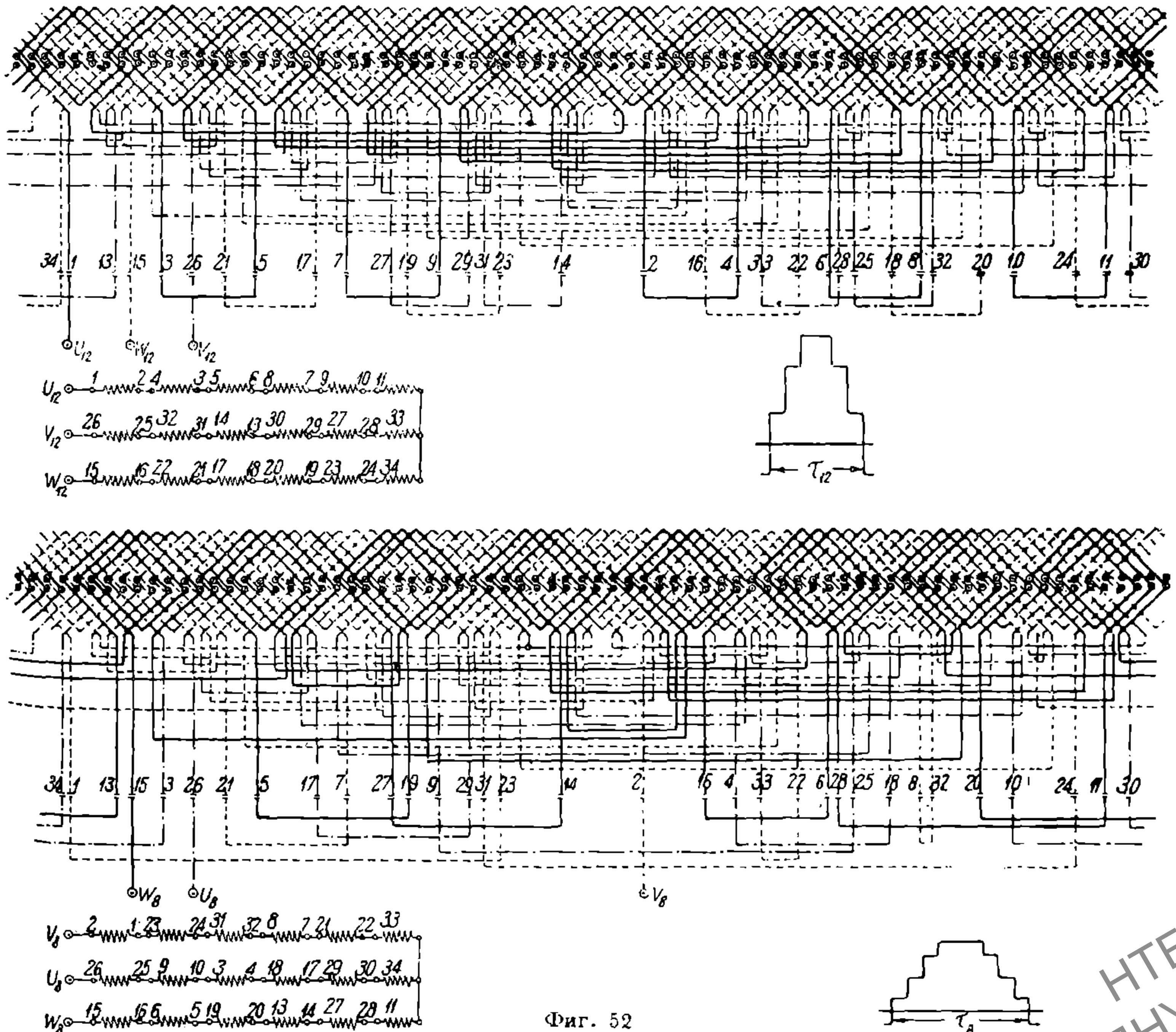
НТБ
ДНУЗТ



Фиг. 51

Табл. 22

Обозначения	2p	2p
	×	×
У	2	3
S	τ	—
ζ	1/3τ	—
B	0,96	0,92
E	1	1
W	1	0,96
Число фаз	1,5	1
		4



Фиг. 52

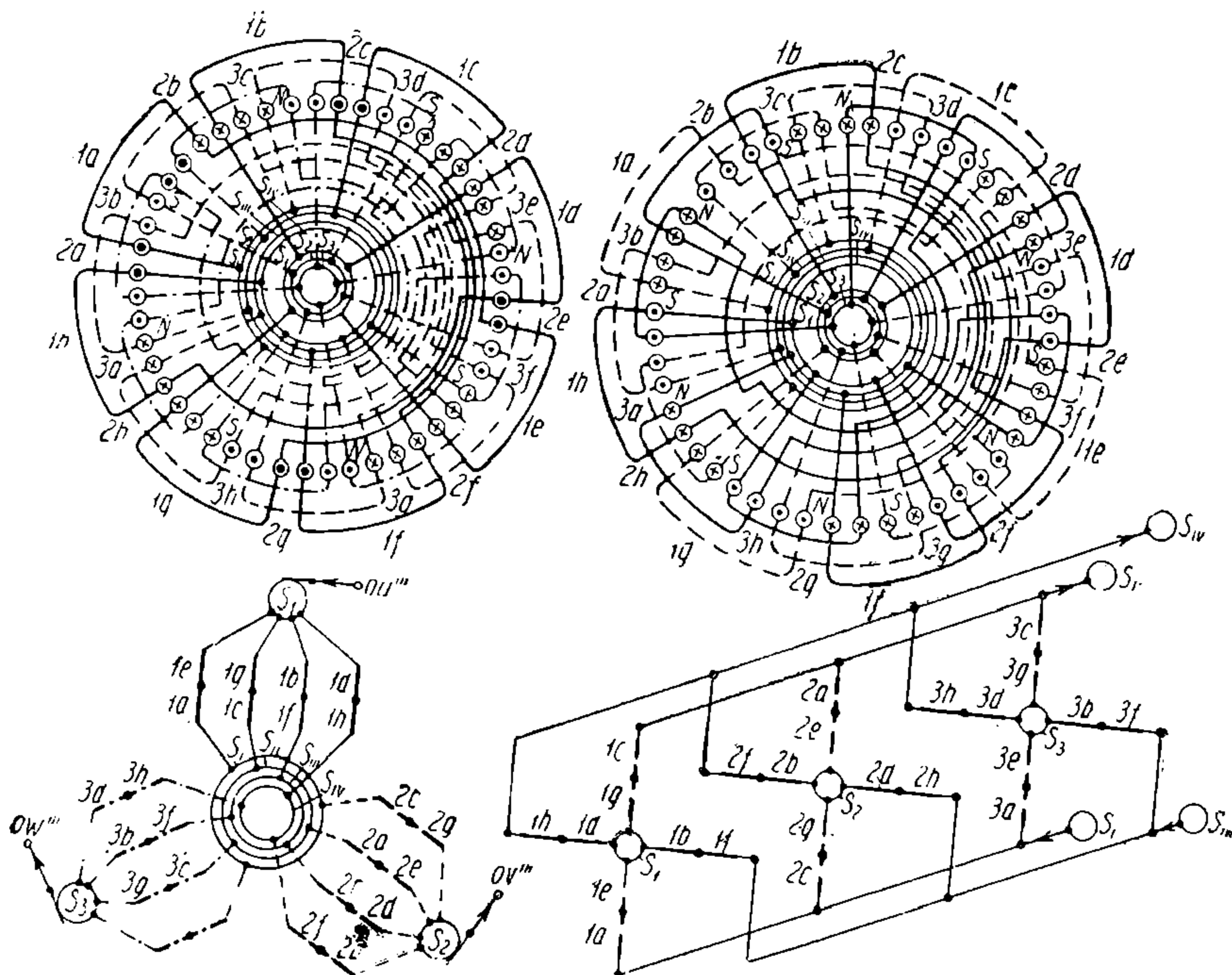
НТБ
ДНУЗТ

2) Перегруппировкой катушек (фиг. 52). Статорная обмотка. Число выводов—33. Обмотка применена на эл/в 1D1 сер. 472 итальянских гос. ж. д.

Табл. 23

Обозначения	$2 \times 2p$	$3 \times 2p$
У	—	$1\frac{1}{6}\tau$
S	—	$\frac{1}{3}\tau$
ζ	0,9	0,93
B	1	1,45
E	1	1
W	1	1,04

Роторные обмотки для регулирования в отношении 2/3. Здесь наиболее часто применяется метод регулирования изменением числа фаз, т. к. он дает наименьшее число выводов (колец) и не связан в этом случае с установкой фазообразователей. Обмотка на фиг. 53 переключается с 12 на 8 полюсов при 7 кольцах. Обмотка применяется в роторах эл/в 1С1 сер. 333 и 552 итальянских гос. ж. д. (табл. 23).

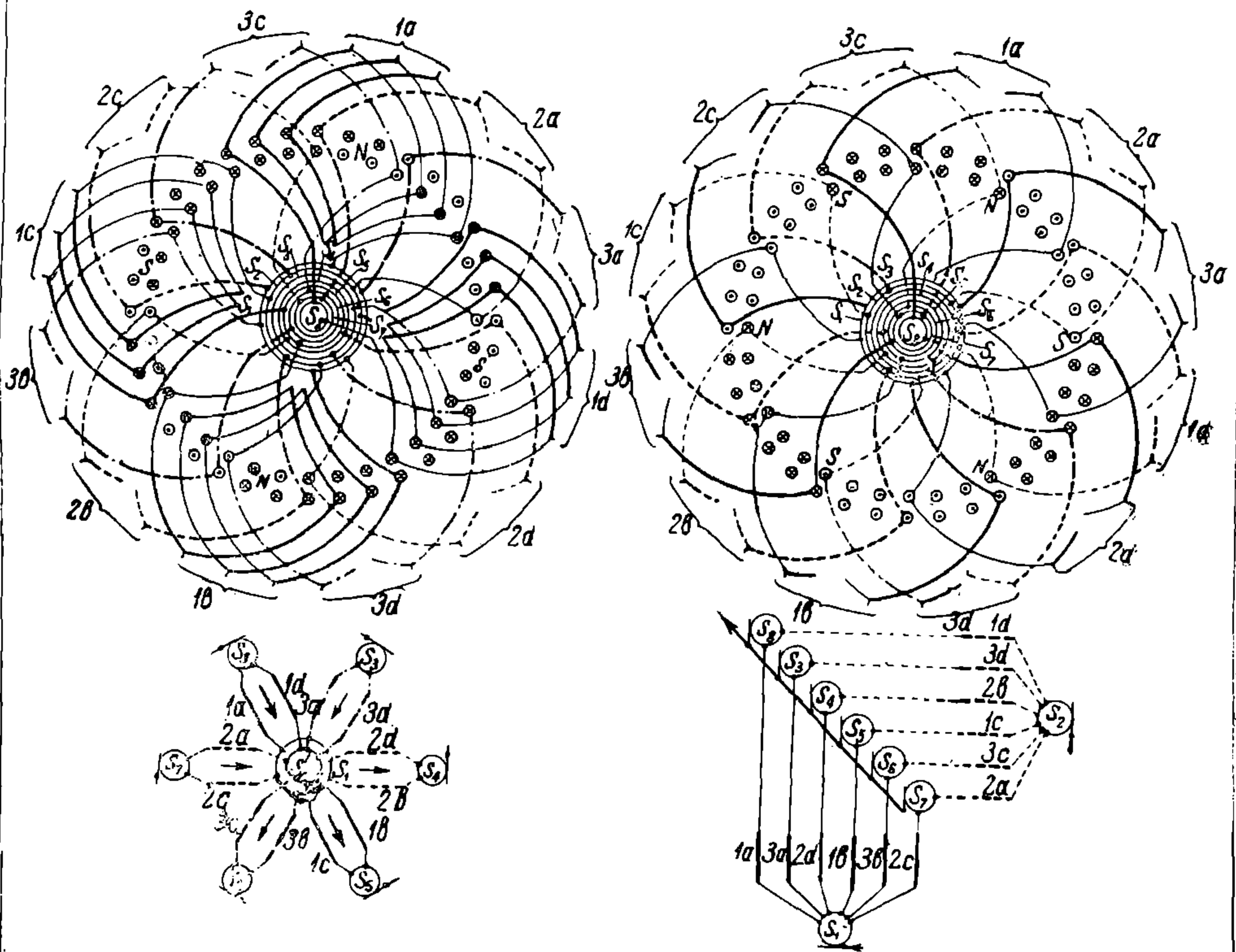


Фиг. 53

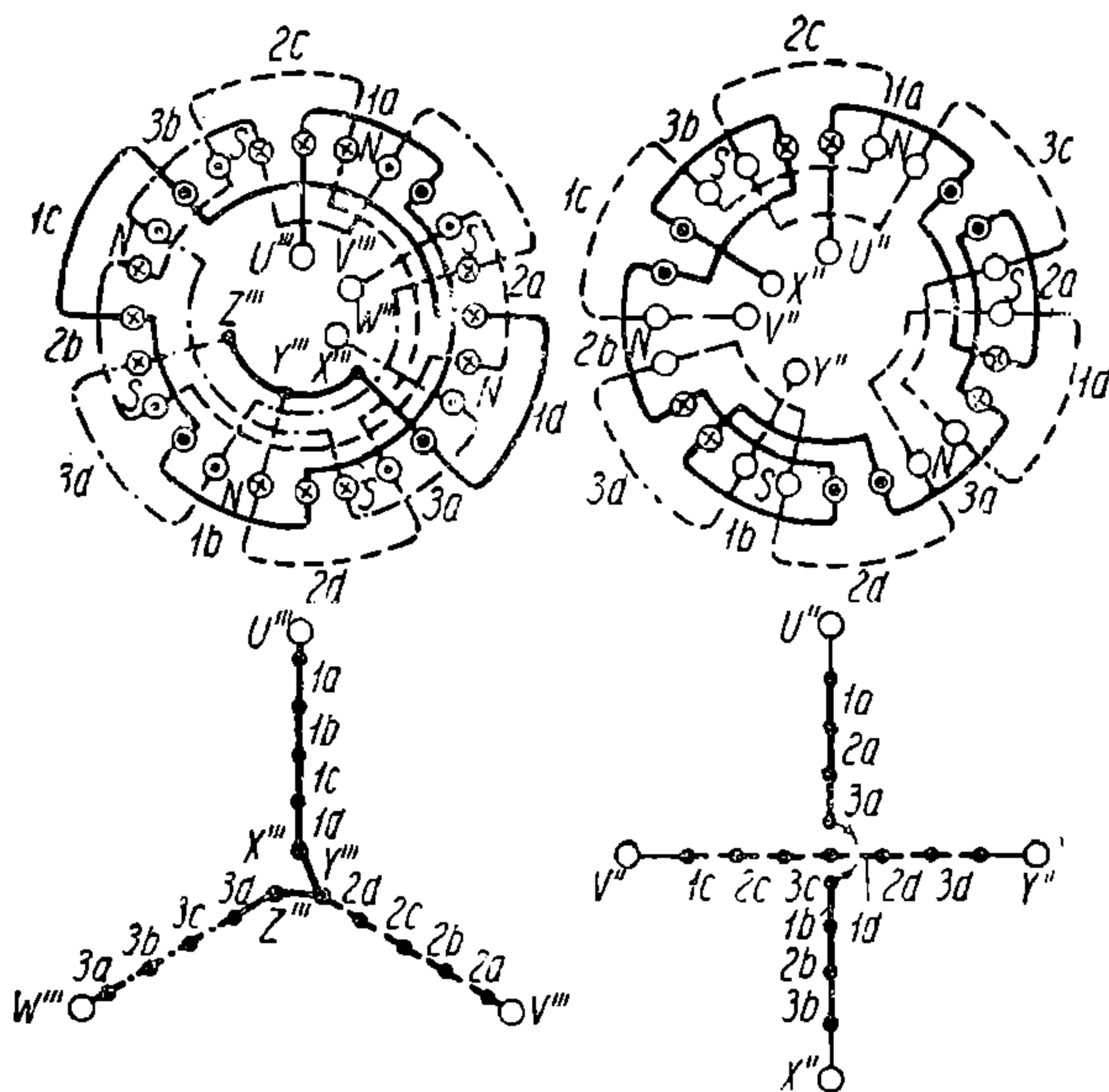
Обмотка по фиг. 54—двухслойная, переключается с $2 \times 2p$ на $3 \times 2p$ полюса при 8 кольцах. Шаг секции лежит между полюсным делением при большом и малом числе полюсов. Обмотка применена в роторах эл/в 1D1 сер. 472 итальянских гос. ж. д.

Регулирование в отношении 3/4. 1) Изменением числа фаз. Схема роторной катушечной обмотки — фиг. 55. Характеристики обмотки — табл. 24. Число выводов — 24. Применено на эл/в 1С1 сер. 330 итальянских гос. ж. д.

ДРУЗТ



Фиг. 54



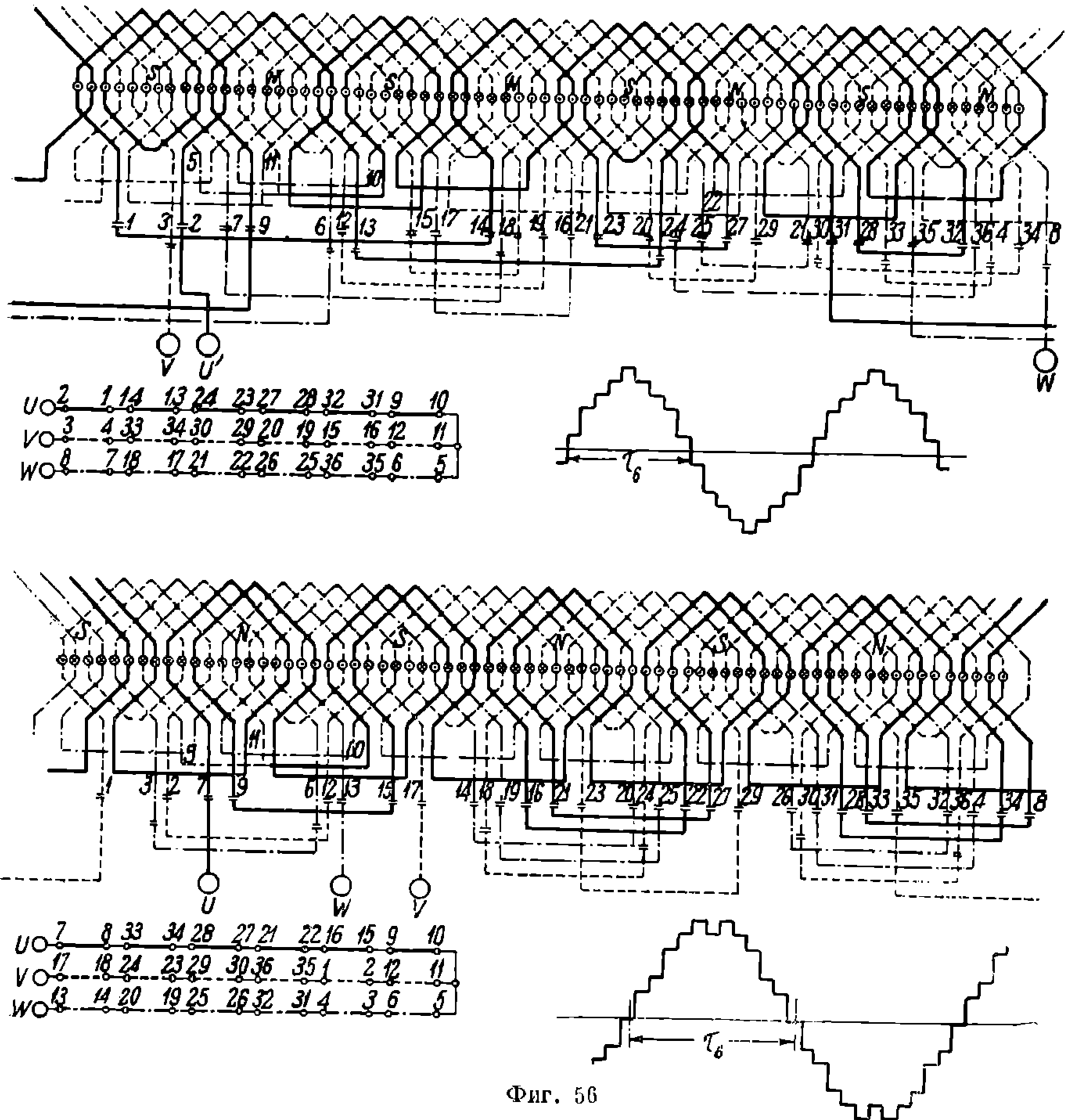
Фиг. 55

Табл. 24

Обозначения	$3 \times 2 p$	$4 \times 2 p$
У	—	—
S	—	$\frac{1}{3}\tau$
ξ	0,92	0,96
B	1	1
E	1,9	1
W	1,33	1
Число фаз	2	3

НТБ
ДНУЗТ

2) Перегруппировкой катушек. Схема обмоток приведена на фиг. 56. Характеристики обмотки — в табл. 25. Число выводов—36. Применена на эл/в 2С2 сер. 331 и 332 итальянских гос. ж. д.



Фиг. 56

Табл. 25

Обозначения	3 × 2 p	4 × 2 p	Обозначения	3 × 2 p	4 × 2 p
У	—		В	0,9	0,96
С	—	1/3τ	W	1	1,26
				1,06	1

Роторные обмотки приведены на фиг. 57 и 58.

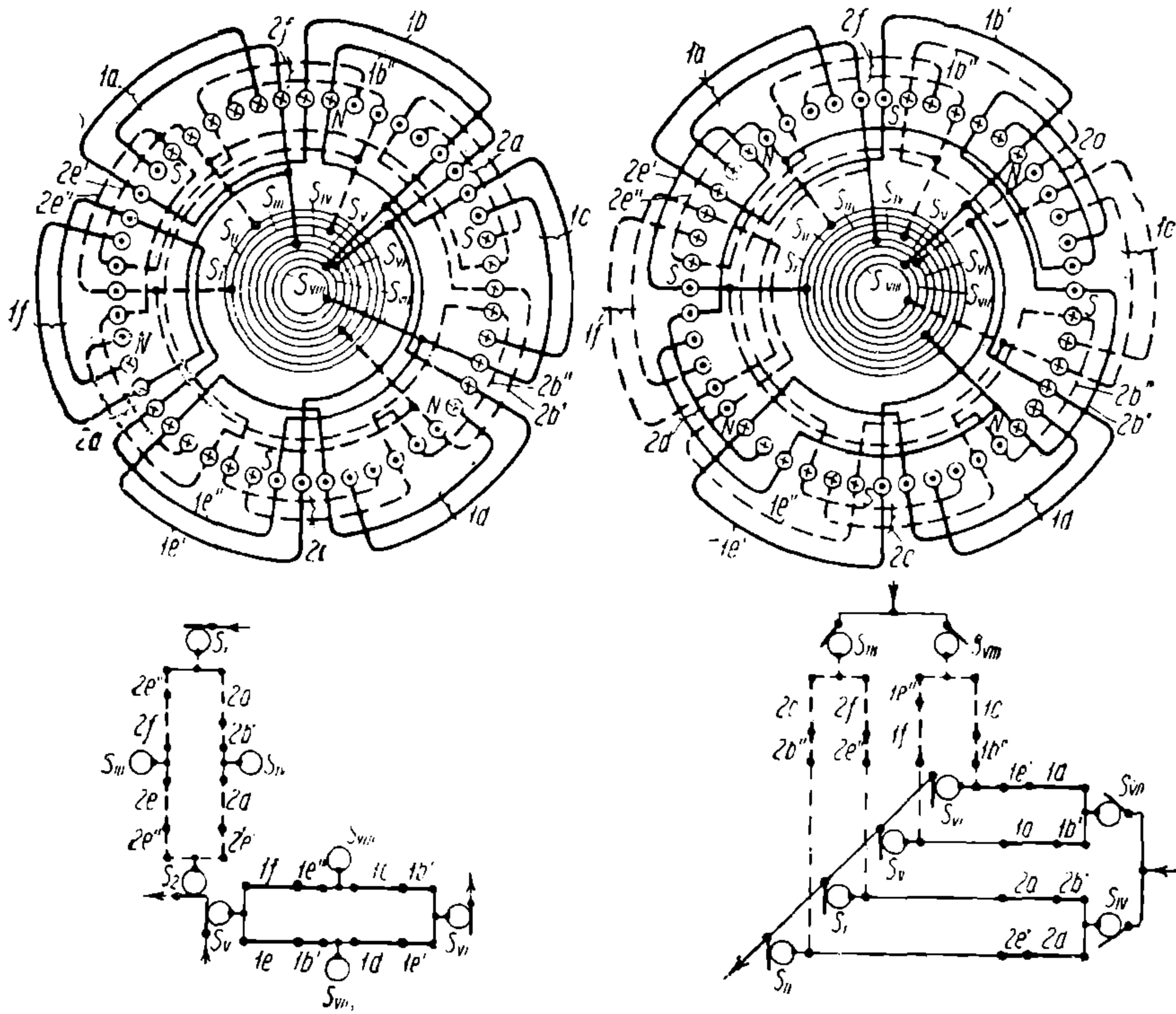
3-ступенчатая регулировка скорости в отношении 2 : 3 : 4 применена на эл/в 1D1 сер. 432 итальянских гос. ж. д. Мотор переключается с 12 на 8 полюсов при 3-фазном питании и на 6 полюсов при 2-фазном питании. Последнее достигается включением статоров по схеме Скотта. Обмотка имеет 53 отвода (фиг. 59).

Роторная обмотка — 2-слойная, разрезана в 48 местах и выведена к 13 кольцам (фиг. 60).

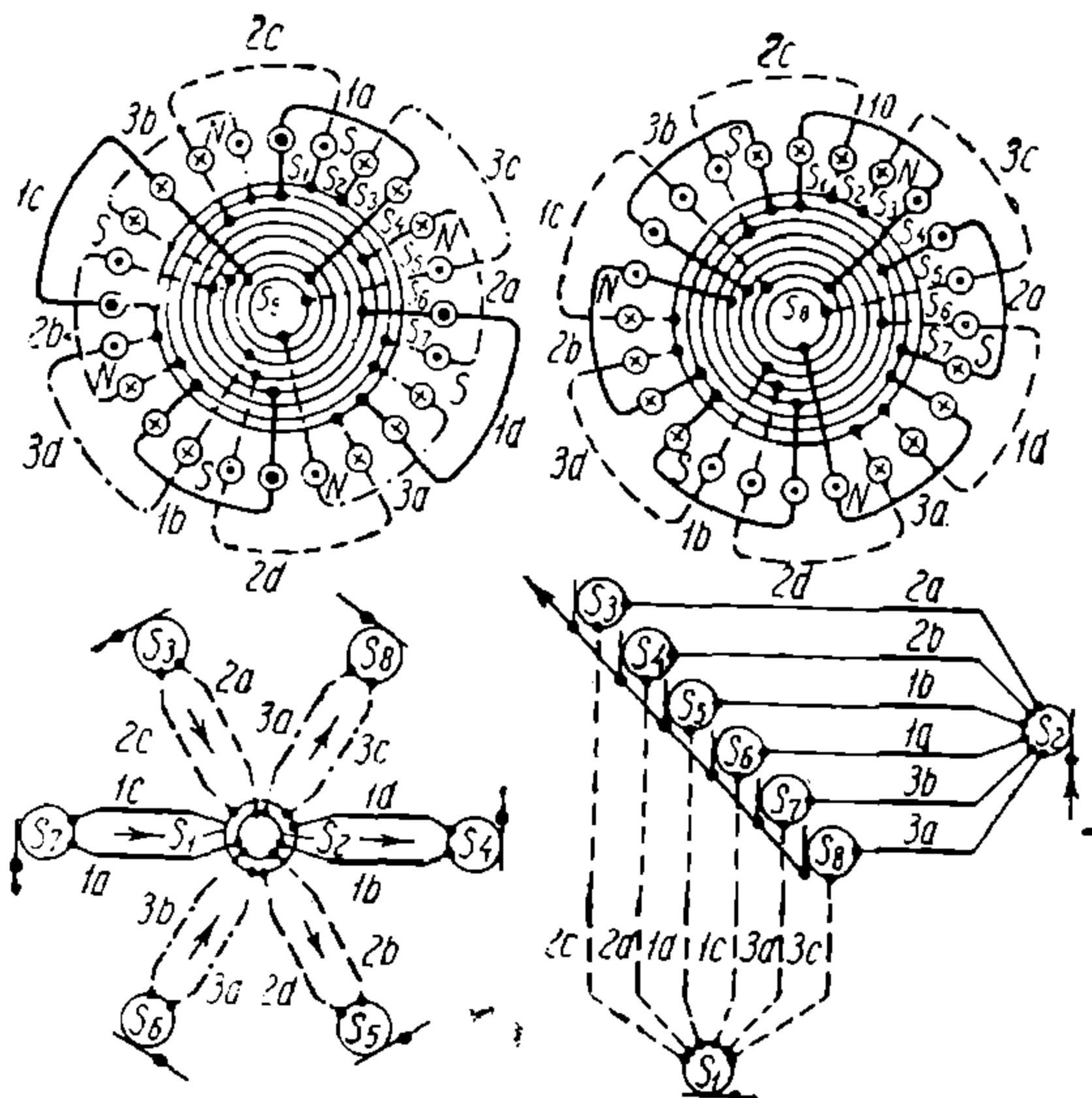
4-ступенчатая регулировка скорости в отношении 1 : 2 : 3 : 4 применена в эл/в Кандо. Мотор имеет в роторе 2 обмотки: а) обмотка $^{72}/_{36}$ полюсов, $^{3}/_{3}$ фазы 6 колец; б) обмотка — $^{24}/_{18}$ полюсов, $^{6}/_{4}$ фазы, 10 колец.

Питание подводится к ротору. Статор имеет 48 отводов, приключенных к реостату. Схема роторных обмоток приведена на фиг. 61. Римскими цифрами обозначены выводы фазообразователя кольца.

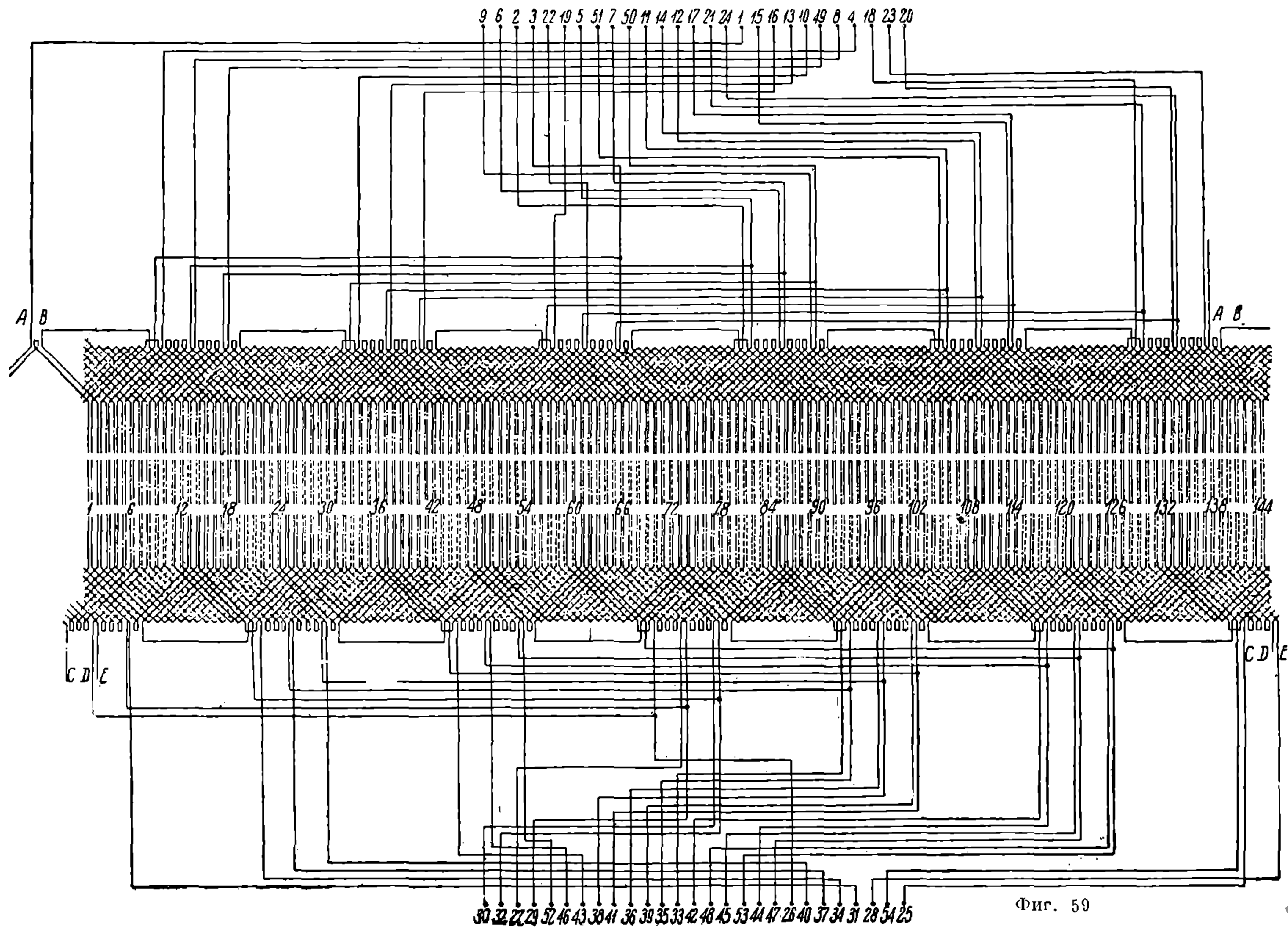
СНИТЬ ДНУЗТ



Фиг. 57



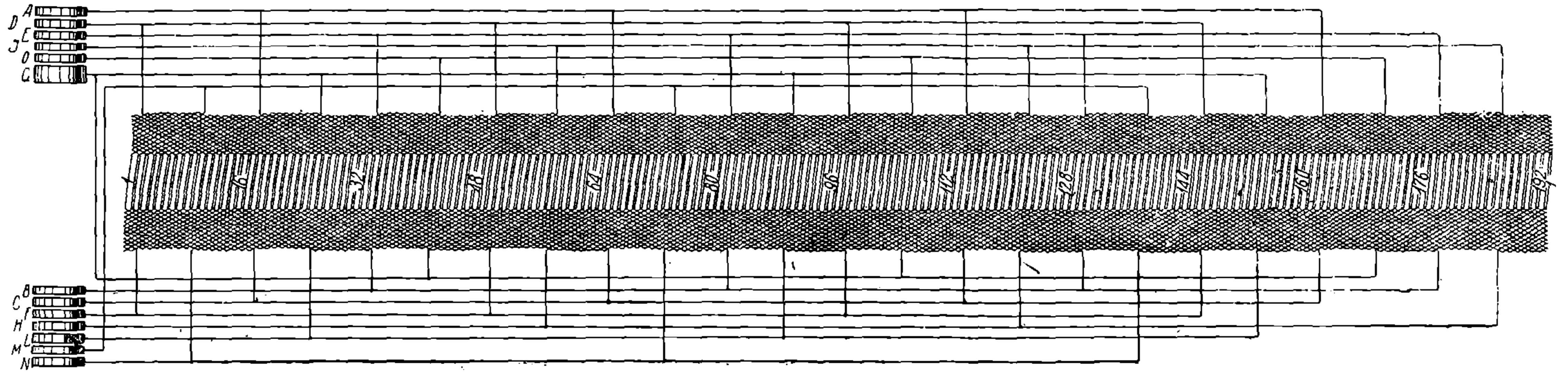
Фиг. 58



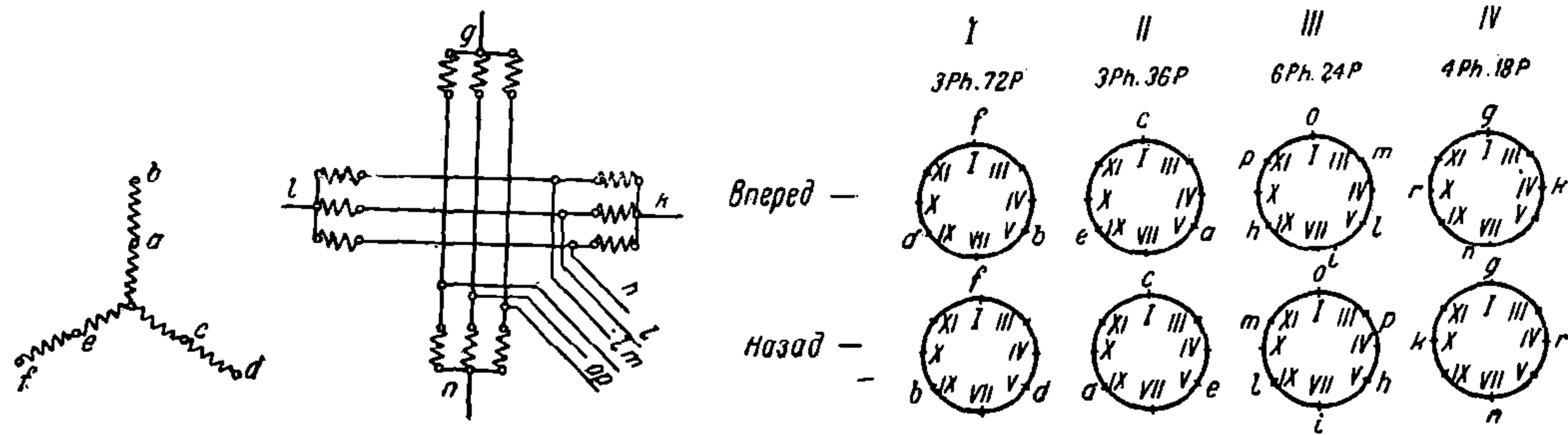
ПАРОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Фиг. 59

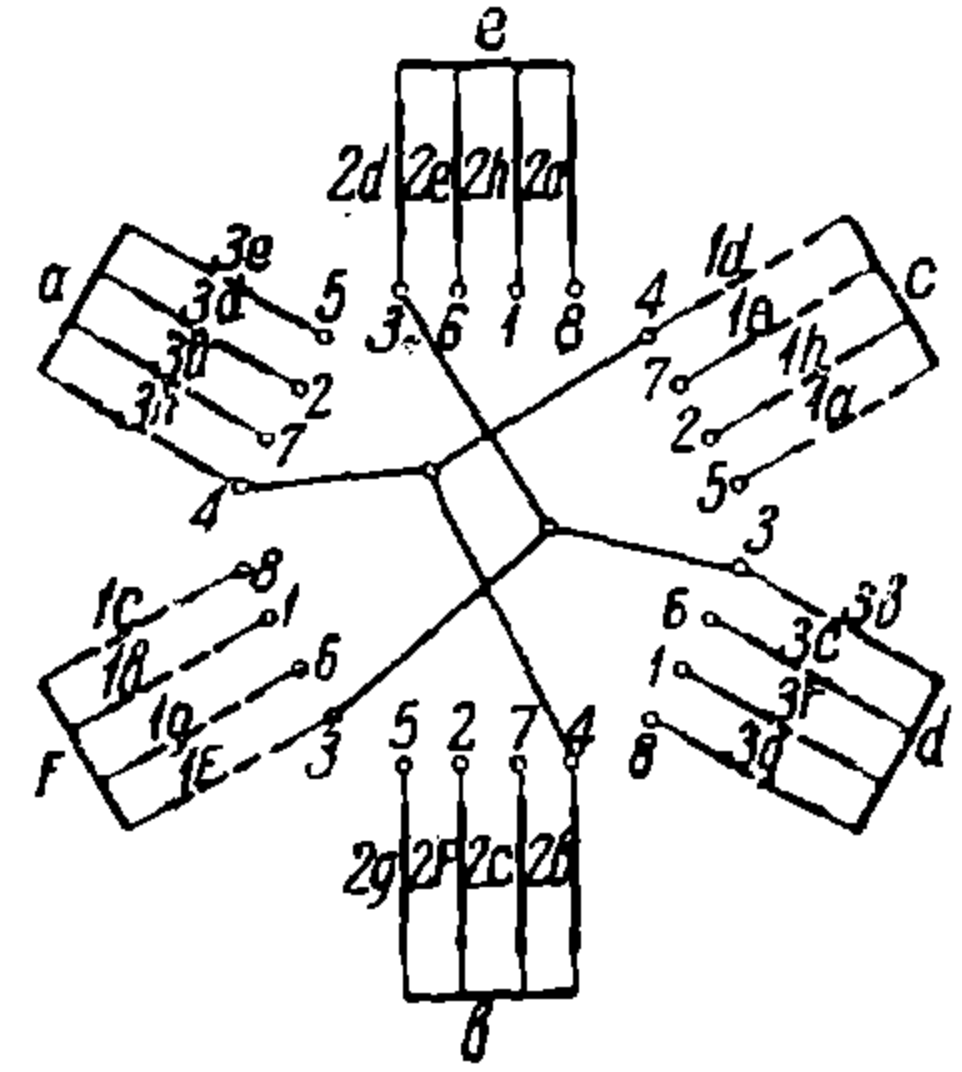
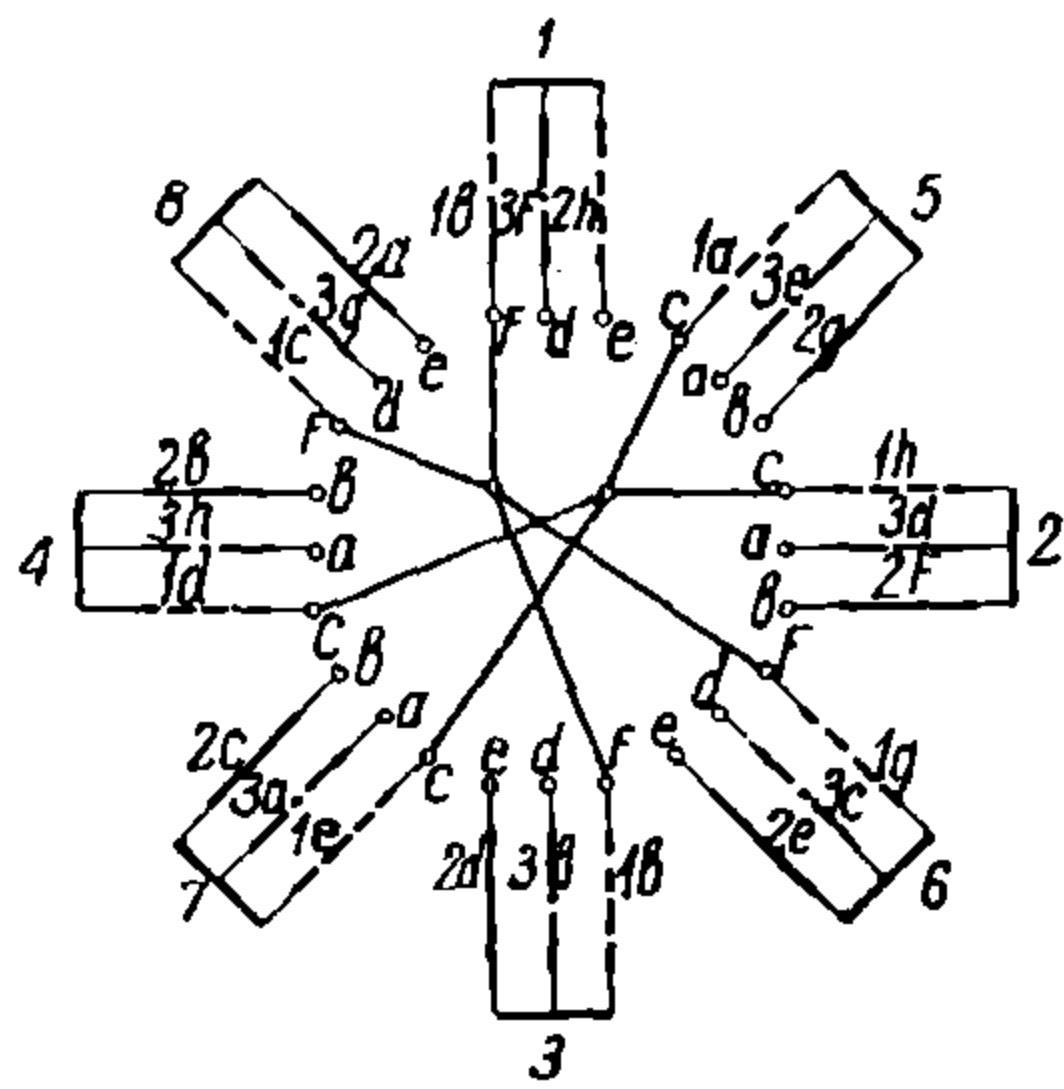
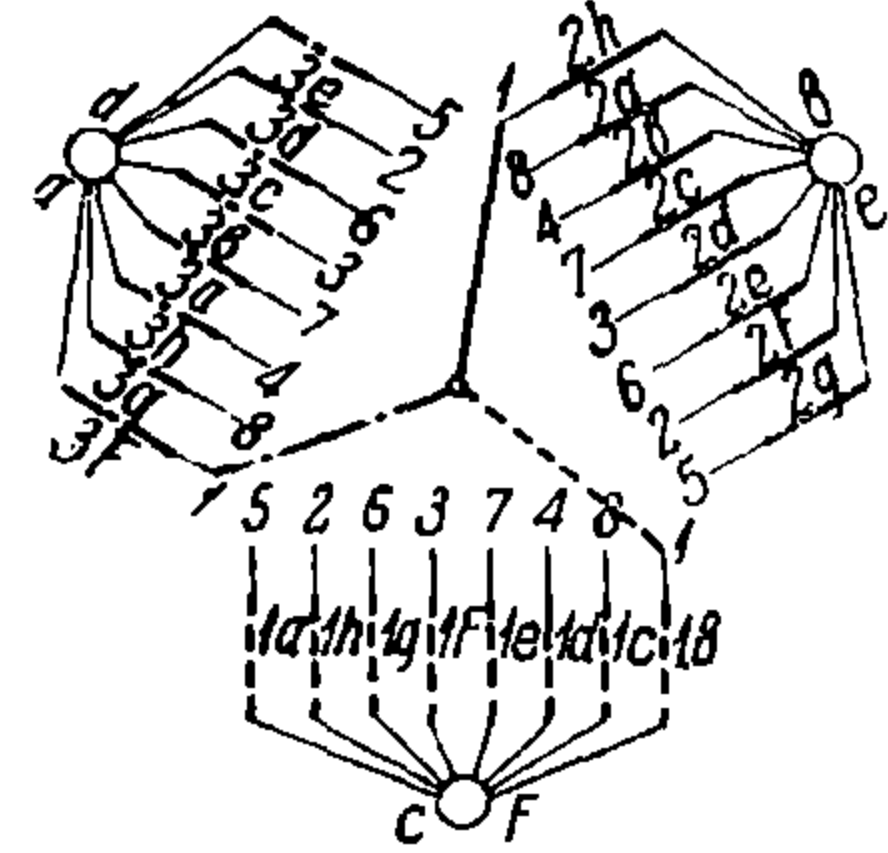
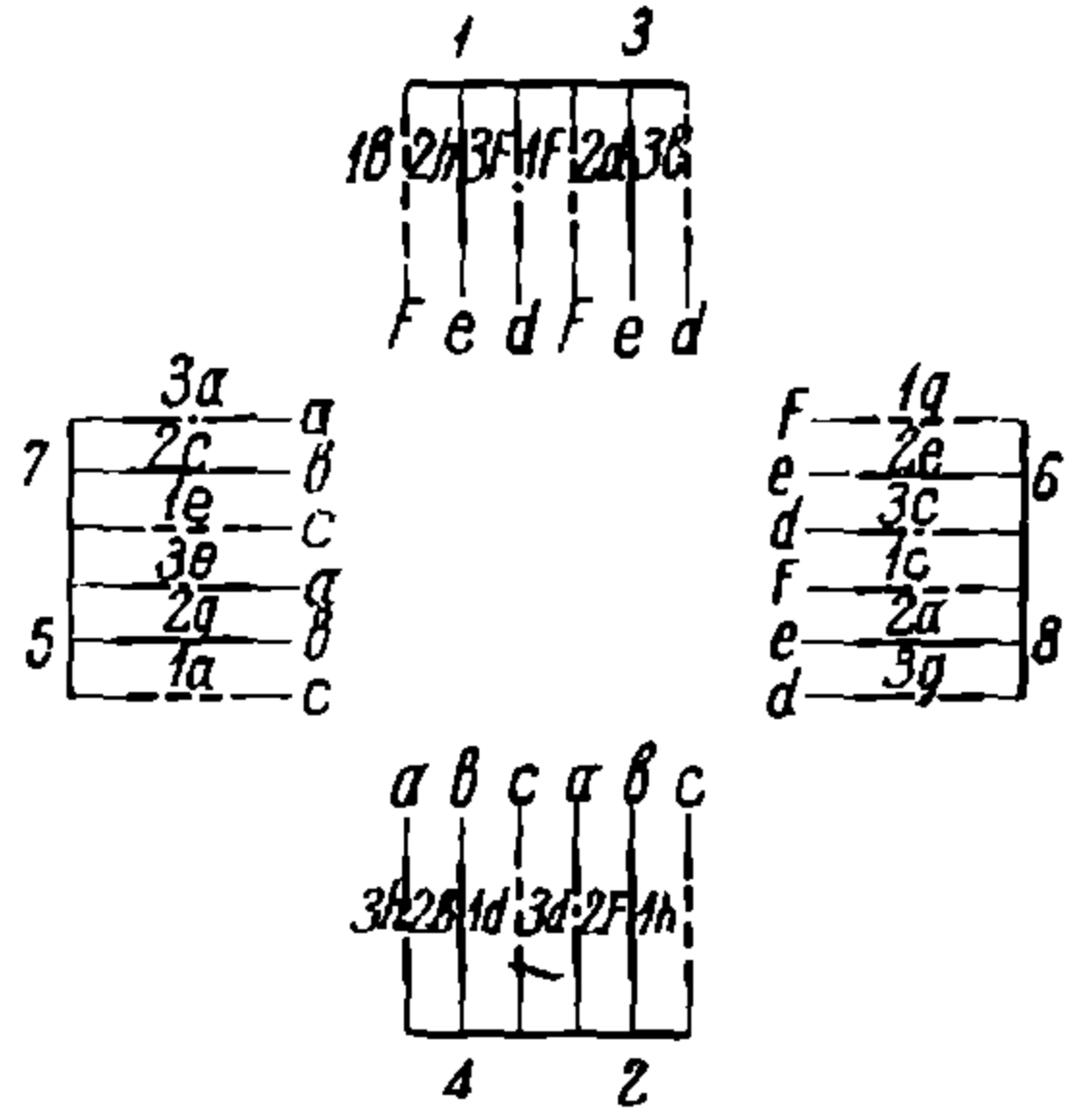
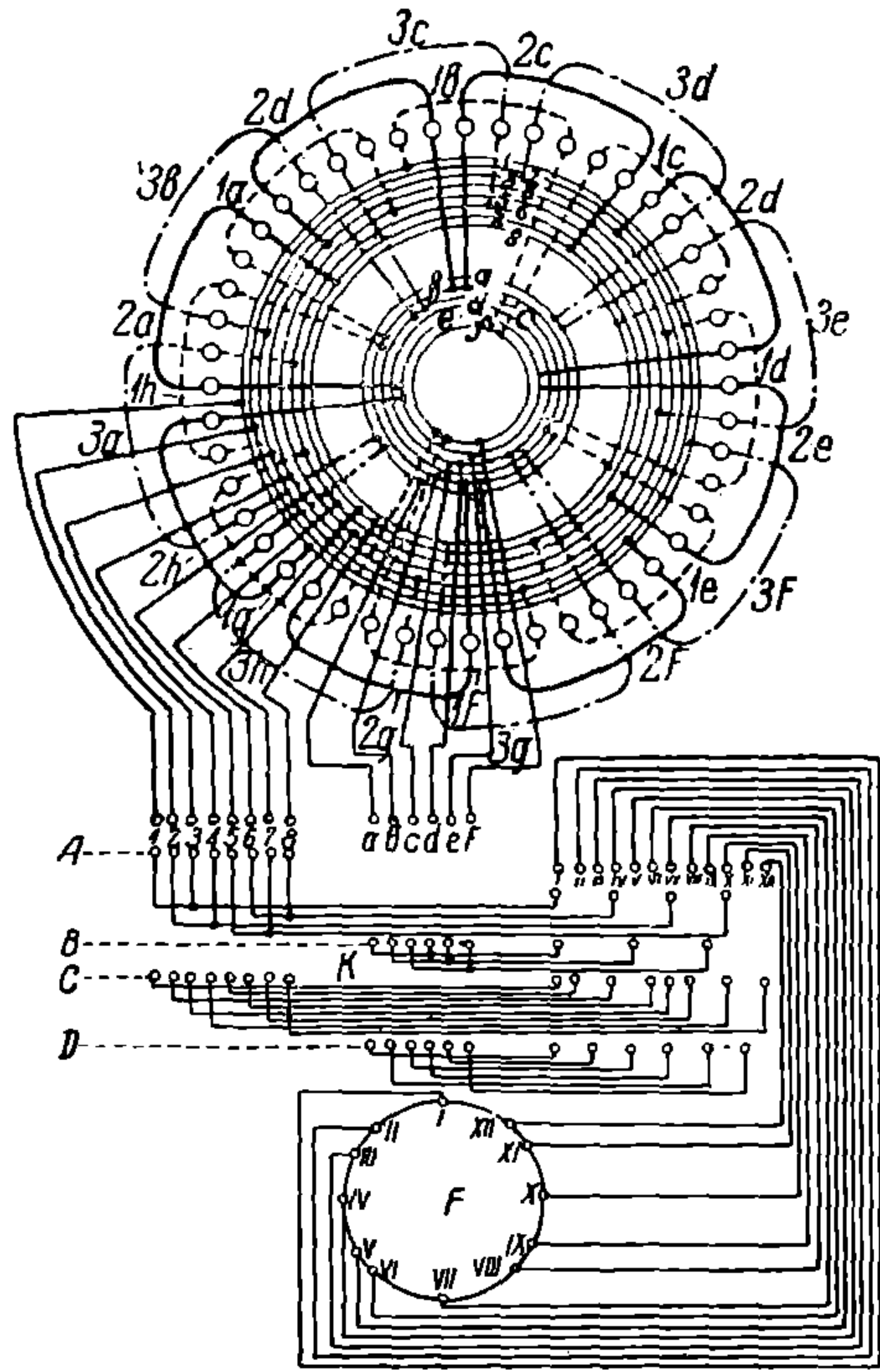
НТБ
ДНУЗТ



Фиг. 60



Фиг. 61



Фиг. 62

НТБ ДНУЗТ

4-ступенчатое регулирование скорости выполнено на дороге Бургдорф — Тун. Моторы имеют короткозамкнутые роторы.

4-ступенчатое регулирование м. б. осуществлено с одной обмоткой и с преобразователем фаз (фиг. 62). Обмотка дает 12, 8, 6 и 4 полюса при соответственно 2-, 4-, 3- и 6-фазном питании. Обмоточные коэф-ты соответственно 0,906, 0,957, 0,827, 0,495. Число выводов — 14.

3. РАСЧЕТ

Метод расчета в основном тот же, что и для стационарного асинхронного дв-ля. Число полюсов колеблется в пределах 4—12.

Выполнение моторов на большие числа полюсов нежелательно, т. к. увеличение числа полюсов снижает коэф-т мощности и утяжеляет мотор.

При обмотках на несколько чисел полюсов увеличение числа полюсов влечет за собой также увеличение количества соединений, что при в/н (3000 V) статоров нежелательно.

Указанные соображения непосредственно связывают тип передачи и частоту. При передаче без редуктора малое число полюсов мотора влечет за собой необходимость понижения питающей частоты до $16\frac{2}{3} \div 25$ Hz. Питание дороги частотой $25 \div 50$ Hz требует установки редуктора. Указанные соображения в значительной мере отпадают при наличии на эл/в синхронного фазообразователя (Кандо). В этом случае коэф-т мощности дв-ля играет второстепенную роль. Дв-ль м. б. выполнен многополюсным. Длина железа при нормальной колее и расположении дв-ля на раме колеблется в пределах $700 \div 800$ мм.

Воздушный зазор — $1,5 \div 2,5$ мм, в зависимости от веса ротора и типа подшипников. Вес мотора м. б. подсчитан по ф-ле:

$$G = 29 \div 31 M^{3/4},$$

где M — момент часового режима в кг. м.

VIII. КОНСТРУКЦИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. ВАЛ

М а т е р и а л в а л а д. б. достаточно «вязким», с высокими показателями по испытанию ударной нагрузкой.

Характеристики материала д. б. не ниже след.:

Временное сопротивление $60 \div 70$ кг/мм²

Удлинение 20% (на длине, равной пятикратному диаметру)

Предел усталости 30 кг/мм²

Ударная проба 8 кг/см² (Шарпи)

Предел текучести 50 кг/мм²

Хим. сост. приблизительно след.:

C—0,3 ÷ 0,4, Mn — 1,3 1,4, Si — 0,3, S и P по 0,05%.

К о н с т р у к ц и я в а л а должна совершенно устранять заточки и резкие переходы сечения, т. к. в этих местах происходит концентрация напряжений, вызывающая появление трещин усталости и дальнейшее разрушение вала.

Д и а м. в а л а (в наиболее толстой части) м. б. ориентировочно определен по ф-ле:

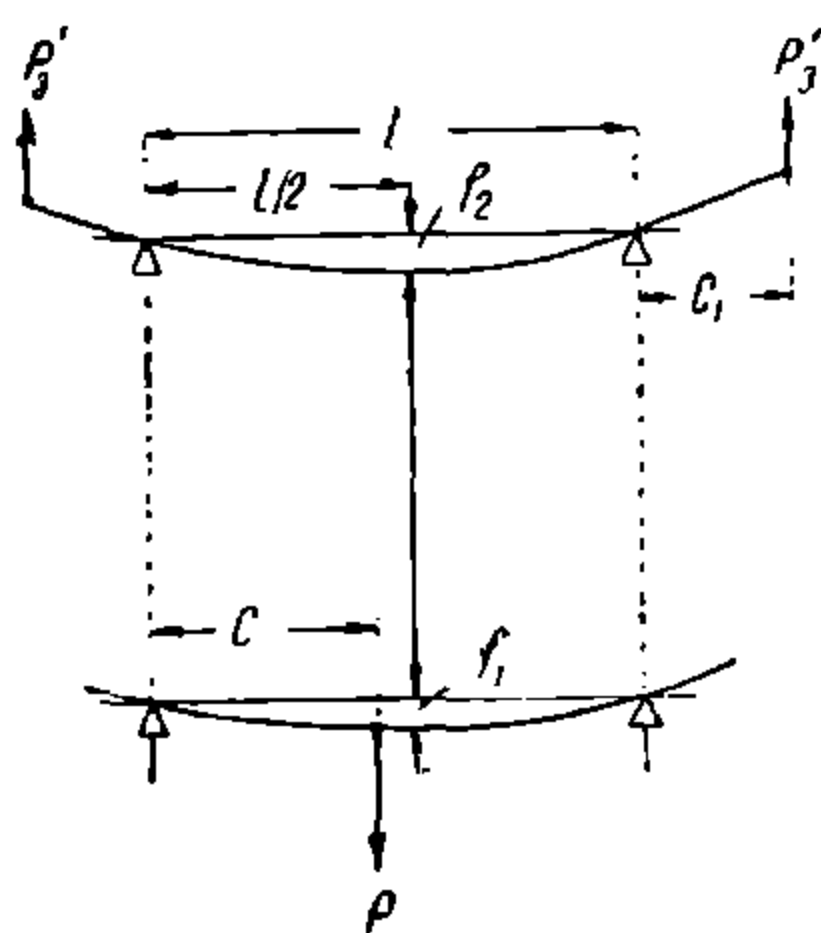
$$d_{\theta} = 17 \div 19 \sqrt[3]{\frac{k\omega}{n}} \text{ см},$$

где $k\omega$ и n — мощность и обороты ТД при часовом режиме.

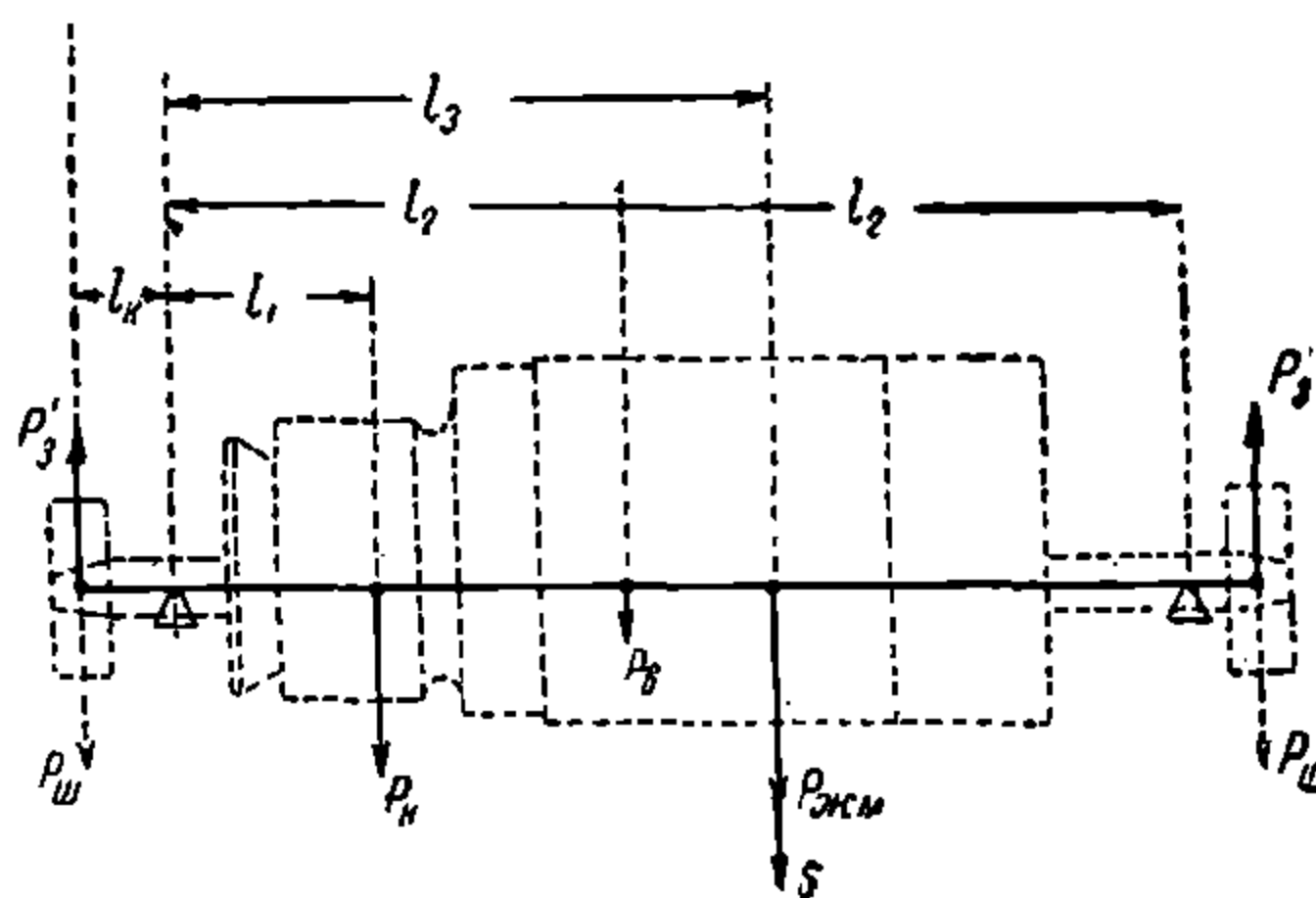
Расчет вала ведется на сложное сопротивление, изгиб и кручение. Расчетный режим соответствует коэф-ту тяги $0,33 \div 0,5$ или в случае, если коэф-т тяги при часовом режиме меньше 0,15, то по двойному часовому току.

КАТЬ
ДНУЗТ

При расчетном режиме допускаемое напряжение при учете $K_{ц} \leq 15 \div 18 \text{ кг/мм}^2$ и $K_{ц} \leq 10 \text{ кг/мм}^2$, если не учитывают $K_{ц}$.



Фиг. 63



Фиг. 64

У с и л и я, д е й с т в у ю щ и е н а в а л (фиг. 63,64

- 1) Вес железа и обмотки якоря $P_{ж.м}$
- 2) Вес коллектора $P_{к}$
- 3) Вес вала $P_{в}$
- 4) Одностороннее магнитное притяжение S'
- 5) Усилия на шестерне P'_3 .

Магнитное притяжение создается за счет неизбежной неодинаковости воздушных зазоров и индукций в них. Величина его м. б. определена ф-лой:

$$S = 0,66 \pi D_a \left(\frac{Bl}{5000} \right)^2 \frac{\zeta}{\delta},$$

где D_a — диам. якоря, Bl — индукция в воздухе, ζ — эксцентриситет, δ — зазор,

$$\frac{\zeta}{\delta} = \left(\frac{1}{15} \div \frac{1}{20} \right).$$

С достаточной для практики точностью можно в расчете принимать $S \approx P_{ж.м}$.
Усилия на шестерне:

$$P'_3 = 1,1 \frac{M_{кр}}{r}.$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент, приходящийся на передачу при расчетном режиме.
При расчете по двойному часовому току:

$$M_{к} = 975 \frac{K \omega_2 r}{n_2 r} \text{ кгм};$$

число оборотов $n_2 \cdot r$ при режиме двойного часового тока м. б. взято по универсальной характеристике. Направление силы S берется совпадающим с силами веса. Направление силы P'_3 — вверх.

Напряжения определяются для сечений шейки, имеющих переходы, и для сечения, лежащего под равнодействующей.

Напряжение определяется по ф-ле:

$$\kappa = \sqrt{\frac{M_{к}^2 + M_{и}^2}{0,1d^3}} K_{ц},$$

где: $M_{к}$ — крутящий момент в данном сечении, $M_{и}$ — изгибающий момент в данном сечении, d — диам. вала в данном сечении, $K_{ц}$ — коэф-т концентрации.

Прогиб по середине вала (фиг. 63) определяется из ф-лы:

$$f = f_1 + f_2 = \frac{P c(3l^2 - 4c^2)}{48EI} + \frac{P_3' c_1 l^2}{16EI} n,$$

где: P — равнодействующая сил $P_{м.ж}$, P_k , $P_в$ и S ; n — число передач 1 или 2; $E = 2,2 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2$; I — момент инерции среднего сечения вала, l и c — см. на фиг. 63. Допускается прогиб $f \leq \frac{1}{10} \delta$.

2. БАЛАНСИРОВКА. КРИТИЧЕСКОЕ ЧИСЛО ОБОРОТОВ

Быстроходные (свыше 500 об/мин) эл-машины, применяемые в тяге, д. б. тщательно отбалансированы статически и динамически.

Статический небаланс заключается в несовпадении ц. т. с осью вращения.

Динамический небаланс заключается в том, что ц. т. 2 диаметральных половин якоря лежат не в одной перпендикулярной оси вращения плоскости, почему при вращении создается момент, уравниваемый реакциями подшипников.

Оба вида небаланса чрезвычайно вредно отражаются на подшипниках, создают вибрации якоря в плоскости, определяемой износом подшипников, и сильно ухудшают коммутацию.

Балансировка статическая м. б. произведена на призмах. Балансировка динамическая должна производиться на специальных станках, напр., типа Лавачек-Геймана (фирма Шенк, Дармштадт), основанных на резонансном принципе; короткие детали (коллектор) м. б. отбалансированы только статически.

К р и т и ч е с к о е ч и с л о о б о р о т о в в а л а. Вызываемые небалансом центробежные усилия уравниваются силами упругости вала. При определенном числе оборотов происходит совпадение между собственным пер. колебаний сист. вал — связанные с ним массы и пер. колебаний нагрузки, приложенной к валу. Колебания нагрузки вызываются тем, что центробежные усилия якоря в определенном положении складываются с силами веса, а при повороте якоря на 180° вычитаются из них. Совпадение пер. приводит к росту прогиба и излому. Критическое число оборотов (резонанс):

$$n_{кр} = 300 \sqrt{\frac{1}{f_1}} \text{ об мин;}$$

f_1 — в см., $n_{кр} > n_{исп}$ (см. стр. 15).

3. КОЛЛЕКТОР

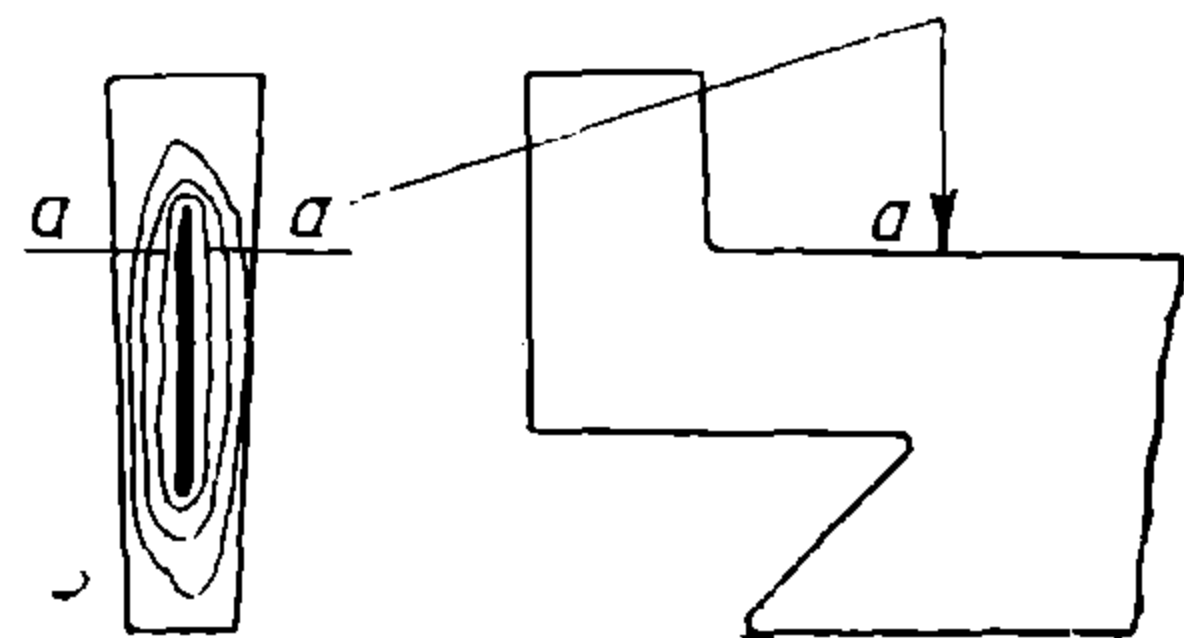
К о н с т р у к ц и я к о л л е к т о р а (фиг. 66) должна обеспечивать цилиндричность его поверхности при всех режимах (в нагретом состоянии). Пространство между пластинами и коробкой д. б. герметически закрыто, чтобы просочившаяся влага не создала перекрытий.

К о л л е к т о р н а я п л а с т и н а изготавливается из твердотянутой меди с характеристиками: тв. $\cong 90^\circ$ по Бринелю и временное сопротивление 35 кг/мм^2 .

Полученная протяжкой твердость ослабевает при нагревах $300 - 350^\circ \text{ Ц}$. Поэтому при пайках и подогревах следует опасаться местных высоких перегревов. Толщина пластин не д. б. больше 10 мм , т. к. толстые пластины имеют неодинаковую твердость по сечению (фиг. 65), дающую неравномерную сработку коллектора. Аналогичный результат получается у пластин из одного куска с петушком при большой высоте петушков (фиг. 65).

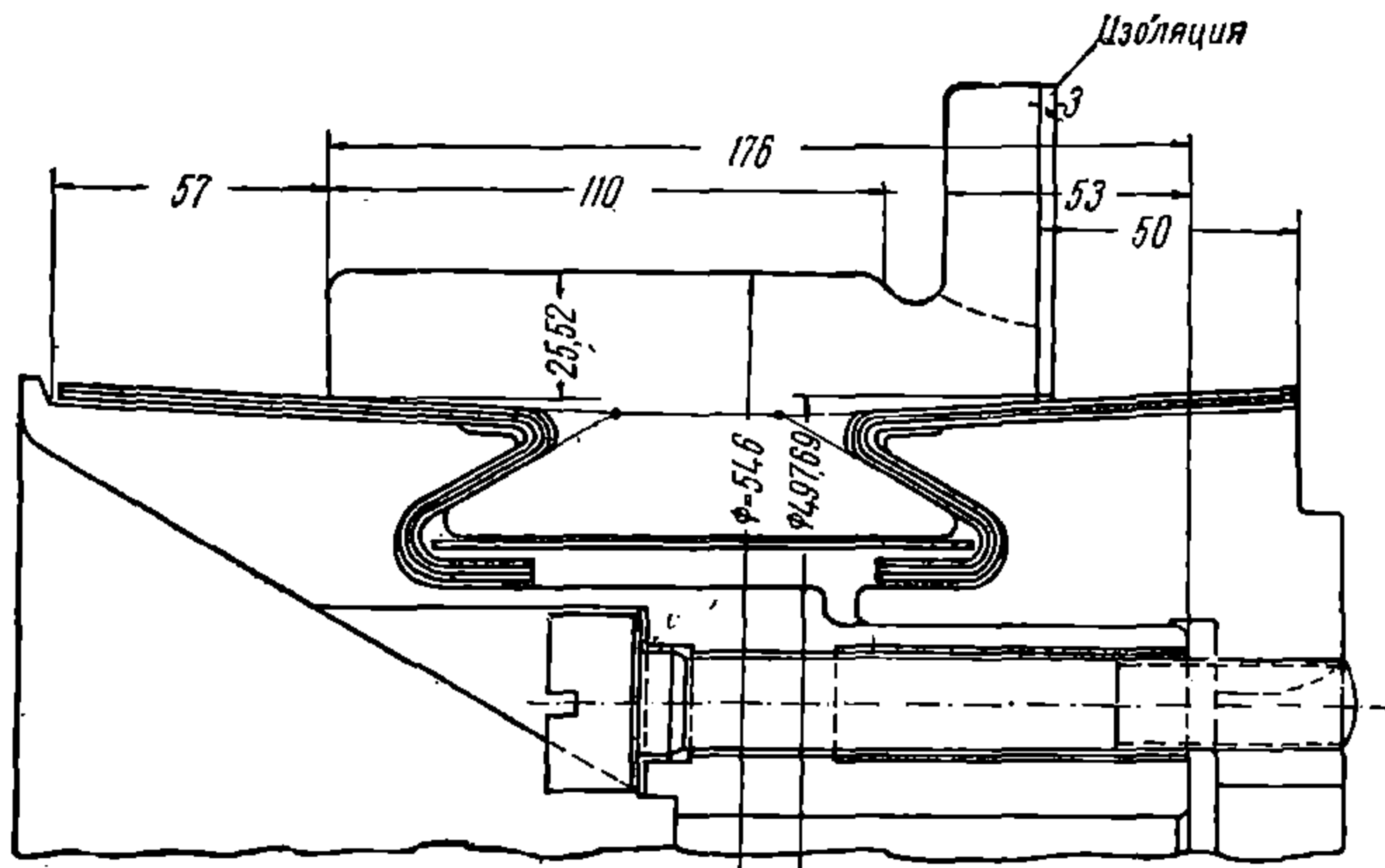
Изоляция между пластинами — мегомит, т. е. миканит с малым содержанием связующего вещества (2;—5%). Толщина его $0,6 - 0,7 - 0,8 - 1 \text{ мм}$. Под влиянием давления и темп-ры мегомит претерпевает усадку на 5%.

Эти усадки д. б. получены в процессе производства с тем, чтобы вышедший в эксплуатацию коллектор не был подвержен дальнейшей усадке мегомита и деформации всего коллектора. Для этого коллектор подвергается в производстве ряду прогревов до 120° и прессовке с расчетом, чтобы на мегомит действовало давление $\geq 300 \text{ кг/см}^2$ (табл. 26).

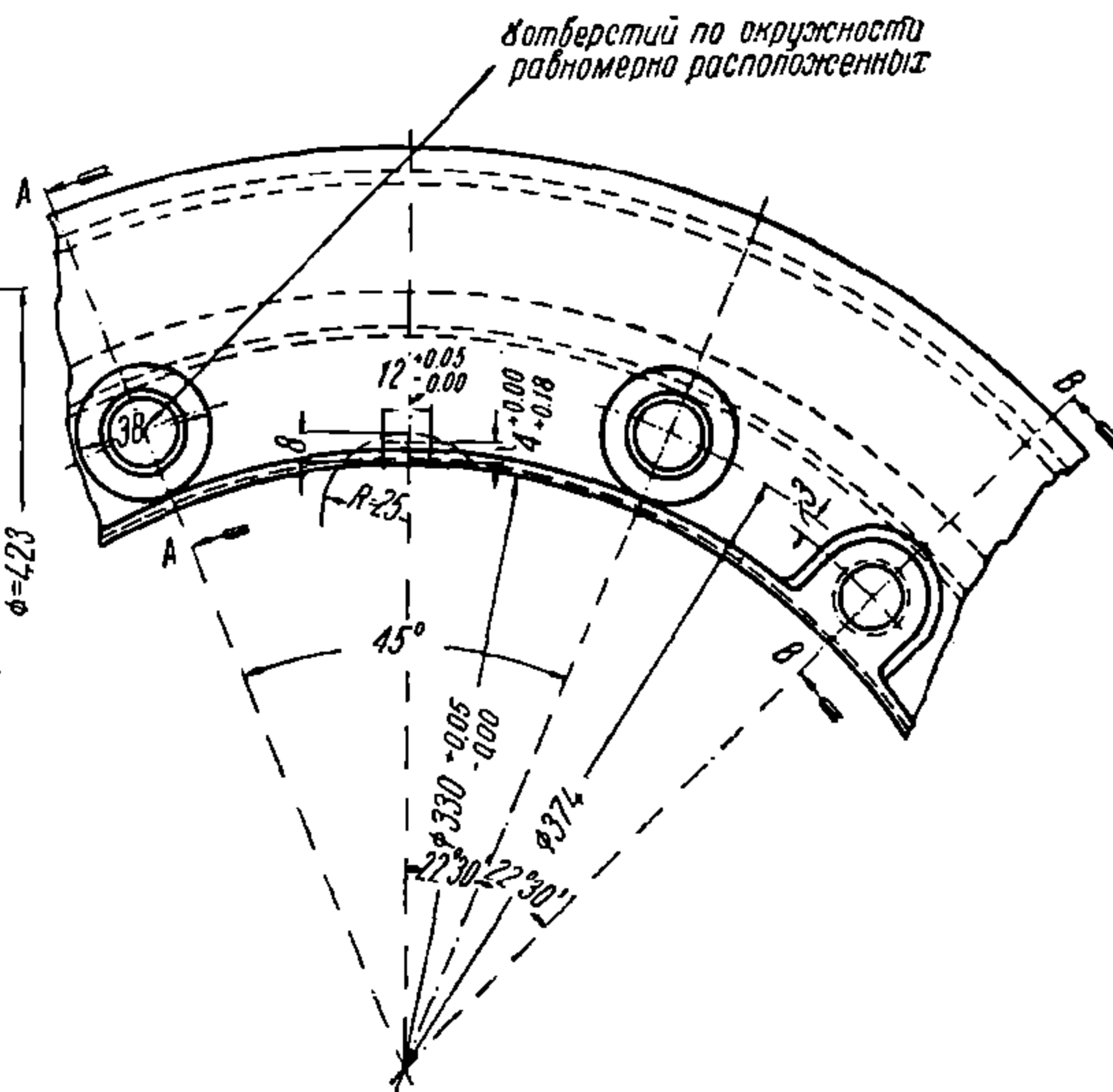
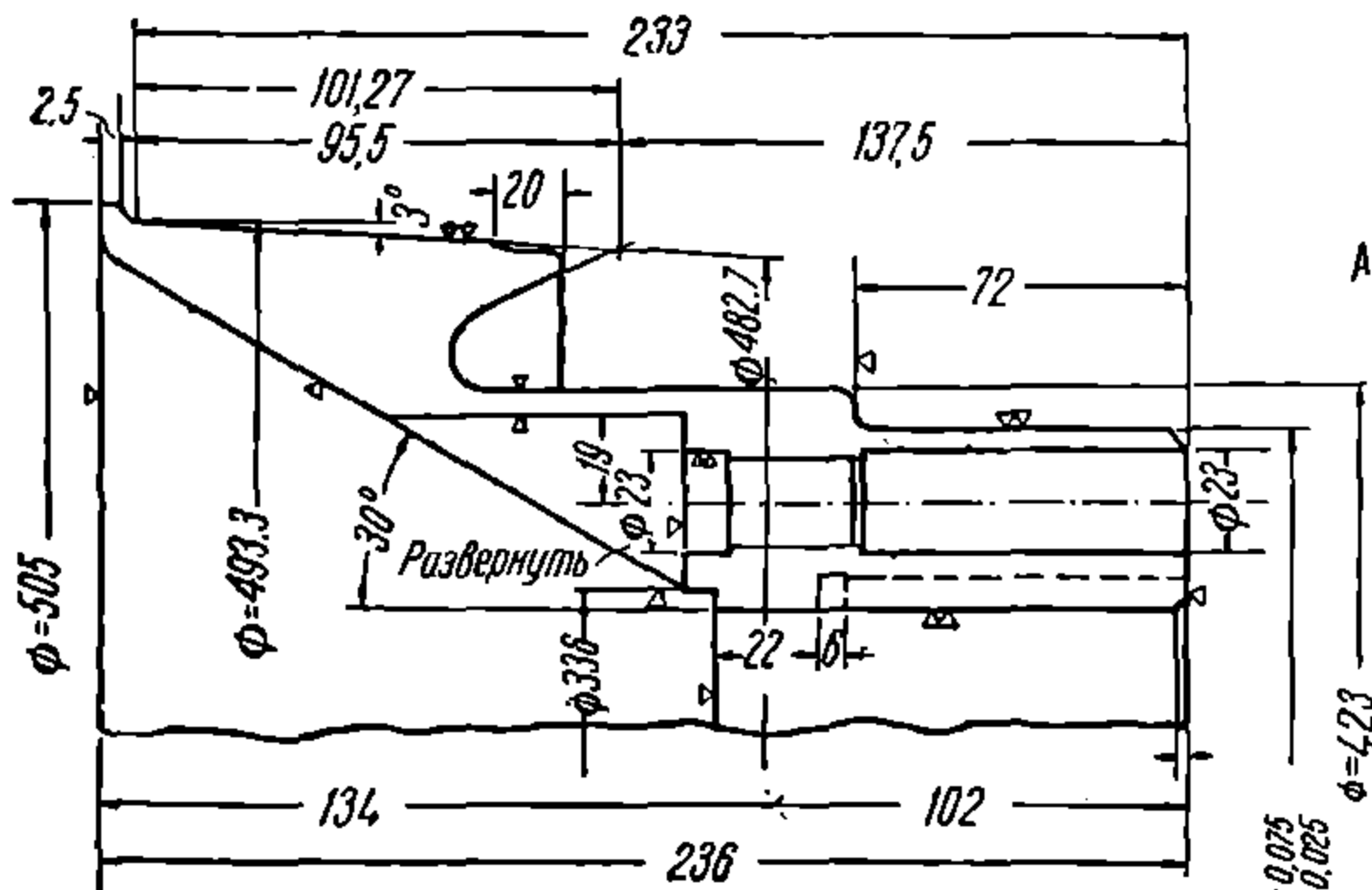
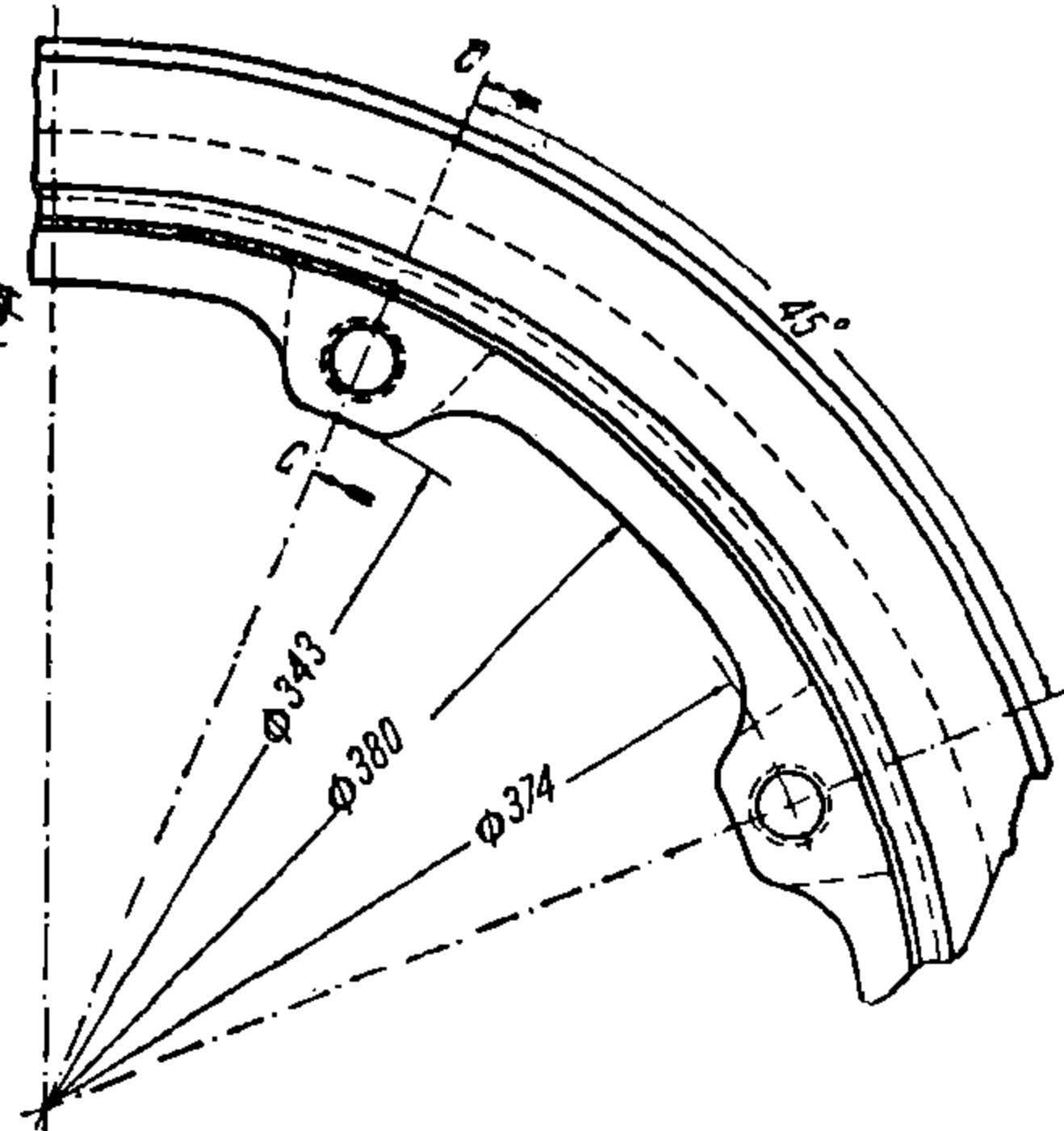
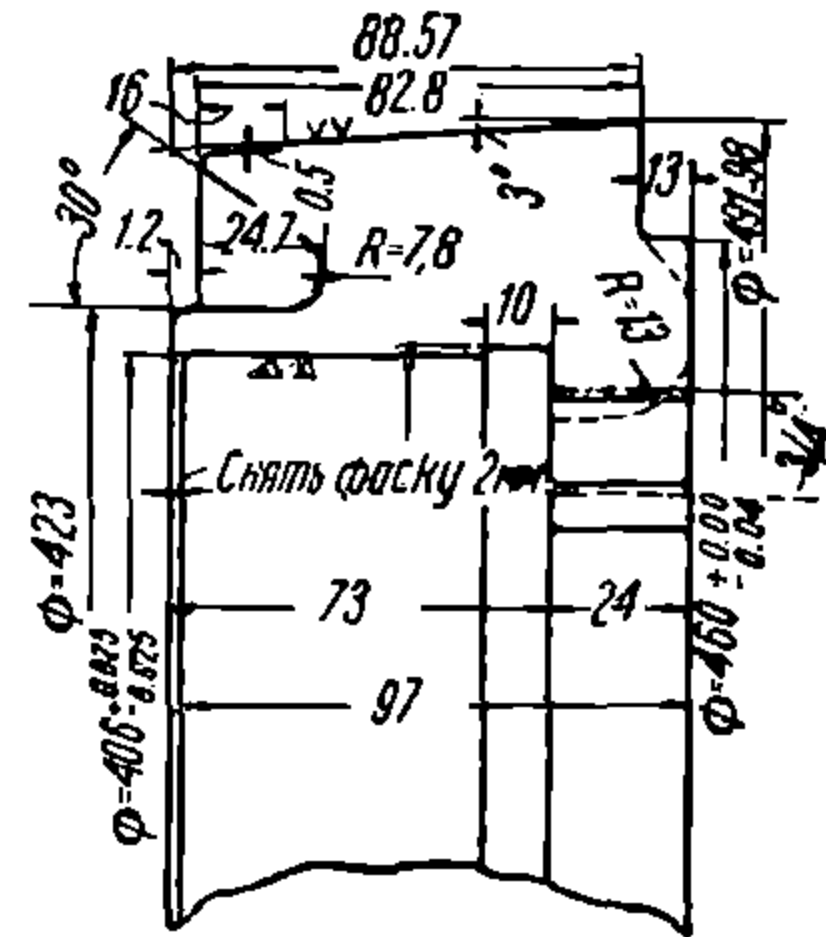


Фиг. 65

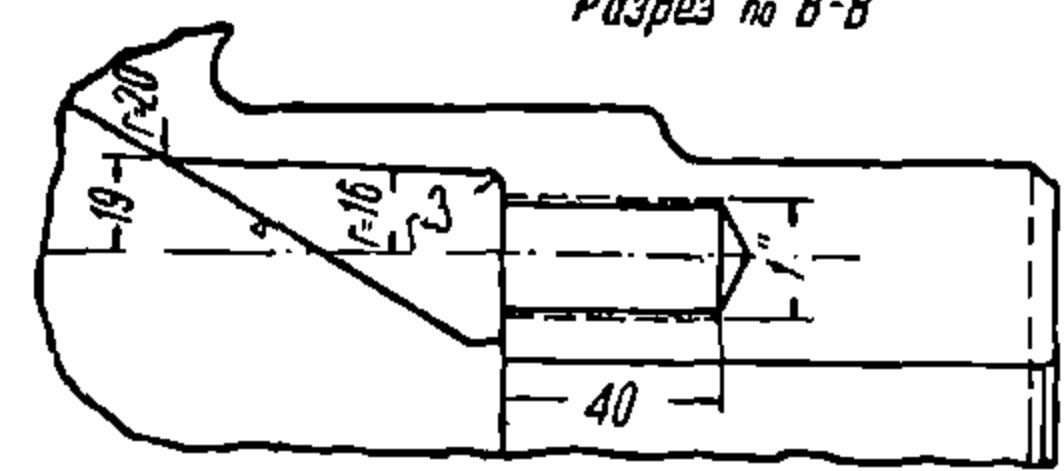
ДНУЗТ



Разрез А-А



Разрез по В-В



Фиг. 66

НТБ ДНУЭТ

Следует отметить, что качество межсегментного миканита и миканита изоляционных конусов определяет качество коллектора.

Плохая коммутация и круговой огонь при высоких скоростях (при ходе резервом) в большинстве случаев объяснялись деформацией коллекторов из-за выдавливания склеивающего миканит вещества.

Проверка цилиндричности коллектора м. б. произведена с помощью индикатора.

Наиболее неблагоприятным «боем» (нарушением цилиндричности) является частая смена выпуклостей и впадин на поверхности коллектора — отдельные вылезавшие сегменты. Допускается овальность 0,05 мм (для «ДПЭ-340»).

Деформировавшийся коллектор следует перед обточкой подтянуть, предварительно подогрев до ~ 150° Ц.

Подогрев м. б. произведен или в печи, или с помощью деревянных колодок, наложенных на вращающийся коллектор.

Табл. 26

Тип мотора	Давление при прессовке коллектора <i>m</i> макс.	Давление при напрессовке коллектора на якорь <i>m</i> макс.
ДПЭ-340	96	51
ДПЭ-100	72	49
ДП-150	75	49
ДМШ-150	75	43
ДПТ-140	85	62
ЭК-12	47	30
ДБИ-2	76	26
ДМГА	43	47
ПТ-35 А	34	18
ДТБ-60	—	22

Табл. 27

V	Толщина конуса мм
500	1,5—2
1500	2,5—3
3000	3,5—4

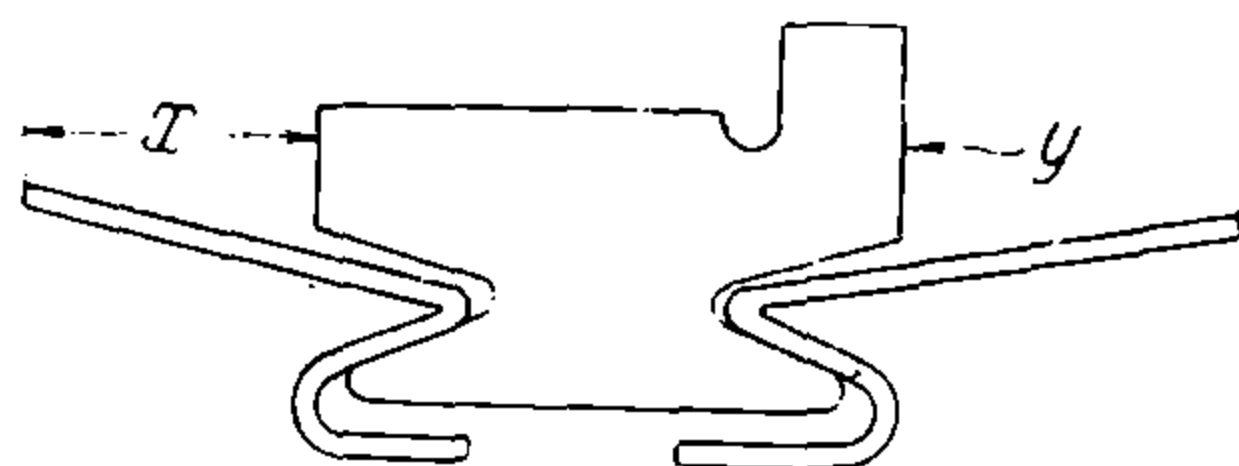
Во избежание перекрытий отворот конуса должен выступать из-под пластины на длину, указанную в табл. 28 и на фиг. 67.

Коробка коллектора и нажимная шайба — стальное литье.

Литье не должно иметь пор и раковин, что проверяется на просачивание керосина.

Болты, стягивающие коллектор, — из хромо-никелевой стали. Болты получают значительную длину для компенсации тепловых удлинений пластин. Для небольших

коллекторов, $D_k < 350$ мм, применяется крепление гайкой, увеличивающее площадь для прохода воздуха под коллектором.



Фиг. 67

Табл. 28

V	x	y
500	35	30
1500	45	40
3000	60	50

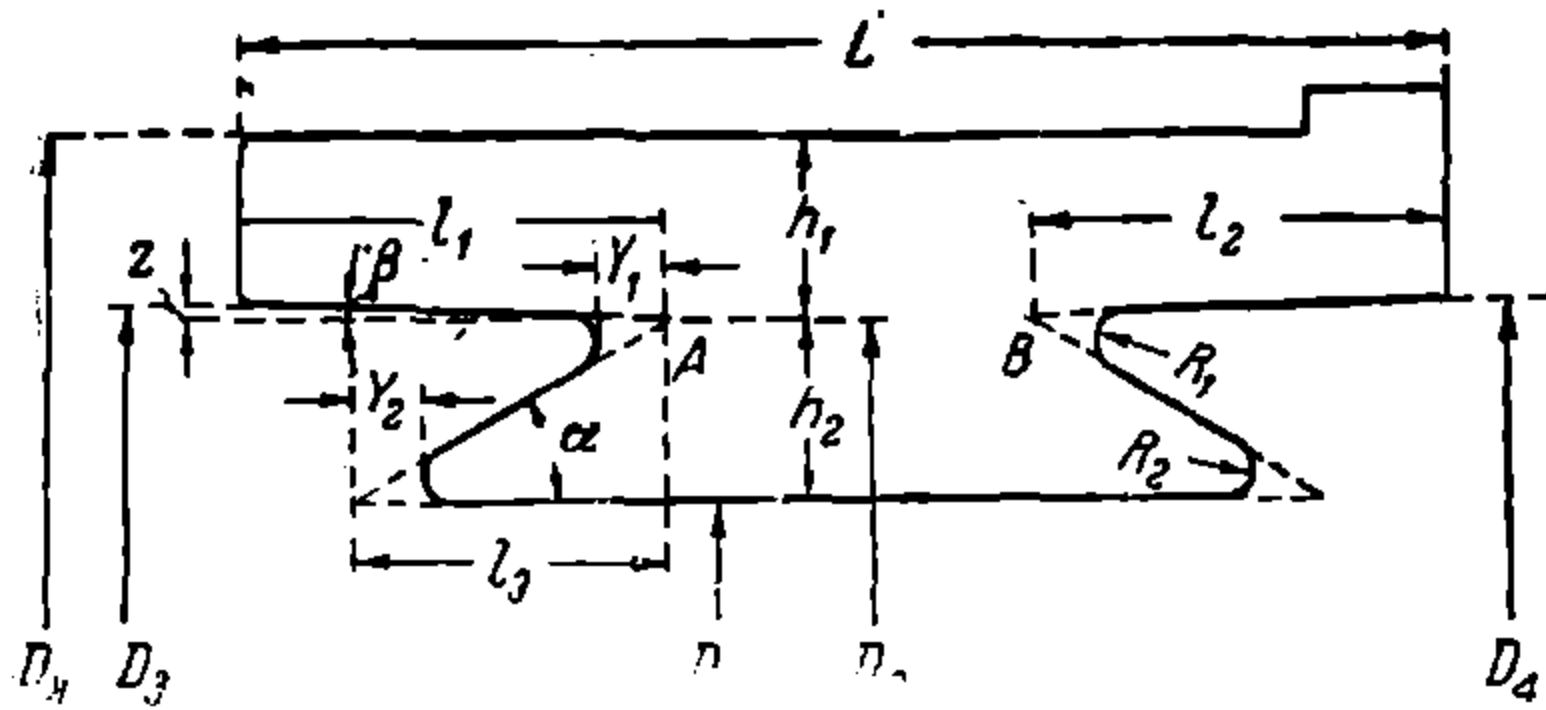
Связь размеров (фиг. 68 и 69-а, 69-б и 69-в). Исходные данные: координаты точек А и В и углы α и β . Угол α — обычно 30°, β — 3° (иногда уклон $1/10$)

$$D_3 = D_2 + 2l_1 \operatorname{tg} \beta.$$

$$D_4 = D_2 + 2l_2 \operatorname{tg} \beta.$$

НТБ
ДНУЗТ

$l_3 \quad h \quad \text{ctg } \alpha.$



Фиг. 68

$$Y_1 = R_1 \left(\frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} - 1 \right); \quad \alpha = 30^\circ, \quad \beta = 3^\circ$$

$Y_1 = 2,42 R_1;$

$Y_2 = R_2 \left(\text{ctg } \frac{\alpha}{2} - 1 \right);$

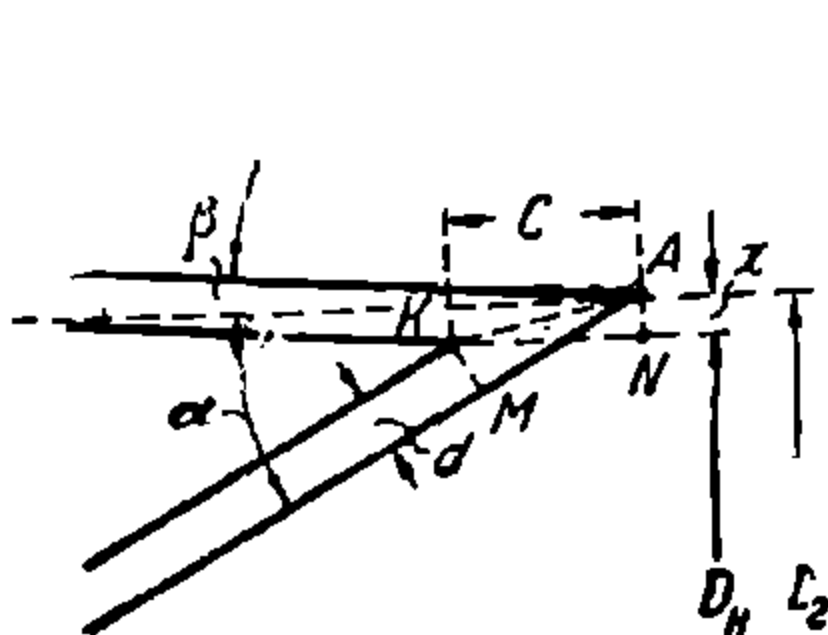
$Y_2 = 2,73 R_2;$

$D_H = D_2 - 2x;$

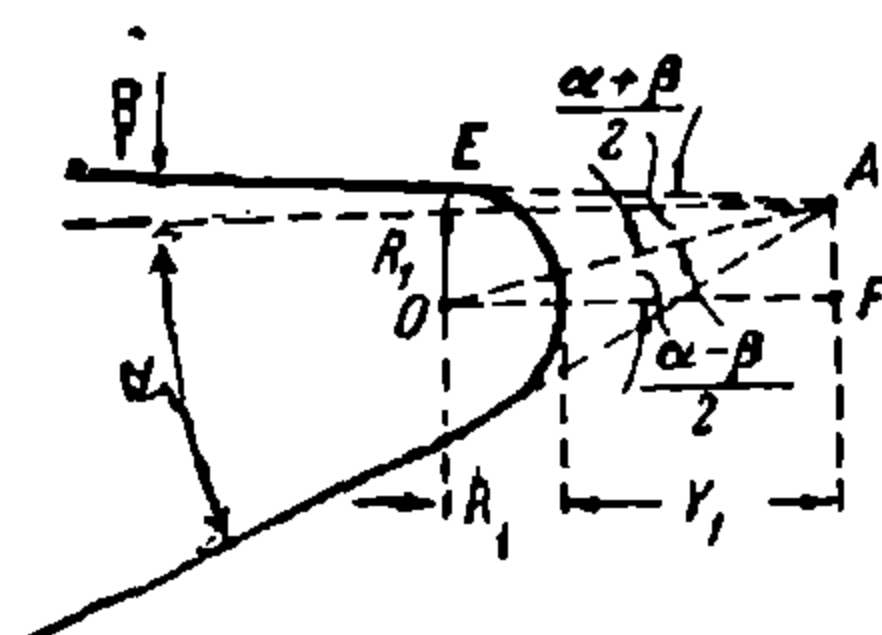
$$x = d \frac{\sin \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} \quad x = 0,82d;$$

$$c = d \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}}; \quad c = 3,42 d.$$

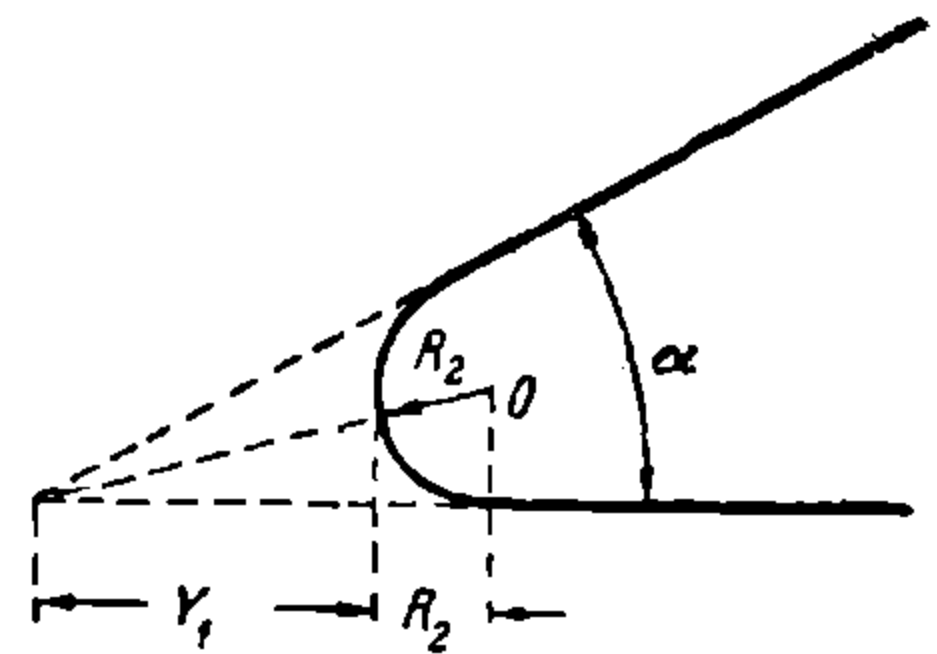
Расчет коллектора (пластины). При расчете проверяются напряжения на изгиб в сечениях DD_1 EE и стрела прогиба точки O при изношенном коллекторе.



Фиг. 69-а



Фиг. 69-б



Фиг. 69-в

Силы, действующие на пластину (фиг. 70): 1) центробежная сила C , 2) сила распора Q (фиг. 71).

1) Метод подсчета центробежной силы. Пластина разбивается на элементы (фиг. 72) I , II , III и т. д. с площадью F_1 , F_2 , F_3 и т. д. и расстоянием от оси коллектора до ц. т. площади R_1 , R_2 , R_3 и т. д. Тогда объем кольца I , имеющего в сечении элемент I :

$$V_I = 2\pi R_I F_I \text{ см}^3.$$

Объем миканита в кольце:

$$v_I = F_I S \cdot K,$$

Где K — число пластин, S — толщина изоляции в см.

Объем меди кольца I :

$$V'_I = V_I - v_I$$

Вес меди:

$$G'_I = V'_I \cdot 8,9 \text{ кг.}$$

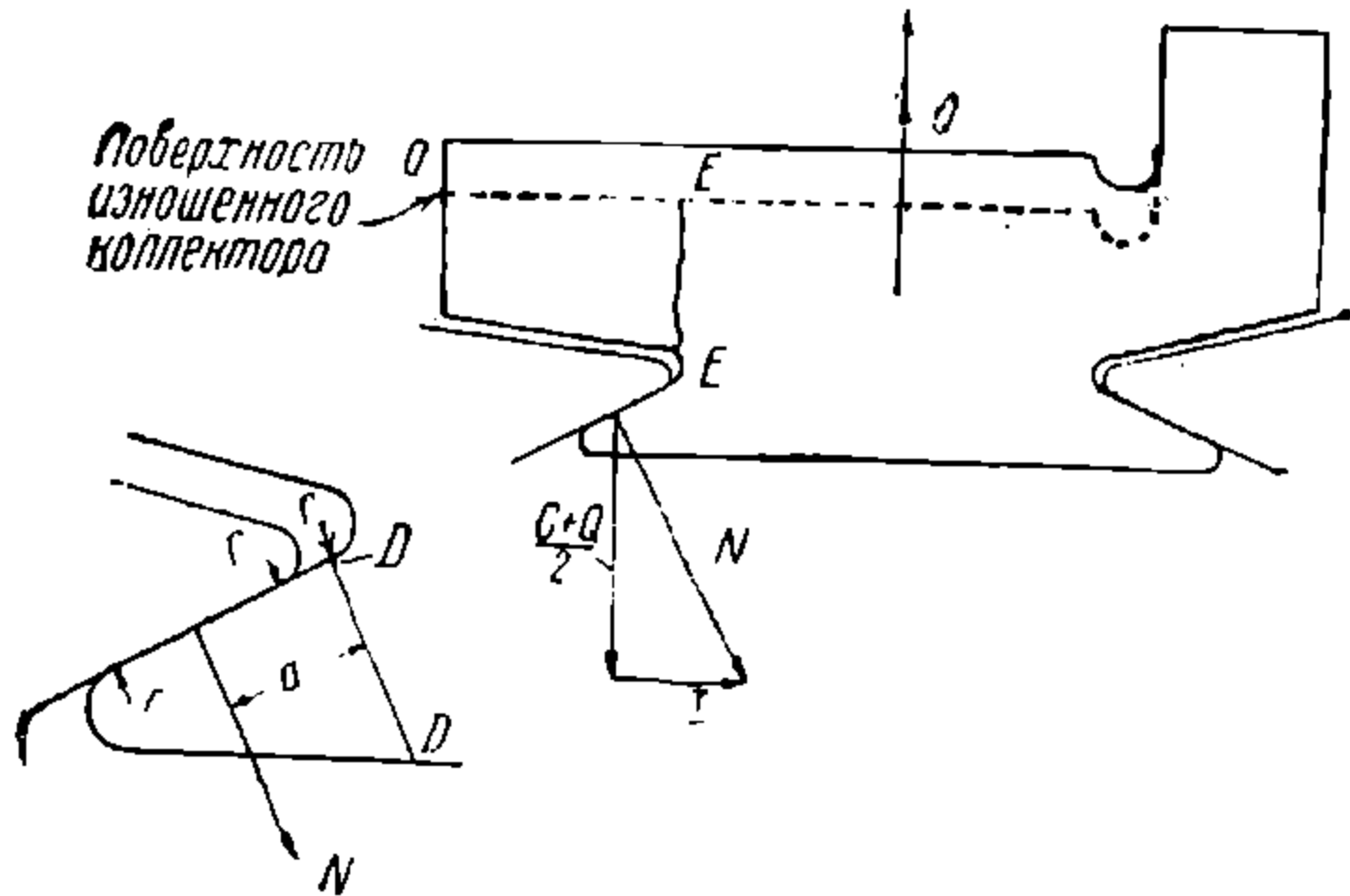
НТБ
ДНУЗТ

вес миканита:

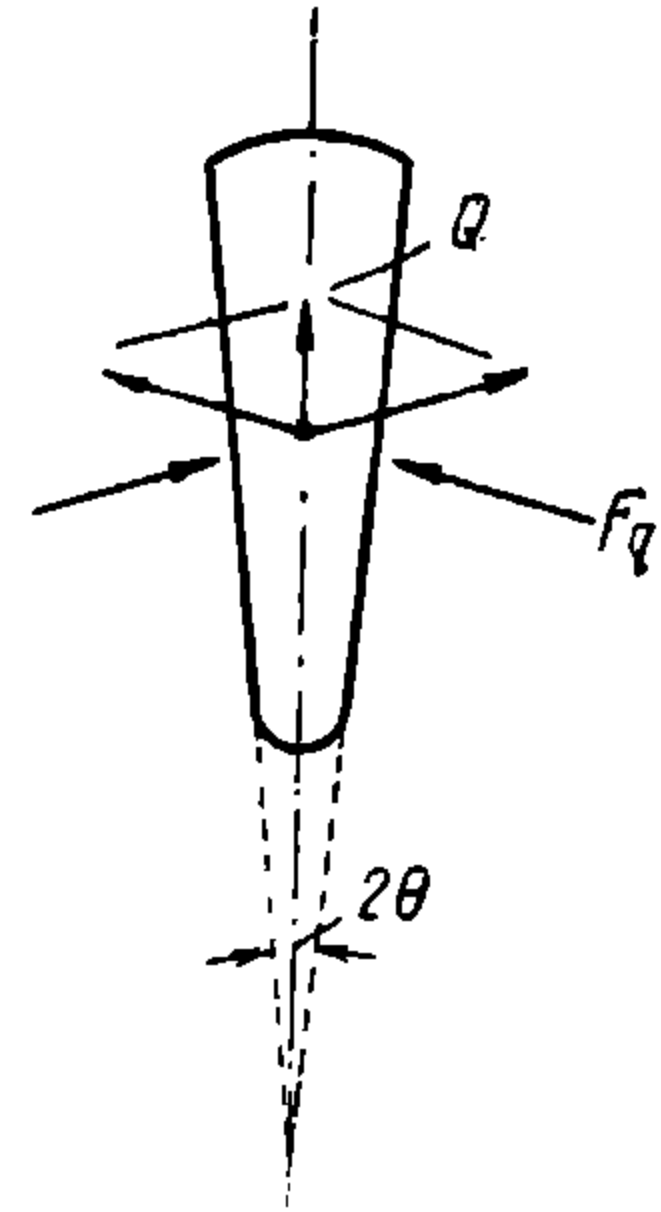
$$g = v_1 \cdot 3.$$

Общий вес кольца I :

$$G_1 = G'_1 + g_1.$$



Фиг. 70



Фиг. 71

Центробежная сила:

$$C_1 = \frac{G_1}{9,81} \omega^2 R_1 k_2.$$

где

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{исп}}{30}; \quad n_{исп} \text{ — см. стр. 15}$$

Аналогично подсчитываются центробежные силы C_2, C_3, C_4, C_5 .
Полная центробежная сила одной пластины:

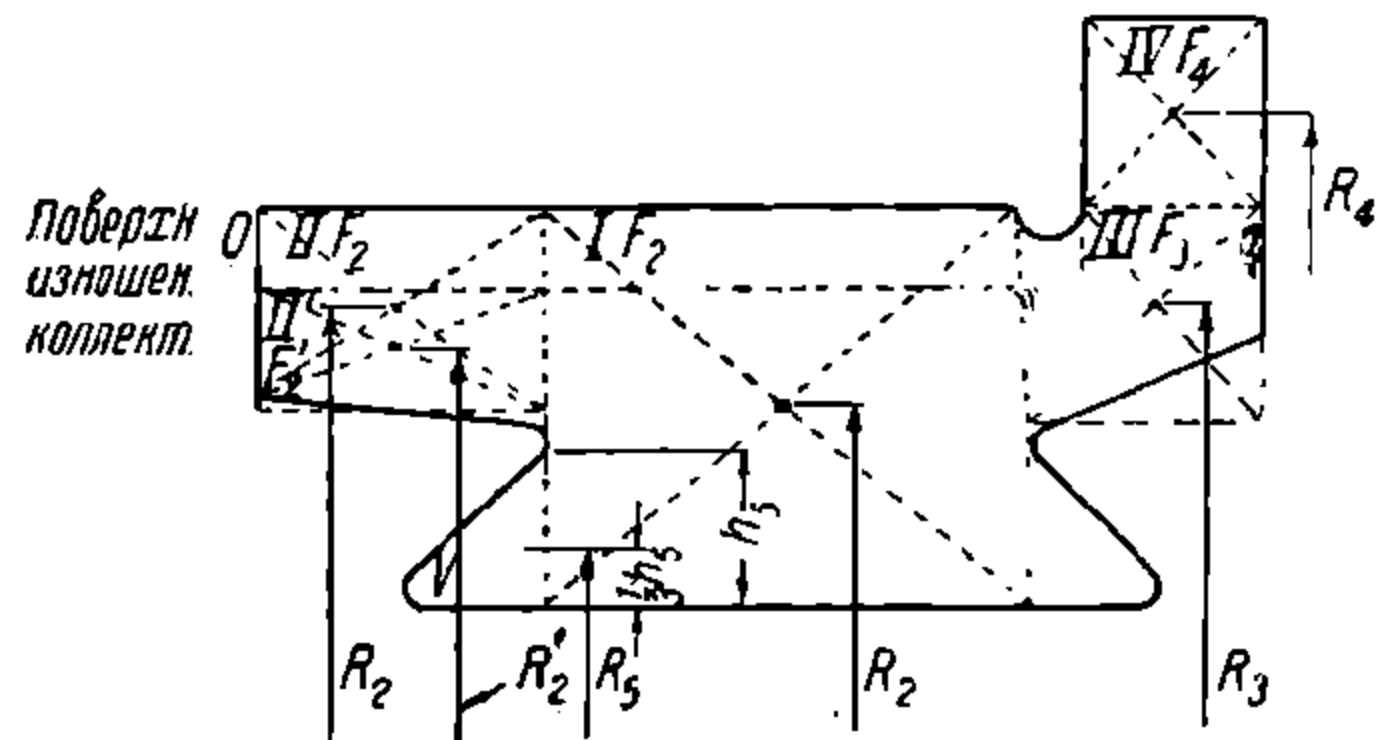
$$C = \frac{\sum C_n}{k}$$

2) Метод подсчета силы распора (фиг. 71).
Изоляция между пластинами д. б. сжата с силой $q \geq 60 \text{ кг/см}^2$, тогда:

$$Q = 2Fq \Theta,$$

где

$$F = \sum F_n.$$



Фиг. 72

Полная сила, действующая на пластину:

$$2P = C + Q,$$

приложена в ц. т. пластины.

Усилия, действующие на ласточкин хвост:

$$N = \frac{P}{\cos \alpha}$$

НТБ
ДНУЗТ

Изгибающий момент силы N :

$$M = a \cdot N$$

Модуль сопротивления сечения DD (фиг. 70):

$$w = \frac{t(DD)^2}{6},$$

где t —толщина пластины в середине сечения.

$$K_u = \frac{M}{w}.$$

Допускаемое напряжение

$$K_u \leq 1000 \text{ кг/см}^2.$$

Стрела прогиба точки O (фиг. 70):

$$f^2 = \frac{(C_2' + Q_2') l_1^2}{8 E j},$$

где

$$E = 1,15 \cdot 10^5; j = \frac{d^3 t}{12};$$

C_2' — центробежная сила изношенного элемента II , Q_2' — сила распора изношенного элемента II ; l_1 — см. фиг. 68.

Усилие, действующее на болты:

$$T = 1,5P \operatorname{tg} \alpha k,$$

где коэф-т 1,5 учитывает трение между стягиваемыми деталями.

Производство коллекторов разбивается на след. операции: 1) заготовка (резка, штамповка) коллекторной меди, 2) правка меди, 3) фрезеровка прореза, 4) полуда прореза, 5) сборка пластин и изоляции между ними в кольцо, 6) запрессовка в стягивающее кольцо, 7) протачивание ласточкиных хвостов, 8) зачистка шабером заволоченности, продувка, испытание на лампочку, 9) сборка коллектора, 10) коллектор переносится на пресс, где под легкой прессовкой затягиваются (диаметрально) болты (гайка), 11) коллектор нагревается в печи до 140° , 12) коллектор прессуется под давлением $30 \div 90 \text{ т}$, в зависимости от размеров пластины; под давлением затягиваются болты, снимается стяжное кольцо, коллектор остывает до комнатной тем-ры, 13) коллектор подогревается в печи до 160° , 14) коллектор прессуется, подтягиваются болты, 15) по п. 13, 16) по п. 14, 17) коллектор испытывается на пробой, 18) бандажирруется и лакируется вылет конуса, 19) обдирка поверхности с припуском на чистовую обточку на якоре, 20) коллектор развертывается.

Развертывание производят в течение 2 мин. при числе оборотов $1-1,1 n_{\text{max}}$, при одновременном равномерном подогреве до 120° подтягивают болты. Затем проверяют индикатором положение пластин, отмеченных до развертывания. Отклонение не должно превышать $0,05 \text{ мм}$, в противном случае коллектор отправляется на повторные операции по пп. 13 и 14.

Примечание. Сборка коллектора должна производиться на совершенно чистых верстаках и плитах. Руки сборщика д. б. вытерты тряпкой, смоченной в бензине, для удаления металлической пыли.

Для зачисток должна применяться стеклянная (а не наждачная) шкурка.

Испытания изоляции коллектора. Испытание изоляции (между пластинами) производится согласно табл. 29 (з-д «Динамо» им. Кирова).

НТБ
ДНУЗТ

Коллекторы для напряжений 1500 V испытываются на 600 V между пластинами независимо от толщины изоляции.

Испытание изоляции на корпус производится согласно табл. 30 (з-д «Динамо» им. Кирова).

Табл. 29

Толщина изоляции мм	Испытательное напряжение V
0,6	300
0,7	350
0,8	400
1,0	500

Табл. 30

Рабочее напряжение V	Испытательное напряжение V
0 — 12,5	3000
126 — 600	5500
601 — 1500	7000
1501 — 2400	10000
2401 — 3000	11000

Частота испытательного напряжения 40—60 Гц. Время выдержки — 1 мин.

4. ОБМОТКА ЯКОРЯ КОЛЛЕКТОРНЫХ МОТОРОВ

Расчетные ф-лы шагов (фиг. 73). Последовательная обмотка $2a = 2$ (фиг. 73)
Шаг по коллектору:

$$y_k = \frac{K - 1}{P} \quad (1)$$

Шаг по пазам:

$$y_n = \frac{Z}{2P} \pm \eta, \quad (2)$$

где η — укорочение (или удлинение шага), выраженное в числе зубцов (пазов), берется в пределах $0,25 \div 0,5 \div 1$ паз. Укорочение шага уменьшает амплитуду реактивной эдс секции, улучшая тем самым коммутацию.

Задний шаг Y_1 , выраженный в коллекторных пластинах:

$$Y_1 = Y_n U, \quad (3)$$

где U — число секций (или коллекторных пластин) на паз.

Шаг Y_1 , выраженный в секционных сторонах:

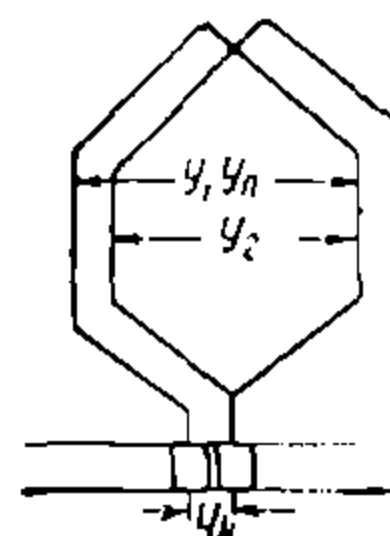
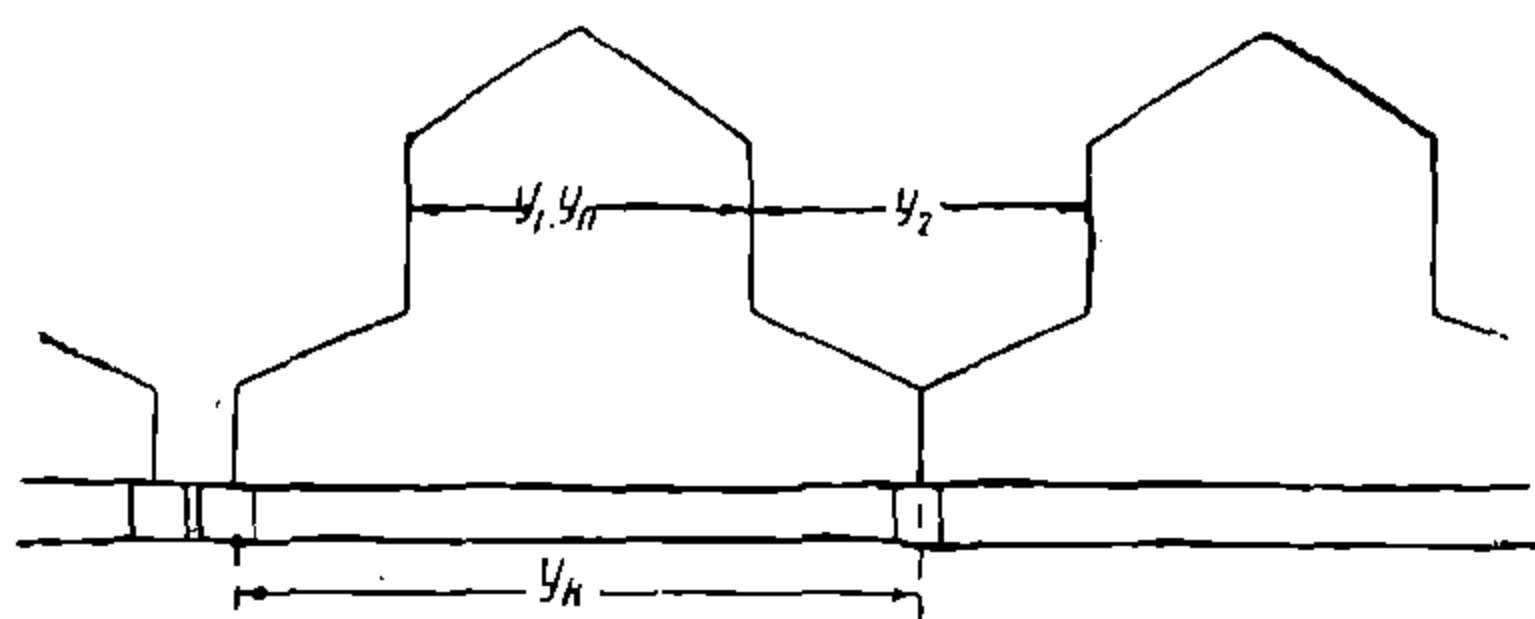
$$Y_{1c} = Y_n 2u + 1 \text{ (нечетный)}. \quad (4)$$

При целом Y_n выполнение ф-л (3) и (4) приводит к шаблонной обмотке, при к-рой пучок секционных сторон, лежащих в одном слое какого-либо паза, попадает целиком в соответствующий слой $(1 + Y_n)$ паза. В этом случае секции обмотки м. б. целиком изготовлены на шаблоне. При ступенчатой обмотке:

$$y'_n = y_n \pm \frac{n}{u} \quad (5)$$

где число n показывает, на сколько проводов одного слоя смещается провод, связанный с исходным. Напр.:

$$y'_n = 10 + \frac{1}{3}$$



Фиг. 73

НТБ
ДНУЗТ

что соответствует схеме фиг. 74 — смещение на 1 провод.

Передний шаг:

$$Y_2 = Y_K \quad Y_1. \quad (6)$$

Пример обозначения шагов: шаг 51 — сзади, шаг 56 — спереди, $u = 5$.
Отсюда:

$$Y_n = 10 + \frac{1}{5},$$

т. е. ступенчатая обмотка со смещением на 1 провод.

Мертвые секции. Т. к.

$$K \quad Y_K \quad p \quad 1$$

и, с др. стороны:

$$K = Zu,$$

то

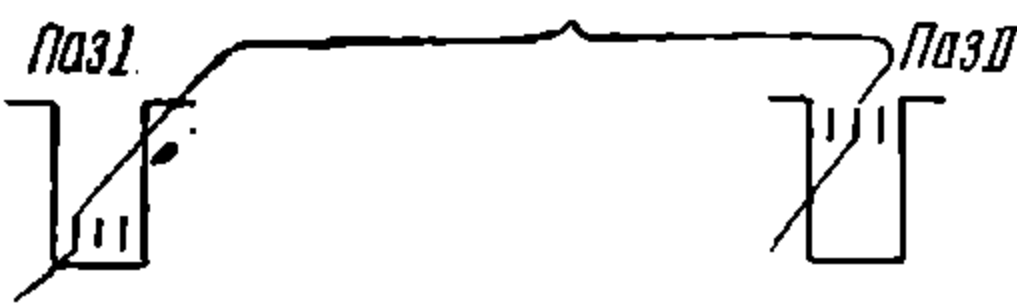
$$Zu = Y_K p \pm 1.$$

Это условие иногда невыполнимо. В этом случае 1 секция не присоединяется к коллектору и закладывается лишь для заполнения пазов и баланса ротора.

Для 4-полюсных моторов ($2p = 4$) волновая обмотка не имеет мертвых секций при нечетном u и имеет 1 мертвую секцию при четном u .

Наличие мертвой секции (при достаточно большом числе секций) не вносит заметных асимметрий в обмотку и практически коммутации не ухудшает.

Число щеткодержателей одной полярности м. б. сведено к 1, т. к. все щеткодержатели одной полярности включены в параллель через короткозамкнутые секции, и питание параллельных ветвей не нарушается (фиг. 75).



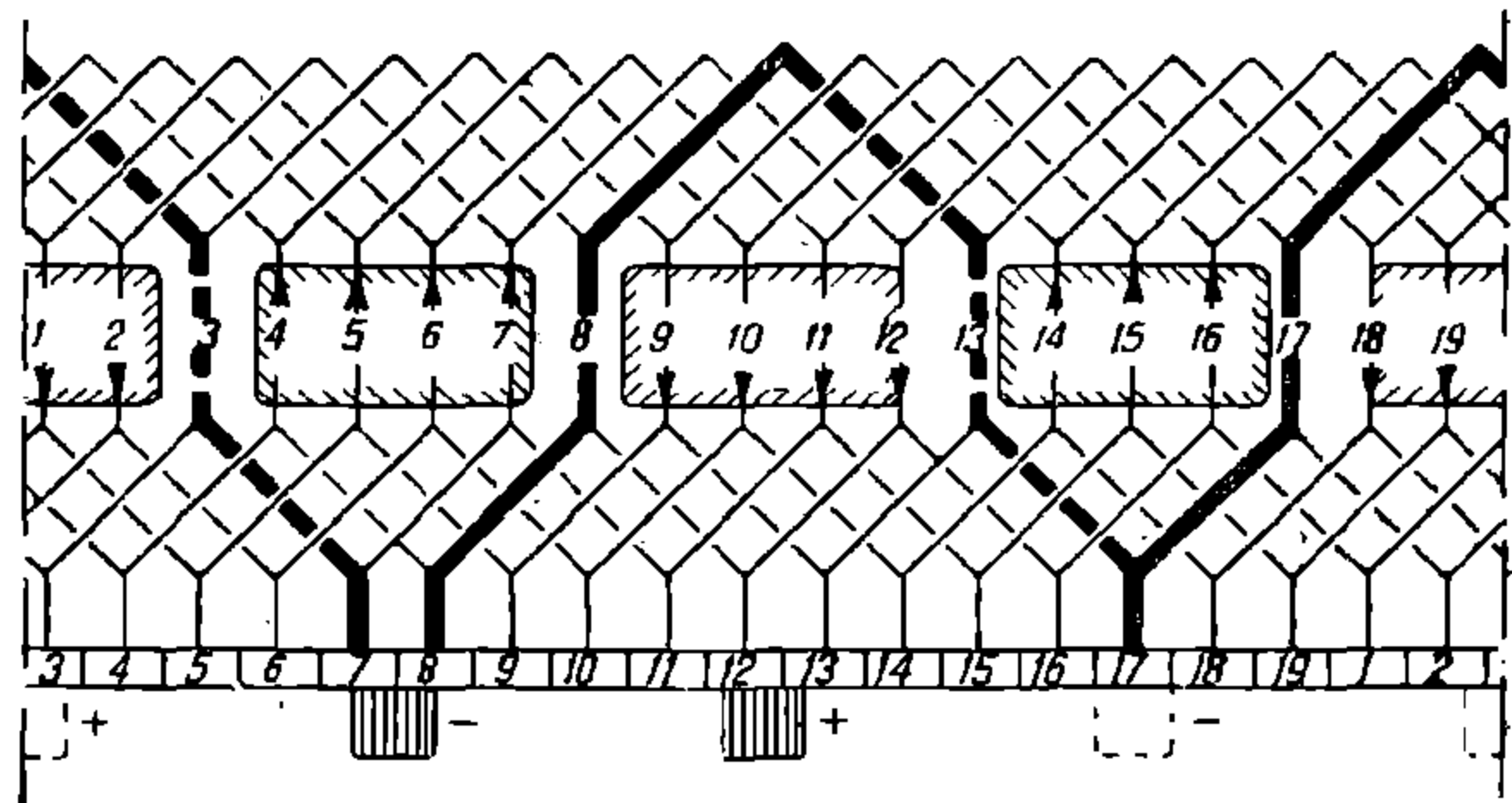
Фиг. 74

Однако распределение плотности тока становится при этом менее благоприятным, т. к. перегружаются края щетки; вибрация щеток щеткодержателя (при 1 щеткодержателе на полярность) кроме того влечет за собой разрыв цепи.

Взаимная ориентировка паза и пластины коллектора должна обеспечить симметрию всех секций обмотки. Эта ориентировка выполняется заданием на чертеже коллектора оси шпонки по отношению к пластине и на чертеже железа якоря оси шпонки по отношению к пазу (табл. 31).

Табл. 31

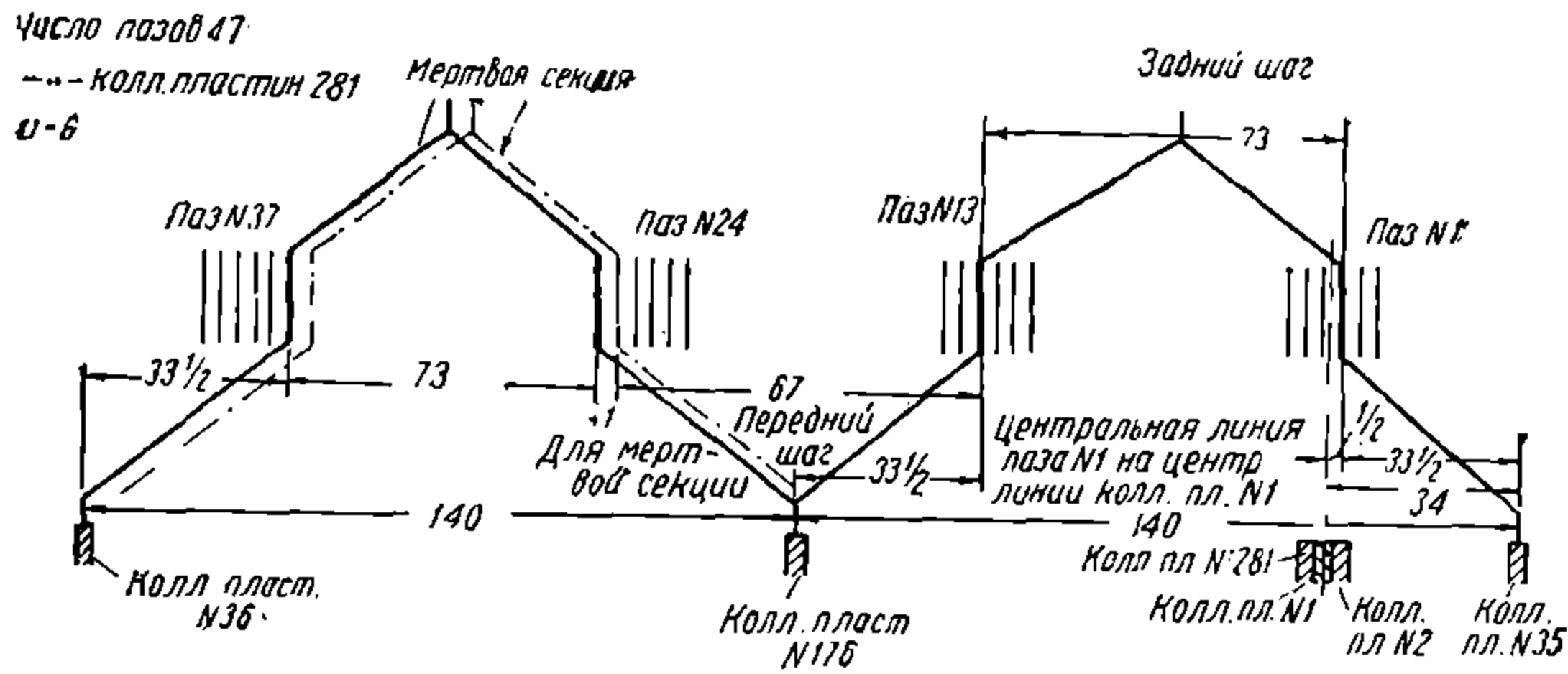
u	Y_2	
	четный	нечетный
Нечетное	Центральная линия паза № 1 приходится на центральную линию коллекторной пластины № 1	Центральная линия паза № 1 приходится на миканит между пластиной № 1 и K
Четное с мертвой секцией	Центральная линия паза № 1 приходится на миканит между пластиной № 1 и K	Центральная линия паза приходится на центральную линию коллекторной пластины № 1



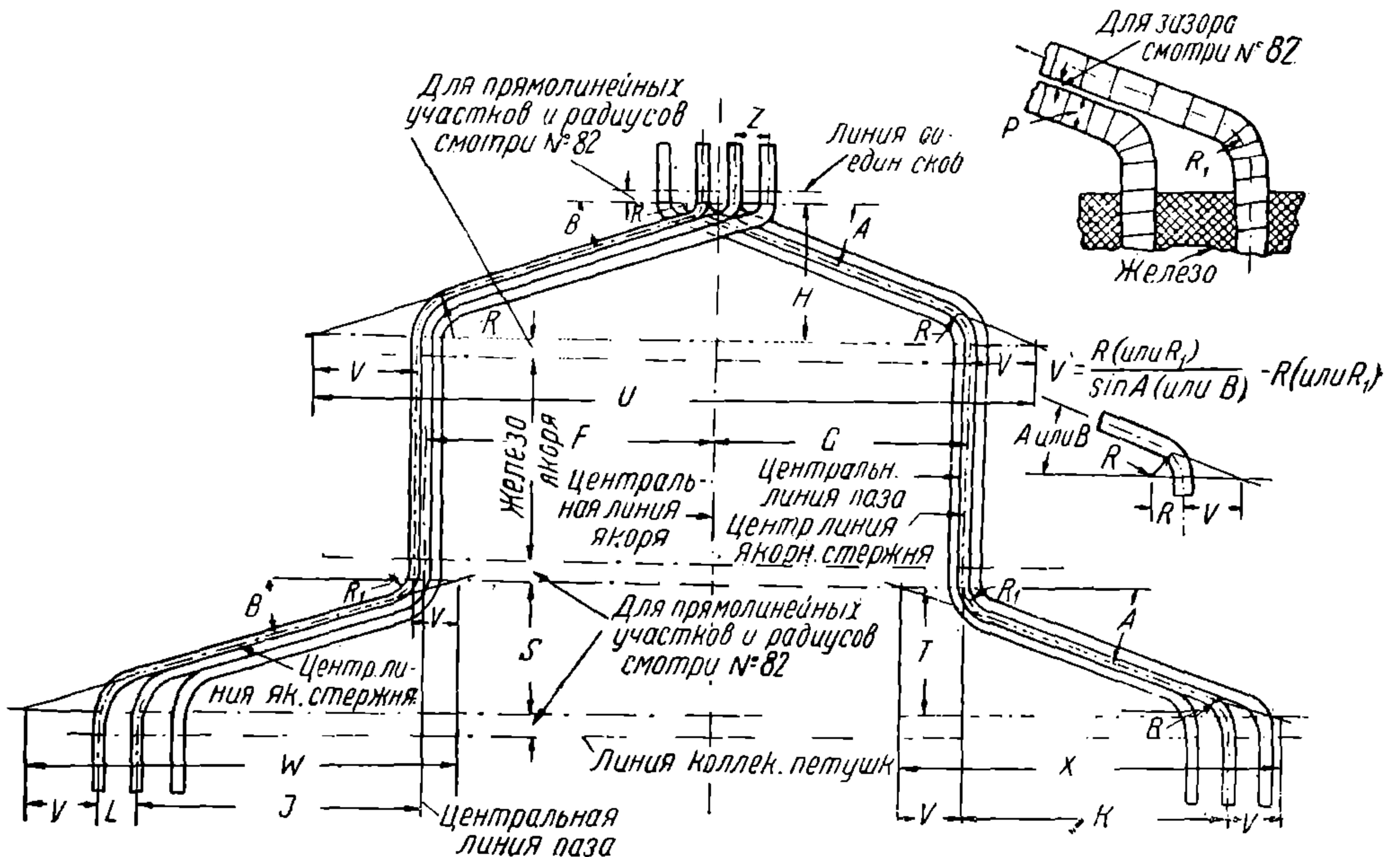
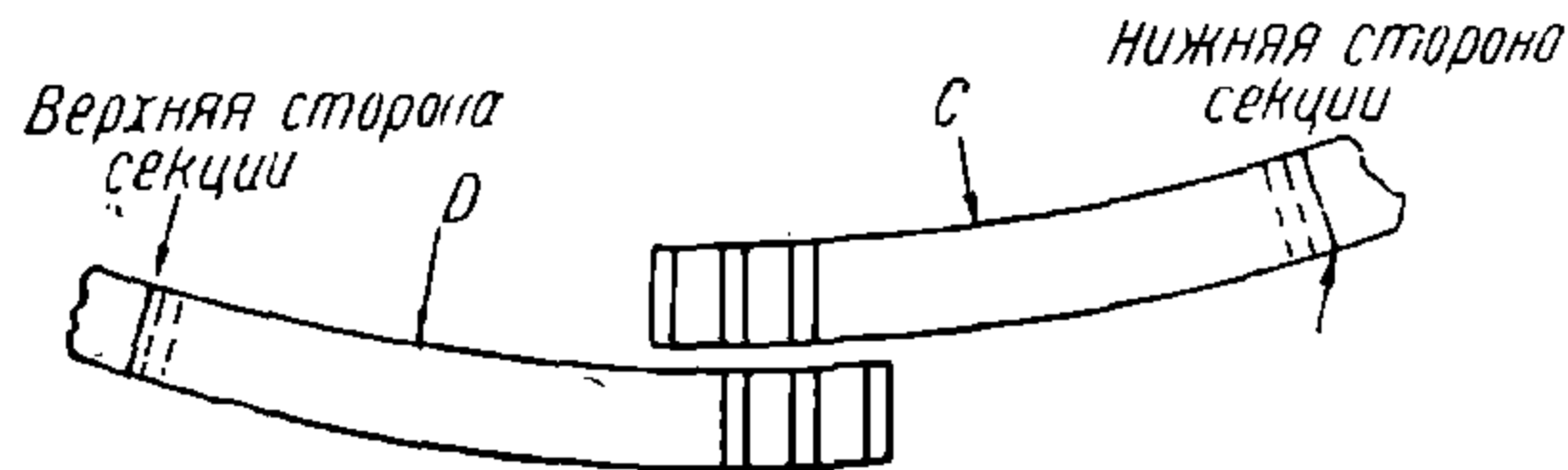
Фиг. 75

РГБ
ДНУЗТ

Пластина, в которую закладывается провод I (показан на фиг. 76 толстой линией), находится отсчетом от средней линии величины $\frac{Y_2}{2}$ в случае нечетного u и величины $\frac{Y}{2} + \frac{1}{2}$ в случае четного u .



Фиг. 76



Фиг. 77

Сказанное иллюстрируется фиг. 76: $Z = 47$; $u = 6$, шаг 67 — спереди, 73 — сзади, $K = 281$.

Расчет развертки секции м. б. произведен согласно фиг. 77 по слеп. ф-лам.

АНТБ
ДНУЗТ

Сторона шестерни:

$$\sin A = \frac{P}{C} \frac{N}{0,3183}; \quad \sin B = \frac{P}{D} \frac{N}{0,3183}$$

$$F = \frac{C}{N} \frac{\pi E}{N} \quad G = \frac{D}{N} \frac{\pi E}{N},$$

$$H = \frac{U}{\sin(A+B)} \frac{\sin A \sin B}{1} + R \operatorname{tg} \frac{90^\circ - B}{2} 1.$$

Сторона коллектора:

$$H = \frac{l}{M} \frac{\pi Y}{M} \quad I = \frac{B}{M} \frac{\pi Y}{M};$$

$$L = \frac{\pi D}{M}, \quad T = x \operatorname{tg} A, \quad S = W \operatorname{tg} B.$$

На фиг. 77 даны след. обозначения:

A и B — углы загиба секции.

C и D — диам. выгиба секции.

E — половинный шаг секции (по пазам).

F и G — миним. дуги от центральной линии якоря до центральной линии якорного стержня (измеренные по низу).

H — длина лобовой части (со стороны шестерни), исключая прямолинейный уч-к и размер под скобку.

I и K — средн. миним. дуги по внутреннему диам. стержней (верхней и нижней сторон, сторон коллектора).

L — расстояние между центральными линиями паза, измеренное по коллекторным пластинам.

M — число коллекторных пластин.

N — число пазов.

P — толщина якорной секции в лобовой части + зазор (см. табл. 33).

R — радиус загиба концов секций.

R_1 — радиус загиба секций при выходе из железа.

S и T — длины лобовых частей (со стороны коллектора).

U — основание для подсчета тригонометрических величин A и B со стороны шестерни.

V — расстояние от пересечения сторон A и B с основными линиями до центральной линии якорного стержня.

W и X — основания для подсчета тригонометрических величин A и B со стороны коллектора.

γ — половинный шаг по проводам со стороны коллектора.

Z — расстояние между смежными центральными линиями якорных стержней.

Величина прямолинейных уч-ков и радиусов загиба дается табл. 32 и фиг. 78*.

Табл. 32

v_{tp}	a	b	c	d	
До 750	15	15	—	—	l — 1,5 мм при за- клепке скобой
1500	22	22	2,5	8	l — 10 мм при пай- ке скобой

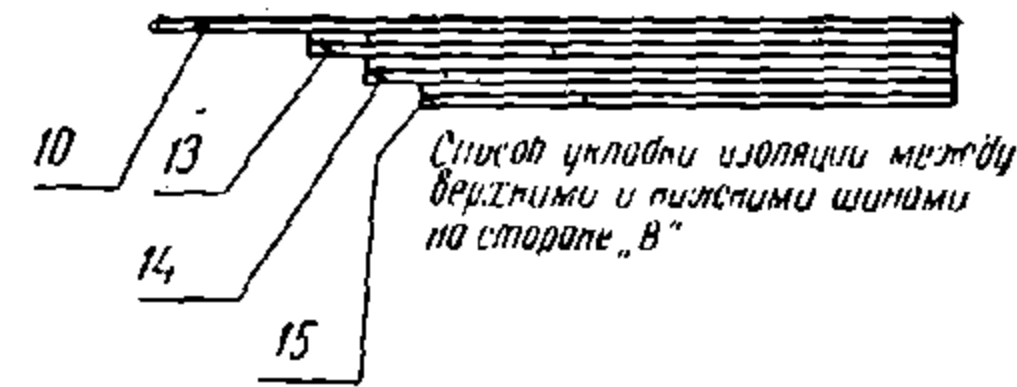
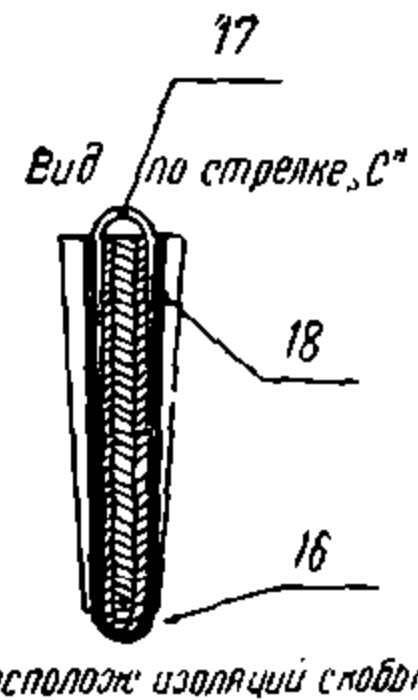
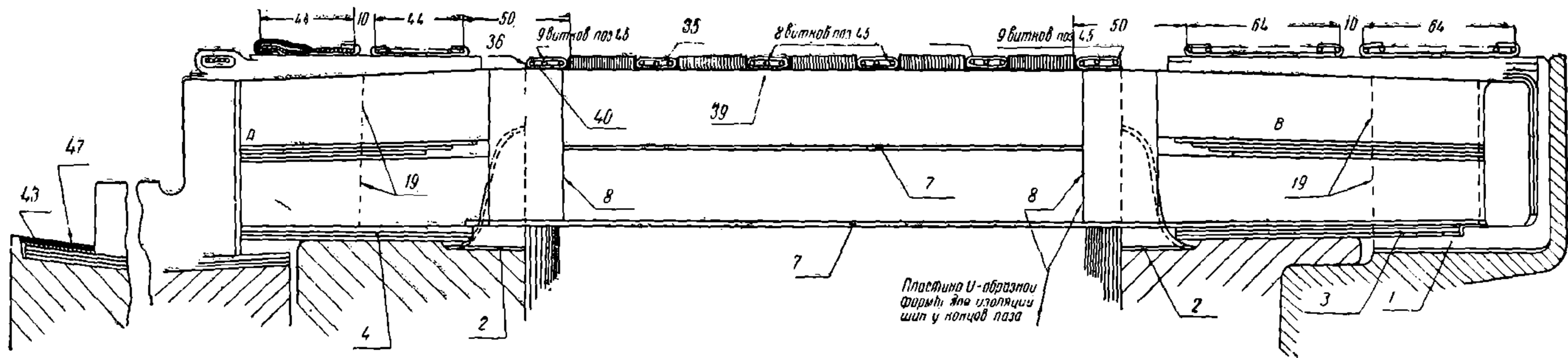
Табл. 33

Зазор между секция- ми соседних пазов	
β	u
0,6	3—4
0,75	5—6
0,9	7—8

Методы изоляции нажимных шайб и обмотки в целом видны из фиг. 78.

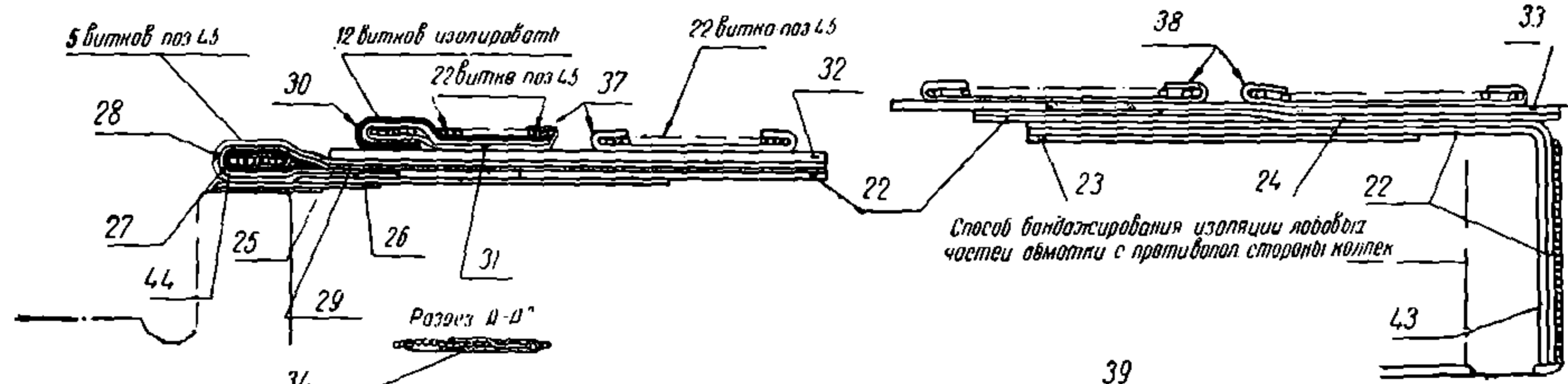
* Чертеж заимствован из норм фирмы Дж. Эл.; размеры в дюймах.

НТБ
ДНУЗТ

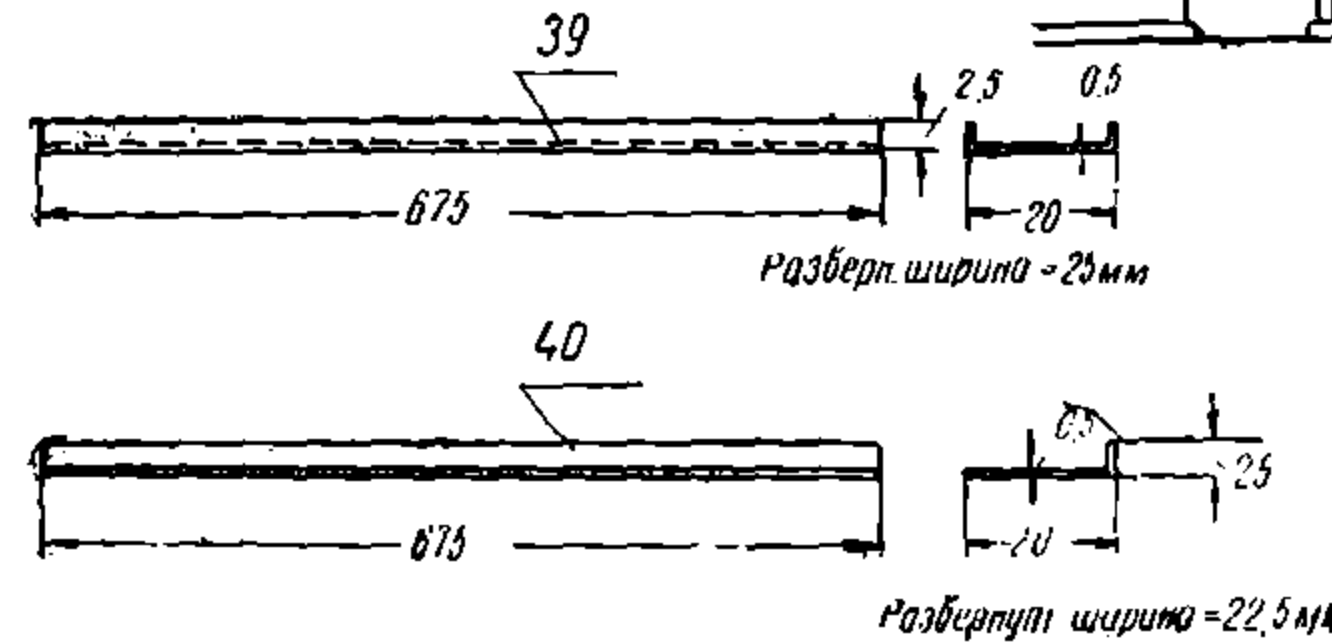
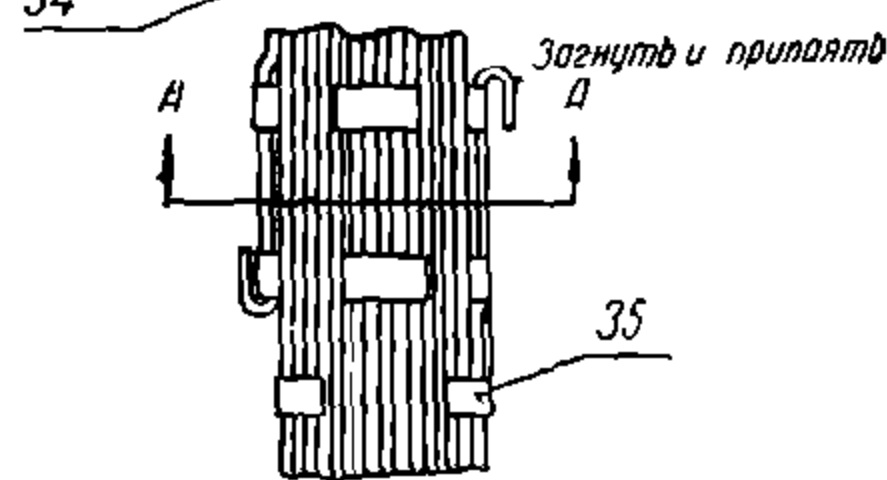


Фиг. 78

Способ бандажирования и изоляции лобовых частей обмотки со стороны коллектора



Разрез А-А

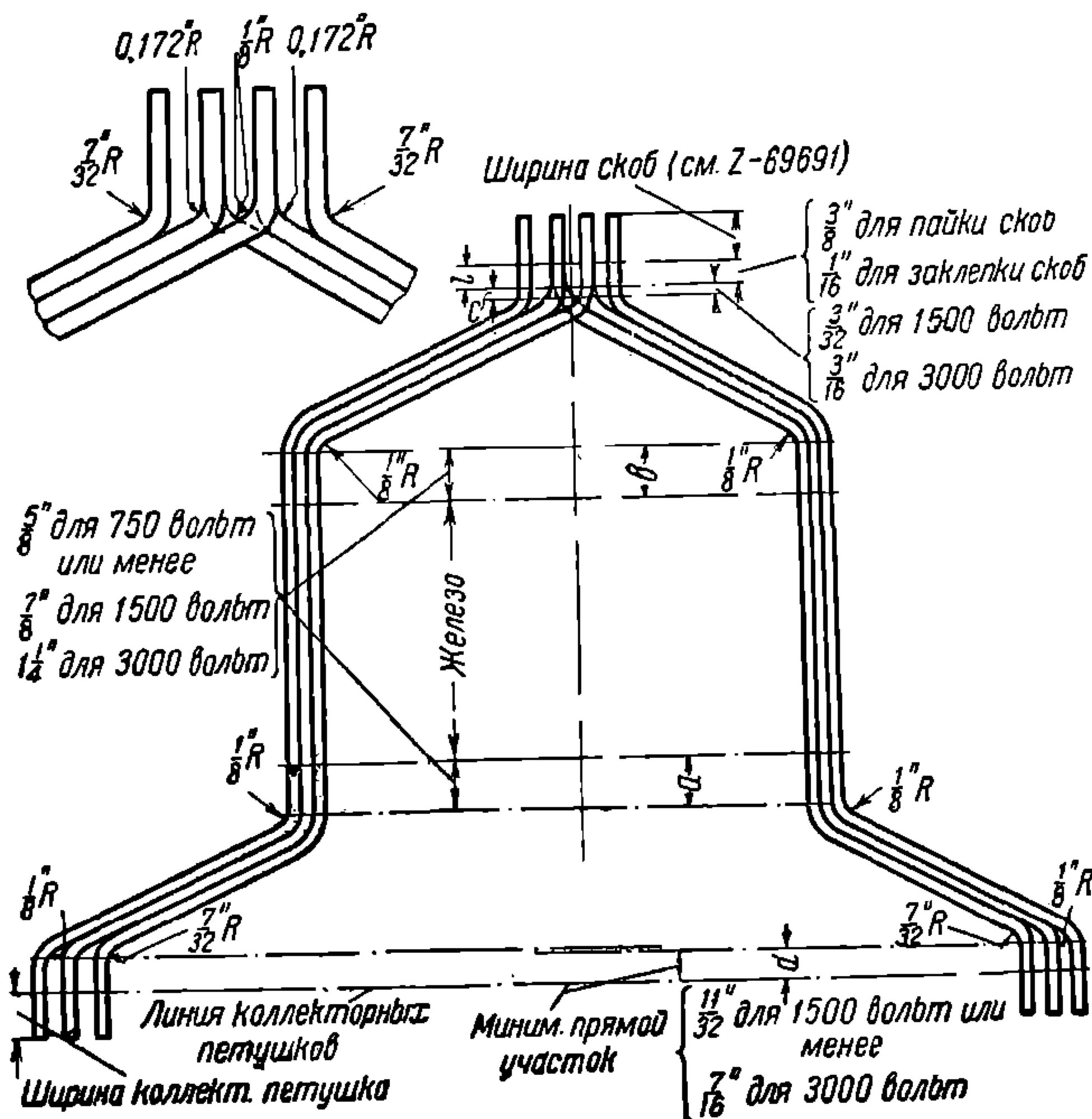


На фиг. 78 обозначено: 1 — кольцо изоляционное, 2 — изоляционные колпачки, 3 — 4 — цилиндры изоляционные, 7 — прокладка пазовая, 8 — пластина, 9 — 15 — прокладки между шинами, 16 — пластина изоляционная нижняя для скобы, 17 — пластина изоляционная верхняя для скобы, 18 — клин, 19 — пластина в загибах шин, 22 — пластина изоляционная, 23 — 26 — прокладки, 27 — изоляция под бандаж, 28 — чехол со стороны коллектора, 29 — прокладка под чехол, 30 — изоляция под бандаж, 31 — 33 — изоляции, 34 — 35 — скобы под бандаж, 39 — 40 — изоляции под бандаж, 41 — прокладка, 43 — набивка, 44 — бечевка, 45 — бандаж, 46 — лента, 47 — масса для защиты изоляц. кожухов

Данные об изоляции пазовой части секций приведены в нижеследующей таблице:

№	Толщина	Число слоев				
		<550V	<750V	<1500V	<3000V	
1	Лента миканитовая № 4509	0,1	1 в п/п	1 в п/п	1	1
2	Лента миканитовая № 4509	0,1	3 в п/п	4 в п/п	5 в п/п	8 в п/п
3	Лента полотняная № 3207	0,2	1 в п/п	1 в п/п	—	—
3	Лента асбестовая № 1303	0,4	—	—	—	1 б/
4	Прокладка миканитовая № 4206 . . .	0,5	3	3	3	3
5*	Миканитовая № 4511 .	0,075	2	2	2	2
6*	Миканитовая № 4206	0,25	4	4	4	4

* В случае транспонированного проводника.



Бандажировка. Напряжение в бандаже:

$$K_5 = \frac{C}{2\pi S} \text{ кг/см}^2,$$

где: C — центробежная сила части обмотки (пазовая или лобовая), удерживаемой данным бандажом, S — сечение всего бандажа в см^2 ,

$$C = \frac{G}{100g} \omega^2 R;$$

$$\omega = \frac{\pi n_{исп}}{30},$$

где: G — вес части обмотки, приходящейся на данный бандаж, плюс вес самого бандажа в кг , $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$, R — радиус ц. т. меди в пазу в см , $n_{исп}$ в об/мин (см. стр. 15).

Допускаемые напряжения для стального бандажа:

$$k \leq 20 \text{ кг/мм}^2.$$

Фиг. 79

Натяжение при бандажировке — см. стр. 87

Диам. бандажной проволоки 0,6 — 0,8 — 1,2 — 1,5 — 2 мм.

Временное сопротивление бандажной проволоки (рояльная проволока) — 160 . 200 кг/мм^2 .

Контроль обмотки — с помощью «магнитного башмака».

При этом методе в якорных секциях индуктируются эдс с помощью питаемого переменным током башмака. Якорь поворачивается перед башмаком. Контроль про-

НТБ
ДРУЗТ

изводится с помощью железной пластины *B*, к-рую проводят по якорной окружности (фиг. 80).

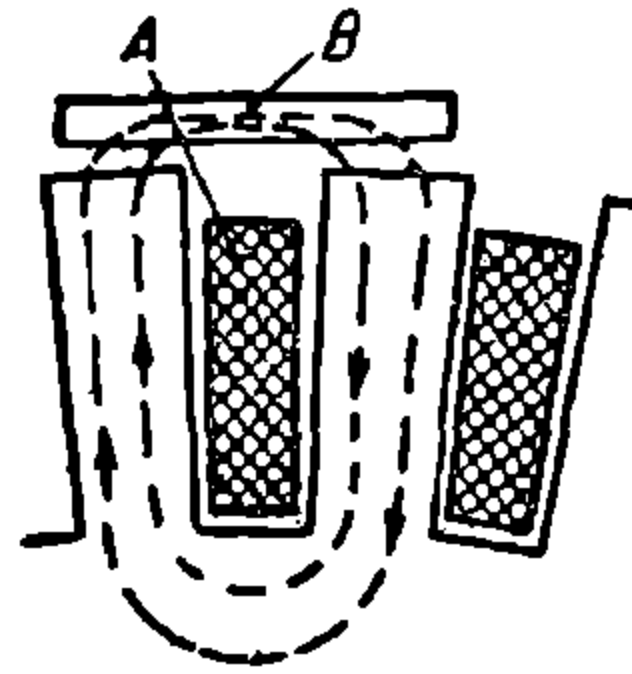
Метод милливольтметра. При этом методе к якорю подводится питание на расстоянии полюсного шага для волновой обмотки и по диам.— для петлевой (фиг. 81). Концами от милливольтметра касаются соседних коллекторных пластин. По изменению показаний можно судить о неисправности. Милливольтметр д. б. рассчитан на возможность включения на полное напряжение.

Типичные дефекты обмотки (волновая обмотка): 1) Крест (фиг. 82): а) железная пластина притягивается к пазам *M*, б) милливольтметр не дает показаний в точках *O*.

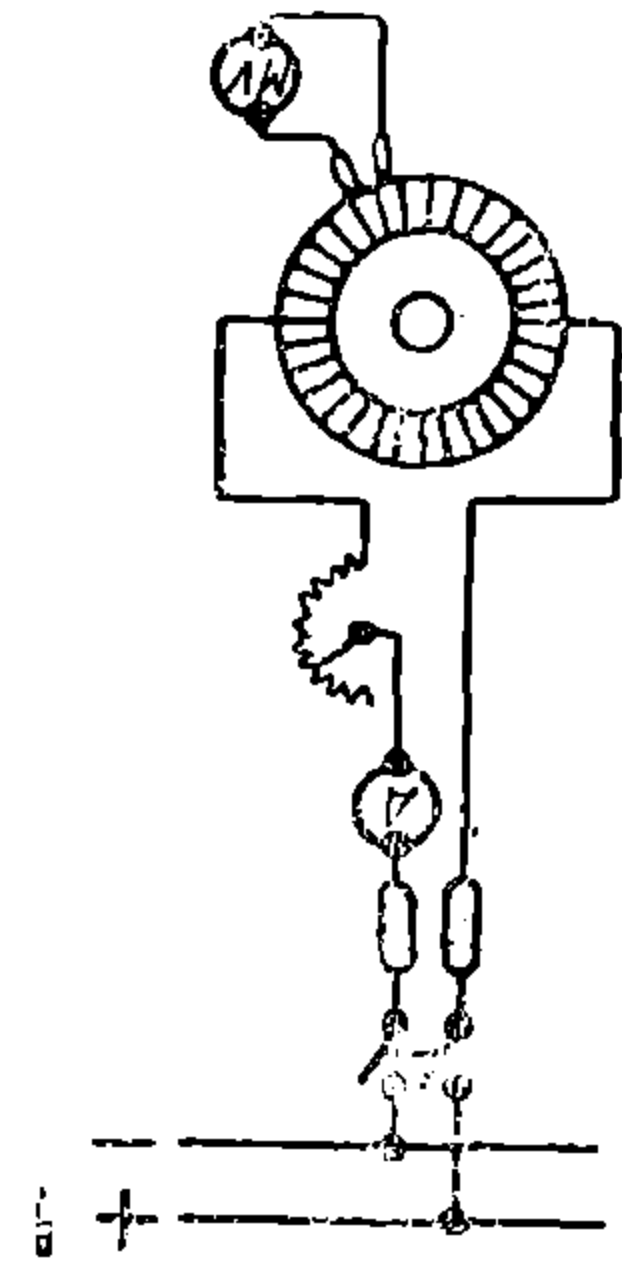
2) КЗ между пластинами или соседними секционными сторонами (фиг. 83): а) пластина притягивается к пазам *M*, б) милливольтметр не дает показаний (или уменьшенное показание) в точках *O*.

3) Обрыв (фиг. 84)—очень большое отклонение милливольтметра в точке *E*.

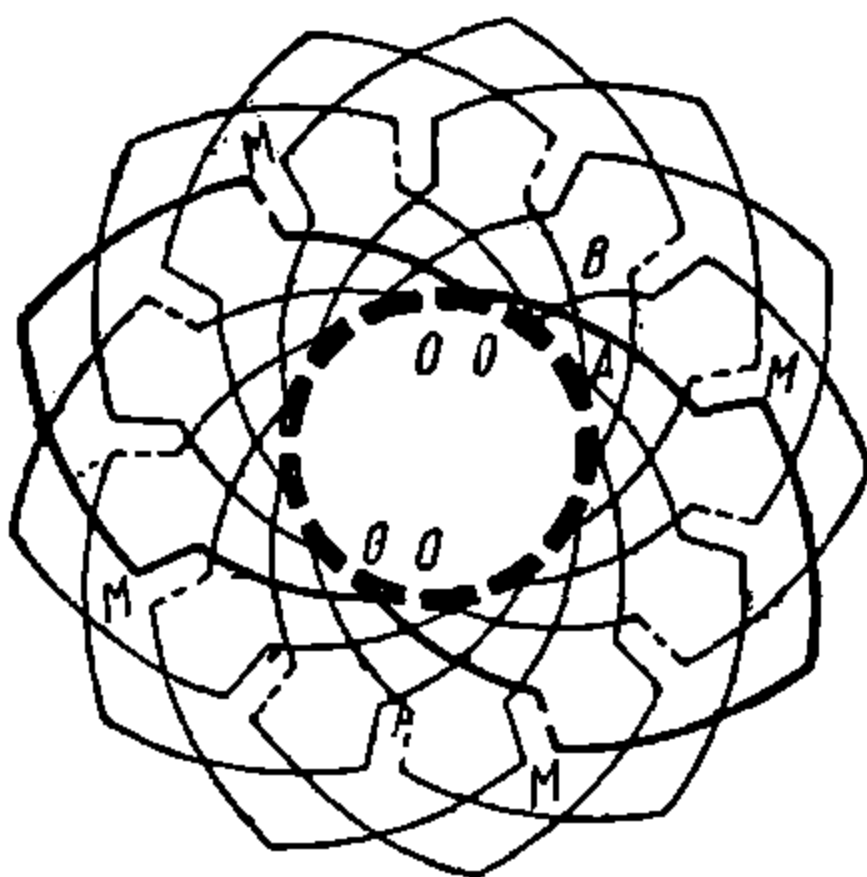
4) Плохая пайка—увеличенные отклонения милливольтметра.



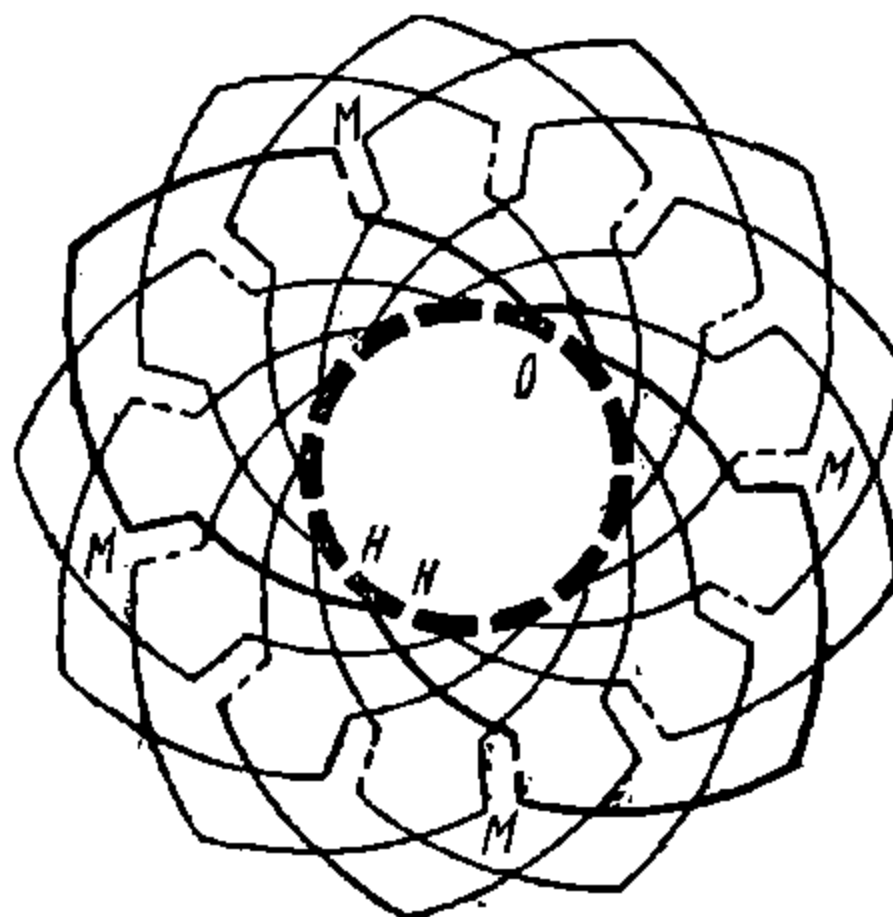
Фиг. 80



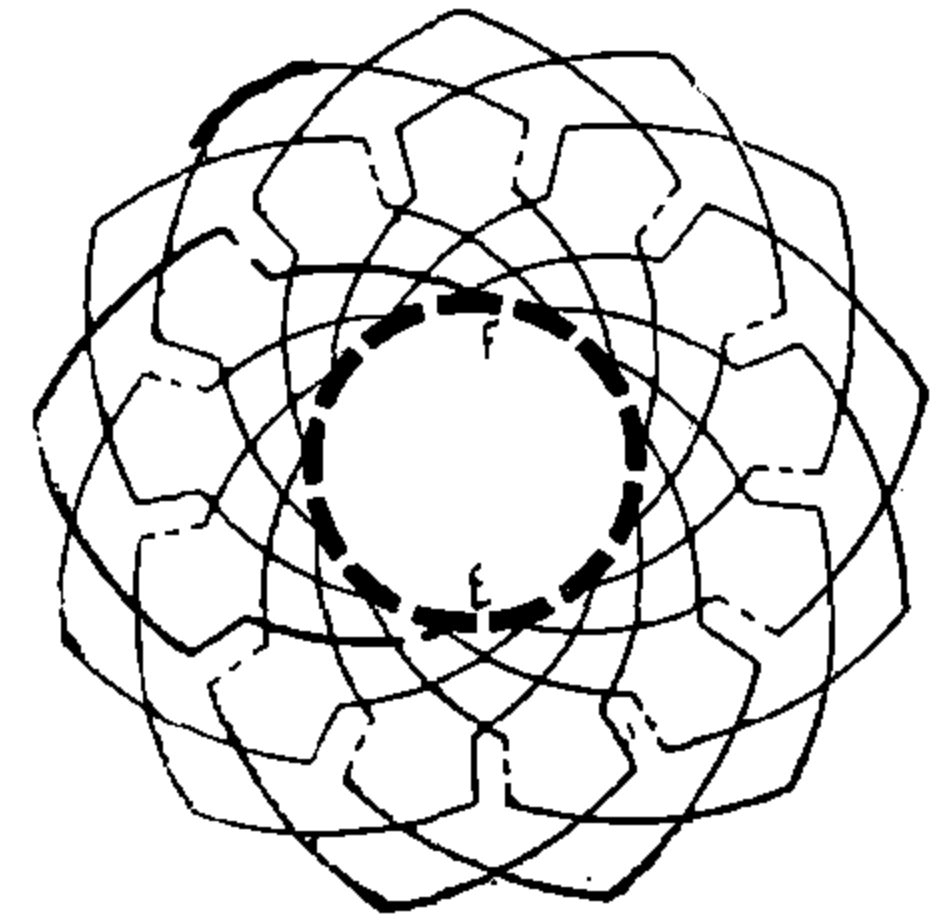
Фиг. 81



Фиг. 82



Фиг. 83



Фиг. 84

5) Контроль изоляции—см. стр. 109

6) Пропитка якорных секций—см. табл. 34 (по данным з-да Динамо им. Кирова).

Табл. 34. Режим пропитки и сушки секций

Тип машины	Режим
ДМП-150 ДМГ-1500/95	Секции покрываются лаком № 458, уд. в. 0,840, после чего сушатся на воздухе в течение 10 ч.
ДПЭ-340	Перед эл. опрессовкой секции сушатся в печи при 100° Ц в течение 9 ч. После эл. прессовки и изолировки секции сушатся в печи при 100° Ц в течение 16 ч. Окончательно изолированные секции покрываются лаком № 458 и сушатся на воздухе в течение 10 ч.
ДД-60	После намотки секции сушатся в печи при темп-ре 100° Ц в течение 2 ч. Секции горячими погружаются в лак № 447 (уд. в. 0,84 : 0,85 при темп-ре лака 20° Ц). Держать в лаке не менее 5 мин. Просушить пакеты в печи в течение 7 ч. при 100—103° Ц. После изолировки секции снова сушатся в печи и пропитываются 2 раза в лаке № 447 (уд. в. 0,84 : 0,85 при 20° Ц) с последующей сушкой в печи в течение 7 ч. при 100° Ц.

Копия
ДНУЗТ

ДУ-3	см. ДД-60
ДВ-15	см. ДД-60
ДМГ - 1500,95	см. ДД-60
КП прямоуг. медь ПТ-35А ДМ-1А ДТ	Предварительно секции сушатся в печи 2 ч. при 100° Ц. Пропитываются в лаке № 447 уд. в. 0,84—0,85, выдерживаются в лаке не менее 5 мин. После пропитки секции сушатся в печи в течение 7 ч.
ДТБ-60	см. п. 1
ДМГ-1500/50 генератор	Окончательно изолированные секции покрываются лаком № 458 уд. в. 0,84—0,85 и просушиваются на воздухе в течение 10 ч.
ДМГ-1500/50 мотор	Просушить в печи 2 ч. при 100° Ц. Пропитать 2 раза лаком № 458 уд. в. 0,84 с последующей после каждой пропитки сушкой в печи при 100° Ц в течение 4 ч. Окончательно изолированные секции покрываются лаком № 458 и сушатся на воздухе в течение 10 ч.

5. ПРОПИТКА И СУШКА ЯКОРЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ¹

При уходе за ТМ самыми лучшими методами сохранить их жизнеспособность являются пропитка и сушка как якорей, так и катушек. Когда в силу повторных сушек и охлаждений лак теряет свой растворитель, нужно время от времени подвергать лак повторному растворению, пропитке и сушке изделий.

Обычная практика дает условия пропитки и сушки якорей и катушек в то время, когда м/в (или эл/в) проходит через основной ремонт.

Метод сушки и пропитки якорей приведен ниже [для перемотанных якорей позиции (1) и (2) не применяются]. Требуется произвести след.: 1) снять бандажи и чехлы на обмотке, 2) вычистить якорь, 3) нагревать якорь в течение ночи при $T=110\text{--}115^\circ\text{Ц}$, 4) поставить временный бандаж, 5) пропитать в горячем лаке, 6) вынуть якорь из лака и высушить, 7) высушить якорь в сушильной печи, 8) поставить новые чехлы и бандажи.

1) Снять бандажи и чехлы на обмотке. В виду высыхания изоляции проволочный бандаж, стягивающий обмотку, ослабевает. Приходится после того, как якорь вновь заизолирован, эти бандажи возобновлять. Чехлы на лобовых частях обмотки д. б. сняты, т. к. пыль и грязь не смогут быть удалены каким-либо др. способом. Это делается с той целью, чтобы новый лак мог свободно проникнуть в обмотку, не давая возможности образоваться сгусткам сырого лака.

2) Чистка якоря. Перед тем, как пропитать якорь, необходимо вычистить его так тщательно, как это только возможно. Грязь и пыль м. б. легко удалены с помощью струи сжатого воздуха. Жирные, масляные пятна м. б. удалены с поверхности обмотки с помощью тряпок, смоченных в бензине. При пропитке масло выходит и собирается на поверхности лака, в к-рый опущен якорь. Это масло следует удалить с поверхности, дабы не допустить проникновения масла в др. якоря, подвергающиеся пропитке. Удаление масла м. б. произведено с помощью сифона т. о., что лак и масло, отделившись друг от друга, собираются в свои камеры.

Удаление масла с помощью черпалок несовершенно, т. к. в этом случае часть масла остается.

3) Нагрев якоря в течение ночи при 115°Ц . С целью удаления сырости якорь д. б. подвергнут нагреву в течение 10—12 ч. при темп-ре в $100\text{--}115^\circ\text{Ц}$. Обычная практика предусматривает нахождение якоря в печи в ночное время и удаление якоря утром.

4) Временная бандажировка. Все якоря, подвергаемые сушке и пропитке, д. б. подвергнуты также временной бандажировке. Цель временной бандажировки заключается в том, чтобы тесно прижать якорные секции друг к другу. Др. способа стянуть секции не имеется. Чем теснее прижаты якорные секции друг к другу, тем меньше происходит трение их между собой. При трении соседних секций происходит порча изоляции, и поверхностный слой лака подвергается излому.

¹ По данным фирмы Дж. Эл.

До намотки временных бандажей якорь д. б. прогрет в печи в течение ночного времени. Это размягчает секции и изоляцию, от чего изоляция становится более гибкой и не трескается. Далее якорь, еще горячий, ставят на токарный станок и на него наматывают временный бандаж.

Между секциями и бандажной проволокой вдоль пазовой части обмотки кладут деревянные предохранительные подушки. Эти деревянные подушки имеют ширину, равную толщине секции, и длину — немногим большую, нежели длина железа якоря.

Бандажирование производится с помощью бечевки, укрепляемой за начало бандажной проволоки. Сначала бандаж мотают поверх деревянных подушек по длине железа якоря. Подушки эти вдавливают секции внутрь пазов, а бандажная проволока закрепляется с помощью скоб и спаивается так, что вспомогательная бечевка м. б. снята.

В дальнейшем бандажная проволока наматывается спирально и перекрещивается по всей длине якорного железа так, чтобы соседние витки отстояли друг от друга на расстоянии от 6 до 12 мм. Конец проволоки вновь укрепляется на железо с помощью скоб, спаивания витков.

Бандажная проволока на лобовых частях обмотки состоит из 2 частей, из к-рых 1-я (часть А) лежит вблизи железа, является более широкой частью и предназначена для вдавливания секций на места; 2-я (часть В) сравнительно узкая и от железа более отдаленная ставится после 1-й части.

Бандаж укрепляется с помощью скоб и пропаивается. После полной сборки часть А снимается. Если во время пропитки и сушки оставить часть А на месте, то сгустки лака имеют возможность собраться под чехлом части А.

Необходимо между лобовыми частями секций и бандажом ставить чехол: чехол предохраняет изоляцию лобовых частей обмотки от прорезывания бандажной проволокой и от заземления проводов якоря. В качестве предохранительного чехла под бандаж, расположенный вблизи железа (часть А), наиболее подходящим материалом может служить листовая непропитанная фибра толщиной в 0,7 мм, могущая выдерживать натяжение до 180 кг. Для большего натяжения следует брать фибру в 1,4 мм.

Для 2-й части бандажа (часть В) лучше употреблять желтое промасленное полотно (№ 515), т. к. оно быстро отходит (отстает) от секции после пропитки и сушки, когда все временные бандажи снимаются с якоря.

5) Пропитка в горячем лаке. После того как якорь получит временную бандажировку, и если якорь достаточно горячий, его можно пропитать в лаке; в противном случае нужно его предварительно нагреть.

Методы пропитки бывают разные: пульверизацией лака, окраской кистью, прокаткой якоря, пропиткой и погружением.

Пульверизация и окраска кистью сами по себе указывают на метод лакировки. Эти методы употребляются в том случае, когда требуется иметь на поверхности тонкий слой лака. Прокатка якоря представляет собою медленное вращение якоря в лохани с налитым лаком. Метод пропитки состоит в погружении якоря стороной зубчатки вниз в бак с лаком до уровня, отстоящего от петушков коллектора на 6 мм. В таком положении якорь остается в течение 10—30 мин. или дольше, пока не кончится пузырение лака.

Ясно, что у якоря, получившего пропитку, а не прокатку, лак быстрее и глубже проникает в зазоры между секциями, нежели у якоря, вращающегося в лохани. Метод прокатки оправдывается лишь тем, что время сушки якоря гораздо короче, нежели якоря, подвергнувшегося методу пропитки.

6) Метод пропитки является наиболее рациональным методом лакировки. Погружение якоря является методом, родственном методу пропитки. Якорь м. б. опущен в бак с лаком концом зубчатки вниз или в горизонтальном положении. Для защиты от масла и КЗ закрывают все малые отверстия в коробке коллектора. Но сушка такого якоря занимает гораздо больше времени, т. к. лак все же проникает в коллектор, конусы и т. п.

После того как якорь пропитан, его вынимают из бака и сушат до тех пор, пока не прекратится спадание лака в виде капель. Если якорь пропитывался в вертикальном положении, то сушка якоря д. б. произведена при наклоне якоря на 45°.

Этим дается возможность стечь накопившемуся лаку. Если капание лака прекращается, то якорь поворачивают, и лак начинает вновь спадать каплями. Во время сушки вал у конца зубчатки и в местах цапф м. б. вымыт с помощью газалина. Если же лак во время сушки присохнет, то его приходится очищать растворителем. Двойная пропитка и сушка якоря несравненно лучше ординарной.

7) Сушка якоря. Перед пропиткой якоря для удаления всякой сырости якорь сушат в течение 10—12 ч. Обычно практика предусматривает загрузку якоря на ночное время в печь и пропитку его утром. После пропитки и сушки лак при нагреве якоря

ДРУЗЬ

должен вытечь. Для этой цели якорь ставят в вертикальное положение. Некоторые из старых типов ТМ следует сушить в горизонтальном положении, т. к. при вертикальном положении между коллектором и железом якоря образуются скопления лака, к-рый не может стечь.

Якоря, подвергающиеся сушке в горизонтальном положении, д. б. тихо вращаемы на каждые $\frac{1}{4}$ оборота, дабы дать возможность вытечь образовавшимся сгусткам лака.

На з-де фирмы Дж.Эл. порядок пропитки и сушки якорей ТМ предусматривает двойные процессы. После 1-й пропитки все якоря сушатся 12 ч. в печи при темп-ре в $110-115^\circ$.

После вторичной пропитки у якорей с проволочной обмоткой в течение 12 ч. и, если это необходимо, еще дольше сопротивление изоляции при темп-ре печи д. б. по меньшей мере $\frac{1}{2}$ МΩ. Якоря со стержневыми обмотками сушатся по меньшей мере 24 ч. или до тех пор, пока сопротивление изоляции не будет равно 1 МΩ в горячем состоянии.

Большинство ж.-д. компаний США сушат якорь в течение определенного срока. Но этот способ без применения отсчета сопротивления изоляции является мало надежным.

Фирма Дж. Эл. рекомендует пользоваться во всех случаях двойным измерением; минимальным временем и требуемой величиной минимального сопротивления изоляции.

Метод минимального времени основан на застывании небольших сгустков невысохшего лака. Время зависит от вентиляции печи, сорта лака, темп-ры печи и размеров якоря. В виду этого самым лучшим является определить это время для каждой печи отдельно.

Наиболее простой метод установить потребное время — это поставить чашку с лаком толщиной слоя в 12,7 мм в печь и следить за тем, сколько времени потребуется для того, чтобы лак высох, и к этому отрезку времени нужно прибавить время, потребное для нагрева якоря, чтобы последний получил темп-ру печи. Т. о., мы получим минимум потребного времени.

Испытание на сопротивление изоляции крайне просто и никогда не выводит машину из строя, как это бывает при испытании на пробой. Если в изоляции машины осталось хотя немного сырости, то сопротивление изоляции крайне незначительно и при дальнейшем испытании на пробой машина м. б. пробита. Если сопротивление изоляции мало, то повысить его до нормального значения возможно путем просушки якоря.

Т. к. для практических целей не требуется столь точных измерений мегомметром, то вполне возможным является производить измерение с помощью вольтметра.

Если для отсчетов употребляется вольтметр на 750 V с отсчетом шкалы в 60 V или менее, то является возможным определить изоляцию в 0,5 МΩ или выше и не выше 0,65 МΩ, в зависимости от того, каково напряжение линии: 500 или 600 V.

Сопротивление изоляции определяется по след. ф-ле:

$$R_u = R_v \frac{d_2 - d_1}{d_2},$$

где: R_u — сопротивление изоляции в омах, R_v — сопротивление вольтметра, d_2 — показание вольтметра при непосредственном включении на линию, d_1 — отсчет вольтметра при включении через изоляцию.

Из этой ф-лы видно, что измеряемое сопротивление изоляции зависит от напряжения линии и сопротивления вольтметра. Отклонения в том и др. сказываются на отсчете сопротивления изоляции (вольтметр в 750 V имеет примерно 75 000 Ω).

8) Изоляция лобовых частей обмотки. Когда сушка окончена, якорь вынимают из печи и охлаждают до комнатной темп-ры. Затем якорь ставят в токарный бандажный станок, снимают временный бандаж, кладут новую защитную изоляцию на лобовые части и окончательно бандажируют. Если необходимо, то ставят на головку обмотки прокладки, охватываемые бандажной проволокой. В пазовой части между секциями закладывают прокладки, и только в том случае, если это невозможно, ставят эти прокладки сверху, натягивая бандаж.

Н а т я ж е н и е б а н д а ж н о й п р о в о л о к и. В последнее время выпущено новое приспособление, измеряющее силу натяжения бандаж. Это приспособление не записывает силы натяжения, а измеряет ее непосредственно. Если при натяжении происходит обрыв проволоки или врезывание проволоки в изоляцию секции, то прибор тотчас же указывает на этот факт (табл. 35).

Л а к. Для наилучших результатов следует употреблять гибкий, не дающий трещин лак. Лак печной сушки удовлетворяет этим требованиям в большей мере, нежели лак воздушной сушки, т. к. он дольше сохраняет свой растворитель при обычной темп-ре,

нежели лак воздушной сушки. Кроме того по этой же причине лак печной сушки требует большего времени на сушку. Выбор светлого или черного лака произволен, т. к. оба сорта лака дают одинаково хорошие результаты.

Черный лак № 447 предназначен специально для якорей ТД. Лак этот особенно хорош для печной сушки, что и потребно для ж. д. М. б. также применен лак № 450 ГЕС.

Само собой разумеется, что жидкий лак глубже проникает в изоляцию обмотки, нежели густой. Кроме того, если лак полностью растворен, то в нем не бывает осадка (сгустков), к-рый затрудняет сушку и покрытие водонепроницаемой пленкой или заполнение просветов и карманов между секциями. Уд. в. лака измеряется при темп-ре в 20° Ц с помощью гидрометра, с десятичной шкалой. Уд. в. лака, употребляемого при наружной лакировке, 0,86.

При пропитке уд. в. лака ок. 0,845. Т. к. уд. в. меняется в зависимости от темп-ры, то гидрометр должен иметь термометр в качестве своей составной части.

Уд. в. лака при отклонениях в темп-ре от 20° Ц на + 10° практически можно считать одним и тем же.

Лак должен храниться при темп-рах от 15 до 45° Ц. При пропитке горячий якорь д. б. опущен в бак с относительно малым содержанием лака. Тогда лак еще лучше растворяется от горячего якоря. Степень растворения зависит от свойств лака и нагрева его. Лак № 447 дает полную пропитку при темп-рах в 38—68° Ц. Др. сорта лака требуют минимум 58°, чтобы результат пропитки был тем же самым, как и при лаке № 447 в 30° Ц.

При темп-рах выше указанных ранее растворитель улетучивается бесполезно. В практике можно руководствоваться табл. 36 растворения лака газOLIном.

Табл. 35. Силы натяжения для различных размеров бандажной проволоки

Диам. в мм	Сила натяжения в кг
0,6	23 ÷ 27
1,2	68 ÷ 90
1,4	113 ÷ 136
1,8	205 ÷ 230

Табл. 36

Наблюдаемый уд. в.	0,370	0,864	0,859	0,854	0,849	0,843
Требуемый уд. в.	0,849	17	13	9	4	0
	0,843	23	18	14	9	5
	0,839	28	24	19	14	9
	0,833	35	30	25	20	15

Пример пользования табл. Предположим, что гидрометр показывает уд. в. лака в 0,86 при темп-ре в 20° Ц. Требуемый уд. в. д. б. 0,835 ÷ 0,845. Обращаясь к табл., мы находим, что для требуемого уд. в. в 0,839 необходимо лак с уд. в. в 0,859 растворить так, чтобы на каждые 100 объемов лака приходилось 19 объемов растворителя (газолина).

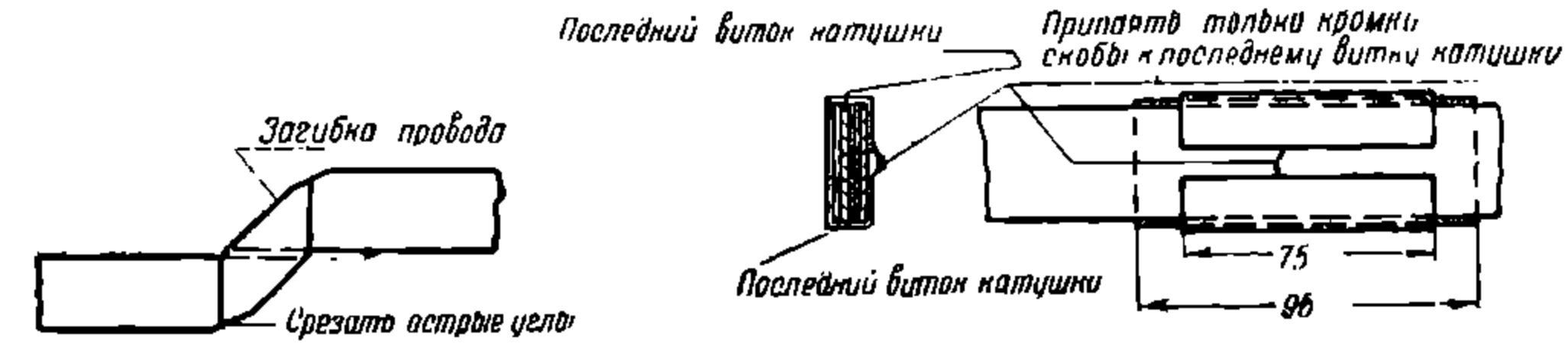
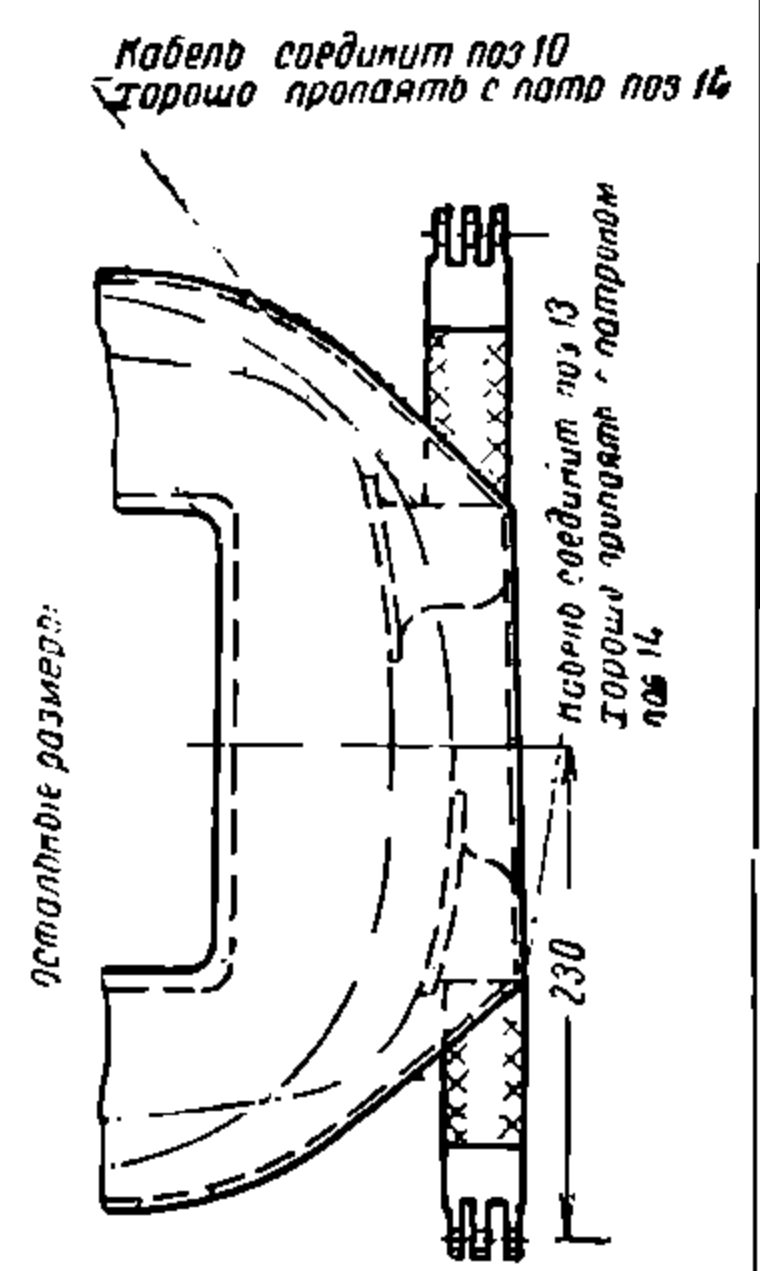
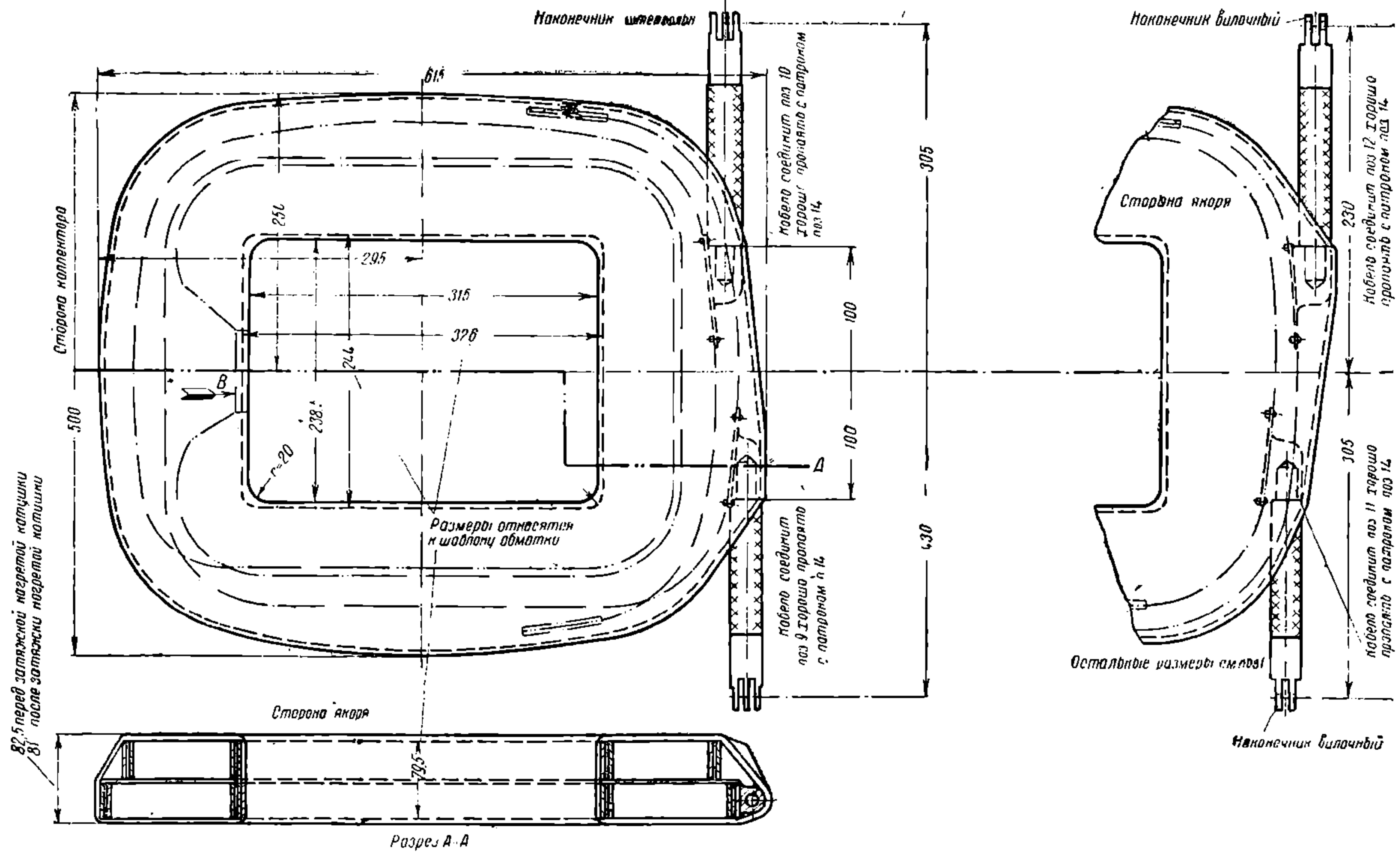
Печи, изготовляемые собственными средствами. Для сушки якоря требуется довольно высокая темп-ра печи, дабы удалить из якоря всякую сырость, но, с др. стороны, эта темп-ра не должна выходить за пределы, при к-рых возможно тление (горение) бумажной изоляции. Для тяговых целей обычно эта темп-ра колеблется в пределах от 105 до 120° Ц.

Темп-ра в печи может иметь разницу, доходящую до 50° между полом и полкой. Поэтому лучше всего вначале определить темп-ру якоря, пола и полки и тем самым найти место, где находится наиболее правильная темп-ра.

Для правильной сушки следует иметь кроме того подвод высушенного воздуха, служащего для циркуляции и вентиляции якорей. Это необходимо, во-первых, для более быстрой сушки лака и, во-вторых, для лучшего перемешивания растворителя с воздухом (испарения).

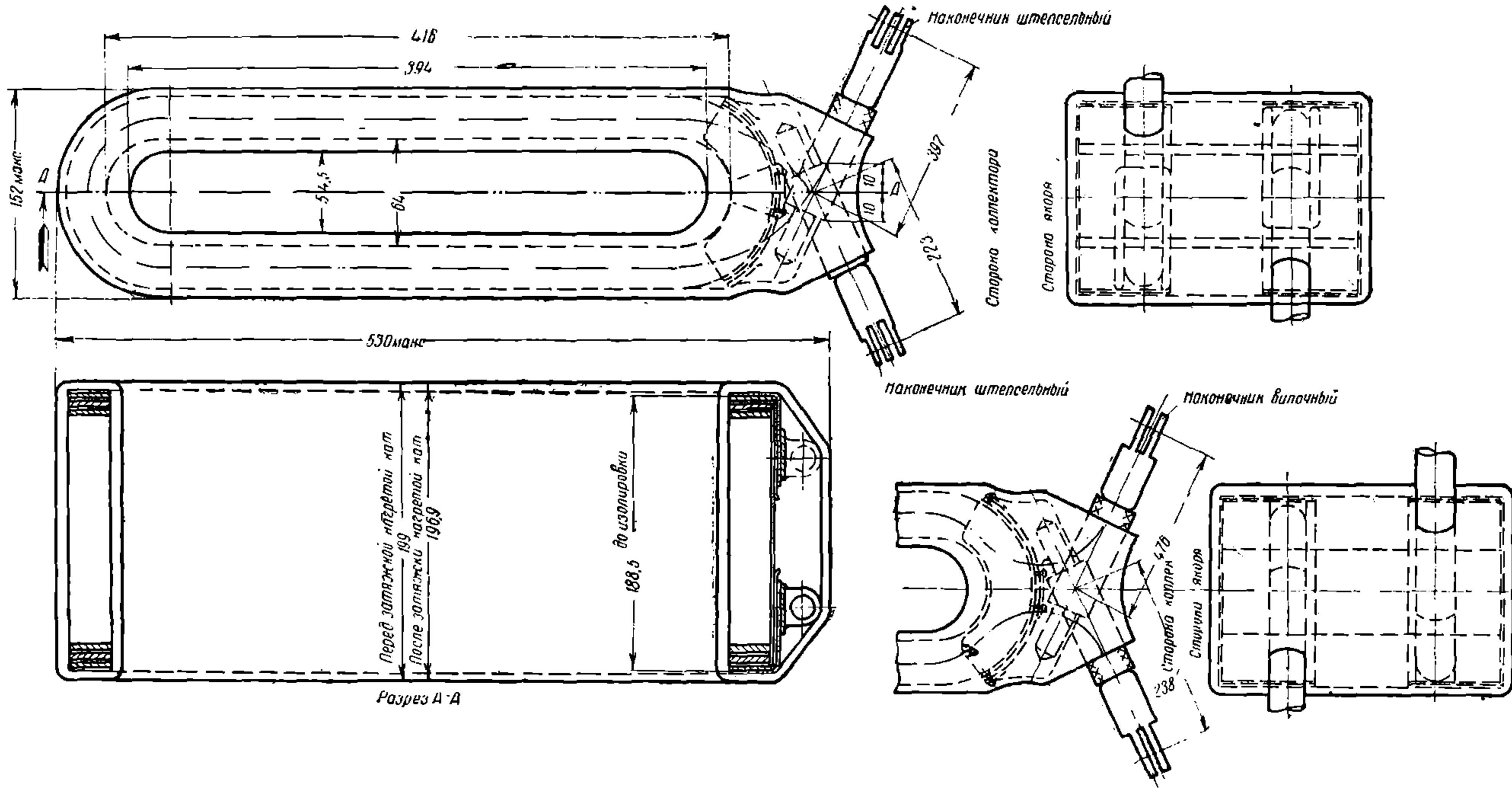
Искусственная вентиляция предпочтительней и является более интенсивной, нежели естественная.

НГВ
ДНУЗТ



Фиг. 85 и 86

НТБ
ДНУЗТ



Фиг. 87

6. СТАТОР—ОСТОВ

Остовы моторов постоянного тока—литые из мягкой магнитной стали. Хим. сост. примерно: 0,07 ÷ 0,12% С; 0,2 ÷ 0,3% Si; 0,5 ÷ 0,8% Mn; 0,06% P; 0,05% S.

Механические характеристики: временное сопротивление 35 ÷ 40 кг/мм²; тв. 115° по Бринелю.

Размеры сечений остова подбираются из условия одинаковой индукции во всех

Табл. 37. Магнитные характеристики

Удельные ампер-витки	Индукция не меньше
25	14 500
50	16 000
100	17 500

сечениях. Исключение составляет место против оси в трамвайной подвеске. Статоры моторов переменного тока—из легированной динамо-стали ($\frac{\text{ОСТ}}{\text{ВКС}} 6391$).

Корпуса статоров сварные в новых моделях и литые в старых.

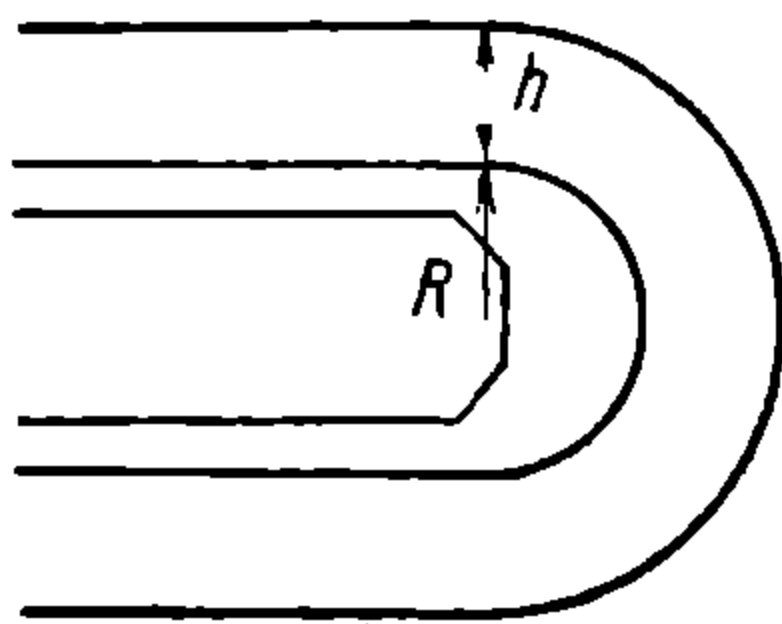
7. ЖЕЛЕЗО РОТОРА

Для роторов моторов применяются марки стали «ЕС1А» и в особых случаях (очень быстроходные моторы) «ЕС1АА».

Железо изолируется жидким стеклом. При сборке железо прессуется под давлением не меньше 60 кг/см².

8. КАТУШКИ ПОЛЮСОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Форма катушек определяется расположением полюсов (немецкое или американское). Катушки маломощных ТД с диагональным расположением главных полюсов выполняются из кв. провода. Мощные ТД имеют катушки из шинной меди (ОСТ). Типичная компактная форма катушек при крестовом расположении главных полюсов показана на фиг. 85—87. Катушки главного полюса 2-слойные. Катушки дополнительного полюса—из меди, гнутой на высокое ребро. При изгибе меди на высокий борт удлинение наружного волокна не д. б. больше 40% во избежание трещин и уменьшения



Фиг. 88



Фиг. 89

сечения. Это условие определяет максимальную высоту меди, к-рая м. б. применена для данного полюса. Эта высота м. б. найдена по ур-ию (фиг. 88):

$$\frac{R + h}{R + \frac{h}{2}} \leq 1,4.$$

Получающееся при изгибе изменение сечения из прямоугольного в трапециoidalное (фиг. 89) выправляется прессовкой меди между стальными планками.

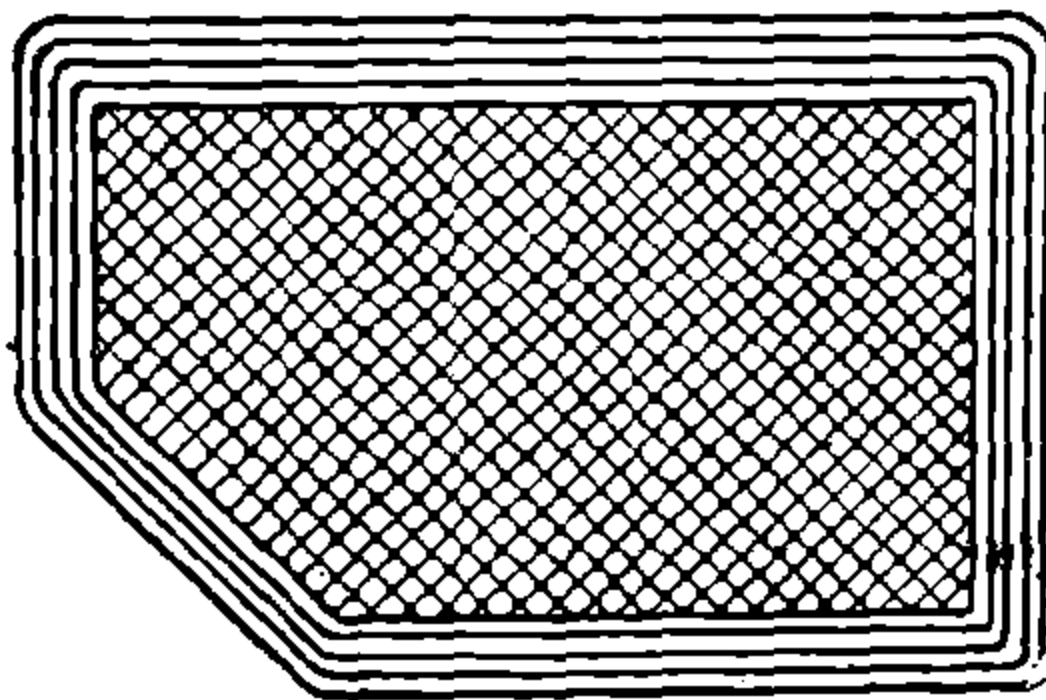
НТБ
ДНУЗТ

Изоляция катушек указана на фиг. 90—92. Особое внимание обращается на изоляцию переходов из слоя в слой и выводов, где предусматривается ряд миканитовых подкладок, шайб и воротников. Ослабление поля выключением части витков, требующее дополнительных выводов, нежелательно для дв-лей с напряжением на корпус > 1500 V. (В этих случаях ослабление поля производится шунтировкой.)

Изоляция магнитных катушек из круглой и прямоугольной меди для машин постоянного тока от 110 до 750 V

К л а с с А

Разрез катушки



Фиг. 90

Наименование	Толщина изоляции
Полотнян. лента № 3201; 1 слой с п/перекр. $0,2 \times 2$	0,4
Микалента № 7410 1 слой п/перекр. $0,13 \times 2$	0,26
Лента пропитанн. № 3204; 2 слоя с п/перекр. $0,2 \times 2 \times 2$	0,8
Лента киперная № 3202; 1 слой с п/перекр. $0,4 \times 2$	0,8
Лак и компаундировка	0,8
Итого на сторону	3,06

1. Под выводную пластину в патрон ставится прокладка из:

прессшпана	0,2 мм
миканита	0,2
проп. полотна	0,2

2. При переходе витков из одного слоя в др. ставить суровое полотно № 3102 толщиной примерно 0,4 мм.

3. Между слоями на углах ставить перфорированный прессшпан № 4101 толщиной 0,2 мм.

4. При большом числе витков и тонкой проволоке ставить каркас из прессшпана № 4103 толщиной 1 мм.

5. В дополнительных катушках на внутреннем закруглении толщину изоляции считать равной 5,2 мм.

К р а т к и й т е х н о л о г и ч е с к и й п р о ц е с с

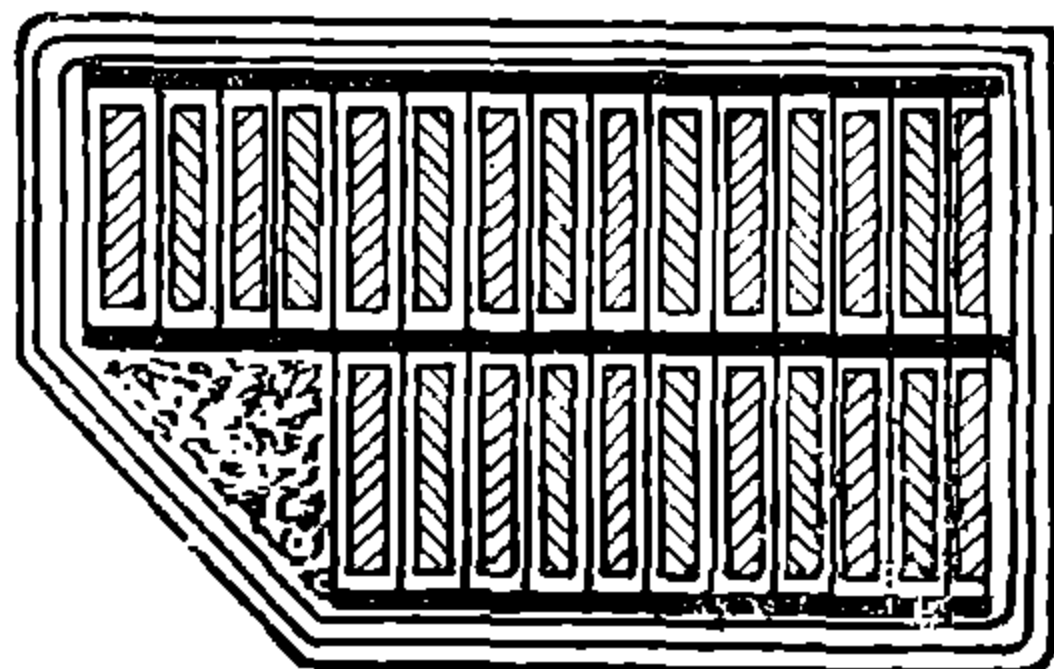
1. Намотка, изолировка лентой № 3201.
2. Компаундировка.
3. 2-я изолировка.
4. Пропитка и сушка или компаундировка и окраска.

НТБ
ДНУЗТ

Изоляция магнитных катушек из голый меди для машин постоянного тока от 2400 до 3300 V

К л а с с В

Разрез катушки



Фиг. 91

Наименование	Толщина по высоте	Толщина по ширине
Прокладки—фланцы миканит № 7214 толщ. 0,5	1,0	—
Прокладка (фанерка) из миканита № 7214 толщ. 2 оклеен. асбест. толщ. 0,25 × 2	2,5	—
Миканит № 7301 толщ. 0,25 (между витками)	—	—
Замазка № 2201	—	—
Асбестовая лента № 9003 1 слой б/перекр. толщ. 0,4	0,4	0,4
Микалента № 4410; 6 слоев с п/перекр. толщ. 0,13 × 6 × 2	1,56	1,56
Киперная лента № 3202; 1 слой с п/перекр. толщ. 0,4 × 2 1 слой б/перекр. толщ. 0,4 × 1	0,8 0,4	0,8 0,4
Лак и компаундировка	0,8	0,8
Итого на сторону	7,46	3,96

1. При намотке катушек на ребро между витками вместо миканитовой бумаги ставить асбестовую № 9005 толщиной 0,3 мм.

2. В дополнительных катушках на внутренних закруглениях считать толщину изоляции равной 5,4 мм.

К р а т к и й т е х н о л о г и ч е с к и й п р о ц е с с

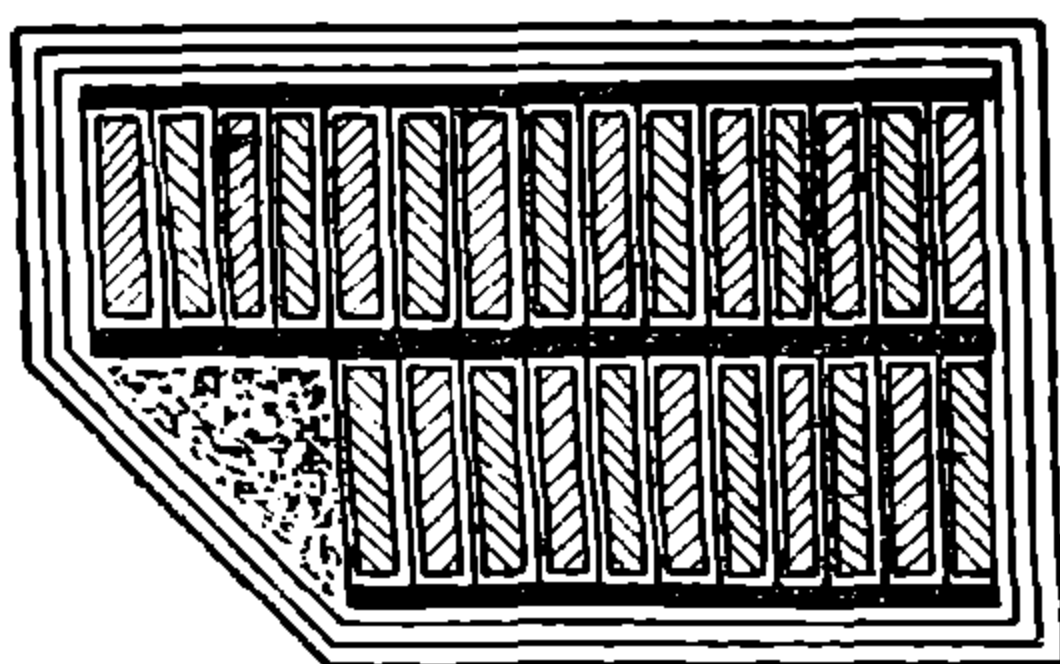
1. Намотка, изолировка асбестовой лентой.
2. Компаундировка.
3. 2-я изолировка.
4. Пропитка, сушка.
5. Изолировка последним слоем киперной ленты.
6. Пропитка, сушка.

НТБ
ДНУЗТ

Изоляция магнитных катушек из голой меди для машин постоянного тока от 11 до 750 V

Класс В

Разрез катушки



Фиг. 92

Наименование	Толщина по высоте	Толщина по ширине
Подкладки—фланцы асбест. лист. № 9005 проп. 0,8.	1,6	—
Подкладки (фанерка) из миканит. № 7214 толщ. 1,0 оклеен. асбест с обеих сторон. толщ. 0,25×2	1,5	—
Миканит № 7301 толщ. 0,2	—	—
Замазка № 2201	—	—
Асбестовая лента № 9003 1 слой б/перекр. 0,4×1	0,4	0,4
Микалента № 7410 3 слоя с п/перекр. 0,13×3×2	0,78	0,78
Лента киперная № 3202 1 слой с п/перекр. 0,4×2	0,8	0,8
Лак и компаундировка .	0,8	0,8
Итого на сторону .	5,88	2,78

1. При намотке катушки на ребро между витками вместо миканита ставить асбест листов. № 9005 толщиной 0,2 мм.
2. В дополнительных катушках на внутренних закруглениях считать толщину изоляции 4,4 мм.

Краткий технологический процесс

1. Намотка, изолировка асбестовой лентой.
2. Компаундировка.
3. 2-я изолировка.
4. Пропитка, сушка.

Ряд европейских фирм применяет усиленную изоляцию входных витков и постоянную шунтировку большим сопротивлением для защиты от блуждающих волн и коммутационных перенапряжений.

ИТЬ
ДНУЗТ

Катушки д. б. хорошо компаундированы и пропитаны. Катушки дополнительного полюса из меди, гнутой на высокий борт, в виду их особой компактности и малого количества изоляционного материала не компаундируются, подвергаясь лишь пропитке. Пропиточные лаки см. стр. 136.

Проверка качества компаундировки-пропитки производится фирмой Броун Бовери погружением катушек на 12 ч. в 0,5% раствор серной к-ты, после чего производится испытание на пробой. Катушка, выдерживающая до погружения в к-ту 12 000 V в течение 1 мин., после погружения должна выдержать 7500 V в течение 1 мин. (дв-ль для Сурама — 3000 V в конт. пр.).

Катушки д. б. хорошо закреплены в остове во избежание повреждений изоляции при тряске и динамических усилиях при включении и выключении тока. Хорошим конструктивным решением является применение стального пружинного фланца толщ. 3—5 мм. Края фланца перед закалкой отгибаются немного кверху. При затяжке полюса катушка отгибает края фланца: тем самым создается эластичный прижим катушки к остову. Между остовом и катушкой кладется изоляционная подкладка. Более сложным решением является крепление катушки поясками к остову (Броун Бовери).

При затяжке катушек в остов их следует подогреть, чтобы придать гибкость изоляционному материалу и облегчить прессовку. Подогрев производится пропусканием тока через катушки или в печи.

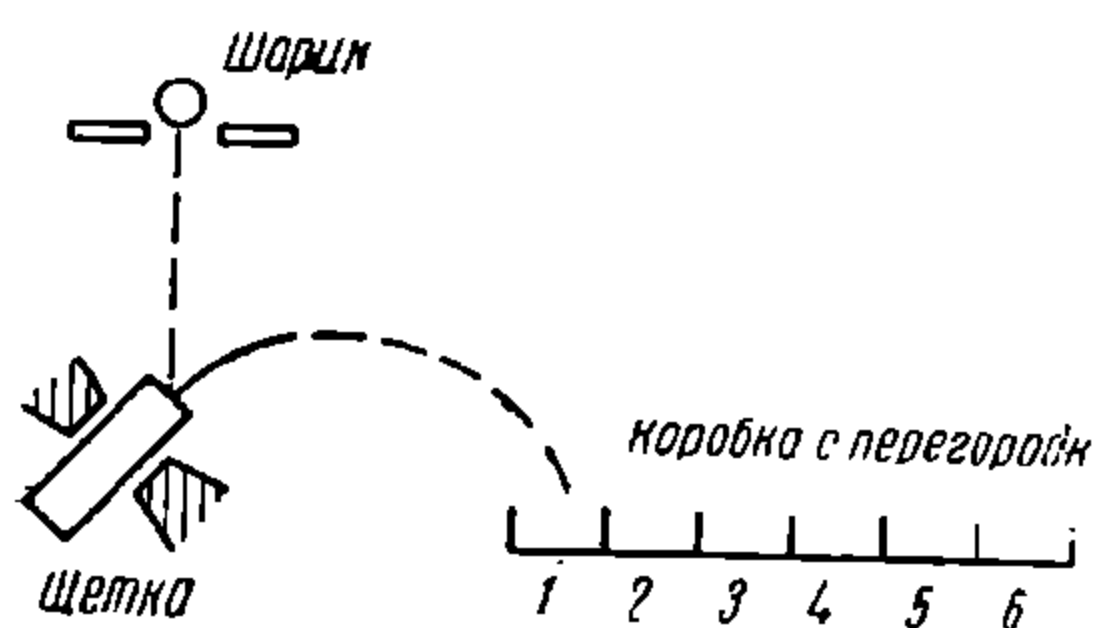
9. ЩЕТКИ. ЩЕТКОДЕРЖАТЕЛИ

Физические свойства щеток приведены в табл. 38.

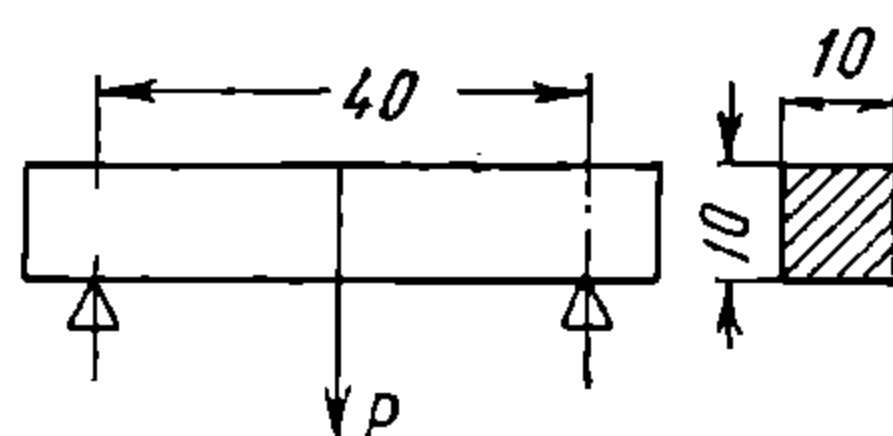
Уд. давление для ТД выбирается на 50—75% выше, чем это указывается в табл.

Общие указания для выбора сводятся к след.: чем тяжелее коммутация, тем больше д. б. уд. сопротивление и к-тное падение напряжения (твердые щетки). Отсюда следует, что для в/в машин должны применяться твердые щетки, для н/в — мягкие. При больших окружных скоростях на коллекторе коэф-т трения д. б. по возможности малым. Для ТД постоянного тока обычно употребляются щетки марок «Г2», «Г1», «Г2», «Г3».

Размеры щеток согласно стандарту ВЭТ № 1 приведены в табл. 39. С 1 января 1936 г. количества размеров, входящих в стандарт, сокращено (табл. 40). При проектировании новых машин м. б. выбраны размеры лишь согласно табл. 41. Допуски на обработку щеток даются в табл. 42.



Фиг. 93



Фиг. 94

Приемочные испытания щеток, проводимые немецкими гос. ж. д., заключаются в след.: а) проверка размеров, б) испытание твердости — это испытание производится на аппарате очень простой и дешевой конструкции (фиг. 93); твердость определяется по дальности отскока стального каленого шарика, в) прочность на излом. Испытание производится над бруском сечением 10×10 мм (фиг. 94).

Напряжение изгиба в материале определяется ф-лой:

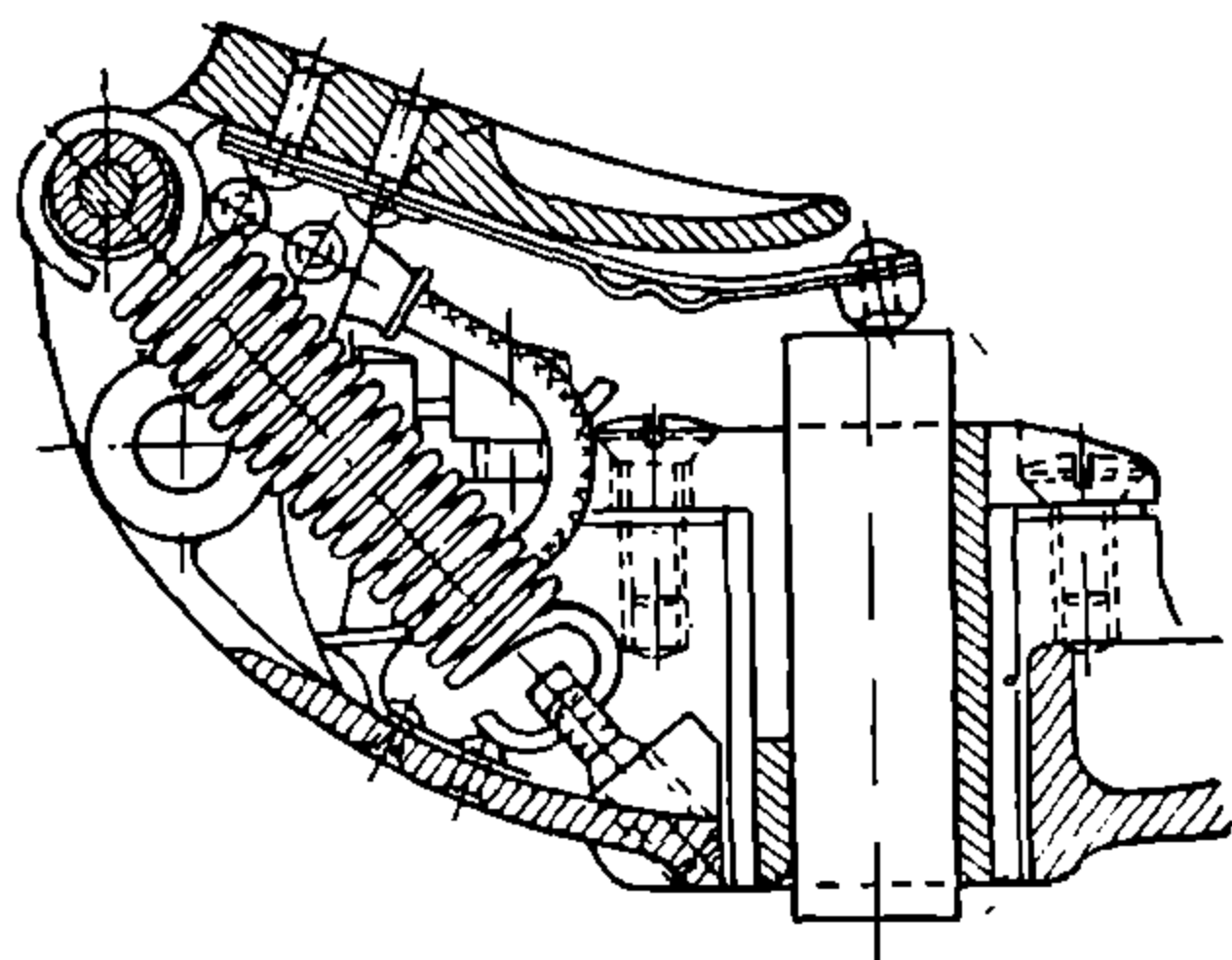
$$K_b = 6P,$$

где P — нагрузка в кг.

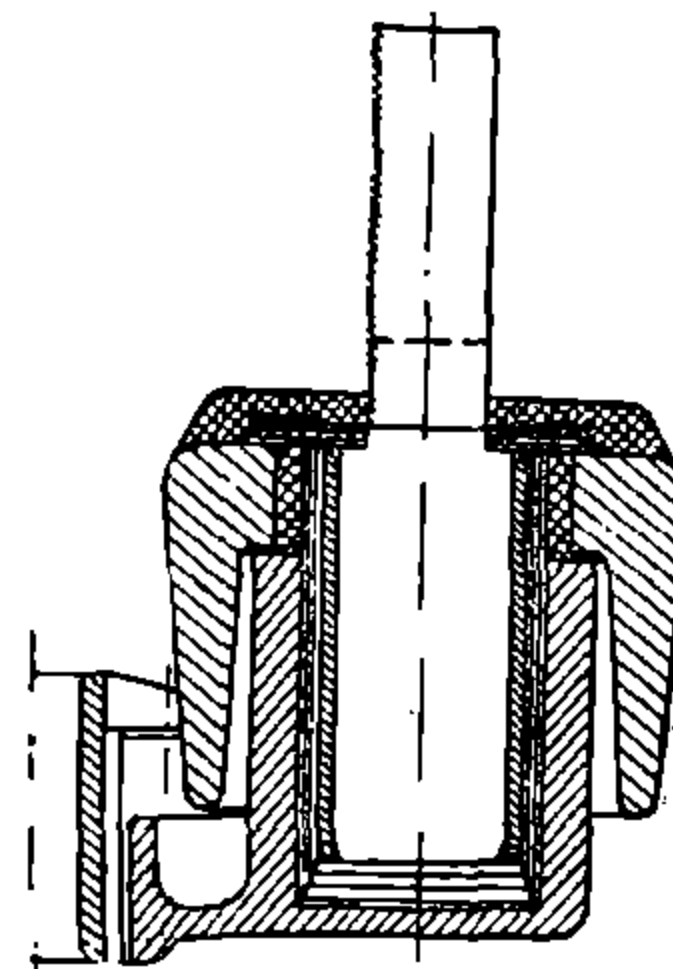
Щеткодержатели. Основные требования, предъявляемые к щеткодержателю ТМ: 1) достаточно жесткая конструкция самого щеткодержателя; 2) постоянство нажима на щетку независимо от износа щетки; 3) эластичная передача давления от главной пружины к щетке; 4) хорошие антикоррозийные качества материала.

Постоянство нажима при износе щетки достигается такой конструкцией нажимного кольца, при к-рой по мере опускания щетки плечо от оси вращения до точки прижима

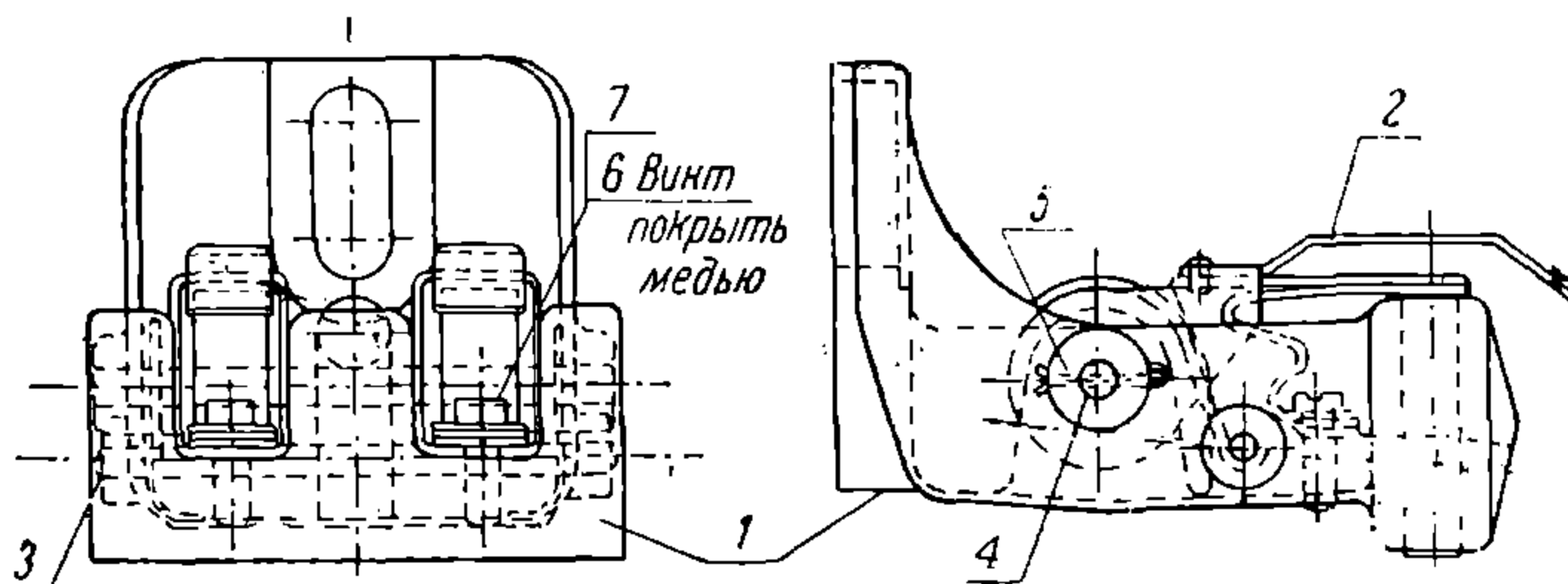
щетки уменьшается, в то время как плечо от оси вращения до точки зацепления пружины увеличивается. В результате, несмотря на уменьшающееся усилие пружины, давление на щетку не изменяется.



Фиг. 95



Фиг. 96



Фиг. 97

Пружина д. б. тщательно шунтирована, чтобы предотвратить прохождение тока по ней и отпуск ее. Давление на щетку см. стр. 97. У однофазных многополюсных ТД щеткодержатели крепятся на кольце, к-рое по разъединении 2 треншальтеров м. б. повернуто на полный оборот, давая удобный осмотр и смену щеткодержателей через 1 люк. Типовые конструкции щеткодержателей — фиг. 95—97.

10. ПОДШИПНИКИ. УПЛОТНЕНИЯ

В ТД применяются якорные скользящие подшипники и подшипники качения. По вопросу о преимуществе того или др. типа нет определенного мнения. В то время как европейская практика на легкие, быстроходные моторы индивидуального привода ставит подшипники качения, американские фирмы даже для моторов этого типа применяют скользящие подшипники. Для смазки этих скользящих подшипников применяются специальные буксы с постоянным уровнем смазки, дающие интенсивную равномерную смазку. При этих буксах и высокого качества баббите м. б. допущены столь высокие характеристики грения, что размеры скользящего подшипника получаются относительно небольшими, и подшипник м. б. встроен в тот же габарит, что и подшипник качения. Основное преимущество подшипников качения заключается в сокращении до минимума ухода за подшипником и в возможности выбора минимальных воздушных зазоров (у ТД переменного тока). Конструкция буксового щита упрощается. Недостатки подшипников качения заключаются в необходимости очень точного и чистого монтажа.

Нагрузка с толчками и ударами, имеющая место в тяге, требует тщательного подбора материала и термообработки, чтобы не получить слишком «сухих» роликов (или шариков) с склонностью к растрескиванию.

КАТЕ
ДНУЗТ

Табл. 38. Физические и электрические

Марка	Род тока	Твердость по Шору	Уд. эл. сопротивление Ω мм ² /м	К-тное (переходное) падение напряжения ΔE	Допустимая плотность тока А/см ²	Коэф-т трения f
					Угольно-графит	
Т1	<u>Постоянный</u> <u>Переменный</u>	50—70	40—60	Очень высокое	4,5	Высокий
Т2	<u>Постоянный</u> <u>Переменный</u>	40—55	40—60	Высокое	5	Высокий Графитные
Г1	<u>Постоянный</u> <u>Переменный</u>	35—50	30—45	Высокое	6	Высокий
Г2	<u>Постоянный</u> <u>Переменный</u>	30—45	24—35	Высокое	8	Средний
Г3	<u>Постоянный</u> <u>Переменный</u>	25—37	10—12	Высокое	10	Средний
Г4	<u>Постоянный</u> <u>Переменный</u>	10—18	10—20	Среднее	12	Низкий

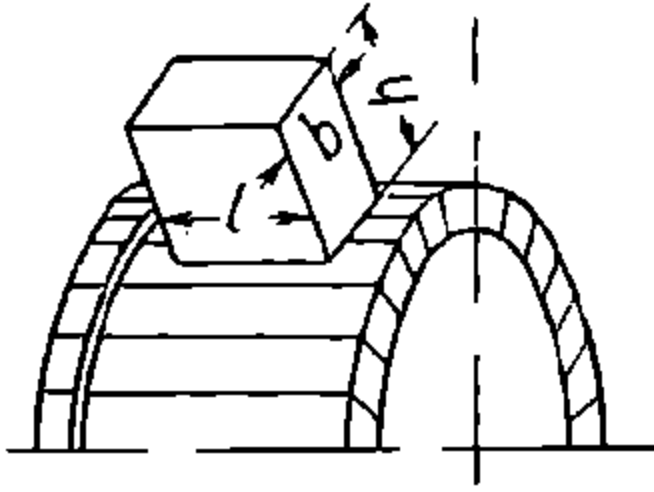
свойства щеток завода «Электроугли» ВЭТ

Допустимая линейная скорость <i>м/сек</i> <i>v</i>	Рекомен- дуемое нажатие <i>г/см²</i> <i>g</i>	Примечание
10	240—320	<p>Представляет собой угольно-графитную щетку с высоким уд. и переходным сопротивлениями.</p> <p>Применяется на коллекторах эл. машин постоянного тока, гл. обр. при напряжении в 220 В и выше и переменного тока при напряжении в 110—440 В.</p> <p>Широкое применение имеет на ТД с добавочными полюсами, особенно при тяжелых условиях коммутации, на машинах без добавочных полюсов, в крановых дв-лях, в дв-лях для подъемников, дв-лях для прокатных станков, компрессоров, в шахтных и рудничных моторах при напряжении выше 80 В, на одноякорных преобразователях со стороны постоянного тока, а также на коллекторных дв-лях переменного тока.</p>
12 15 20	240—320 200—240 160—240	<p>Представляет собой графитную щетку высокой твердости, с большим уд. и переходным сопротивлениями.</p> <p>Применяется на коллекторах нормальных эл. машин, динамо и моторов постоянного и переменного тока при напряжении 110—440 В.</p> <p>Для ТМ с добавочными полюсами пригородных ж. д., метрополитена, трамвая, при напряжении в 550—1500 В, для электрокаров и др. транспортных дв-лей (крановые подъемники), для сварочных генераторов, динамо для освещения поездов, дв-лей для прокатных станков, для шахтных моторов напряжением до 80 В, для одноякорных преобразователей со стороны постоянного тока. Применяется также для однофазных и многофазных коллекторных дв-лей переменного тока, для универсальных, вентиляционных дв-лей переменного тока, а также для к-тов в аппаратах постоянного и переменного тока.</p> <p>Представляет собой графитную щетку средней твердости, средней проводимости.</p> <p>Применяется в динамомашинах и моторах постоянного тока при напряжении 110—440 В. Кроме того иногда применяется для ТД при хорошей коммутации и средних плотностях тока.</p> <p>Употребляется также на коллекторах возбуждителей генераторов переменного тока, для прокатных дв-лей небольших мощностей и в качестве к-тов в эл. аппаратах.</p>
25	120—200	<p>Представляет собой мягкую графитную щетку, обладающую высокой эл-проводностью, малым переходным сопротивлением и хорошей шлифующей способностью.</p> <p>Применяется с одинаковым успехом как на коллекторах эл. машин постоянного тока, так и на кольцах машин переменного тока. При постоянном токе применяется на машинах с напряжением до 220 В, на возбуждителях турбогенераторов, на коллекторах турбогенераторов постоянного тока при относительно небольших окружных скоростях, а также на генераторах и дв-лях для мощных прокатных станков.</p> <p>Кроме того применяется в одноякорных преобразователях, в сварочных генераторах постоянного тока, в генераторах для автотракторного эл. оборудования и в качестве к-тов.</p> <p>При переменном токе применяется на кольцах турбогенераторов при относительно небольших линейных скоростях, на кольцах гидрогенераторов и др. синхронных машин переменного тока.</p> <p>Употребляется также на коллекторных дв-лях переменного тока и при небольших силах тока на кольцах асинхронных дв-лей с подъемными и даже постоянно налегающими щетками.</p>
30	120—160	<p>Представляет собой очень мягкую графитную щетку с хорошими смазывающими свойствами.</p> <p>Применяется в большинстве случаев на кольцах генераторов переменного тока при средних линейных скоростях и средних нагрузках.</p> <p>Употребляется также на возбуждителях.</p>

НТБ
ДНУЗТ

Табл. 39. Размеры щеток для электрических машин

Стандарт ВЭТ № 1



b (толщина) — размер щетки в направлении окружности коллектора
l (ширина) — размер щетки в направлении оси коллектора
h (высота) — размер щетки в направлении радиуса коллектора

Примечание. Для щеток, работающих на кольцах применение указанного обозначения необязательно для размеров *b* и *l*. Размеры в см.

		<i>h</i>									
<i>b</i>	<i>l</i>	4	8	12	16	20	25	32	35	40	50
3	9				16						
4	10	4									
	11					20					
5	5			12	16	20					
	6			12	16						
	6,5				16	20					
	7				16	20					
	8		8		16	20		32			
	10							32			50
	12						20				50
5,6	20					20					
	22						20	25			
	24							32			
	25									40	50
6	6							32			
	7					20		32			
	10					20	25	32			
	14					20				40	
	15					20		32			
	16									40	
	18										50
6,5	8			12		20		32			
	10				16		25				
	12,5					20	25				
	19					20					
	20					20		32			
	25					20					
7	7				16						
	12					20	25				
	18							32			
	20					20	25	32			

		<i>h</i>									
<i>b</i>	<i>l</i>	12	16	20	25	32	35	40	50	60	70
8	8			20		32					
	10			20	25	32					
	12				25	32					
	12,5			20	25	32					
	13			20		32			50		
	15				25	32					
	16			20	25	32			50		
	20			20	25	32		40			
	21			20	25						
	22			20	25	32					
	23			25	25	32					
	25			20	25	32			50		
	28							40			
	30							40			
	32								60		
	35									50	
40										50	

		<i>h</i>									
<i>b</i>	<i>l</i>	12	16	20	25	32	35	40	50	60	70
9	12					32			50		
	15					32					
	16				25						
	19	12									
	20					32					
	25					32			50		
	28				25						
	30								50		
	32								50		
	33								50		
	38									60	
	40								50		
	45								50		
	50									60	
	57								50		
	64									60	
9	20							40			
	32								50		
	38								50		
	10		16	20	25	32		40			
	12			20		32		40			
	12,5			20		32		40	50		
	13					32		40	50		
15				25	32		50				
16		16	20	25	32		40				
17							40				
18					32		50				
20				25	32	35	40	50	60		
22					32						
23					32						
24			20		32		40				
25				25	32		40	50	60		
27					32						
28				25	32		50				
29				25							
30					32		40		60		
32				25	32		50		60		
34							50				
35					32		60				
40							40	50	60		
50								50	60		
11	25							40			
	28										
	30								50		
	32								50		
	34										
	35										
	12										
	14							40			
	15		16					40			
	16			20							
18				25				50			
20			20					50			
22							40		60		
24							40				
25							32	40	50	60	
28						25		50			
30							32	40	50	60	
31								50			
32							32		50	60	
35							32		50		
36							32		40		

ДРУЗТ

Продолжение табл. 39

b	l	h									
		12	16	20	25	32	35	40	50	60	70
12	38								60		
	40							40	50	60	70
	43									60	
	46									60	
	50									60	
	60										70
12,5	65										70
	12,5					32					
	16					32			50		
	20				25	32		40	50		
	25					32		40	50		
	32				25	32		40	50	60	
	38									60	
	39									60	
	40								50	60	
	50								50	60	
13	13							40			
	15		16		25	32		40	50		
	16			20	25						
	18					32					
	20		16	20		32		40			
	25					32			50		
	30								50		
	32							40	50	60	
	35						32			60	
	38									50	
	40									60	
	50									60	
	55									60	
	58								50	60	
14	60									70	
	63									70	
	64							50			
	16			20	25						
	18										70
	20				25				50		
	24	12									
	25					32		40			
	30									60	
	35							40			
15	40									70	
	50									60	
	15					32					
	16			20				40			
	17									60	
	18					32		40	50	60	
	20		16			32			50		
	22								50		
	25					32			50		
	28								50		
	30							40	50	60	70
	32								60		
	34								60		
	35								50		
40								50			
16	43									70	
	44									60	
	45					32				60	
	50									60	
	16			20		32					
	18									60	
	20				25				50		
	22			20					50		
	25				25	32		40	50		
	30						35	40	50		
	31									60	
	32				25	32		40	50	60	70
	34									60	
	36									60	
38								50			
40							40	50	60		
44					32	35					
45									60		
50								50	60	70	
58								50	60		
60									60	70	
64								50			

b	l	h										
		12	16	20	25	32	35	40	50	60	70	
17	19									50		
	20					32						
	28									50		
	30										60	
	32										60	
	47										60	
	20						32		40	50		
	22					25	32					
	24									50		
	25						32			50		
18	30								50	60		
	32								50			
	33								50			
	34									60		
	35									60		
	38								50			
	44								40			
	45									50		
	60						32					
	20						32					
19	22					32						
	28	12				25				50		
	30								50			
	31									60		
	32								50	60	70	
	20						25	32				
	22						32					
	25						32		40	50	60	
	26						32			50		
	28											
20	29						32					
	30					25	32	35	40	50		
	32						32		50	60	70	
	34						32		50			
	35						25		40	50	60	
	38									60		
	40								40	50	60	
	50									50	60	
	60									50	70	
	21										70	
22	22										70	
	25						25					
	27							32				
	28							32		50		
	30							25	35	50	60	
	31									60		
	32									60		
	35							32		50		
	38								40			
	40									60		
23	28								50			
	30						32		50			
	38						32					
	23,5									60		
	30							32				
	40									60		
	25							32		50	60	
	30							32	35	50	60	
	32						25	32	35	50	60	
	35							32		50		
25	40								40	50	60	
	45									60		
	50									60	70	
	65										70	
	30									50		
	26								32			
	38											
	40								40			
	27								40			
	30											
28	28							32				
	32									50	60	
	30							25	32	35	40	
	38								32			
	40									50		
	32							25	32			
	28											
	30											
	38											
	40											
32	32							25	32			
	40									50		
	32								25	32		
	40									50	60	

ИТБ
ДУЗТ

Табл. 40. Размеры щеток для электрических машин, обязательные с 1 января 1936 г.

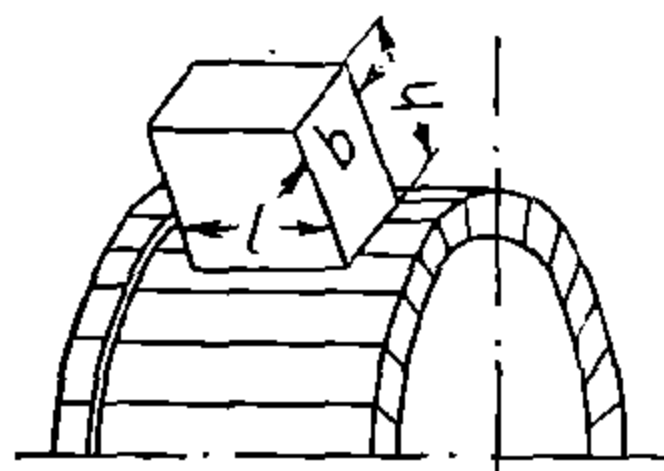
		h									
b	l	4	8	12	16	20	25	32	35	40	50
4	10	4			16						
	11					20					
	5			12	16	20					
5	6,5				16	20					
	7				16	20					
	8		8		16	20		32			
	10					20		32			
	20					20		32			
5,6	22					20					
	24					20					
	25							32			
	40								40	50	
6	7					20		32			
	10					20					
	14					20					
6,5	20							32	40		
	8			12		20					
	10				16		25				
	12,5					20	25				
7	19					20					
	20					20					
	40								40		
	20					20					
8	22					20					
	8					20					
	10					20	25				
	12					20	25	32			
	12					20	25	32			
	16					20	25				
	20					20	25				
9	22					20	25				
	25					20	25				
	30								40		
	40									50	
	15			12							
9,5	19							32		50	
	25									50	
	30									50	
10	38									50	
	64									50	
	10				16	20	25		40		
	12,5					20		32	40		
	13							32		50	
	15						25	32		50	
	16				16		25	32		50	
12	18						25	32		50	
	20						25	32	35	40	50
	24					20		32		40	
	25						25	32		40	50
	28				25	32			50		
	30					32		40		60	
	32				25	32			50	60	
35					32				60		
40							40	50			
50									60		
60										60	

		h									
b	l	12	16	20	25	32	35	40	50	60	70
12	15		16	20		32		40			
	20			20		32			50		
	25					32		40	50	60	
	28				52				50	60	
	30					32			50	60	
	32					32			50	60	
	35					32			50	60	
	36					32			40		
	40							40		60	70
	45								40		60
	60									60	70
	65										70

		h									
b	l	12	16	20	25	32	35	40	50	60	70
12,2	12,5					32					
	20				25	32		40			
	25							40	50		
	32				25	32		40	50	60	
	38									60	
	40									60	
	50									60	
13	15		16		25	32			50		
	20			20		32		40	50		
	30								50		
	30								50		
	32							40		60	
14	40									60	
	55									60	
	58									60	
	64								50		
15	16				25						
	18										70
	30									60	
16	15							32			
	18							32		50	
	20							32		50	
	25							32		50	
	28									50	
	30								40	60	70
	32									60	
	40								50		
	45							32		60	
	50									60	
17	16			20		32			50		
	20				25				50		
	22			20					50		
	25				25	32		40	50		
	30							35	40	60	
	32						25	32	40	50	60
	34								40	60	70
	35								40	60	
	40								40	50	60
	44							32	35		
18	45									60	
	50									60	
	50								50	65	70
	60								50	60	70
	47									60	
	20									50	
19	24							25	32		
	25								32		
	30									50	60
	32									50	
	34									50	60
20	38									50	
	45									50	
	30							25	32	35	
	32								32		
21	28									40	60
	30							25	32		
	32								32		
22	30							25		35	
	32									50	60
23	40										60
	38										60
25	25								32		
	30								32	35	
	32								32		
27	40									40	
	50										60
30	30							25	32	35	
	32								25	32	
32	40										60
	40										60

ДНУЗТ

Табл. 41. Размеры щеток, обязательные при проектировании новых конструкций электрических машин



b (толщина) — размер щетки в направлении окружности коллектора.
l (ширина) — размер щетки в направлении оси коллектора,
h (высота) — размер щетки в направлении радиуса коллектора.

Примечание. Для щеток, работающих на кольцах, применение указанного обозначения необязательно для размеров *b* и *l*.

			<i>h</i>								
<i>l</i>	<i>b</i>	<i>l</i> × <i>b</i>	8	12	16	20	25	32	40	50	60
5	5	0,25	—	12	16	20	—	—	—	—	—
6,5	5	0,32	—	—	16	—	—	—	—	—	—
8	5	0,40	8	—	16	20	—	—	—	—	—
	6,5	0,52	—	12	—	20	—	32	—	—	—
10	8	0,64	—	—	—	20	—	32	—	—	—
	6,5	0,65	—	—	16	—	25	—	—	—	—
12,5	8	0,80	—	—	—	20	25	32	—	—	—
	10	1,00	—	—	16	20	25	—	40	—	—
16	6,5	0,81	—	—	—	20	25	—	—	—	—
	8	1,00	—	—	—	20	25	32	—	50	—
20	10	1,25	—	—	—	20	—	32	40	—	—
	12,5	1,56	—	—	—	—	—	32	—	—	—
25	8	1,28	—	—	—	20	25	32	—	—	—
	10	1,60	—	—	16	—	25	32	—	—	—
32	16	2,56	—	—	—	20	—	32	—	50	—
	5	1,00	—	—	—	20	—	32	—	50	—
40	6,5	1,30	—	—	—	20	—	32	—	—	—
	8	1,60	—	—	—	20	25	32	40	—	—
50	10	2,00	—	—	—	—	25	32	40	50	—
	12,5	—	—	—	—	—	25	32	40	—	—
60	16	3,20	—	—	—	—	25	—	—	50	—
	20	4,00	—	—	—	—	—	32	—	50	—
70	8	2,00	—	—	20	25	32	—	—	50	—
	10	2,50	—	—	—	25	32	40	50	—	—
80	12,5	3,10	—	—	—	—	—	—	40	50	—
	16	4,00	—	—	—	25	32	40	50	—	—
90	20	5,00	—	—	—	—	—	32	40	—	60
	25	6,25	—	—	—	—	—	32	—	50	60

			<i>h</i>							
<i>l</i>	<i>b</i>	<i>l</i> × <i>b</i>	16	20	25	32	40	50	60	70
32	10	3,2	—	—	25	32	—	50	60	—
	12,5	4,0	—	—	25	32	40	50	60	—
	16	5,1	—	—	25	32	40	50	60	70
	20	6,4	—	—	—	32	—	50	60	70
	25	8,0	—	—	—	32	—	50	60	70
40	32	10,0	—	—	25	32	—	—	60	—
	6,5	2,6	—	—	—	—	40	50	—	—
	10	4,0	—	—	—	—	—	50	—	—
	12,5	5,0	—	—	—	—	—	—	60	—
	16	6,4	—	—	—	—	40	50	60	—
50	20	8,0	—	—	—	—	40	50	60	—
	25	10,0	—	—	—	—	40	—	60	—
	32	12,8	—	—	—	—	—	—	60	—
60	12,5	6,25	—	—	—	—	—	—	60	—
	16	8,0	—	—	—	—	—	50	60	70
	20	10,0	—	—	—	—	—	50	60	—
	25	12,5	—	—	—	—	—	—	60	70
70	10	6,0	—	—	—	—	—	—	60	—
	16	9,6	—	—	—	—	—	50	60	70
	20	12,0	—	—	—	—	—	50	—	70

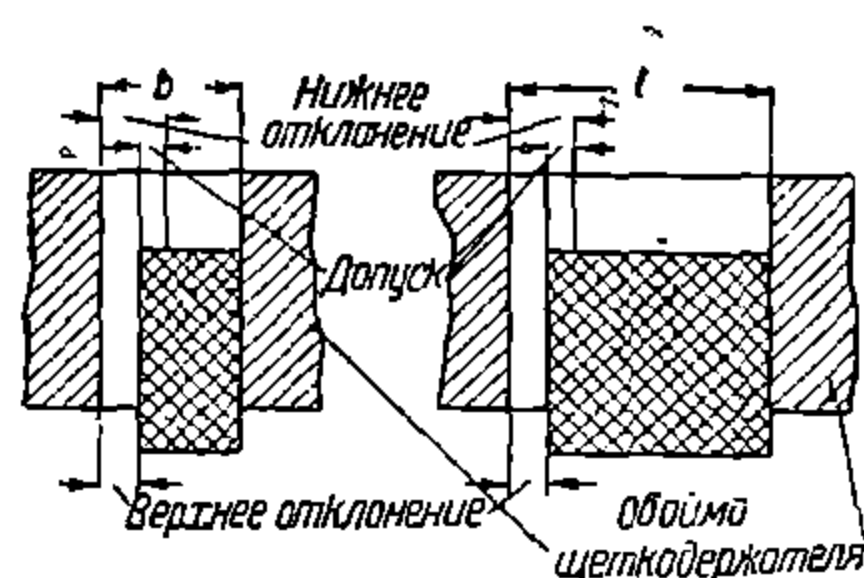


Табл. 42. Допуски на обработку щеток

Класс точности		А				Б			
		<i>b</i>		<i>l</i>		<i>b</i>		<i>l</i>	
Номинальный размер		до 16 мм	выше 16 мм	до 20 мм	выше 20 мм	до 16 мм	выше 16 мм	до 20 мм	выше 20 мм
Верхнее отклонение	мм	-0,05	-0,15	-0,10	-0,20	-0,10	-0,15	-0,20	-0,20
Нижнее отклонение	мм	-0,15	-0,30	-0,20	-0,35	-0,25	-0,35	-0,35	-0,40
Допуск	мм	-0,10	-0,15	-0,10	-0,15	-0,15	-0,20	-0,15	-0,20

Для высоты *h* допуск устанавливается $b \pm 1$ мм

Примечания. 1. По классу точности А изготавливаются только специальные типы щеток (для автотракторных эл. машин, радиомашин и реверсивных дв-лей) при соответствующем требовании потребителя.

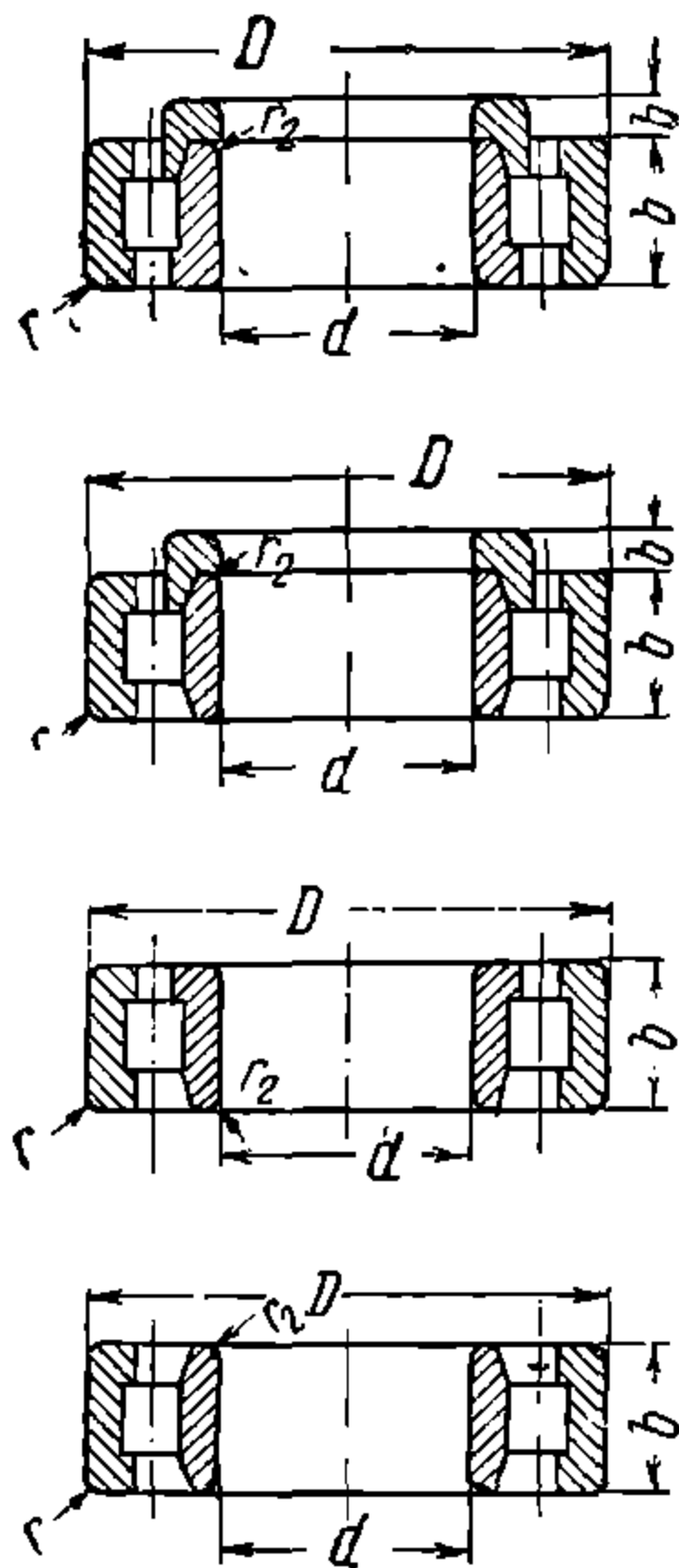
2. Щетки типов «Ф3», «Ф4», «Ф5», «Ф6», «Ф7» и «Ф8», укрепляемые в щеткодержателе неподвижно, изготавливаются с допуском по размерам *b* и *l* $\pm 0,3$ мм.

НТБ
ДНУЗТ

Вообще можно считать, что применение подшипников качения безусловно целесообразно для моторов с отношением мощности к числу оборотов (момент): $\frac{k\omega}{n} \leq 1$ при числе оборотов от 500 и выше в минуту.

Моторно-осевые подшипники (трамвайный привод), подшипники полого вала и т. д. — скользящие, т. к. здесь требуется разъем подшипников.

Подшипники качения применяются преимущественно роликовые, с цилиндрическими роликами и с закрытым (фиг. 98) наружным кольцом. Эти подшипники дают возможность отдельного монтажа внутреннего кольца, что в высокой степени упрощает сборку и разборку ТД. Буксовый щит снимается вместе с наружным кольцом подшипника, роликами и сепаратором; на валу остается внутреннее кольцо. Для аксиальной фиксации внутренние кольца снабжаются бортами и съемными упорными шайбами.



Фиг. 98

Зазор между бортами и роликом должен обеспечивать аксиальную игру вала $\pm 1,5$ мм. При 2-сторонней передаче с косым зубом для возможности установки одинаковых давлений на зубцы обеих передач требуется аксиальная игра ± 3 мм. Кроме того этот зазор компенсирует тепловые расширения вала. Подшипники этого типа допускают незначительную аксиальную нагрузку, т. к. эта нагрузка вызывает трение скольжения торца ролика о борт и значительный износ. В ТД при передаче с прямым зубом аксиальная нагрузка появляется от центробежной силы якоря при проходе кривых и от неточностей зубчатых передач. Величина ее в обоих случаях очень незначительна, почему при выборе подшипника (см. ниже) ее можно не учитывать.

При односторонней передаче с косым зубом аксиальная нагрузка д. б. учтена. В этом случае ее несет мало нагруженный подшипник со стороны, противоположной шестерне.

Выбор подшипника (по ОСТ 6799) заключается в установлении таких размеров его, к-рые при данной нагрузке обеспечат подшипнику желаемую долговечность. Под долговечностью понимается количество часов, к-рое проработают не менее 90% подшипников на испытательном стенде при данной нагрузке до появления признаков усталости материала, — выкрашивания, шелушения.

Выбор определяется: 1) величиной и направлением нагрузки (радиальная, аксиальная, комбинированная); 2) характером нагрузки (спокойная, ударная); 3) числом оборотов вращающегося кольца; 4) требуемой долговечностью.

Связь между указанными факторами дается ϕ -лой (для радиальных и радиально-упорных подшипников):

$$Q (n \cdot h)^{0,3} = C,$$

где: Q — условная нагрузка в кг, n — число об/мин., h — долговечность в часах, C — коэф-т работоспособности (см. приложение ОСТ), установленный опытным путем и зависящий от типа, размеров и качества подшипника.

Условная нагрузка дается ϕ -лой:

$$Q = (R + mA)K_5K_k,$$

где: R — фактическая радиальная нагрузка; для ТД R — реакция в подшипнике при длительном режиме, A — фактическая аксиальная нагрузка, m — коэф-т, переводящий аксиальную нагрузку в эквивалентную по долговечности радиальную и равный для цилиндрических роликов $3 \div 4$; K_5 — коэф-т, учитывающий характер нагрузки (табл. 43); для ТД он м. б. принят равным 2; K_k — коэф-т, зависящий от того, вращается ли внутреннее или наружное кольцо; при вращении внутреннего кольца он равен 1.

Для роликоподшипников с короткими цилиндрическими роликами аксиальная нагрузка может вовсе не учитываться, если она не превышает: $0,016C$ кг для постоянной осевой нагрузки, $0,022C$ кг — для непостоянной, но часто действующей осевой

нагрузки, 0,043С кг—для редко действующей осевой нагрузки. Для ТД при передаче с прямым зубцом и 2-сторонней передаче с косым зубцом аксиальная нагрузка может не учитываться.

Табл. 43

Характер нагрузки	K_6	Характер нагрузки	K_6
Постоянная, спокойная	1	Со значительными толчками или вибрацией	2
Со слабыми толчками	1,5	Ударная с сильными частыми толчками	3

В табл. 45 приведены допускаемые нагрузки при 250 об/мин. и долговечности 500 ч. для роликоподшипников фирмы Фишер (Германия).

Для определения нагрузок, дающих эту же долговечность при др. числе оборотов, следует указанные в каталоге нагрузки умножить на коэф-т табл. 45. Долговечность в зависимости от соотношения между указанной в каталоге нагрузкой и условной по ф-ле дается в табл. 44.:

$$n = \frac{Q}{N},$$

где: Q — условная нагрузка, N — указанная в каталоге.

Табл. 44. Коэффициент срока службы

Срок службы в часах	500	1500	3000	5000	10000	15000	25000	50000
Коэф-т срока службы	1	1,35	1,65	2	2,5	2,85	3,35	4

М о н т а ж. Внутреннее кольцо сажается с натягом непосредственно на вал без промежуточных втулок. Отклонения в размерах вала см. ОСТ 6120. Напрессовка внутреннего кольца на вал может производиться с подогревом кольца. В этом случае внутреннее кольцо нагревается в масляной ванне до 70—80° Ц. Не следует переходить указанных темп-р, т. к. хромистая сталь, из к-рой сделаны кольца, отпускается при относительно низких темп-рах.

Посадка внутреннего кольца д. б. во всяком случае такой, чтобы гарантировать кольцо от проворачивания по валу, т. к. в этом случае получается сильный нагрев поверхностей вала и кольца.

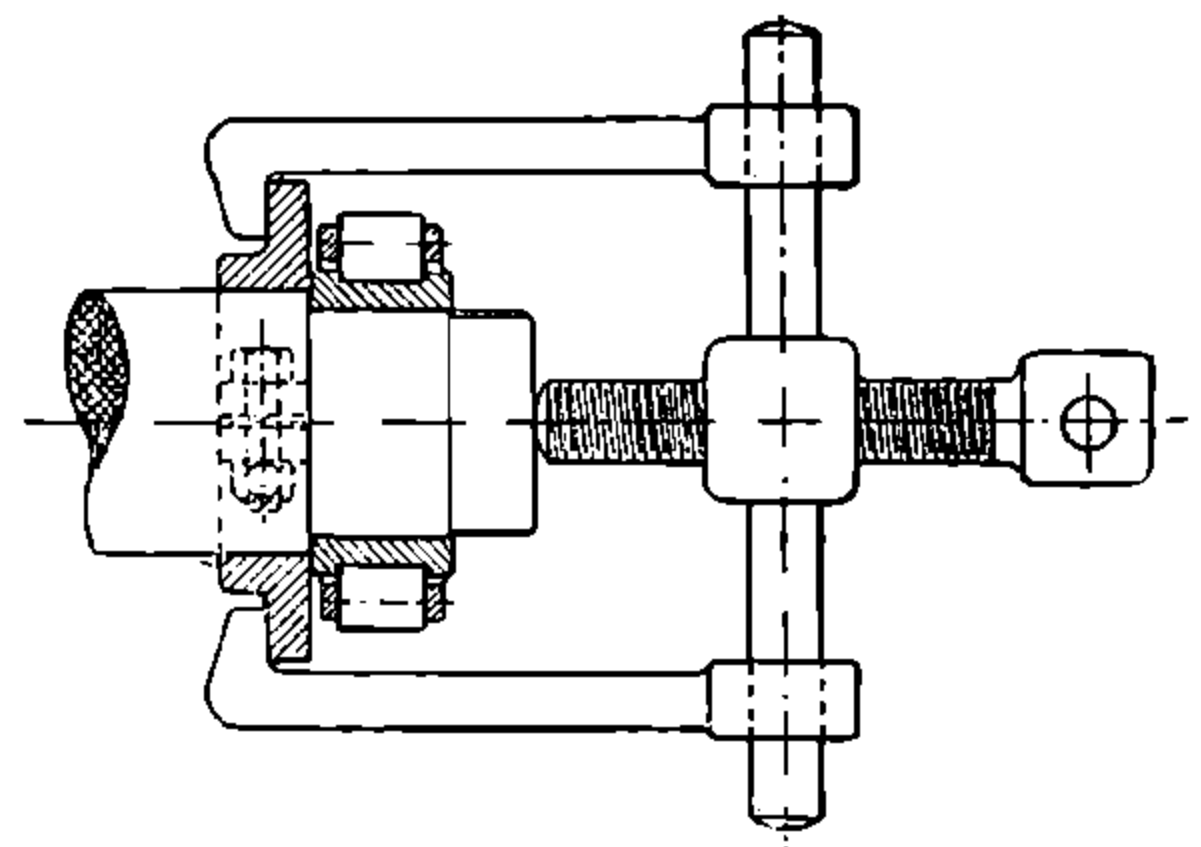
Посадка наружного кольца в щит по характеру приближается к «глухой». Отклонения в размерах расточки щита д. б. взяты по ОСТ/ВКС 6120.

Запрессовка наружного кольца м. б. произведена с предварительным нагревом щита. Демонтаж подшипника производится с помощью экстракторов в роде изображенного на фиг. 99. При монтаже следует избегать непосредственных ударов по кольцам.

Загрязненный подшипник промывается чистым бензином, но отнюдь не керосином. Перед монтажом подшипники смазываются.

С м а з к а подшипников качения кроме обычных ф-ий смазки имеет целью защиту полированных поверхностей от коррозии. Эти ф-ии накладывают особые условия на состав смазки.

В качестве смазки применяются чистые, свободные от к-т минеральные мазь или масло. Смазка не должна содержать графита и по составу должна удовлетворять след.



Фиг. 99

НТБ
ДМУЗТ

Табл. 45. Подшипники Фишера с цилиндрическими роликами
Узкое выполнение

NL NJL NFL NUJL NHL NUL NUPL	Размеры мм			Допу- скаемая нагрузка* кг	NM NJM NFM NUJM NPM NHM NUM NUPM	Размеры мм			Допу- скаемая нагрузка* кг
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>			<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	
17 e	17	40	12	290	20 e	20	52	15	580
20 e	20	47	14	400	25 e	25	62	17	730
25 e	25	52	15	450	30 e	30	72	19	970
30 e	30	62	16	580	35 e	35	80	21	1240
35 e	35	72	17	860	40 e	40	90	23	1490
40 e	40	80	18	1100	45 e	45	100	25	2020
45 e	45	85	19	1170	50 e	50	110	27	2300
50 e	50	90	20	1270	55 e	55	120	29	2960
55 e	55	100	21	1500	60 e	60	130	31	3500
60 e	60	110	22	1830	65 e	65	140	33	3900
65 e	65	120	23	2140	70 e	70	150	35	4380
70 e	70	125	24	2180	75 e	75	160	37	5260
75 e	75	130	25	2600	80 e	80	170	39	5500
80 e	80	140	26	2900	85 e	85	180	41	6500
85 e	85	150	28	3340	90 e	90	190	43	7080
90 e	90	160	30	4220	95 e	95	200	45	7800
95 e	95	170	32	4700	100 e	100	215	47	8760
100 e	100	180	34	5160	105 e	105	225	49	10000
105 e	105	190	36	5760	110 e	110	240	50	11600
110 e	110	200	38	6780	120 e	120	260	55	14060
120 e	120	215	40	7600	130 e	130	280	58	16500
130 e	130	230	40	8100	140 e	140	300	62	18300
140 e	140	250	42	9400	150 e	150	320	65	20000
150 e	150	270	45	10800					

NS NJS NFS NUJS NPS NHS NUS NUPS	Размеры мм			Допу- скаемая нагрузка* кг	NS NJS NFS NUJS NPS NHS NUS NUPS	Размеры мм			Допу- скаемая нагрузка* кг
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>			<i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	
25 e	25	80	21	1220	80 e	80	200	48	8520
30 e	30	90	23	1630	85 e	85	210	52	8700
35 e	35	100	25	2000	90 e	90	225	54	11000
40 e	40	110	27	2600	95 e	95	240	55	11780
45 e	45	120	29	3120	100 e	100	250	58	13060
50 e	50	130	31	3800	105 e	105	260	60	14580
55 e	55	140	33	3880	110 e	110	280	65	16200
60 e	60	150	35	4680	120 e	120	310	72	20400
65 e	65	160	37	5360	130 e	130	340	78	25200
70 e	70	180	42	6800	140 e	140	360	82	27000
75 e	75	190	45	7600	150 e	150	380	85	28400

* Данные допустимой нагрузки представляют наивысшие нагрузки при скорости 250 об/мин. на основании достаточного для многих случаев применения срока службы. Для определения нагрузок при любом числе оборотов следует умножить вышеозначенные числа на сл. множители.

Множитель	2,6	2	1,6	1,3	0,8	0,6	0,45	0,4
Число об/мин.	10	25	50	100	500	1000	2500	5000

ДНЕВ
ДЛУЗТ

требованиям: отсутствие воды, содержание н-т — в масле макс. 0,02%, в мази макс. 0,2%; содержание золы — в масле макс. 0,02%, в мази нормальной с темп-рой капания — 90—95° Ц — макс. 3%; содержание золы: в мази с высокой точкой капли—150° Ц — макс. 4%; отсутствие асфальтового осадка; щелочи — следы; отсутствие смолистых веществ.

Примитивная проверка смазки может заключаться в след.: накапав несколько капель смазки на чисто протертое кольцо и сепаратор, оставляют в теплом помещении на срок около 10 дней. Если по истечении этого срока протереть кольцо (сепаратор), то при хорошей смазке на них не остается пятен.

Применение густой (мази) или жидкой (масло) смазки зависит от конструкции уплотнений, числа оборотов и нагрузки подшипника: чем слабее уплотнения, меньше число оборотов и больше нагрузка, тем более вязкой д. б. смазка. Густая смазка, применяемая в ТД, должна иметь точку плавления не ниже 120° и при нагреве до 150° не должна разлагаться. Данные смазок приведены в табл. 46.

Табл. 46. Смазка роликоподшипников

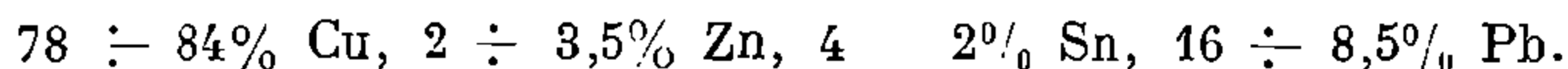
№№	Фирма	Смазка	Вид	Плавление по Убеллоде		Застыва-ние	Мыло	Жиры	Минер. масло	Вода	Зола
				капле-образ.	капле-пад.						
1	Culypsol	Bison Wia	Желтая, на воздухе краснеет . . .	105	150	—6	7,29	1,04	91,07	Нет	2,39
2	»	Culypsol Wia	Волокнистая прозрачная . . .	112	145	—13	8,74	0,59	89,52	0,2	1,65
3	SKF	Мазь SKF	Темнокоричнев. вазелиноподобн.	133	142	—4	18,72	0,57	79,61	Нет	3,09
4	Нефтепром Москва	Осоголин	Желтая слаболокнистая мазь	52	76	—20 ниже	8,83	1,37	86,83	2,7	1,78
5		Стеолин—осоголин	Желтая мазь .	75	120	—20 ниже	18,93	1,53	78,87	1,6	3,5
6	З-д «Стеол»	Стеолин № 1	Розовая мазь . .	83	118,5	—	17,75	7,33	72,48	—	—
7		Стеолин № 2	Розовая мазь	78	127,5	—20 ниже	16,33	2,58	77,89	—	—
8		Стеолин № 3	Розовая мазь	108	150	—20 ниже	17,78	0,362	76,3	—	—

Густая смазка добавляется приблизительно 1 раз в 2 м-ца в количестве 100—150 г, в зависимости от размера букс. Смена смазки—1 раз в год.

Скользящие подшипники ТД имеют вкладыши, залитые баббитом. Для восприятия аксиальной нагрузки заливается также торец вкладыша.

У асинхронных ТД малый воздушный зазор заставляет прибегать к устройству вкладышей из нескольких частей, что дает возможность регулировать положение оси вала по мере износа вкладыша (фиг. 100).

У ТД постоянного тока толщина баббитовой заливки обычно меньше воздушного зазора, что предохраняет якорь от посадки на полюсы при выплавленном или предельно изношенном баббите. В последнем случае будет иметь место трение вала непосредственно о вкладыш. Это соображение заставляет применить в качестве материала якорных и моторно-осевых вкладышей спец. бронзу хим. сост.:



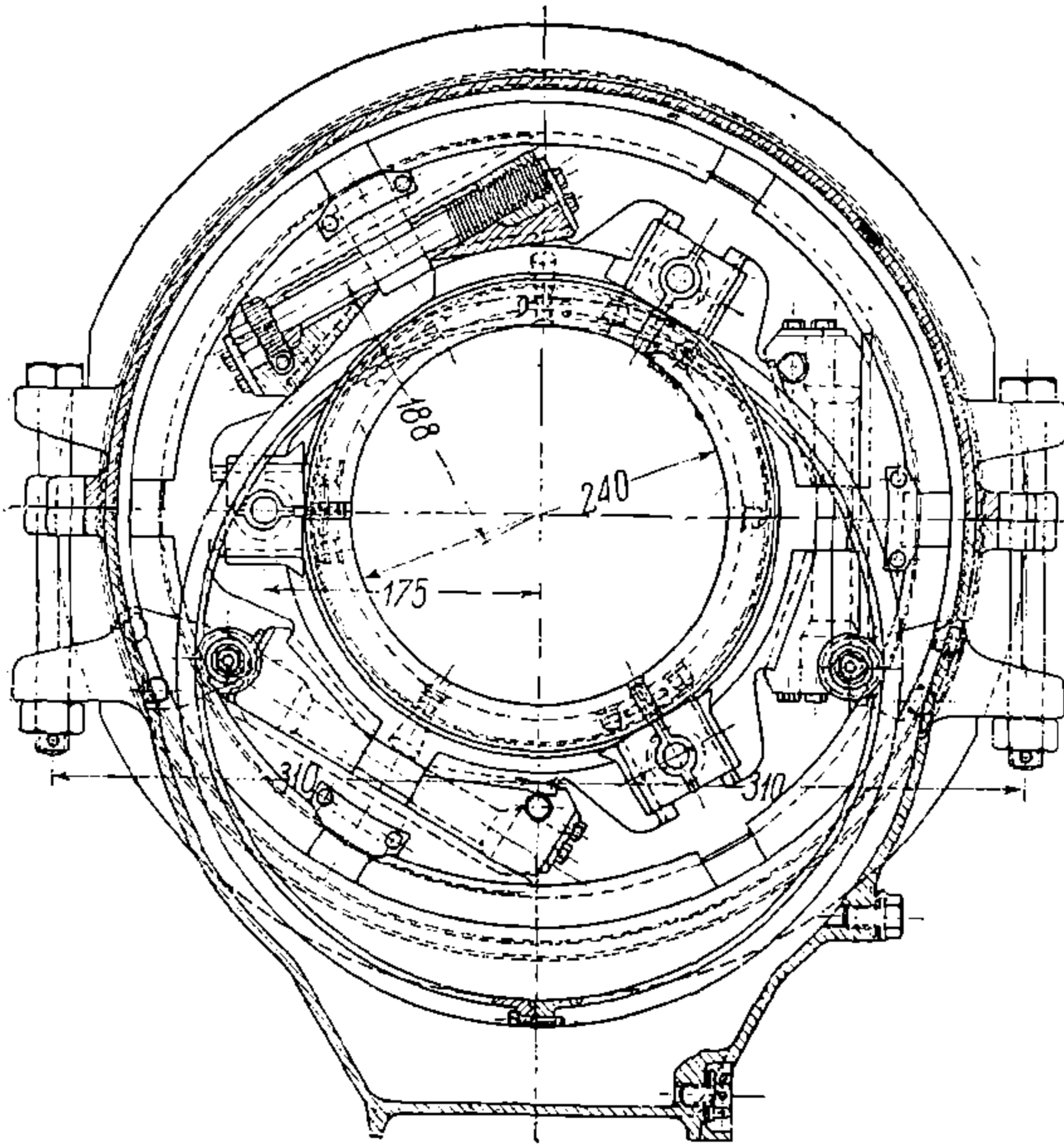
Смазка подшипников полностью обрессоренных ТД производится с помощью колец или фитилей. Полуобрессоренные ТД смазываются фитилями.

Процесс смазки. Неподвижный вал непосредственно соприкасается с поверхностью вкладыша (заливки) (фиг. 101). Имеет место сухое трение. По мере увеличения скорости вращения вал всплывает на смазку, при чем ось вала движется по окружности. Между валом и вкладышем образуется масляный слой, постепенно увеличивающий свою толщину и переводящий трение из сухого при неподвижном вале в полу-

ДРУЗТ

сухое, когда вращающийся вал частично задевает вкладыш, и наконец в желательное жидкостное трение, при к-ром имеет место лишь трение между слоями смазки.

Зазор между валом и вкладышем имеет серповидную форму. Смазка нагнетается вращающимся валом в наиболее узкую часть зазора. В этом месте в масляном слое развивается значительное давление, уравновешивающее нагрузку на подшипник.



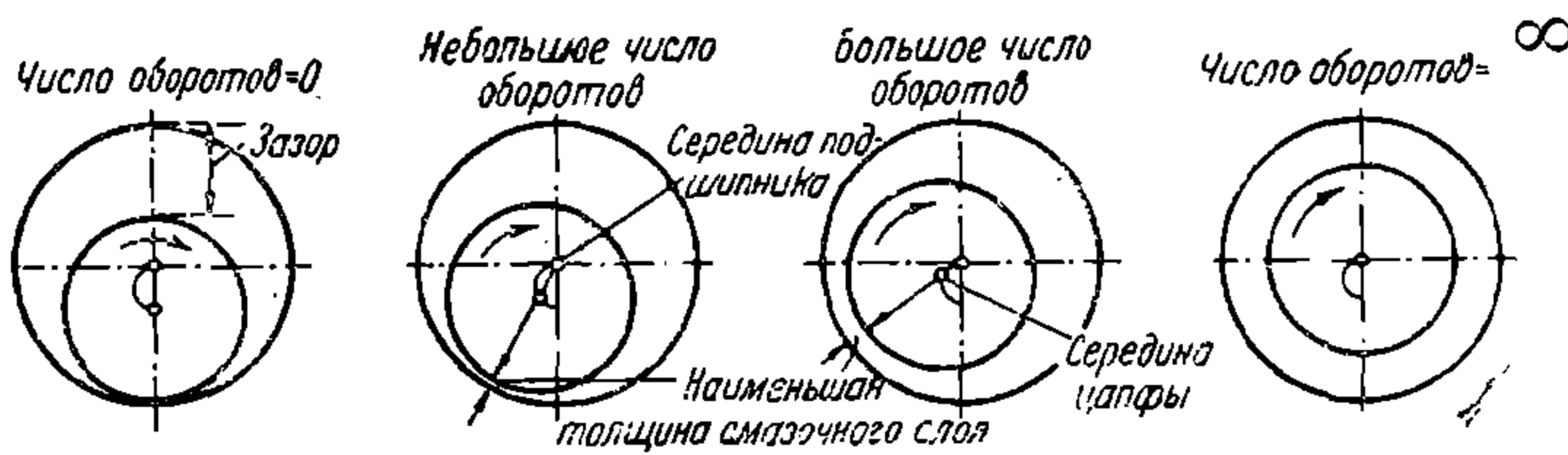
Фиг. 100

Подвод смазки к валу должен производиться в наименее нагруженных местах вкладыша. В этом месте без ущерба для грузоподъемности подшипника м. б. вырезано окно во вкладыше. Кроме того подведенная сюда смазка не будет выдавливаться обратно. Смазочные канавки должны проходить также лишь в ненагруженных местах вкладыша. Смазочные канавки, проходящие через нагруженные места вкладыша, сильно вредят подшипнику, т. к. масло выдавливается в канавку, не образуя разделяющего слоя. В подшипнике получается полусухое трение.

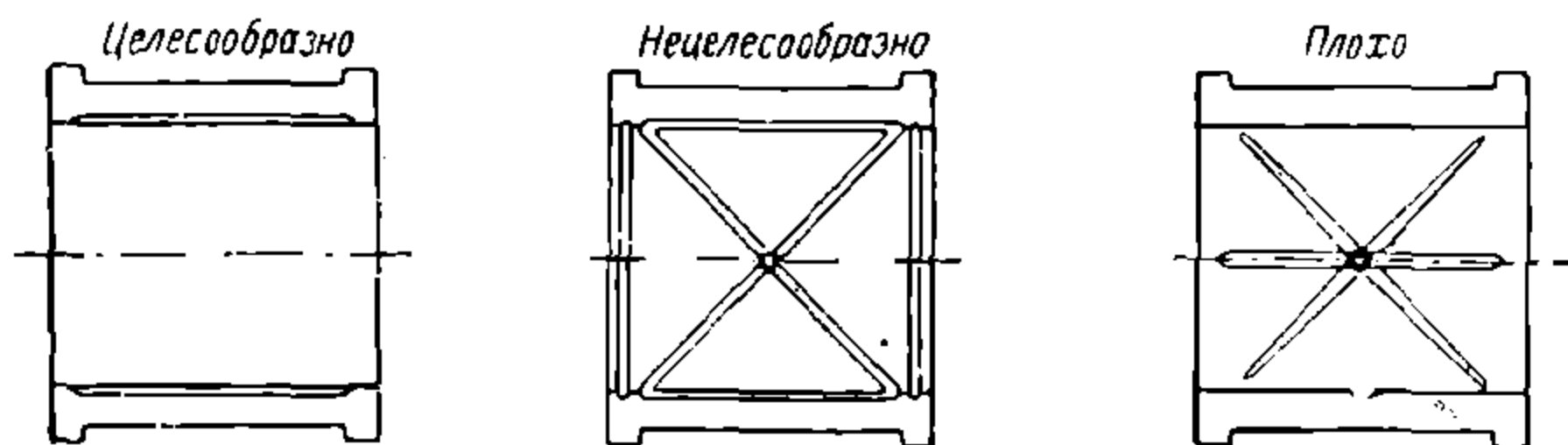
По опытам Фальца наиболее рациональна форма канавок по фиг. 102.

Количество масла, поданного набивкой, зависит от материала набивки, вязкости масла

и в очень сильной степени от высоты, на к-рую засасывается масло. По мере убывания масла в резервуаре и увеличения высоты подачи количество поданного масла резко падает.



Фиг. 101



Фиг. 102

Поэтому равномерная смазка требует постоянного уровня в резервуаре, из к-рого сосет фитиль. Последнее требование удовлетворяется устройством специальных бужер

НТБ
ДУЗТ

(фиг. 103). При заполнении буксы масло под давлением через наконечник попадает в камеру *A*, далее по каналу в отливке — в камеру *D*, через трубку с ниппелем в резервуар *B*. Когда масло целиком заполнит последний, то оно показывается через канавки наконечника. В этот момент наполнение кончается. Наконечник вынимается. По мере расходования смазки уровень ее в резервуаре понижается. Однако он не м. б. ниже отверстия ниппеля, т. к. лишь только уровень масла откроет отверстие ниппеля, проходящий в трубку воздух заставляет масло перетекать из камеры *D* через упомянутый ранее канал в резервуар *B*. Уровень в резервуаре повышается до тех пор, пока не будет снова закрыт ниппель.

Недостатком этой конструкции является сложное литье (щит, моторно-осевая букса).

Размеры подшипника определяются допустимым нагреванием и износом его. Точный расчет затруднителен. Приблизительное определение производится по т. н. «характеристике грения», при чем этот метод применим лишь к однотипным по условиям работы и смазки подшипникам.

Темп-ра подшипника (перегрев) при пр. равных условиях пропорциональна уд. потерям:

$$\Theta = \frac{\omega}{\pi dl} \equiv \frac{Rf v}{\pi dl} \equiv \frac{f}{\pi} \frac{R}{dl} \quad v \equiv \frac{f}{n} P v,$$

где: Θ —перегрев, ω —потери на трение, R —реакция в подшипнике при часовом режиме, f —коэф-т трения, v —окружная скорость шейки вала в м/сек, P —уд. давление в кг/см² (проекция), d —диам. и l —длина вкладыша. Полагая $f = \text{const}$ для однотипных подшипников:

$$\Theta \equiv P v.$$

$P.v$ носит название «характеристики грения».

Для букс с постоянным уровнем $Pv \leq 50 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{м/сек}$ при часовом режиме; с непостоянным уровнем $Pv \leq 30 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{м/сек}$ при часовом режиме.

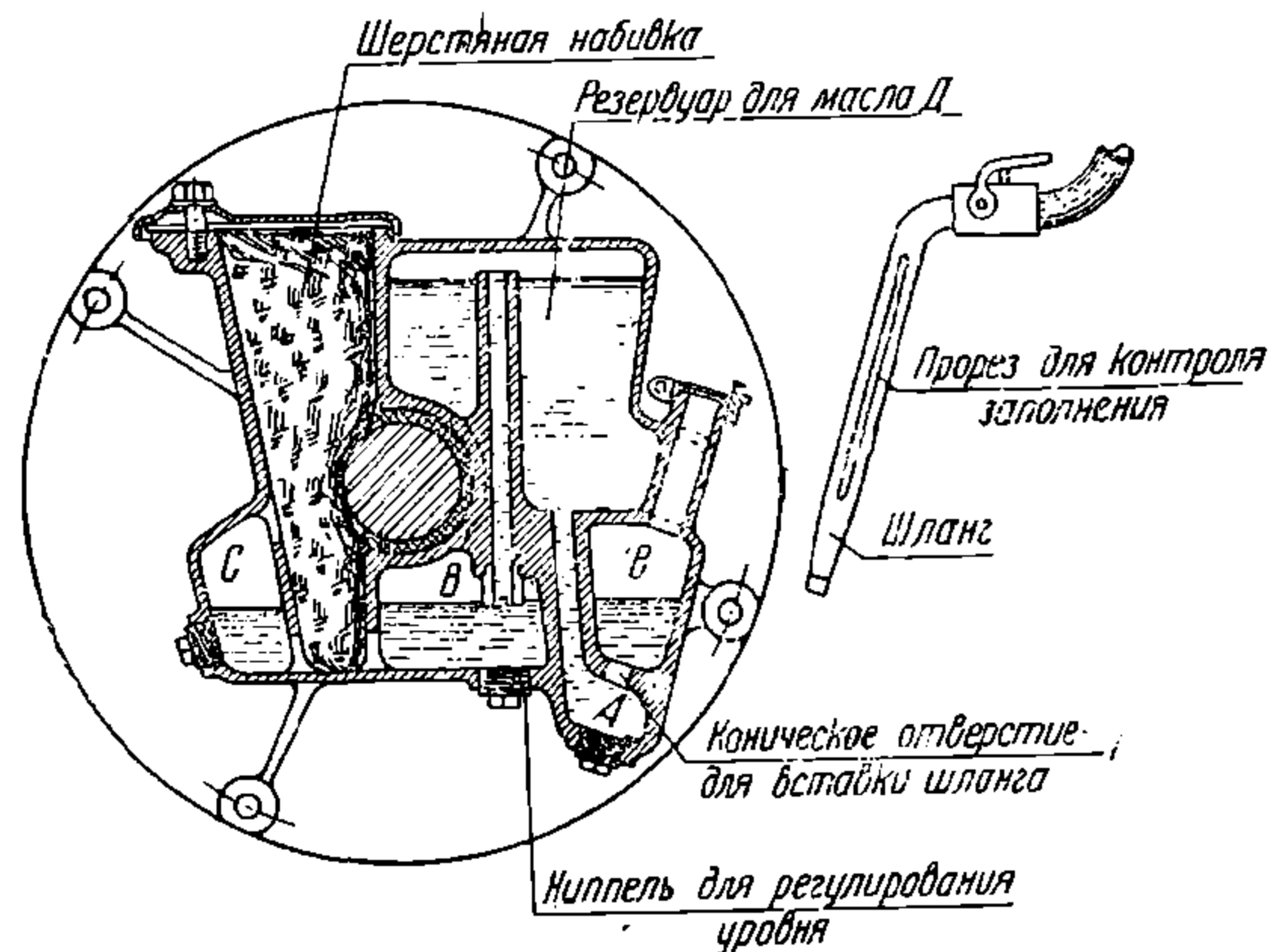
Длина якорного вкладыша берется в пределах $2 \div 3d$ моторно-осевого (и полого вала) $l = 1,5d$.

Перед заливкой вкладыш д. б. облужен и подогрет.

Уплотнения. Вопрос надежного уплотнения букс ТД является одним из наиболее серьезных вопросов конструкции. При недостаточном уплотнении масло из якорных подшипников или из шестеренного кожуха (в случае густой смазки подшипников) проникает внутрь мотора и создает на поверхности якоря и катушки пленку, разъедающую якорную лакировку и изоляцию и способствующую осаждению горячей угольной, щеточной и тормозной металлической пыли на внутренней поверхности ТД.

При самовентилиации с всасывающим вентилятором в полости между вентилятором и щитом образуется разрежение, способствующее проникновению масла в мотор. Для уменьшения этого разрежения указанная полость должна сообщаться с атмосферой через специальное отверстие в щите.

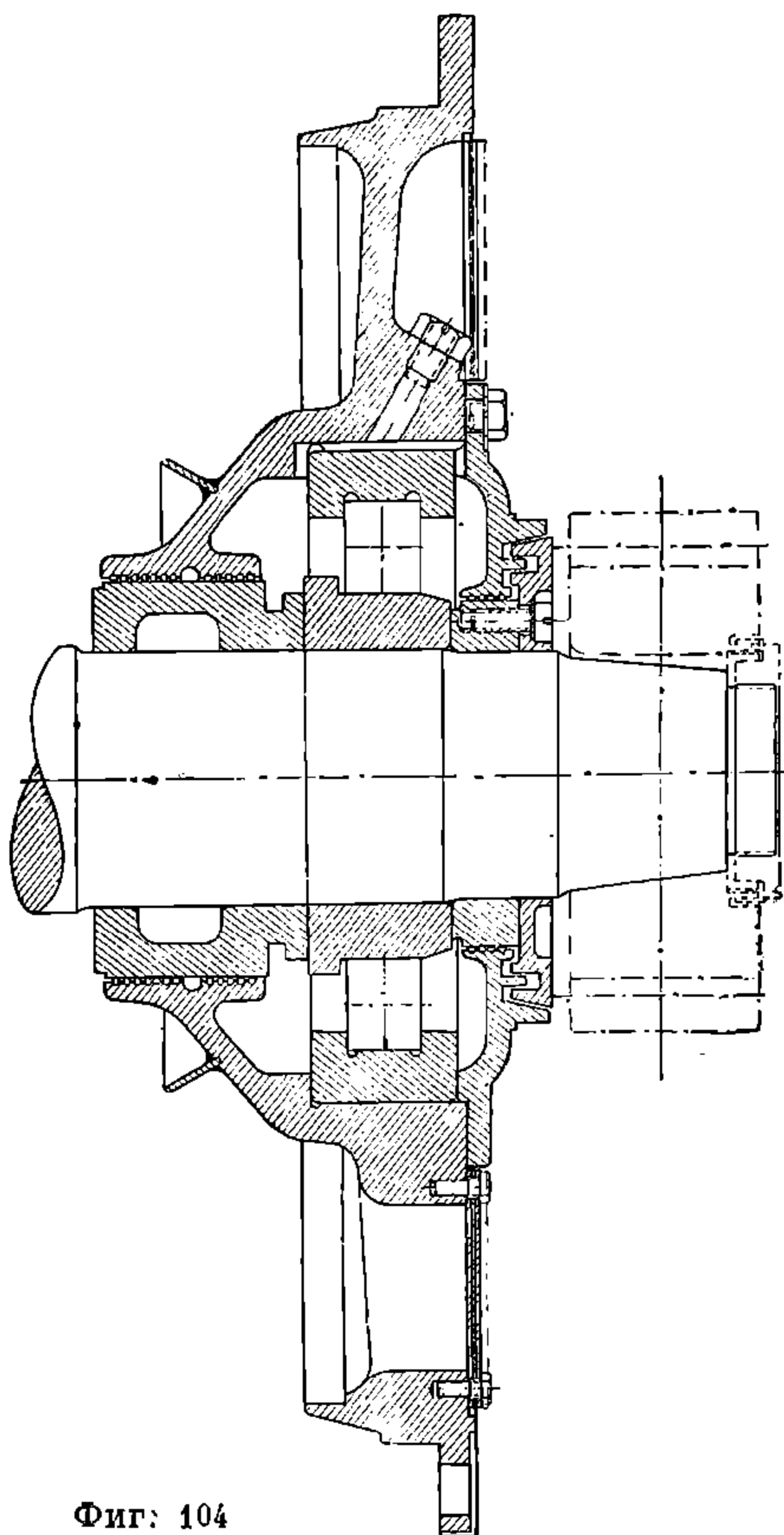
При скользящих подшипниках уплотнение выполняется с помощью маслоотбойного кольца, входящего в специальную расточку щита (фиг. 107). Расточка щита имеет специальный канал, по к-рому просочившееся масло может стекать в специальную камеру снаружи щита.



Фиг. 103

ДНУЗТ

При роликоподшипниках из большого разнообразия конструкций уплотнений м. б. выделены уплотнения согласно фиг. 104. Специальные опыты, проводившиеся в-дом «Динамо» им. Кирова и московским метрополитеном, показали хорошие качества этих уплотнений.



Фиг: 104

Принцип работы уплотнения заключается в том, что струя жидкости, текущая вдоль зазора между втулкой на валу и щитом, претерпевает изменение скорости из-за наличия специальных канавок в расточке щита. Это изменение скорости сопровождается значительными потерями давления. Уплотнение, т. о., имеет большое сопротивление для потока.

Для стока просочившегося масла целесообразно одну из канавок сообщать с специальной камерой снаружи щита.

Ряд европейских фирм применяет войлочные кольца, однако союзный опыт с войлочными уплотнениями не дал хороших результатов.

11. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТЯГОВЫХ МОТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА (Табл. 46-а)

Общие замечания к производству испытаний. При производстве испытаний на пробой между секциями или коллекторными пластинами и землей все провода якоря и коллекторные пластины д. б. замкнуты накоротко до производства испытания и в течение всего времени испытания должны оставаться замкнутыми.

Каждое испытание на пробой д. б. произведено переменным током синусоидальной

формы, при чем амплитуда синусоиды д. б. в $\sqrt{2}$ раза больше эффективного значения. При этом число пер. переменного тока м. б. 40, 50 и 60 пер/сек.

Табл. 46-а. Электрические испытания деталей тяговых моторов

Испытание щеткодержателей В щеткодержательной мастерской	Изоляция мотора (V)				
	0 до 125 4000	126 до 600 6000	601 до 1500 7500	1501 до 2400 9000	2401 до 3000 10000
а) После изоляции и просушки пальца и супорта щеткодержателя палец щеткодержателя в течение 1 мин. дают (по отношению к земле)					
б) После сборки щеткодержателя, но до установки его в остов, щеткодержатель испытывают в течение 1 мин. (по отношению к земле) напряжением	3500	5000	6500	8000	9000
Испытание коллектора В коллекторной мастерской	Изоляция мотора (V)				
а) После окончательной обработки коллектора он испытывается в течение 1 мин. (между коллекторными пластинами и землей) напряжением	0 до 125 3000	126 до 600 5500	601 до 1500 7000	1501 до 2400 10000	2401 до 3000 11000

РЭБ
ДНУЗТ

Продолжение табл. 46-а

б) После испытания коллектора на пробой ему дают испытание на проверку изоляции между коллекторными пластинами в течение 5 сек. напряжением	500	600	600	600	600
В обмоточном цехе					
а) Перед тем, как запрессовать коллектор на якорную втулку или на вал, коллектор должен получить испытание на пробой между коллекторными пластинами и землей напряжением	0 — до 125	126 до 600	601 до 1500	1501 до 2400	2401 до 3000
б) После испытания коллектора на пробой ему дают испытание на проверку изоляции между коллекторными пластинами в течение 5 сек. напряжением	2000	5200	6800	9000	10000
б) После испытания коллектора на пробой ему дают испытание на проверку изоляции между коллекторными пластинами в течение 5 сек. напряжением	450	550	550	550	550
Испытание якорных секций с проволочной обмоткой					
В обмоточном цехе					
а) После изоляции секций, но до того, как секции заложены в якорь, все секции получают испытание между соседними секциями (сторонами) в течение 5 сек. напряжением	0 до 125	126 до 600	601 до 1500	1501 до 2400	2401 до 3000
б) После того, как секции заложены в якорь и нижние стороны соединены с коллекторными пластинами, все провода получают испытание между коллекторными пластинами и землей в течение 1 мин. напряжением	450	550	550	500	550
в) После этого провода получают испытание между соседними коллекторными пластинами в течение 5 сек. напряжением	1800	5000	6500	8500	9500
г) После этого провода получают испытание между соседними коллекторными пластинами в течение 5 сек. напряжением	400	500	500	500	500
д) Испытание на лампу д. б. проведено, чтобы убедиться в правильности присоединения нижних сторон секции к коллекторным пластинам.					
д) После того, как верхние провода стороны секций будут присоединены к коллектору, вторичное испытание на лампу должно дать уверенность в том, что соединения выполнены правильно и что не имеется незамкнутых цепей.					
После того, как будет снят временный бандаж, провода секции получают испытание в течение 1 мин. между коллекторными пластинами и землей напряжением	0 до 125 1600	126 до 600 4500	601 до 1500 6000	1501 до 2400 8000	2401 до 3000 9000
<p>е) Д. б. измерено сопротивление между соседними коллекторными пластинами, чтобы убедиться в том, что нет разомкнутой или короткозамкнутой цепи.</p> <p>После того, как якорь получит наружную изоляцию и бандаж, следует произвести пробу на КЗ с помощью тр-ра, к-рый дает возможность установить не менее 15 V (желательно 20 V) между витками секции.</p> <p>Тр-р должен находиться в любом испытательном положении ок. 20 сек., и различные положения тр-ра д. б. таковы, чтобы он перекрывал каждую секцию.</p> <p>Далее следует измерить сопротивление якоря. Если сопротивление колеблется на 5% или более, считая по среднему значению из первых 15 якорей, то таковой якорь не м. б. пропущен без надлежащего разрешения конструкторско-технического отдела.</p>					
Окончательно готовый якорь получает испытание в течение 1 мин. между коллекторными пластинами и землей напряжением	0 до 125 1500	126 до 600 4000	601 до 1500 5500	1501 до 2400 7500	2401 до 3000 8500

ДНУЗТ

Стержневая обмотка якоря					
В обмоточном цехе					
а) После изоляции секций, но до того, как секции будут заложены в якорь, между отдельными стержнями секции в течение 5 сек. дают напряжение	0 до 125 1000	126 до 600 1500	601 до 1500 1500	1501 до 2400 1500	2401 до 3000 1500
б) После того, как нижние секции заложены в пазы и соединены с коллектором, дают испытание на пробой в течение 1 мин. между коллекторными пластинами и землей напряжением.	1800	4500	6500	8500	9500
в) После этого между соседними коллекторными пластинами дают испытание в течение 5 сек. напряжением	450	500	500	500	500
г) После того, как верхние секции заложены в пазы и соединены с коллектором, дают пробивное напряжение в течение 1 мин. между коллекторными пластинами и землей	1700	4750	6250	8250	9250
д) После удаления временного стяжного бандажа провода секции получают испытание на пробой в течение 1 мин. между коллекторными пластинами и землей напряжением	1600	4750	5000	8000	9000
Далее следует измерить сопротивление между соседними коллекторными пластинами, чтобы убедиться, что не имеется ни КЗ, не разомкнутой цепи.					
После наружной изоляции и бандажировки измеряют сопротивление между соседними коллекторными пластинами, чтобы убедиться, что нет ни разомкнутой цепи, ни КЗ.					
Далее измеряют сопротивление якоря. Если измеренное сопротивление отличается более, чем на 5% от среднего значения, полученного из результатов измерения над первыми 15 якорями, якорь д. б. задержан и м. б. пропущен лишь с разрешения тех. отд. в-да.					
Секции якоря получают испытание на пробой в течение 1 мин. между коллекторными пластинами и землей напряжением	1500	4000	5500	7500	8500
Катушка полюсов					
В катушечном цехе					
а) Первичное испытание на пробой для катушек с ослабленным полем.	500 до 600	600 до 1200 или 750 до 1500 3000	1200 до 1500	1500 до 2400	2400 до 3000
После изоляции катушек, но до компаундировки, все катушки должны получить испытание изоляции между соединениями секций катушек в течение 1 мин. напряжением	3000	3000	3000	3000	3000
б) Вторичное испытание на пробой для катушек с ослабленным полем.	500 до 600	600 до 1200 или 750 до 1500 2500	1200 до 1500	1500 до 2400	2400 до 3000
После окончательной изоляции катушек, но до монтажа их в остова, дают испытание между секциями катушек в течение 1 мин. напряжением	2500	2500	2500	2500	2500
в) Испытание на пробой для всех катушек, за исключением монолитных катушек. После окончательной изоляции катушек, но до сборки их в остова, все катушки, за исключением монолитных катушек, должны получить в течение 1 мин. испытание между проводниками и землей напряжением	5000	6500	6500	—	—

НТБ
ДНУЗТ

IX. ДАННЫЕ О ВЫПОЛНЕННЫХ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

(см. табл. 47—59)

Табл. 47. Данные тяговых двигателей GECO

№ по пор.*	Тип машины	Дорога	Год исполнения	Вольтаж	Перегр.	kW		A		n об/мин.		Габарит мм		Колеса
					час/длит. оЦ	час.	длит.	час.	длит.	час.	длит.	высота H	длина L	
1	GE 253A	Чикаго—Мильвоки . . .	1915	1500/3000	100	345	305	250	220	447	468	1150	1315	—
2	GE 290A	Великая северная	1926	750/1500	120	409	—	590	525	430	445	—	1300	1435
3	GE 278A	Мексиканская .	1924	1500/3000	120	364	—	265	230	730	770	980	—	—
4	GE 278B	Паулиста .	1927	1500/3000	120	348	—	250	220	605	630	980	—	—
5	GE 278C	Кливлэнд	1931	1500/3000	120	370	323,5	275	240	703	—	980	—	—
6	GE 274A	Японские	1923	750/1500	120	258	—	385	195	750	780	912	963	—
7	GE 289A	Чилийская	1927	750/1500	120	243	—	360	305	615	651	—	—	—
8	GE 267A	—	—	1500/3000	120	—	—	250	220	780	810	—	—	—
9	GE 276A	Париж—Орлеан	1922	1500	120	330	—	243	186	638	700	870	1314	1435
10	GE 286A	Нью-Йорк Центральн	1927	600/1200	120	313	—	575	460	585	635	888	1305	—
11	GE 255	Испанская северная	1923	1000/3000	120	—	—	—	—	—	—	833	—	—

Все моторы имеют независимую принудительную вентиляцию.

* Номерация тяговых двигателей сохранена и во всех последующих таблицах.

Табл. 48. Данные тяговых двигателей GECO

№ по пор,	Момент	Усилие	Давление на ось	Передача		Мо-дуль	Цент-раль	Диам. колеса	Диам. оси
	M кгм	F _к кг	P _о т	i min	i max	m	a мм	D _к мм	d _о мм
1	733	5050	—	82/18	—	12,7	635	1320	219
2	927	5060	31	82/21	85/18	12,7	643	1397	—
3	500	—	—	87/21	90/18	10,3	545	1168	—
4	568	4430	22	90/18	—	10,3	545	1168	—
5	—	—	—	87/17	—	10,3	545	—	—
6	335	—	—	82/19	—	10,3	513	1245	178
7	369	3520	—	74/20	84/17	10,3	—	1068	—
8	—	—	—	82/18	—	10,3	515	1068	200
9	518	—	—	65/21	68/18	11,5	501	1250	180
10	523	3930	—	64/25	72/17	11,5	502	1115	203

НТБ
ДНУЗТ

Табл. 49. Данные тяговых двигателей ГЕСо

Якорь															
Диам. якоря	Внутр. диам. железа	Диам. вала	Длина железа	Число зубцов	Ширина паза	Высота паза	Число секций в пазу	Число витков в секции	Шаг проводов сзади/спер.	Сечение проводников якоря	Транспозиция	Объем железа зубцов	Объем железа якоря	Вентиляц. каналы	Тип машины
D_a мм	D_l мм	D_b мм	l_1 мм	Z	a_z мм	h_z мм	U	W_s		q мм	Транс.	ϑ_z в дм ³	ϑ_a в дм ³		
750	208	148	305	49	19,5	59	7	1	85/86	1,42 × 21,6	2 по 3	20,3	67,7	2,18.23,8 3,18.25,4	GE 253A
712	205	157	292	61	13,5	57,9	3	1	44/47	2,93 × 21,6	2 по 3	19,9	57,9	3,20.23,8 1,20.25,4	GE 290A
635	180	140	305	43	19	59	7	1	79/71	1,52 × 21,6	—	—	—	—	GE 278A
635	180	140	305	57	14,55	57,9	6	1	85	1,16 × 21,6	2 по 3	15,9	43,9	3,18.29	GE 278B
635	180	140	305	61	14,1	65	5	1	73/79	1,27 × 24,9	—	17,7	40,6	—	GE 278C
610	198	122	228	41	16,7	56,6	5	1	—	2,16 × 21,6	—	12,1	28,9	2,20.25,4	GE 274A
610	—	—	210	57	12,4	56	4	1	58/55	1,78 × 21,6	2 по 3	11,6	33,8	—	GE 289A
585	—	—	370	41	18	58,5	7	1	—	1,37 × 21,6	—	—	—	—	GE 267A
540	175	180	385	43	15,6	56	7	1	—	1,22 × 21,6	2 по 3	17,4	36	2,18.23 1,16.23	GE 276A
540	175	134	330	49	13,6	57,6	3	1	38/35	2,8 × 21,6	2 по 3	15,8	30	2,18.23 1,16.23	GE 286
508	168	124	356	37	16	58,8	6	1	—	1,37 × 21,6	—	16,2	28,8	2,16.22,2 1,14.22,2	GE 255

Табл. 50. Данные тяговых двигателей

№ п/п.	Главный полюс						Дополнительный полюс				Зазор		
	2р	Хорда мм ²	Размеры сердечника $a_m \times b_m$	Число витков $W \times \frac{W_1}{W_2}$	Сечение меди q_p мм ²	Сечение ярма под гл. полюсом Q_1	2р	Размеры сердечника $a_m \times b_m$	Чис. витк. W	Сечение меди q_p мм ²	Сеч. ярма Q_j	ГП	ДП
1	4	419	—	$\frac{77+64}{2} \times \frac{38}{39}$	46,5×2,41	—	4	—	52	3,1×35,7	—	6,35	—
2	4	384	305×292	$32 \times \frac{9}{21,21}$	270	426	4	$\frac{35}{70} \times 383$	30	6,35×41,3	545	6,35	6,35
3	4	292	230×305	55	35,7×3,17	420	4	35×305	46	3,68×30,2	—	6	—
4	4	330	230×305	$67 \times \frac{28,5}{38,5}$	35,7×2,67	—	4	$\frac{38}{51} \times 380$	55	3,05×36,5	—	6	—
5	5	330	230×305	64	35,7×3,05	348	4	$\frac{38}{51} \times 380$	50	3,3×35	406	6	—
6	4	330	330×228	32	39,6×4,74	—	4	$\frac{63,5}{63,5} \times 210$	33	4,7×35,7	—	6,35	—
7	4	330	241×210	$44 \times \frac{21}{23}$	33,2×4,06	—	4	$\frac{13}{44} \times 266$	37	4,7×28,6	—	6,35	—
8	4	—	—	$\frac{52 \times 37}{2}$	47,2×4,32	—	4	—	44	3,43×39	—	—	—
9	4	294	195×385	62	35×2,5	—	4	$\frac{56}{66} \times 385$	49	3,15×28	—	6	9
10	4	282	205×330	$37 \times \frac{12}{16}$	37,3×5,84	361	4	44,4×327	24	6,22×31,8	387	6,75	7,45
11	4	—	—	40	31×3,3	—	4	—	34	4,2×27	—	—	—

Табл. 51. Данные тяговых двигателей

№	Коллектор							Весы				
	Диам. колл. в мм	Число пластин	Число щеткодержател.	Число щеток на щеткодерж.	Ширина щетки	Длина щетки	Марна щетки	Плотность тока под щетк.	Якоря	Мотора без передачи	Мотора с передачей	
	D_k	k	P_δ	P_ψ	a_ψ	b_ψ		Δi_ψ А/см ²	G_Y	G_M	G_{Mn}	
1	650	343	4	2	17,5	44,5	—	8	1730	5250	6750 6520	
2	635	183	4	2	22,3	70	—	9,4	1650	5440	—	
3	546	301	4	2	17,5	51	Е	7,7	1210	4030	—	
4	546	341	4	2	12,5	50	—	10	1190	4250	—	
5	546	305	4	2	15,5	50	—	11,2	1190	4250	—	
6	520	205	4	2	17,5	57	—	9,7	943	2830	—	
7	520	227	4	2	17,5	44,5	—	11,0	880	2940	—	
8	500	287	4	2	16	50,8	—	7,8	—	—	—	
9	460	301	4	2	16	45	Е. С 60-3	8,5	1000	3720	4200	
10	460	147	4	2	19	50,8	—	9,9	1020	3470	—	
11	422	221	4	2	16	57	—	—	—	—	—	

НТБ
ДНУЗТ

Табл. 52. Данные тяговых двигателей

Электромагнитные нагрузки								
№	Среднее меж- сегментное напряжение	Линейная нагрузка	Плотность тона в проводах			Магнитный поток	Индукция на $\frac{1}{3}$ высоты зубца	Индукция в ядре
			якоря	главных полюсов	дополн. полюсов			
			Δi	Δi	Δi			
e_s	AS	Δi	Δi	Δi	$\Phi_0 \times 10^{-6}$	$B_z^{1/3}$	B_0	
1	17,5	364	4,08	2,29	2,21	14,1	19650	16200
2	16,4	484	4,62	1,19	2,25	13,6	23000	17000
3	19,9	400	4,04	2,34	2,38	—	—	—
4	17,6	427	5	2,62	2,24	10,35	23100	15300
5	19,7	—	—	—	—	10,2	22200	15300
6	14,6	413	4,12	2,05	2,3	8	21200	17600
7	13,2	426	4,68	2,67	2,68	7,6	21800	17300
8	20,9	390	4,23	—	1,87	—	—	—
9	19,9	432	4,62	2,78	2,75	11,45	22600	17350
10	16,3	500	4,76	2,64	2,9	9,95	23500	17750
11	18,1	—	—	—	—	9,52	22000	17000

Табл. 53. Данные тяговых двигателей

№	Сопротивление при 250 Ц в Ω			Потери в проц. от часовой подведенной мощности		
	R_0 якоря	R_p гл. полюса	$R_{\omega p}$ доп. полюса	$I^2 R$	P_{ω}	P_{TP}
1	0,0999	0,0750	0,0283	—	—	—
2	0,0231	0,0133	0,0096	—	—	—
3	0,0717	0,0506	0,0203	—	—	—
4	0,104	0,0374	0,0721	—	—	—
5	0,078	0,063	0,033	—	—	—
6	0,0284	0,0193	0,0097	—	—	—
7	0,0383	0,0298	0,0160	—	2,9	1,1
8	—	—	—	—	—	—
9	0,081	0,075	0,038	—	—	—
10	0,0176	0,0138	0,00824	—	—	—
11	0,055	0,039	0,0194	—	—	—

Табл. 54. Данные тяговых двигателей

Часовой режим якоря				Длительный режим, перегрев 120° Ц							Гл. полюс			Доп. полюс		
невент.		вентилір.		якорь												
№ п/п.	100°	120°	Q м³/мин	нев.	вент.	ФН пав W/cm²	η%	Потери в железе kW	ФН W/cm²	Колич. возд. Q	A	ФН W/cm²	Q	A	ФН W/cm²	Q
	A	A		A	A	A	A	A	A							
1	—	250 (100°)	70	—	230 (100°)	—	35 3	9,0	—	—	—	—	—	—	—	—
2	430	630	100	190	560	0,152	35	10,5	1,43	100	600	0,264	—	560	0,186	—
3	192	282	80	90	255	0,133	—	—	—	90	270	0,269	90	290	0,151	80
4	—	262	80	—	235	0,134	49	8,0	1,20	80	232	0,276	80	242	0,166	80
5	—	294	80	—	265	0,101	55	9,6	1,29	80	252	0,262	80	252	0,165	80
6	292	405	50	—	365	0,144	50	6,8	1,18	50	365	0,173	50	377	0,172	50
7	—	382	50	—	335	0,120	60	6,2	1,40	50	320	0,252	50	320	0,186	50
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	171	256	340	—	200	0,138	52	9,0	1,05	43	210	0,248	34	200	0,156	340
10	433	598	63	200	540	0,155	67	6,0	1,22	63	505	0,252	63	480	0,190	63
11	212	310	70	—	280	0,149	50	7,9	1,20	70	262	0,247	70	262	0,152	70

Табл. 55. Тяговые моторы дороги Париж—Орлеан

Привод	Трам.	Трам.	Трам.	Трам.	Трам.	Осевой	Бюхли	Бюхли	Шатунная	
	GE 276	TM 3301	ДК 87	LC 3500	GE 277	Geae- less	ВВС	ВВС ком- пенс.	Ganz	Ganz компенсир.
Часов. мощн.	300	316	260	300	150	330	660	660	760	810 kW
Ток	250	267,5	225	252	125	285	540	540	625	650 A
Число обор.	570	650	540	600	—	360	490	490	198	208 об/мин
Напряж.	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350 V
Длит. мощн.	250	285	225	270	112	250	590	590	620	660 kW

НТБ
ДМУЗТ

Продолжение табл. 55

Привод	Трам.	Трам.	Трам.	Трам.	Трам.	Осевой	Бюхли	Бюхли	Шатунная	
Тип	GE 276	TM 3301	DK 87	LC 3500	GE 277	Geae-less	ВВС	ВВС ком-пенс.	Ganz	Ganz компенсир.
Ток .	200	240	195	225	93	212	480	480	505	525 А
Число обор.	610	665	580	625	—	405	515	515	210	215 об/мин
Напряж.	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350 V
Вентиляц.	п р и н у д и т е л ь н а я									

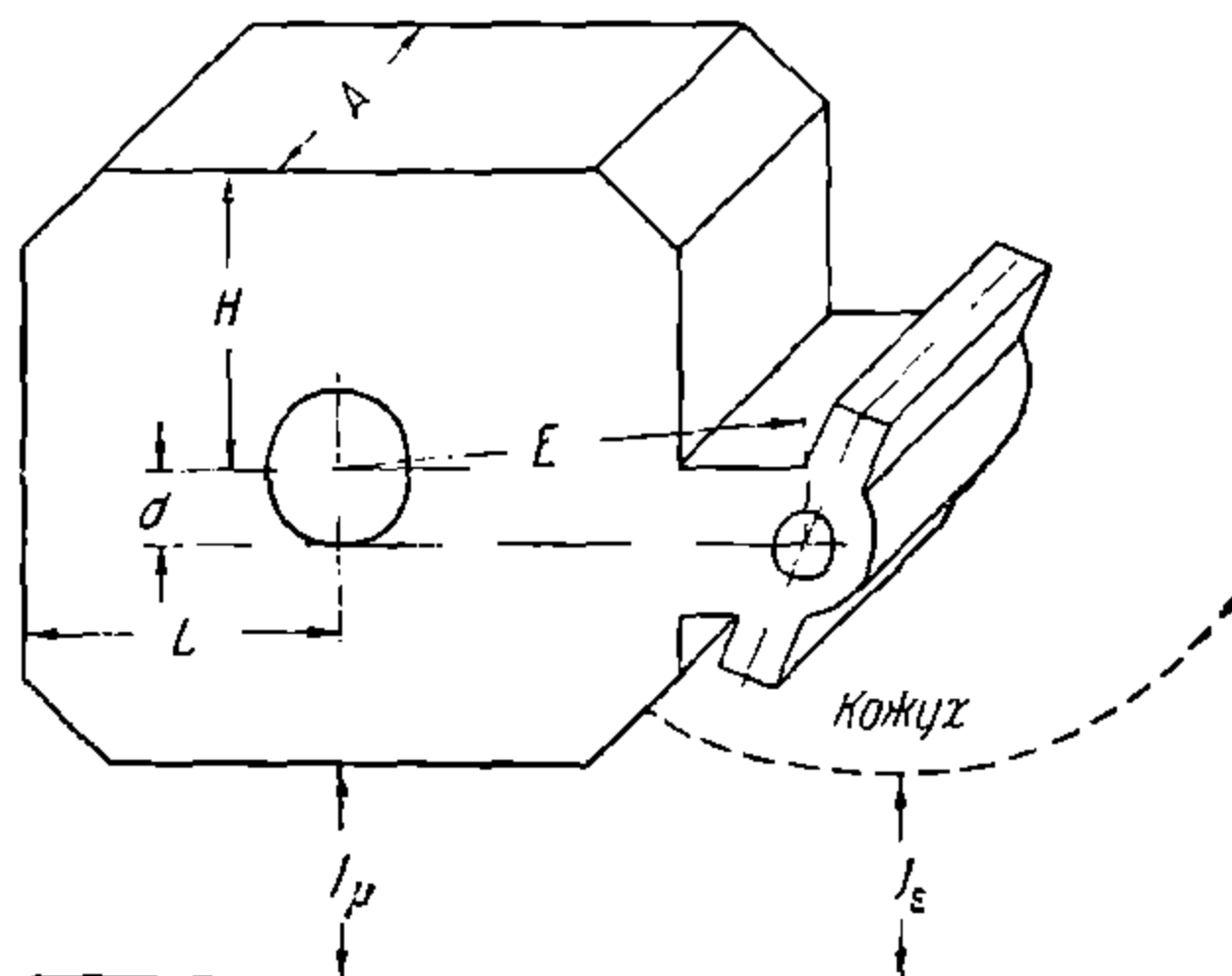
Табл. 56. Вентиляция

Характеристика	GE-276	TM-3301	DK-87	LC-3500	
Вентиляция Якорь	Число каналов .	52	** 6	80	100
	Форма	кругл.	прямоугольн.	кругл.	кругл.
	Размер в мм .	$d = 23$	100×25	$d = 19$	$d = 20$
	Полная площадь в см ²	216	150 **	227	315
Площадь	междужелезн. азора	100	125	115	192
	между катушками	315	525	192	192
Объем воздуха м ³ /мин. .	34	70	55	80	
Давление у входа в мм вод. ст. .	125	45	128	120	
Вес на л. с.	час	10,2 кг	11 кг	12,65 кг	11,7 кг
	длит	12,7 кг	12,3 кг	14,5 кг	13,1 кг

* Мотор GE-276 с последовательной вентиляцией.

** Вентиляционные условия мотора TM-3301 были улучшены по поставке 41 мотора. Площадь в якоре была увеличена до 213 см², а между катушками уменьшена до 275 см².НТБ
ДНУЗТ

Табл. 57. Габариты



Тип	GE-276	TM-3301	ДК-87	LC-3500	
Диам. вед. колеса	1250	1350	1350	1350	
Длина мот. A	1000	910	965	940	
Централь E	516	573	546	578,5	
Полувысота H	443	560	475	503	
Ширина L	435	524	488	505	
Подъем d	25	48	38	35	
Зазоры	J_M	215	199	23	210
	J_E	215	199	192	195
Передача	норм.	$65/21=3,1$	$73/21$	$69/22=3,14$	$69/20=3,45$
	максим.	$68/18=3,77$	$73/21$	$74/17=4,35$	
Ширина зуба		130	170	150	160
Модуль . . .		12	12,207	12	13
Размеры под- шипника	Сторона шестерни	330×133	350×165	299×135	350×140
	Сторона коллектора	195×118	217×120	217×120	225×120

НТБ
ДНУЗТ

Табл. 58. Расчетные данные моторов

Тип	GE-276	ТМ-3301 двусторон. передача	ТМ-3301 односторон. передача	ДК-87
Диам. якоря .	540	660	660	610
Диам. внутр.	175	315	315	185
Число пазов	43	87	115	67
Размер паза	56×15,59	61× 1,2	56×8	75×13
Проводов на паз.	14	8	6	10
Длина железа	385	280	280	330
Провод	21,6×1,22	20×1,2	20×1,2	20,3×1,45
Диам. вала	134	155	170	128
Обмотка	Сериес	Сериес	Сериес	Сериес
Диам. коллектора	460	580	580	543
Число пласт.	301	347	345	335
Коллек. делен.	4,1	4,01	4,28	4,32
Длина пласт.	133	207	207	158
Длина рабоч.	97	168	168	128
Число щеток	2	3	3	2
Число болтов	4	2	2	4
Размер щетки	45×16	50×15	57×16	47×20
Изоляция между пластин.	0,7	1,2	1	0,8
Марка щеток	—	—	—	—
Число гл. полюсов	4	4	4	4
Пол. дуга	294	338		328
Число витков	62	61		73
Провод	35×2,5	37×1,9	40×2	35,5×2,97
Зазор	6	6	6	4,75/6,35
Сеч. полюса см ²	750	580	580	755
Сеч. зазора см ² . . .	1130	945	945	1080
Число дополн. полюсов	4	4	4	4
Дуга	56/66	64/40	64/40	40
Число витков	49	56	56	49,5
Провод.	28×3,15	37×1,8	40×2	33,6×3,3
Зазор	9	9	9	6,35
Сеч. полюса и возд. зазора	<u>146</u> 216	<u>104</u> 114	<u>104</u> 114	<u>132</u> 117
Сопр. якор.	0,081	0,127	0,097	0,098
гл. п.	0,075	0,063	0,063	0,094
доп. п.	0,038	0,038	0,0885	0,032
компенс.	—	—	—	—
В е с				
якорь б/шестер.	1000	1280	1280	1120
зубчатка				325
шестерня	480	800	540	34
кожух				90
Мотор без пер.	3720	4030	4200	4000
	4200	4830	4740	4449
В е с м е д и:				
КОЛЛЕКТ.	75	125	125	100
Якорь .	122	134	139	180
Обмотка гл. п.				405
Обмотка доп. п.	450	377	377	160
Обм. комп.	—	—	—	—

дороги Париж—Орлеан

LC-3500	GE-277 автомотриса	Genrless (осевой дв-ль)	ВВС	ВВС компенсир.	Ganz	Ganz компенсир.
680	455	705	850	850	1410	136
224	159	215	480	480	1030	990
73	35	39	81	81	130	134
54×13	43,4×17	64,5×24,27	35×13,5	35×13,5	45×16,2	45×15,2
10	12	2×5	2×7	2×7	2×5	2×5
265	357	395	430	430	390	390
21×1,5	15,3×1,75	56,5	12,1	12,1	27	24
140	—	—	—	—	—	—
Сериес	Сериес	Сериес	Сериес	Сериес	Сер. пар.	Сер. пар-ная
590	400	609	760	760	1200	1200
365	209	195	567	567	650	670
4	5,3	9	4,2	4,2	4,8	4,63
146	188	360	156	156	165	165
104	156	319	124	124	130	130
2	3	5	3	3	3	3
4	4	2	6	6	3	8
48×17,5	56×25	30×20	30×30	30×30	35×20	35×20
0,8	0,75	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
4	4	2	6	6	8	8
350	241	380	264	264	388	375
68	40	142	23×(10+9+4)	23 (14+6+3)	20	19
(1,6×31)	2	60×4,2	9×20	9×20	62,5×3,5	65×3,6
6	6	12—53	7,5	7,5	4	4
572	665	1600	1155	1155	—	—
925	860	1600	1155	1155	1650	1650
4	4	б/доп.	6	6	8	8
50	42	—	50	50 комп.	43	43 комп.
60	31,5	—	21	16,10	25	13,13×2
74×1,3	25,6×4,1	—	6×30	9×20; 30×2,5	62,5×3,5	29×11,5; 78×9
7	6	—	16	16	4	4
106	164	—	200	200	189	189
106	114	—	160	160	—	—
0,083	0,060	0,0236	0,0535	0,0535	0,063	0,071
0,068	0,041	0,046	0,0263	0,0263	0,020	0,0183
0,031	0,020	—	0,0151	0,0115	0,0164	0,0053
—	—	—	—	0,0132	—	0,0406
1290	800	2700	2400	2400	6920	7200
510	270	—	—	—	—	—
4290	2810	5320	7540	7540	13000	13150
4800	3120	с осью	8365	8365	с противвесом и кри- шипом	—
100	74	632	103	103	223	223
197	87	363	135	135	356	320
530	170	1416	600	620	477	383
—	103	—	—	—	379	117
—	—	—	—	—	—	235

ИЗБ
ДНУЗТ

Табл. 59. Тяговые моторы

Тип мотора	Год выпуска	Место работы и назначение	Возбуж- дение	Система электр. тормоза	Якорь		Подшип- ники	Колея	Диам. колеса в мм
					диам. мм	длина мм			
ДПЭ-340	1932	Эл/в	Сериес	Рекуп.	635	305	Скольз.	Шир.	1220
ДПЭ-340А	1932			Реост. рекуп.	635	305			1220
ДК-1А	1935			Реост.	635	305			1220
ДСЭ-680/2	1933				635	305			1220
ДПТ-140	1931	Т/п		—	490	350	Рол.		1220
ДПА-90	1935	Автомотриса		—	340	270			1050
ДПЭ-100	1933	Промышл. эл/в		—	537	200		Узк.	1050
ДПЭ-220	1935		Рекуп. реост.	635	305	Скольз.	Шир.	1220	
ДБИ-2/220	1934			Реост.	380	275	Рол.		950
ДПИ-150	1932	М/в. НКПС		—	440	350			1050
ДК-100А	1932		—	455	415		1050		
ДМП-151	1934	Метро		—	400	412			900
ДП-150	1929	М/в. НКПС		—	420	340			1050
ДБ-2	1924		—	380	275		1050		
ДТИ-60	1934	Трамвай		Реост.	310	255		Узк.	760
ДТК-50	1934		Комп.	Рекуп. реост.	310	325		Шир.	780
ДМ-1А	1925		Сериес	Реост.	360	275			850
ПТ-35А	1925				310	240		Узк.	760
ДТУ-40	1927				310	255			760
ДР-3К	1926				340	225		Шир.	850
ДТБ-60	1933	Троллейбус	Комп.	Рекуп. реост.	305	260	Шар / шар.	—	1016

НТБ
ДНУЗТ

(з-да «Динамо» им. Кирова)

Передача			Диаметр оси мм	Давление на ось т		Зазоры мм		Тип вент.	Колич. вент. воздуха м ³ /мин.	Напряж. в сети/на мотор	
отношение	модуль	централь		тип передачи	ном.	макс.	до колуха				до мотора
$\frac{89}{20} = 4,45$	10	545	Двуст. пруж.	200	22	—	136 156	Незав.	78	3000/1500	
$\frac{86}{23} = 3,74$	10	545	То же	200	20,0	—	133 156		78	3000/1500	
$\frac{86}{23} = 3,74$	10	545		200	20,0	—	133 156		78	1500/750	
$\frac{121}{40} = 3,025$	10	865,95		380	23,0	—	230 230		78	3000/1500	
$\frac{86}{15} = 5,73$	9,3174	470,53	Двуст. спир.	165	20,0	—	190 257		45	час. 440 дл. 460	
$\frac{76}{21} = 3,62$	8	388	Двуст. самоуст.	175	~17,0	—	160 233	Сам.	21,8 при 1500	600	
$\frac{85}{16} = 5,31$	9,5	480	Одн.	160	15,0	—	102 125	Закр.	—	750	
$\frac{89}{20} = 4,45$	10	545	Двуст. пруж.	195	23,0	—	130 156	Незав.	78	750	
$\frac{73}{15} = 4,16$	9	396	Одн.	185	25,0	—	170 205	Сам.	2,06 при 252	220	
$\frac{70}{19} = 3,69$	10	445		180	17	19,5	150 165		17,5 при 965	1500/750	
$\frac{61}{22} = 2,77$	11	563,5		—	15,5	17,25	— —		8,5 при 1055	3000/1500	
$\frac{71}{18} = 3,95$	9,5	423		180	16	18	94 130		12,75 при 903	750	
$\frac{70}{19} = 3,69$	10	445		180	17	19,5	150 165		12,0 при 955	1500/750	
$\frac{65}{21} = 3,09$	9	387		160	11,0	12,25	182 205		6,85 при 840	1200/600	
$\frac{66}{13} = 5,07$	8,0	319		120	10,3	12,0	110 128		3,97 при 970	550	
$\frac{76}{14} = 5,43$	7	315		120	7,25	8,0	110 128		4,9 при 855	550/275	
$\frac{73}{15} = 4,86$	8	352		125	10,3	12	113 135		5,2 при 760	550	
$\frac{66}{15} = 4,4$	8	324		120	8,9	10,4	98 135		3,5 при 775	550	
$\frac{75}{14} = 5,36$	7	312		120	8,9	10,4	150 170		—	550	
$\frac{83}{15} = 5,53$	7	343		120	8,9	10,4	115 135		—	550	
10,9	—	—	Кард.	—	8,0	—	— 255		13,75 при 1340	550	

НТБ
ДНУЗТ

Тип мотора	Часовой режим					Длит. режим				Сопротивл. при 250				Кол- лектор	
	мощн. кВт	А	об/мин.	перегрев °Ц	поле % или А	А	об/мин.	перегрев °Ц	поле % или А	якорь	серис	шунт	доб. пол.	диам. мм	число колл. пласт.
ДПЭ-340	340	250	605	120	100	220	630	120	100	0,103	0,0714	—	0,0372	546	341
ДПЭ-340А	340	250	605	120	100	220	630	120	100	0,103	0,0714	—	0,0372	546	341
ДК-1А	320	475	645	120	100	410	670	120	100	0,0257	0,0161	—	0,00925	546	330
ДСЭ-680/2	340	250	605	120	100	220	630	120	100	0,103	0,0714	—	0,0372	546	341
ДПТ-140	140	350	410	105	100	290	465	90	100	0,0374	0,020	—	0,0141	435	171
ДПА-90	113	210	1375	120	100	170	1500	105	100	0,045	0,0335	—	0,025	284	175
ДПЭ-100	90	135	535	120	100	—	—	—	—	0,114	0,1025	—	0,041	450	341
ДПЭ-220	250	375	382	120	100	295	412	120	100	0,0503	0,0340	—	0,0248	546	285
ДВИ-2/220	235	132	252	120к 100я	100	—	—	—	—	0,103	0,012	—	0,041	340	131
** ДПИ-150	170	250	865	120	100	185	965	105	100	0,044	0,036	—	0,023	380	195
ДК-100А	188	137	915	120	50	97	1055	105	50	0,186	0,210	—	—	413	281
ДМП-151	153	220	784	120	100	162	903	105	100	0,05	0,048	—	0,023	350	185
ДП-150	150	220	870	120	100	168	970	105	100	0,06145	0,028	—	0,0202	380	205
ДБ-2	73	135	700	120к 100я	100	88	840	105к 85я	100	0,108	0,0699	—	0,0415	340	131
ДТИ-60	55	112	810	120к 100я	100	70	970	105к 85я	100	0,126	0,093	—	0,069	290	147
ДТК-50	55	232	735	120 100ш	9,55 6,55А	150	855	105 85ш	7,35 5,16	0,041	0,0118	5,62 8,056	0,019	290	145
ДМ-1А	52	105	650	100	100	65	760	85	100	0,142	0,085	—	0,055	330	155
ПТ-35А	40	82	660	100	100	50	775	85	100	0,211	0,121	—	0,079	270	175
ДТУ-40	40	81	650	100	100	52	790	85	100	0,170	0,129	—	0,075	290	173
ДР-3К	39	80	650	100	100	55	760	85	100	0,196	0,137	—	0,0766	310	185
ДТБ-60	60	124	1260	120 100ш	1,4— 2,65А	93	1340	105 85ш	1,4— 2,65А	0,106	0,336	—	0,0435	250	205

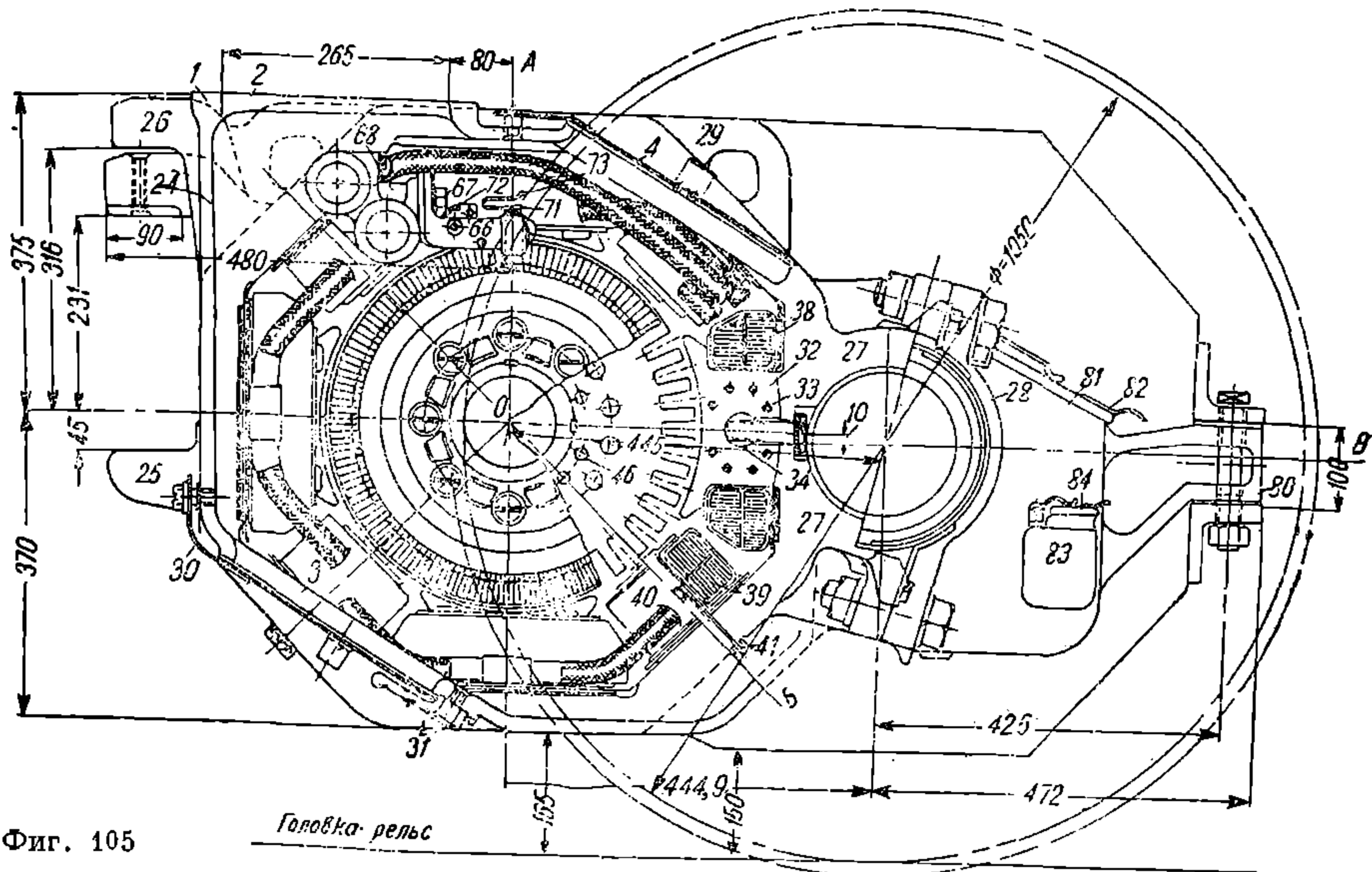
* См. фиг. 107 и 108
** См. фиг. 105 и 106.

НТБ
ДНУЗТ

Продолжение табл. 59

Щетки			В е с			Вес/момент	Вес обмот. медн.	№ характе- ристики	№ черт. общего вида	Макс. об/мин в эксл.	Тип подш. со стор. шестерни	Тип подш. со сто- роны коллектора	Приме- чание
число	размер	марка	якоря	без передачи	с передачей								
4/2	12,5×50	Гэ	1230	4280	5420	7,8	673	ТМ8К24	1М290	1285	—	—	
4/2	12,5×50	Гэ	1230	4280	5420	7,8	673	ТМ8К22	—	1285	—	—	
4/2	20×50	Гэ	1180	4230	5370	8,55	626	ТМ85К3	—	1285	—	—	
4/2	12,5×50	Гэ	1230	8940	9810	7,95	673	—	0М207	1370	NIS —110	NIS —110	
2/3	23,5×47	Гэ	960	2780	—	8,5	346	ТМ59К3	1М1423	2500	NIM —90	NIM —90	Вес с пере- дачей дан без боль- ших зуб- чаток
4/2	16×40	Гэ	322	1364	1450	17,1	145	ТМ63К7	1М1267	1050	NUP3 —105	NUP3 —80	
2/2	16×50	Гэ	650	2050	2400	12,5	251	ТМ26К12	0М346	1285	—	—	
4/2	16×50	Гэ	1215	4340	5420	6,8	665	ТМ75К3	10М319	1590	NUS —95	NHS —70	Катушки возб. 2 мот. пос- ледов
2/2	16×45	Гэ	450	1480	1728	16,3	152,7	ТМ62К1	0М130	1800	NUS —110	NHS —85	
2/3	20×50	Гэ	731	2572	2900	13,5	263	ТМ28К4	—	1800	NUS —110	NHS —85	
4/2	16×32	Гэ	745	—	3200	—	371	ТМ91К ^{2/3}	0М283	1640	NUS —110	NHS —85	
4/2	16×40	Гэ	593,3	2397	2727	12,6	263,5	ТМ40К8	0М56	1800	NUS —110	NHS —85	
2/3	17×47	Гэ	620	2380	2712	14,2	244,5	ФК-190	Э-10043	1590	NUS —95	NHS —70	
2/2	16×45	Гэ	450	1450	1651	14,2	173,5	ФК-16	3М2366	1620	WUM —85	WHM —65	
2/2	20×35	Гэ	260	960	1120	14,5	127,5	ТМ43К7	1М1817	2000	WUM —85	WHM —65	
2/3	20×40	Гэ	334	1200	1350	16,4	148 170,56	ТМ70К3	Э-10037	1215	NUS —95	NHS —70	
2/2	16×40	Гэ	340	1300	1470	16,6	158	ФК-115	Э-33234	1320	WUM —85	WHM —60	
2/2	12×40	Гэ	220	877	1012	14,9	109,7	ФК-211	Э-32913	1300	WUM —80	WUPM —55	
2/2	14×30	Гэ	232	915	1050	15,3	113,5	ФК-139	Э-10113	1300	—	—	
2/2	13×40	Гэ	285	1080	1225	18,6	124,5	ФК-117	1М1337	3140	Ст. вент. 1313	№ 6310	
4/2	12,5×32	Гэ	205	654	—	14,0	80,0	ТМ56К5	—	—	—	—	

НТБ
ДНУЗТ

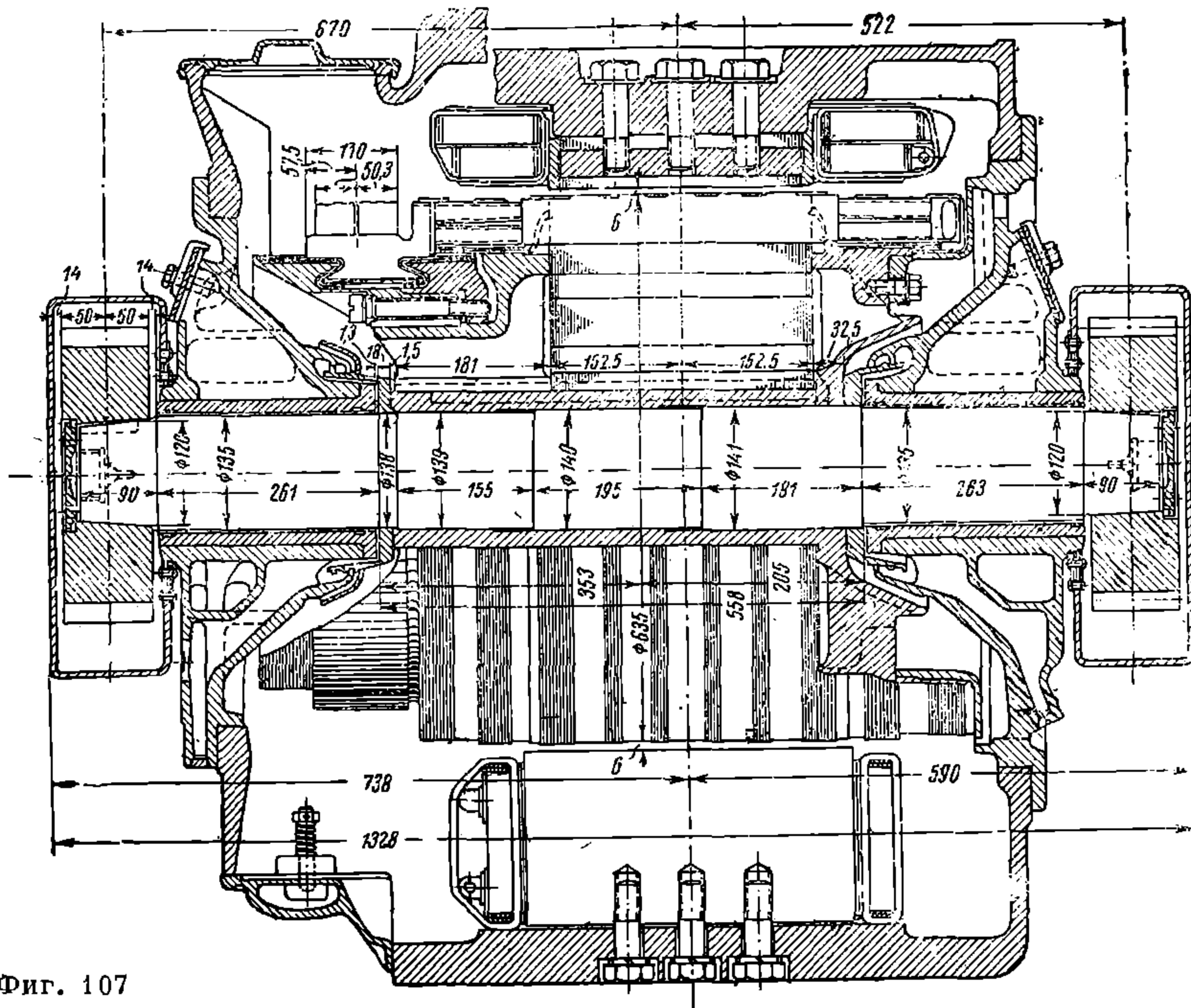


Фиг. 105

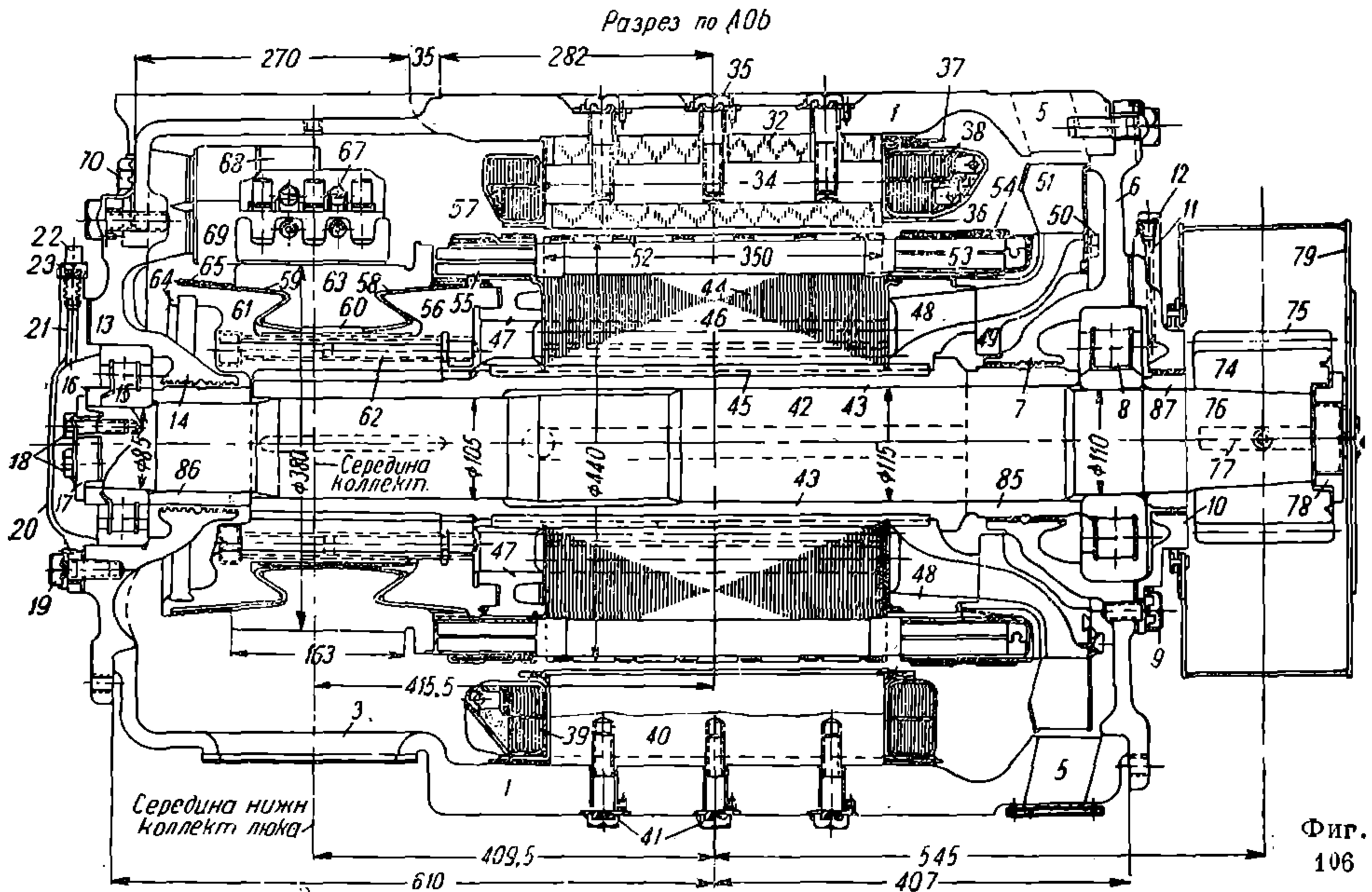
Головка рельс

На фиг. 105 и 106 обозначено:

1 — остов; 2 — отверстие для засасывания воздуха; 3 и 4 — коллекторные люки; 5 — вентиляционные отверстия; 6 — буксовый щит со стороны шестерни; 7 — лабиринтные канавки буксового щита 6; 8 — роликовый подшипник; 9 — болты крышки 10; 10 — крышка буксового щита 6; 11 — смазочное отверстие крышки 10; 12 — пробка смазочного отверстия 11; 13 — буксовый щит со стороны коллектора; 14 — лабиринтные канавки буксового щита 13; 15 — роликовый подшипник; 16 — упорное кольцо; 17 и 18 — шайбы и болты, крепящие подшипник 15; 19 — болты крышки 20; 20 — крышка буксового щита 13; 21 — смазочное отверстие крышки 20; 22 — трубка для смазки; 23 — пробка трубки 22;

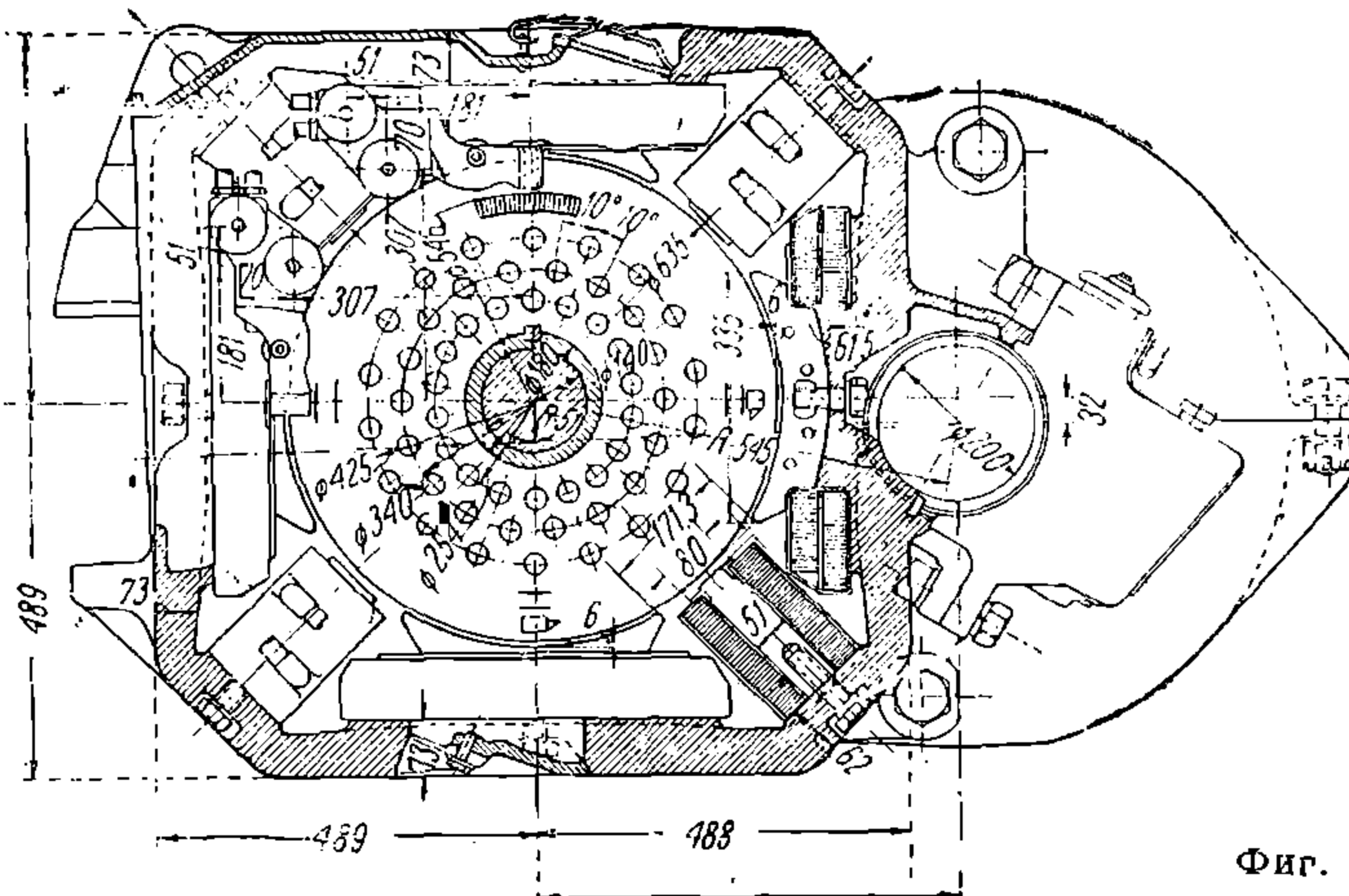


Фиг. 107



Фиг. 106

24 и 25 — лапы для подвешивания двигателя; 26 — запасная лапа; 27 — буксовые приливы; 28 — «шапки»; 29 — уши для выемки двигателя из тележки; 30 и 31 — пружины и замок коллекторного люка; 32 и 33 — сердечник главных полюсов и его заклепки; 34 и 35 — болты и стержень для крепления сердечника 32 к остоу 1; 36 — железная рамка; 37 — пружинная прокладка; 38 — катушка главных полюсов; 39 — катушка дополнительных полюсов; 40 — сердечники дополнительных полюсов; 41 — болты полюсов, крепящие сердечники 40; 42 — вал якоря; 43 — коробка якоря; 44 — железо якоря; 45 — вырезы для шпонок; 46 — вентиляционные каналы якоря; 47 и 48 — нажимные шайбы железа якоря; 49, 50 и 51 — вентилятор, его фланец и болты; 52, 54 и 57 — проволочные бандажи; 53 — задние лобовые соединения; 55 — передняя лобовая часть обмотки; 56 — шайба коллектора; 58 и 59 — минеритовые конусы; 60 — изоляционный цилиндр; 61 — коллекторная коробка; 62 — болты коллекторных пластин; 63 — коллекторные пластины; 64 — конечный бортик коробки коллектора 61; 65 — бандаж; 66 — корпус щеткодержателя; 67 — болты, крепящие щеткодержатель; 68 — кронштейн щеткодержателя; 69 — изоляторы щеткодержателя; 70 — болты кронштейна 68; 71 — нажимной палец щеткодержателя; 72 — спиральная пружина; 73 — стопор; 74 — малая шестерня; 75 — зубья шестерни; 76 — место насадки малой шестерни на вал якоря; 77 — шпонка; 78 — предохранительная шайба; 79 — кожух зубчатой передачи; 80 — хобот «шапки» моторно-осевого подшипника; 81 — люк для смазки; 82 — крышка люка 81; 83 — масленка; 84 — крышка масленки 83; 85, 86 и 87 — кольца.



Фиг. 108

X. ПРИЛОЖЕНИЕ

СТАНДАРТ НА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКУЮ ЛИСТОВУЮ СТАЛЬ ($\frac{\text{ОСТ}}{\text{ВКС}}$ 6391)

Настоящий стандарт распространяется на листовую эл-техническую сталь, применяемую в магнитных цепях эл. машин, аппаратов и приборов.

А. Классификация

§ 1. Листовая эл-техническая сталь по содержанию кремния, магнитным и эл. свойствам, назначению, наружному виду и геометрическим размерам подразделяется:

а) По содержанию кремния, магнитным и эл. свойствам и назначению:

Марки стали	Рекомендуемое применение
ЕС1	Для эл. моторов и генераторов в магнитных цепях, питаемых постоянным током, или в слабо нагруженных магнитных полях переменного тока.
ЕС1А	Для нормальных (каталожных) эл. моторов и генераторов.
ЕС1АА	Для эл. моторов и генераторов специального назначения.
ЕС2А	Для магнето.
ЕС3А	Для слаботочной и радиоаппаратуры, турбогенераторов мощностью меньше 1000 kW и машин специального назначения.
ЕС4А	Для тр-ров звонковых, слаботочных, котельных, сварочных; турбогенераторов мощностью до 10 kW и синхронных машин мощностью до 5000 kW.
ЕС4А	Сталь толщиной 0,35 мм—для измерительных тр-ров напряжения и тока; для силовых тр-ров мощностью от 5 до 180 kVA.
ЕС4А	Сталь толщиной 0,5 мм—для силовых тр-ров мощностью 1000—56000 kVA; турбо-ги гидрогенераторов мощностью свыше 1000 kW
ЕС4АА	Сталь толщиной 0,5 мм для силовых тр-ров мощностью 320 и 560 kVA и свыше 5600 kVA; для измерительных тр-ров тока.

Примечание. Обозначения в марках стали: а) «Е»—эл-техническая; б) «С»—сильций (кремний); в) цифры (1, 2, 3, 4)—среднее процентное содержание кремния; г) последующая буква «А»—сталь лучшая по магнитным и эл. свойствам; д) две буквы «А» (АА)—сталь особо высокого качества по магнитным и эл. свойствам.

б) По геометрическим размерам:

по длине — листы в 2000 и 1500 мм.
 » ширине — » » 1000 и 750 мм.
 » толщине — » » 1; 1,5 и 0,35 мм.

в) По наружному виду—на 2 сорта: первый и второй.

Б. Технические условия

а) Р а з м е р ы

§ 2. Листовая эл-техническая сталь должна заготавливаться в форме листов следующих размеров (мм):

Марка стали	Длина листа	Ширина листа	Толщина листа
ЕС1А	1500	750	1,0
ЕС1А	2000	1000	0,5
ЕС1А	1500	750	0,5
ЕС1	2000	1000	0,5
ЕС1	1500	750	0,5
ЕС1АА и ЕС2А	2000	1000	0,5
ЕС1АА и ЕС2А	1500	750	0,5
ЕС3А	2000	1000	0,5
ЕС3А	1500	750	0,5
ЕС3А	1500	750	0,35
ЕС4, ЕС4А и ЕС4АА	2000	1000	0,5
ЕС4, ЕС5А и ЕС4АА	1500	750	0,5
ЕС4 и ЕС4А	2000	1000	0,35
ЕС4 и ЕС4А	2000	750	0,35
ЕС4 и ЕС4А	1500	750	0,35

НТБ
ДНУЗТ

Примечание. Допускается приемка уменьшенных форматов листов эл-технической стали в количестве до 15% (по весу) всех сдаваемых листов. При этом размеры форматов листов устанавливаются по соглашению потребителя с поставщиком.

Допуски.

§ 3. От величин, указанных в § 2 настоящего стандарта, допускаются следующие отклонения:

в длине и ширине отдельных листов + 2%
в толщине отдельных листов ± 10%.

б) Наружный вид

§ 4. Листы эл-технической стали должны быть гладкими на ощупь, без ржавчины, без остающихся пленки и окалины, а также без др. связанных с горячей прокаткой стали недостатков, могущих оказать вредное влияние на механические и магнитные свойства стали.

Для первого сорта эл-технической стали допускаются:

1) листы с мятыми кромками, загнутыми или оторванными углами (листы без углов), рванинами, присечкой от соседнего листа, недокатом, горелостью кромки листа от отжига; при условии расположения этих недостатков по краям листа на суммарном расстоянии (по длине или ширине на двух противоположных сторонах листа) от краев к середине листа не более 1% длины и ширины его;

2) листы, имеющие отпечаток от мартеновской или печной земли, соседних листов, — общей площадью не более 100 см², одностороннюю рябоватость от горелости, составляющую не более 10% толщины листа; пузыри на поверхности листов диам. не более 5 мм и высотой не более допуска на толщину листов в количестве не более 3 шт. на лист;

3) листы, имеющие волнистость кромки листа: не более одной волны на лист высотой не более 6 мм и длиной не менее 150 мм.

Примечание. Количество листов с волнистостью и рябоватостью не должно превосходить 20% всего количества листов.

4) листы, имеющие пологий надав от соседних листов, не превышающий допуска по толщине листов.

Примечание. Одновременное нахождение на одном листе надава и волнистости, согласно п. 3 настоящего параграфа, не допускается.

Для 2-го сорта эл-технической стали допускаются:

1) листы с мятыми кромками, загнутыми или оторванными углами (листы без углов), рванинами, присечкой от соседнего листа, недокатом, горелостью кромки листа от отжига—при условии расположения этих недостатков по краям листа, на суммарном расстоянии (по длине или ширине листа, на двух противоположных сторонах листа) от краев к середине листа не более 3% длины и ширины его;

2) листы, имеющие: землю мартеновскую и от прокатных печей в виде полос и точек, раскатынную в виде пятен, общей площадью не более 190 см² (допускается только у стали марок ЕС1, ЕС1А, ЕС1АА, ЕС2А, ЕС3А); рябоватость от валов, составляющую не более 10% толщины листа; двустороннюю рябоватость от горелости, составляющую в сумме не более 10% толщины листа; пузыри на поверхности листа в количестве не более 5 шт., диам. не более 5 мм и высотой не более допуска на толщину листов;

3) листы, имеющие некрутую волнистость кромки листа: не более 2 волн на лист высотой не более 10 мм и длиной не менее 100 мм.

Примечание. Количество листов с волнистостью не должно превосходить 20% всего количества листов.

4) листы, имеющие надав от складок листов, не дающий излома.

Примечание. Одновременное нахождение на одном листе надава и волнистости не допускается.

Листы эл-технической стали марок ЕС4А, ЕС4АА и ЕС4 подвергнуты декапировке, т. е. протравлению в соответствующих растворах для удаления пленки окислов. Декапировка листов эл-технической стали остальных марок производится по соглашению между потребителем и поставщиком.

в) Неравномерность толщины листов

§ 5. Разница между наибольшей и наименьшей толщиной (в разных местах) одного и того же листа эл-технической стали не должна превосходить 15% средней толщины данного листа.

г) Свойства при штамповке стали и хрупкость стали

§ 6. Листы эл-технической стали должны обладать свойством штамповаться и резаться, свободно принимая плоскую форму, не пружинясь и не ломаясь, и должны выдерживать без излома не менее след. числа перегибов:

Марка стали	Толщина листа мм	Число перегибов
ЕС1А	1,0	Устанавлив. при заказе
ЕС1А и ЕС1	0,5	10
ЕС1АА	0,5	9
ЕС2А	0,5	7
ЕС3А	0,5	4
ЕС3А	0,35	5
ЕС4АА, ЕС4А, ЕС4	0,5	1
ЕС4А и ЕС4	0,35	1,5

НТБ
ДНУЗТ

д) Магнитная индукция стали

§ 7. Магнитная индукция листовой эл-технической стали для определенных значений намагничивающих ампер-витков на 1 см д. б. не менее указанной в след. табл.:

Марки стали	Толщина листа мм	Магнитная индукция в гауссах при ампер-витках на 1 см			
		25	50	100	300
ЕС1А	1,0	По соглашению между потребителем и поставщиком			
ЕС1А	0,5	15 100	16 400	17 700	19 900
ЕС1	0,5	15 000	16 300	17 500	19 700
ЕС1АА	0,5	14 700	15 800	17 000	19 200
ЕС2А	0,5	14 600	15 700	16 800	19 000
ЕС3А	0,5	14 500	15 600	16 700	18 900
ЕС3А	0,35	14 500	15 600	16 700	18 900
ЕС4АА и ЕС4А	0,5	14 300	15 400	16 500	18 500
ЕС4А	0,35	14 300	15 400	16 500	18 500
ЕС4	0,5	14 400	15 500	16 600	18 700
ЕС4	0,35	14 400	15 500	16 000	18 700

От указанных в этой табл. значений магнитной индукции допускаются отклонения в сторону уменьшения не более чем на 50 гауссов.

Примечание. Приемка листовой эл-технической стали производится по магнитной индукции для двух (из четырех указанных в этой табл.) значений намагничивающих ампер-витков на 1 см. Выбор этих значений производится по соглашению между потребителем и поставщиком.

е) Потери на гистерезис и токи Фуко

§ 8. Потери энергии в листовой эл-технической стали на гистерезис и токи Фуко, измеренные при максимальной индукции $B = 10\,000$ гауссов и $B = 15\,000$ гауссов при частоте тока 50 Hz и при синусоидальной форме кривой приложенного напряжения, не должны превосходить след. величин:

Марки стали	Толщина листа					
	1 мм		0,5 мм		0,35 мм	
	V_{10}	V_{15}	V_{10}	V_{15}	V_{10}	V_{15}
ЕС1	Устанавливается по соглашению между потребителем и поставщиком		3,6 W на 1 кг	8,6 W на 1 кг	—	—
ЕС1А	—	—	3,3 W на 1 кг	7,9 W на 1 кг	—	—
ЕС1АА	—	—	2,85 W на 1 кг	7,0 W на 1 кг	—	—
ЕС2А	—	—	2,6 W на 1 кг	6,4 W на 1 кг	—	—
ЕС3А	—	—	2,3 W на 1 кг	5,6 W на 1 кг	2,0 W на 1 кг	4,2 W на 1 кг
ЕС4	—	—	1,8 W на 1 кг	3,9 W на 1 кг	1,45 W на 1 кг	3,4 W на 1 кг
ЕС4А	—	—	1,8 W на 1 кг	3,8 W на 1 кг	1,3 W на 1 кг	3,3 W на 1 кг
ЕС4АА	—	—	1,6 W на 1 кг	3,5 W на 1 кг	—	—

Примечание. Потери энергии на гистерезис и токи Фуко в ваттах на 1 кг стали называются уд. потерями и обозначаются символом V с индексом 10 и 15: V_{10} и V_{15} . При этом V_{10} обозначает уд. потерю при максимальной индукции $B = 10\,000$ гауссов и V_{15} обозначает уд. потерю при максимальной индукции $B = 15\,000$ гауссов.

По соглашению между потребителем и поставщиком допускается приемка листовой эл-технической стали по одному значению уд. потерь при $B = 10\,000$ гауссов или при $B = 15\,000$ гауссов, т. е. по V_{10} или по V_{15} .

ДНУЗТ

ж) Старение стали

§ 9. Увеличение потерь на гистерезис и токи Фуко в листовой эл-технической стали вследствие ее старения (см. § 16) допускается:

Для стали марок ЕС1, ЕС1А не более 7,5 ⁰ / ₀	} от соответствующей величины потерь, указанной в § 9 настоящего стандарта.
» » » ЕС1АА, ЕС2А, ЕС3А — не более 6,5 ⁰ / ₀	
» » » ЕС4, ЕС4А и ЕС4АА — не более 5 ⁰ / ₀	

Испытание листовой эл-технической стали на старение носит факультативный характер.

В. Правила приемки

З-д-изготовитель листовой эл-технической стали обязан выдавать на каждую выпускаемую партию стали сертификат, удостоверяющий соответствие стали требованиям настоящего стандарта (см. ОСТ 4135).

Приемка листовой эл-технической стали производится на з-де-поставщика согласно след. правилам:

а) Порядок испытания.

§ 10. Листовая эл-техническая сталь подвергается при приемке нижеуказанным испытаниям в след. порядке: а) наружному осмотру; б) определению геометрических размеров листов; в) определению хрупкости стали; г) определению магнитной индукции; д) определению потерь энергии на гистерезис и токи Фуко.

Кроме того по требованию потребителя определяют увеличение потерь на гистерезис и токи Фуко, получаемые вследствие старения стали.

б) Отбор проб и браковка

§ 11. 1) Все предъявляемое к приемке количество листов эл-технической стали разбивают на партии, однородные по маркам, геометрическим размерам, времени термической обработки, по номеру отжигательной коробки, весом (партии): для стали марок ЕС1, ЕС1А, ЕС1АА, ЕС2А, ЕС3А в 5 т и для марок ЕС4, ЕС4А, ЕС4АА в 3 т, при чем каждый остаток от разбивки стали на партии считается за отдельную партию.

Испытание образцов стали производят для каждой партии стали.

2) Проверка листовой эл-технической стали по § 2 и 3 настоящего стандарта производится для каждой партии стали по 5 листам по выбору приемщика. В том случае, когда 2 листа из отобранных 5 не удовлетворяют требованиям § 2 и 3, партия стали пересортировывается и вновь испытывается (см. п. 7 этого параграфа). Если при первом испытании один из отобранных 5 листов не удовлетворяет требованиям § 2 и 3, производят дополнительную проверку двойного количества листов стали. Если при этом испытании хотя бы один лист не удовлетворяет требованиям § 2 и 3, то вся партия стали пересортировывается и испытывается согласно п. 7 этого параграфа.

3) Наружному осмотру по § 4 подвергается, по усмотрению приемщика, не менее 10⁰/₀ количества листов, предъявленных к приемке. При неудовлетворительности результатов наружного осмотра стали партия стали д. б. пересортирована и испытана согласно п. 7 этого параграфа.

Примечание. В случае разногласия между потребителем и поставщиком относительно имеющихся наружных недостатков листовой эл-технической стали вопрос о приемке стали по наружному осмотру подлежит разрешению арбитражной комиссии из представителей заинтересованных сторон под председательством приглашенного ими нейтрального лица.

4) Проверка листовой эл-технической стали по § 5 производится для каждой партии стали по 2 листам, взятым для магнитных испытаний. В случае, если один из отобранных листов стали не удовлетворяет требованиям § 5, производят дополнительную проверку стали по 4 листам. Если из этих 4 листов стали хотя бы один не удовлетворит требованию § 5, то вся партия стали пересортировывается и испытывается согласно п. 7 настоящего параграфа.

5) Испытание стали на хрупкость по § 6 производится для 2 листов каждой партии стали, взятых для магнитного испытания, по 4 образцам для каждого листа стали.

В случае неудовлетворительности результатов испытания хотя бы одного листа производится дополнительное испытание 4 листов стали. При неудовлетворительности результатов вторичного испытания хотя бы одного листа партия стали бракуется.

6) Определение магнитной индукции и потерь энергии на гистерезис и токи Фуко по § 7 и 8 производят для каждой партии стали по одному образцу. В случае неудовлетворительности результатов испытания производят определение магнитной индукции и потерь для двойного количества образцов. При неудовлетворительности результатов повторного испытания хотя бы одного образца партия стали бракуется.

7) После пересортировки согласно пп. 2, 3, 4 настоящего параграфа партия стали вновь, предъявляется к приемке. При этой приемке берется для испытания: по § 2 и 3 — 10 листов стали, по § 4 — не менее 20⁰/₀ предъявленного к приемке количества листов стали и по § 5 и 6 — 10 листов стали. В случае неудовлетворительности результатов хотя бы одного из испытаний, партия стали бракуется.

Г. Методы испытаний

а) Определение геометрических размеров стали

§ 12. 1) Длину и ширину листов эл-технической стали определяют непосредственным измерением метром или рулеткой.

2) Толщину листов и ее неравномерность определяют при помощи микрометра; точки для промеров берутся по диагонали листов, взятых для магнитных испытаний; производится не менее четырех измерений для каждого листа стали.

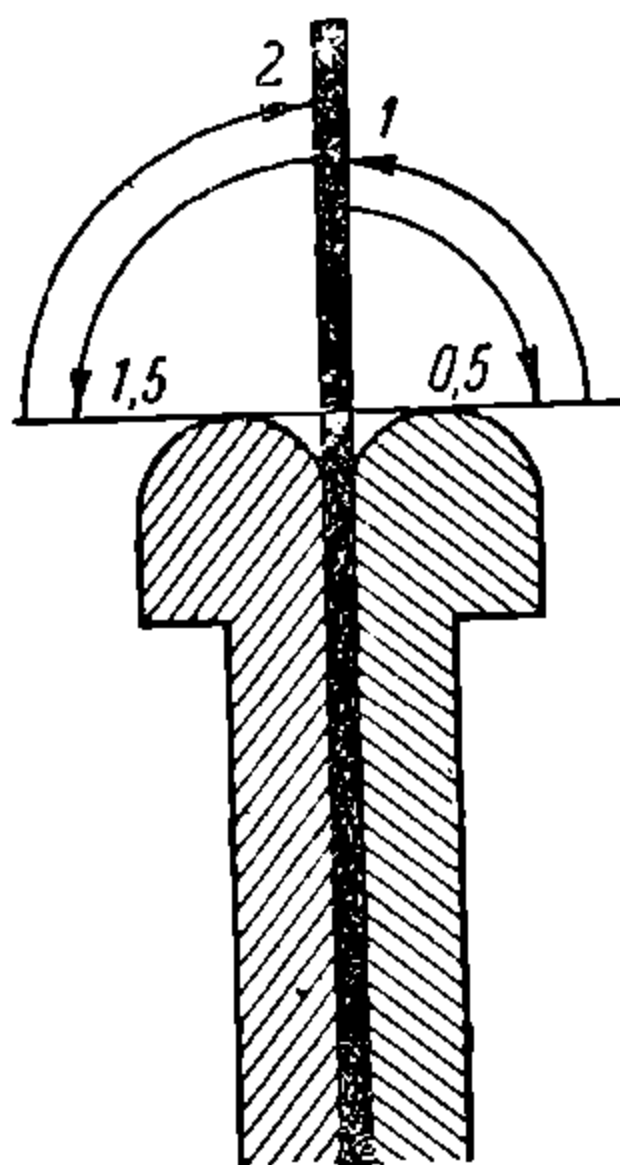
Примечание. Промеры толщины листов должны производиться на расстоянии не менее 20 мм от кромки и линии разреза листа и не менее 100 мм от углов.

3) Рябоватость листа стали измеряется посредством предварительного промера толщины листа и последующего промера толщины отшлифованного от рябоватости листа.

НТБ
ДНУЗТ

б) Испытание стали на хрупкость

§ 13. Испытание стали на хрупкость производится посредством перегибания образцов листов стали. Из каждого взятого для испытания листа стали из разных его мест, начиная с расстояния 100 мм от кромки листа, нарезаются вдоль прокатки листа 4 образца шириной каждый 30 мм. Перегибы образцов стали производятся на тисках с закругленными губками. Радиус закругления губок тисков равен 5 мм.



Перегибы должны производиться в указанной на прилагаемой фиг. последовательности. За один перегиб считается загиб от среднего (начального) положения образца стали в одну сторону на 90° и обратное его выпрямление до начального положения (см. фиг.). Характеристикой хрупкости данного листа стали считается ср.-арифметическое число выдержанных перегибов 4 образцами этого листа стали. Указанное испытание стали на хрупкость должно производиться при темп-ре окружающей среды $15-35^\circ$.

в) Определение магнитной индукции и потерь на гистерезис и токи Фуко

§ 14. Определение магнитной индукции и потерь на гистерезис и токи Фуко производят посредством прибора Эпштейна с 2 обмотками дифференциальным методом. При этом определение магнитной индукции нужно производить при таких условиях, чтобы полученные результаты относились к основной кривой намагничивания стали. Магнитная цепь должна состоять из 10 кг испытуемой стали. Необходимые для этих испытаний образцы листовой эл-технической стали взяты в форме прямоугольных полос длиной 500 мм и шириной 30 мм. Половина этих полос д. б. нарезана из листов в направ-

лении прокатки листов и др. половина — в направлении, перпендикулярном прокатке листов. Полосы стали д. б. нарезаны при помощи острого инструмента, не должно быть заусениц и после нарезания не д. б. подвергаемы какой-либо дальнейшей обработке. Из этих полос составляют 4 одинаковых пакета весом по 2,5 кг каждый, при чем в каждом пакете д. б. ваты: одна половина полос, вырезанных вдоль прокатки листов, а др. половина полос, вырезанных поперек прокатки листов.

Потери на гистерезис и токи Фуко (уд. потери) определяются для значений максимальной магнитной индукции стали, равных 10000 и 15000 гауссов при частоте тока 50 Гц.

§ 15. При подсчетах уд. потерь листовой эл-технической стали уд. в. принимается:

Марки стали	Уд. вес	Примечание
ЕС1А и ЕС1	7,8	Нетравленая сталь
ЕС1АА	7,8	»
ЕС2А	7,75	»
ЕС3А	7,65	»
ЕС4АА, ЕС4А, ЕС4	7,6	Травленая

Примечания. 1. Для изоляции друг от друга полос в испытуемых пакетах применяется бумажная прокладна.

2. Если при определении магнитной индукции измеряют несколько значений ее и если при этом результаты измерения изображают графически, то кривые вычерчиваются в след. масштабе: по оси абсцисс откладывают величины намагничивающего поля, выраженные в ампер-витках на 1 см в масштабе: 1 см соответствует 10 ампер-ниткам на 1 см, а по оси ординат откладывают значения магнитной индукции в масштабе: 1 см соответствует 1000 гауссам.

3. Если уд. потери определяют для нескольких значений магнитной индукции и если на основании полученных данных вычерчивают кривые уд. потерь, то масштабы для означенных кривых д. б. выбраны след.: по оси абсцисс откладывают уд. потери в масштабе: 1 см соответствует 0,5 на 1 кг, а по оси ординат откладывают значения магнитной индукции в масштабе: 1 см соответствует 1000 гауссам.

4. Измерение уд. потерь посредством прибора Эпштейна не исключает возможности производства измерений также при помощи электро-метра в разомкнутой магнитной цепи на отдельных образцах стали размерами: длиной 500 мм и шириной 30 мм (после массовой проверки этого метода в з-дских условиях и по одобрении его Всесоюзным научно-исследовательским ин-том метрологии и стандартизации).

г) Испытания на старение

§ 16. Увеличение потерь на гистерезис и токи Фуко в листовой эл-технической стали вследствие ее старения определяется после нагрева образцов стали в течение 600 ч. при темп-ре 100° или же после нагрева образцов стали в течение 120 ч. при темп-ре 120° .

Примечание. Допускается определение старения стали после нагрева образцов стали в течение 12 ч. при темп-ре 200° .

Д. Упаковка и маркировка

а) Упаковка стали

§ 17. Способ упаковки листовой эл-технической стали устанавливается по соглашению между потребителем и поставщиком в ящиках или пачках с их обвязкой, гарантирующей пачки стали от распадаения.

б) Маркировка стали

§ 18. Для каждой пачки листовой эл-технической стали на верхнем ее листе д. б. указано:

а) наименование объединения или з-да;

б) марка стали, ее сорт и уд. потери;

в) толщина листов в мм;

г) номер отжигательной коробки;

д) вес брутто;

е) $\frac{\text{ОСТ}}{\text{ВКС}}$ 6391;

ж) клеймо ОТК (з-да-изготовителя);

з) номер контролера ОТК (з-да-изготовителя)

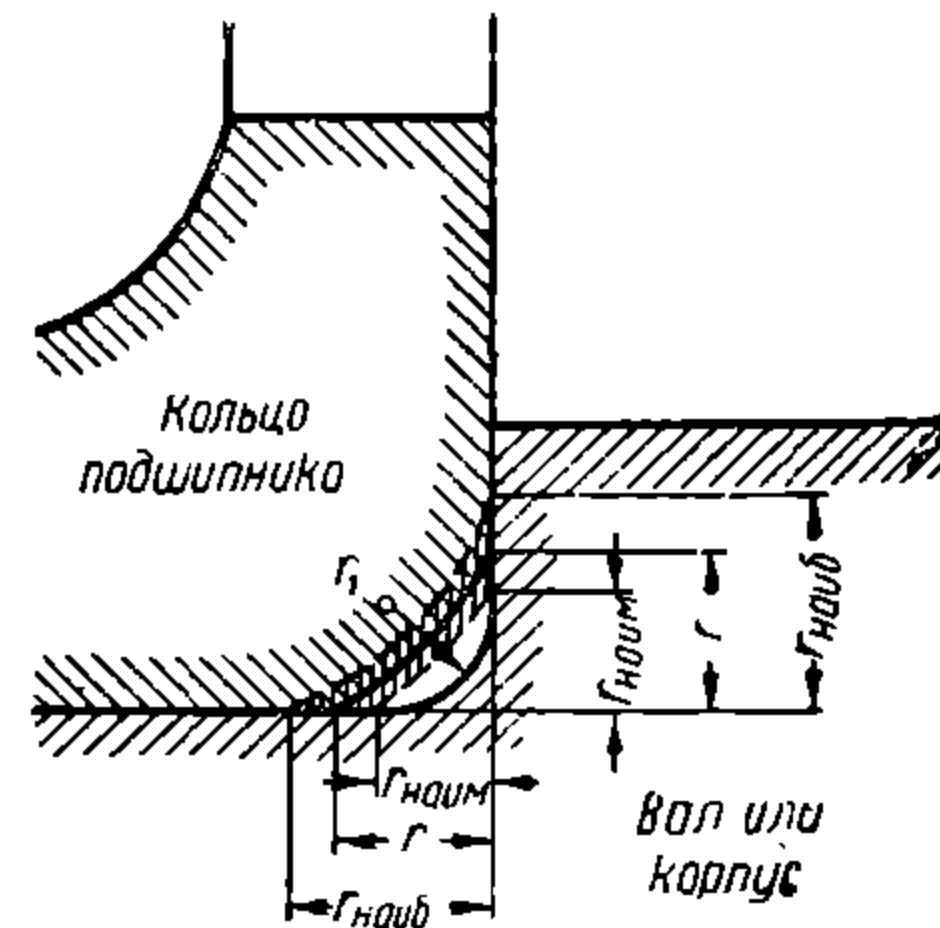
Маркировка стали производится штемпелями штемпельной краской.

НТБ
ДНУЗТ

Табл. 60. Шарико- и роликоподшипники. Закругления углов (фаска) (ОСТ ВКС 7939)

Размеры r относятся к подшипнику,
 r_2 —к валу или корпусу.

Подшипник			Вал и корпус
r			r_1
номинальный	наименьший	наибольший	наибольший
0,3	0,2	0,5	0,2
0,5	0,3	0,8	0,3
1	0,6	1,4	0,6
1,5	1	2	1
2	1	2,5	1
2,5	1,5	3	1,5
3	2	3,8	2
3,5	2	2,4	2
4	2,5	5	2,5
5	3	6	3
6	4	7	4
8	5	9	5



ОСТ ВКС 6446 Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами

Констр. разновид. роликоподшипн. радиальн. с корот. цилиндр. роликами	Без бортов на наружном кольце	С одним бортом на наружном кольце и упорной шайбой	Без бортов на внутреннем кольце	С одним бортом на внутреннем кольце	Без бортов на внутренн. кольце	С одним бортом на внутренн. кольце
					с упорной фасонной шайбой	
Серии	Условные обозначения серий					
Легкая .	2200	—	—	—	—	—
Средняя	2300	22300	32300	—	52300	—
Тяжелая	2400	22400	32400	—	52400	—
Средняя широкая	2600	22600	32600	42600	52600	62600

Стандартными являются только сер., для к-рых в табл. указаны условные обозначения.

Для обозначения размеров подшипников надо в обозначениях сер. заменить стоящие справа нули условным обозначением внутреннего диам. из нижеприведенных табл.

Пример условного обозначения роликоподшипника радиального с короткими цилиндрическими роликами без бортов на внутреннем кольце с упорной фасонной шайбой средней широкой сер. внутренним диам. 100 мм: «Подшипник 52620».

Условное обозначен. внутр. диам.	Размеры мм (фиг. 98)					Коэф-т работоспособности С	Предельное число об/мин.	Вес приближител. кг
	d	D	b	r	r_2			
Легкая серия								
06	30	62	16	1,5	1	19000	10000	0,26
07	35	72	17	2	1	28000	10000	0,36
08	40	80	18	2	2	36000	5000	0,44
09	45	85	19	2	2	38000	5000	0,51
10	50	90	20	2	2	40000	5000	0,58
11	55	100	21	2,5	2	50000	5000	0,72
12	60	110	22	2,5	2,5	60000	5000	0,97
13	65	120	23	2,5	2,5	70000	5000	1,2
14	70	125	24	2,5	2,5	72000	3500	1,3
15	75	130	25	2,5	2,5	85000	3500	1,4
16	80	140	26	3	3	95000	2500	1,7

НТБ ДНУЗТ

Условное обозначен. внутр. диам.	Размеры мм					Коэф-т работоспособности C	Предельное число об/мин.	Вес приблизительн. кг
	d	D	b	r	r_2			
Легкая серия								
17	85	150	28	3	3	110 000	2500	2,2
18	90	160	30	3	3	130 000	1500	2,7
19	95	170	32	3,5	3,5	150 000	1500	3,2
20	100	180	34	3,5	3,5	170 000	1500	3,8
Средняя серия								
08	40	90	23	7	2,5	50 000	5000	0,75
09	45	100	25	7	2,5	65 000	5000	0,95
10	50	110	27	8	3	80 000	5000	1,3
11	55	120	29	9	3	100 000	5000	1,7
12	60	130	31	9	3,5	115 000	3500	2,1
13	65	140	33	10	3,5	130 000	3500	2,5
14	70	150	35	10	3,5	145 000	2500	3,1
15	75	160	37	11	3,5	170 000	2500	3,7
16	80	170	39	11	3,5	180 000	2500	4,4
17	85	180	41	12	4	215 000	2500	5,2
18	90	190	43	12	4	230 000	1500	6,1
19	95	200	45	13	4	240 000	1500	7,1
20	100	215	47	13	4	290 000	1500	8,8

Условн. обозна-чен. внутр. диам.	Размеры мм					Коэф-т работоспо-собности C	Предельное число об/мин.	Вес приблизитель-ный кг	Условн. обозна-чен. внутр. диам.	Размеры мм					Коэф-т работоспо-собности C	Предельное число об/мин.	Вес приблизитель-ный кг
	d	D	b	b_1	r и r_2					d	D	b	b_1	r и r_2			
Тяжелая серия									Средняя широкая серия								
08	40	110	27	8	3	830000	5000	1,3	14	70	150	51	10	3,5	1900000	1500	4,5
09	45	120	29	8	3	1000000	5000	1,8	15	75	160	55	11	3,5	2300000	1500	5,5
10	50	130	31	9	3,5	1250000	3500	2,3	18	80	170	58	11	3,5	2400000	1500	6,5
11	55	140	33	10	3,5	1300000	3500	2,8	17	85	180	60	12	4	2900000	1500	7,5
12	60	150	35	10	3,5	1550000	2500	3,4	18	90	190	64	12	4	3100000	1000	9,5
13	65	160	37	11	3,5	1750000	2500	4,0	19	95	200	67	13	4	3500000	1000	10,5
14	70	180	42	12	4	2250000	1500	5,9	20	100	215	73	13	4	4000000	1000	14
15	75	190	45	13	4	2500000	1500	7,0	22	110	240	80	14	4	5100000	1000	19
16	80	200	48	13	4	2800000	1500	8,4	24	120	260	86	14	4	6200000	1000	24
17	85	210	52	14	5	3200000	1500	10	26	130	280	93	14	5	7300000	1000	30
18	90	225	54	14	5	3600000	1000	11,5									
19	95	240	55	15	5	3900000	1000	14									

1. Коэф-т работоспособности C является характеристикой качества подшипника. Для каждого подшипника нагрузка Q кг, число об/мин. n и наименьшее число часов h , к-рое подшипник при заданных Q и n должен проработать без проявления признаков усталости, связаны зависимостью:

$$C = Q(nh)^{0,3}.$$

2. Руководящие указания по выбору подшипников и по определению допустимой нагрузки в разных условиях работы см. в приложении к $\frac{\text{ОСТ}}{\text{ВКС}}$ 6799.

3. Допуски — см. $\frac{\text{ОСТ}}{\text{ВКС}}$ 2202, посадки — см. $\frac{\text{ОСТ}}{\text{ВКС}}$ 6120.

Посадки шарико- и роликоподшипников $\frac{\text{ОСТ}}{\text{ВКС}}$ 6120

Шарико- и роликоподшипники изготавливаются с допусками по $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}}$ — $\frac{8297}{1500}$

Различные посадки шарико- и роликоподшипников на валу осуществляются по сист.

НТБ
ДУЗТ

отверстия: допуски внутреннего диам. подшипника остаются постоянными, а для разных посадок меняются предельные размеры вала.

Различные посадки шарико- и роликоподшипников в корпусах осуществляются по сист. вала: допуски наружного диам. подшипника остаются постоянными, а для разных посадок меняются предельные размеры отверстия корпуса.

Д о п у с к и в а л о в

В зависимости от характера требуемого соединения предельные отклонения для вала должны выбираться из след. ряда предельных отклонений, установленных общесоюзной сист. допусков и посадок для вала в сист. отверстия:

Г, Т, Н, П, С = В, Д по ОСТ 1012

Под подшипники на конических втулках валы должны обрабатываться с отклонениями, установленными для основного вала 3-го класса точности (B_3) по ОСТ 1023 или 4-го класса (B_4) по ОСТ 1024; овальность, т. е. разность между наибольшим и наименьшим диам. в одном сечении, не должна превышать допуск вала B_3 .

Д о п у с к и о т в е р с т и й к о р п у с о в

В зависимости от характера требуемого соединения предельные отклонения отверстия корпуса должны выбираться из след. ряда предельных отклонений, установленных общесоюзной сист. допусков и посадок для отверстий в сист. вала:

P7 1 SA
 Г, Т, Н, П, С = А по ОСТ 1022
 П₁ по ОСТ 1021
 С₃ = А₃ по ОСТ 1023

**П р и м е р ы п р и м е н е н и я
 о т д е л ь н ы х п о с а д о к**

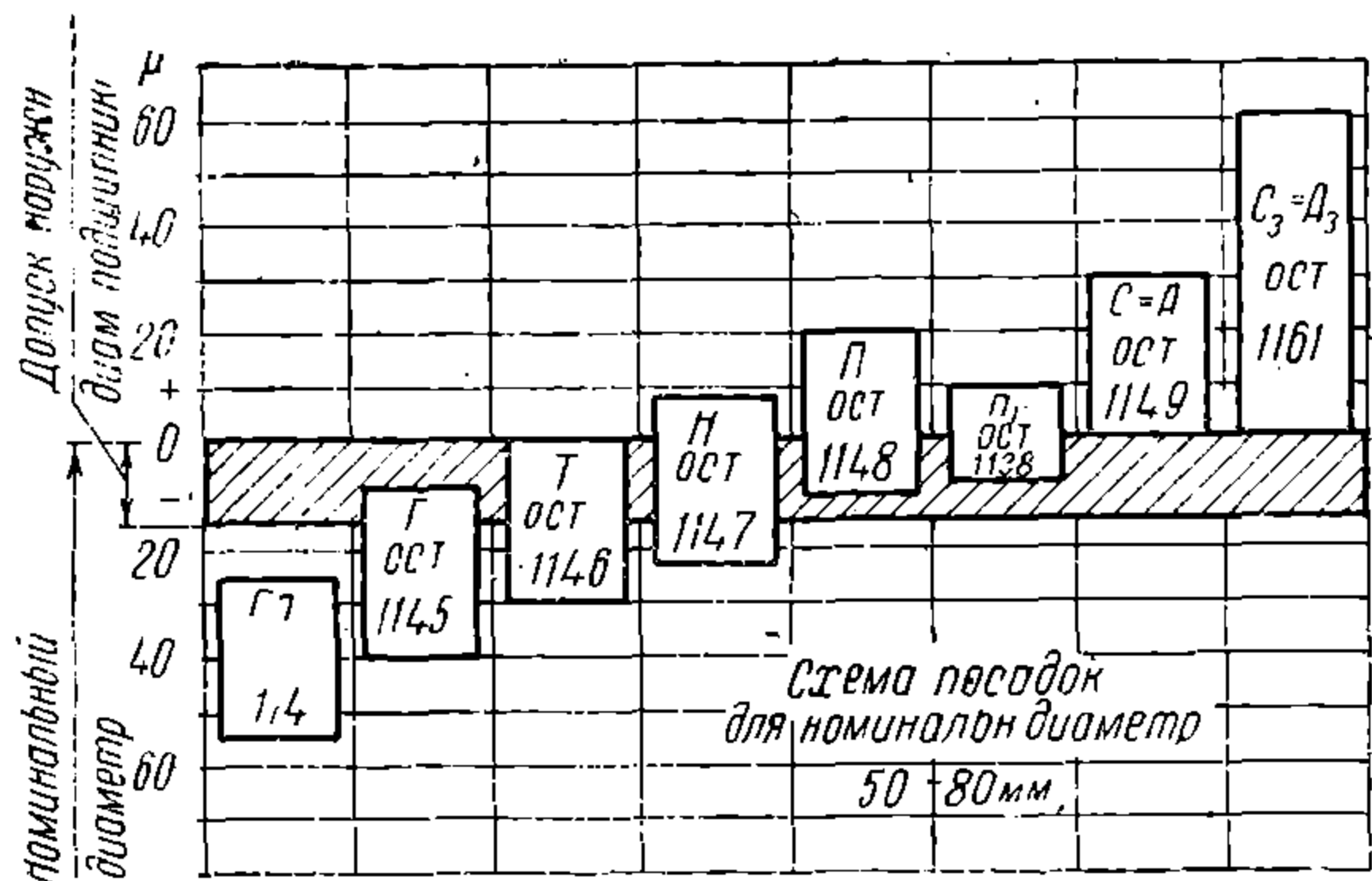
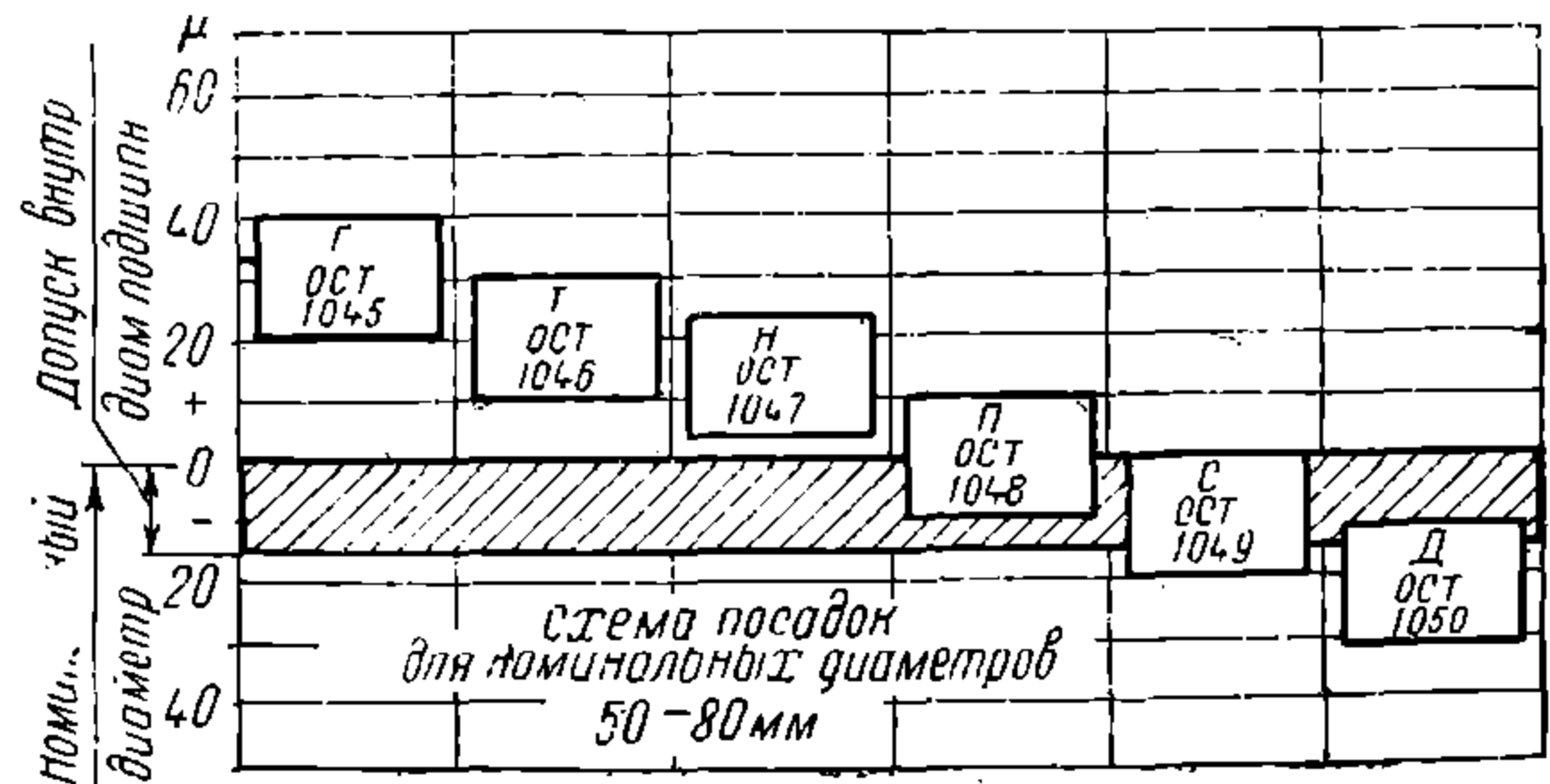
При назначении посадок шарико- и роликоподшипников должно исходить из учета след. условий, 1) вращается ли вал или корпус, 2) величина и характер нагрузки, 3) число оборотов, 4) условия монтажа, 5) конструкция подшипника.

В табл. примеров применения отдельных посадок (см. стр. 135) под признаком «вращается вал» подразумевается, что направление действующего усилия при вращении вала остается постоянным. Аналогичные условия работы подшипника получаются, когда вал неподвижен, а вращается корпус с приложенным к нему в определенной точке радиальным усилием.

Под признаком «вращается корпус» подразумевается, что направление действующего усилия при вращении корпуса остается постоянным. Аналогичные условия работы подшипника получаются, когда корпус неподвижен, а вращается вал с приложенным к нему в определенной точке радиальным усилием.

Под признаком «неопределенное направление усилий» подразумевается случай, когда вследствие влияния неуравновешенных вращающихся масс направление действующих на подшипник усилий неопределенно меняется при вращении вала или корпуса. Это имеет место при больших числах оборотов и небольших статических нагрузках.

Под большими числами оборотов подразумеваются числа свыше 2000. (Табл. примеров применения отдельных посадок см. на стр. 135).



НТБ
ДНУЗТ

Посадки шарико-и роликоподшипников на вал

Номинальные диам. мм	Отклонения внутреннего диам. подшипника по ОСТ 8297 НКТП 1500		Размеры в микронах (1 микрон = 1 μ = 0,001 мм)											
			Обозначение калибров для валов											
			Г		Т		Н		П		С		Д	
			Отклонения вала											
		В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	
До 6	0	-10	+16 +8	+13 +5	+9 +1	+4 -4	0	-8	-4 -12					
Св. 6 до 10	0	-10	+20 +10	+16 +6	+12 +2	+5 -5	0	-10	-5 -15					
10 18	0	-10	+24 +12	+19 +7	+14 +2	+6 -6	0	-12	-6 -18					
18 30	0	-10	+30 +15	+23 +8	+17 +2	+7 -7	0	-14	-8 -22					
30 50	0	-12	+35 +18	+27 +9	+20 +3	+8 -8	0	-17	-10 -27					
50 80	0	-15	+40 +20	+30 +10	+23 +3	+10 -10	0	-20	-12 -32					
80 120	0	-20	+45 +23	+35 +12	+26 +3	+12 -12	0	-23	-15 -38					
120 180	0	-25	+52 +25	+40 +13	+30 +4	+14 -14	0	-27	-18 -45					
180 250	0	-30	+60 +30	+45 +15	+35 +4	+16 -16	0	-30	-22 -52					
Н а т я г и														
			наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.					
До 6			26 8	23 5	19 1	14 -4	10 -8	6 -12						
Св. 6 до 10			30 10	26 6	22 2	15 -5	10 -10	5 -15						
10 » 18			34 12	29 7	24 2	16 -6	10 -12	4 -18						
18 » 30			40 15	33 8	27 2	17 -7	10 -14	2 -22						
» 30 » 50			47 18	39 9	32 3	20 -8	12 -17	2 -27						
» 50 » 80			55 20	45 10	38 3	25 -10	15 -20	3 -32						
» 80 » 120			65 23	55 12	46 3	32 -12	20 -23	5 -38						
» 120 » 180			77 25	65 13	55 4	39 -14	25 -27	7 -45						
» 180 » 250			90 30	75 15	65 4	46 -16	30 -30	8 -52						

НТБ
ДНУЗТ

Посадки шарико-и роликоподшипников в корпус

Номинальные диам. мм	Отклонения наружного диам. под- шипника по ОСТ 8297 НКТII 1500	Размеры в микронах (1 микрон = μ = 0,001 мм)									
		Обозначения калибров для отверстий корпусов									
		P7— ISA	Г	Т	Н	П	П ₁	С=А	С ₃ =А ₃		
		О т к л о н е н и я о т в е р с т и й									
В		Н		В		Н		В		Н	
До 18	0 — 8	—11 —29	—5 —24	0 —19	+5 —14	+13 —6	+7 —5	+19 0	+35 0		
Св. 18 до 30	0 — 9	—14 —35	—6 —30	0 —23	+6 —17	+16 —7	+8 —6	+23 0	+45 0		
» 30 » 50	0 —11	—17 —42	—7 —35	0 —27	+7 —20	+18 —8	+9 —7	+27 0	+50 0		
» 50 » 80	0 —13	—21 —51	—8 —40	0 —30	+8 —23	+20 —10	+10 —8	+30 0	+60 0		
» 80 » 120	0 —15	—24 —59	—10 —45	0 —35	+9 —26	+23 —12	+12 —9	+35 0	+70 0		
» 120 » 150 » 150 » 180	0 —18 0 —25	—28 —68	—12 —52	0 —40	+10 —30	+27 —14	+14 —10	+40 0	+80 0		
» 180 » 250 » 250 » 260	0 —30 —35	—79—33 —36	—15 —60	0 —45	+11 —35	+30 —16	+16 —11	+45 0	+90 0		
» 260 » 315	0 —35	—88	—18 —70	0 —50	+12 —40	+35 —18	+18 —13	+50 0	+100 0		
		Н а т я г и						З а з о р ы			
		наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.	наиб. наим.
До 18		29 3	4 — 3	19 — 8	14 — 13	6 — 21	5 — 15	0 27	0 43		
Св. 18 до 30		35 5	30 — 3	23 — 9	17 — 15	7 — 25	6 — 17	0 32	0 54		
» 30 » 50		42 6	35 — 4	27 — 11	20 — 18	8 — 29	7 — 20	0 38	0 61		
» 50 » 80		51 8	40 — 5	30 — 13	23 — 21	10 — 33	8 — 23	0 43	0 73		
» 80 » 120		59 9	45 — 5	35 — 15	26 — 24	12 — 38	9 — 27	0 50	0 85		
» 120 » 150		68 10	52 — 6	40 — 18	30 — 28	14 — 45	10 — 32	0 58	0 98		
» 150 » 180		68 3	52 — 13	40 — 25	30 — 35	14 — 52	10 — 39	0 65	0 105		
» 180 » 250		79 3	60 — 15	45 — 30	35 — 41	16 — 60	11 — 46	0 75	0 120		
» 250 » 260		88 1	60 — 20	45 — 35	35 — 46	16 — 65	11 — 51	0 80	0 125		
» 260 » 315		88 1	70 — 17	50 — 35	40 — 47	18 — 70	18 5 3	0 85	0 135		

НПБ
ДНУЗТ

Обозначение калибров		Общая характеристика условий, определяющих выбор посадки		Примеры применения в отдельных механизмах		
Для обработки вала	Г	Вращается вал	Неопределенное направление усилий	Особо тяжелые и тяжелые ударные нагрузки.	Ж.-д. бунсы и коленчатые валы дв-лей.	Валики опорных роликов, вращающихся печей. Бегунки мостовых кранов и ролики поворотных паровозных кругов.
	Т			Тяжелые нагрузки.		Эл-моторы свыше 100 kW, дифференциалы автомобилей, редукторы.
	Н			Нормальные нагрузки. Конические роликоподшипники.	Коробки скоростей и промежуточные передачи автомобилей и тракторов. Шпиндели и коробки скоростей станков.	Эл-моторы мощностью до 100 kW.
	П	Нормальные и легкие нагрузки. Большие числа оборотов. Упорные подшипники.		Циркулярные пилы, деревообрабатывающие станки, вентиляторы, малые эл-моторы. Места, где по условиям монтажа нельзя применить более тугую посадку.		
	С	Вращается корпус		Тяжелые и нормальные нагрузки. Большие числа оборотов.	Передние и задние колеса автомобилей; вагонетки.	Колеса самолетов, эл-приборы, блоки, натяжные ролики, центрофуги.
	Д			Нормальные и легкие нагрузки.		Ролики ленточных транспортеров и подвесных дорог.
Для обработки корпуса	P7 ISA	Вращается корпус	Неопределенное направление усилий	Тяжелые и нормальные нагрузки. Большие числа оборотов. Тонкостенные корпуса.	Колеса самолетов. Передние колеса автомобилей. Колеса вагонеток. Центрофуги.	Блоки, натяжные ролики, ролики ленточных транспортеров и подвесных дорог.
	Г			Нормальные и легкие нагрузки. Места, где по условиям монтажа нельзя применить P7 ISA.		
	Т			Места, где по условиям монтажа нельзя применить более тугую посадку.		
	Н	Вращается вал		Большие числа оборотов. Упорные подшипники.	Шпиндели шлифовальных и деревообрабатывающих станков.	
	П ₁			Точное центрирование.	Шпиндели прецизионных станков.	
	П			Тяжелые и нормальные нагрузки. Большие числа оборотов. Конические роликоподшипники.	Эл-моторы, шпиндели и коробки скоростей, станков. Вентиляторы.	
	С = А			Нормальные и легкие нагрузки.	Трансмиссии автомобилей и тракторов. Большинство узлов общего машиностроения.	
	С ₃ = А ₃			Малые числа оборотов. Разъемные корпуса.	Трансмиссии.	

НТБ
ДНУЗТ

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ¹

1. Жидкое стекло № 1205 — двойной натриевый силикат, бесцветная жидкость, уд. в. 52°. Применяется для покрытия динамо-стали. Изготовитель—«Москоопхим», Москва.
 2. Асбестовое полотно № 1302—грубая ткань из асбестовой пряжи. Шир. рулона 900 мм, толщ. 1,5 и 3,0 мм. Гигроскопичная теплостойкая ткань. Диэлектрические свойства низкие. Применяется для подкладок под бандаж якоря. Поставщик — «Резиносбыт».
 3. Асбестовая лента № 1303 размером: шир. 12,5, 19, 25, 32 мм, толщ. 0,38, 0,5, 0,64, 0,75 мм. Гигроскопична. Теплостойка. Применяется для обмотки секций ТД. Поставщик — «Резиносбыт».
 4. Асбестовая бумага N 1305. Лист 900 × 1000, толщ. 0,2, 0,3, 0,5 мм. Диэлектрическая прочность — 5 кВ мм (в сухом виде). Применяется как межвитковая изоляция катушек.
 5. Лак 2101 (460 Дж. Эл. Ко.) Пропиточный асфальтовый лак, медленно сохнущий, печной сушки. Цвет черный. Уд. в. 0,845—0,85. Время сушки при 100° Ц 12—30 ч. Немаслостоек. Разбавитель № 8504—бензин. Пленка эластичная водонепроницаемая, стойкая против старения при темп-рах до 150°. Применяется для пропитки катушек. Поставщик—ХЭМЗ.
 6. Лак 2102 (458 Дж. Эл. Ко.) Черный асфальтовый быстрой печной сушки. Уд. в. 0,815—0,86. Время сушки при 100° Ц 1—3 ч., на воздухе при 20° Ц—10—15 ч. Немаслостоек. Разбавитель № 8504—бензин 55°. Применяется для пропитки якорей и секций. Поставщик—ХЭМЗ.
 7. Лак 2103 (447 Дж. Эл. Ко.) Черный асфальтовый печной сушки. Уд. в. 0,83—0,86. Время сушки при 100° Ц 5—10 ч. Немаслостоек. Разбавитель № 8501—бензин 55°. Состоит из лака № 2101 и 2102. Обладает хорошей пропиточной способностью. Поставщик—ХЭМЗ.
 8. Лак 2201 (462 Дж. Эл. Ко.) Покровный черный асфальтовый лак воздушной сушки. Уд. в. 0,84—0,93. Время сушки при 20° Ц 15 мин.—2 ч. Разбавитель — бензин. Применяется для цементации катушек, намотанных на ребро. Для внутренней окраски остовов. Изготовитель—ХЭМЗ.
 9. Лак 2204. Красный глипталевый лак воздушной сушки. Пленка неэластичная. Уд. в. 1—1,1. Время сушки при 20° Ц 1 ч. Разбавители—ацетон и толуол. Пленка глянцевая, маслостойкая, дугостойкая. Применяется для окраски вылетов коллекторных конусов. Лак импортный.
10. Лаки клеющие
- | | |
|------------|----------------------|
| 2301 (441) | асфальтовый |
| 2302 | — шеллачный лимонный |
| 2303 | — » |
| 2304 (214) | копаловый |
| 2305 (155) | » |
| 2306 | — бакелитовый |
| 2307 | — бензомицоловый |
- Применяются для клейки миканитов.
11. Компаунд 2401 (225 Дж. Эл. Ко). Смесь гильзонита, канифоли и льняного масла. Уд. в.—1. Точка капли по Убеллоде 105—100° Ц. Усадка при затвердевании 8,5—9%. Темп-ра вспышки по Мартенс-Пенскому 180—200° Ц. Разбавитель компаунд 2402. Применяется для компаундировки катушек. После прогрева становится тугоплавким. Изготовитель—ХЭМЗ.
 12. Прессшпан 3103 — пропитанный олифой прессшпан 3101. Диэлектрическая прочность 1500 В/мм при толщ. 1—2 мм. Толщ. 0,1—3 мм. Применяется как пазовая изоляция и подкатушечные прокладки.
 13. Литероид. 3107. Применяется в качестве пазовой изоляции и подкладки под бандаж. Импорт.
 14. Бумага кабельная № 3111 толщ. 0,02 и 0,03 мм. Рулон шир. 52 см. Бумага японская № 3112, толщ. 0,02—0,03 мм, рулоны шир. 46 и 96 см. Импорт. Бумага конденсаторная № 3113, толщ. 0,009—0,11 мм. Рулоны шир. 560 мм. Применяется для клейки миканитовой ленты и как основа для клейки миканита.
 15. Батист 3201 — светложелтая хлопчатобумажная ткань толщ. 0,15—0,1 мм. Применяется для изготовления черной и желтой ткани. ОСТ 653.
 16. Полотно суровое 3202. Толщ. 0,4 мм. Применяется для чехлов лобовых частей якоря.
 17. Флорентин 3203, шелковая ткань толщ. 0,08—0,1 мм. Применяется для изготовления микаленты № 4505 и 4506.
 18. Шелк — муслин № 3206, толщ. 0,08—0,09 мм. Для изготовления составного миканита № 4508.
 19. Шифон 3204, толщ. 0,12 мм, для изготовления лакотнани 3304 и 3305.
 20. Полотняная лента 3207. Шир. ленты 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45 мм. Толщ. 0,15—0,25 мм. Разрывное усилие при толщ. 0,25 мм и шир. 10 мм вдоль ленты—10 кг. Применяется для изоляции катушек перед компаундированием. После пропитки в лаке 2101 применяется для изоляции лобовых частей обмотки.
 21. Киперная лента № 3208. Шир. 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 мм. Толщ. 0,4—0,5 мм. Разрывное усилие 15 кг при шир. 10 мм и толщ. 0,25 мм. После пропитки (лента 3308) в лаке 2103 применяется для изоляции катушек и секций. При пропитке увеличивает толщ. на 10%.
 22. Английская бечевка пропитанная № 321. Получается пропиткой английской бечевки в льняном масле; диам. 1, 2, 3 мм. Разрывное усилие 2,5 кг/мм². Применяется для бандажировки коллекторных вылетов и т. п.
 23. Желтая лакоткань 3304 (английск. полотно, эксцельсиор желтый кембрик). Пропитанный льняным маслом шифон 3204. Толщ. 0,25—0,3 мм. Шир. рулона 1 м, диэлектрическая прочность—35 кВ/мм. При повышенной темп-ре стареет, становится хрупкой. Применяется для изоляции катушек. Изготовитель—Московский эл-изоляционный з-д.
 24. Черная лакоткань кембрик. Шифон № 3204, пропитанный асфальтовым лаком.
 25. Лента шелковая пропитанная № 3209 (импорт) толщ. 0,1 мм, шир. 15—20 мм для изоляции весьма компактных моторов.

¹ По изоляционной книге з-да «Динамо» им. Кирова, Москва.

НТБ
ДНУЗТ

26. Лента прорезиненная липкая, 3310, серого или черного цвета, шир. 10, 15, 20, 50 мм, толщ. 0,25—0,35 мм. Поставщик—«Резиносбыт».

27. Миканит прокладочный 4201. Миканит клееный на шеллаке из слюды (III сорт) флогопит из отходов толщ. 0,5, 0,8, 1, 1,5, 2, 2,5, 3 мм, лист размером 600 × 600. Диэлектрическая прочность 715 кВ/мм. Содержит склеивающих веществ 8—10%. Дешевый, низкого качества миканит для прокладок между слоями в катушках, прокладок в щеткодержателях трамвайных моторов. Изготовитель—з-д «Динамо» им. Кирова.

28. Коллекторный миканит (мегомит) 4202 на шеллачном лаке из слюды флогопита (I—II сорт), содержит минимальное возможное количество склеивающего вещества < 4,25%. Усадка не больше 3% при давлении 500 кг/м² и темп-ре 120° Ц. При этом не д. б. скольжения и вытекания слюды. Толщ. 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1, 1,18 в полосах 120—150—200 × 750. Толщ. точно выдерживается шлифовкой поверхности. Отклонения в толщ. ± 0,03 мм. Диэлектрическая прочность \approx 30 кВ/мм. Применяется в качестве межламельной изоляции. Изготовитель—Электрокомбинат, Москва.

29. Миканит составной 4203. Изготавливается из слюды флогопит (I и II сорт), оклеенный с одной стороны бумагой, а с др. шифоном. Толщ. 0,25—0,3 мм. Для изоляции пазовой части секций трамвайных дв-лей.

30. Миканитовые шайбы 4205. Шайбы штампуются из обрезков коллекторного миканита и служат для изоляции кронштейна щеткодержателя.

31. Миканит формовочный 4301. Миканит, клееный на шеллаке из слюды мусковит. Содержание шеллака 10—12%. Вырабатывается специальными выкройками, а не в листах. Фрезеруется для получения точной толщины. Прессуется в горячем состоянии для получения диэлектрической прочности \sim 40 кВ/мм. Применяется для изготовления коллекторных конусов. Изготовитель—з-д «Динамо» им. Кирова, Москва.

32. Миканит формовочный 4303. То же, что и 4301, но нефрезерованный. Слюда (I—III сорт). Изготовитель—МЭИЗ.

33. Миканит формовочный 4304. Миканит клееный на шеллаке из смеси слюды мусковит и флогопит. Дешевле миканита 4301. Применяется для коллекторных конусов и цилиндров и для изоляции нажимных шайб.

34. Миканит 4305, аналогичен 4301, но более гибок, с меньшим содержанием шеллака. Применяется для изоляции пальцев щеткодержателей.

35. Миканит формовочный 4306, аналогичен 4305, дешевле его. Применяется для изготовления колпачков на выступы нажимных шайб «ДПЭ-340».

36. Миканит формовочный 4307 (130 Дж. Эл. Ко). Изготавливается из одного слоя телефонной бумаги и одного или двух слоев слюды флогопит (I—II сорт). Толщ. 0,1 и 0,15 мм. Содержание клеящих веществ 12—14%. Применяется для накатки секции. Накатывается в горячем состоянии. Изготовитель—з-д «Динамо» им. Кирова.

37. Миканит формовочный 4310 «микафоль», изготавливается из одного слоя бумаги телефонной и одного слоя слюды флогопит, склеенной бакелитовым лаком. Для изоляции валов реек и т. д. методом горячей накатки.

38. Миканит гибкий 4401. Изготавливается из слюды флогопит, склеенной копаловым лаком с последующей прессовкой, долго сохраняет гибкость при нормальных темп-рах. Содержание склеивающих веществ 16—18%. Толщ. 0,15, 0,3, 0,5 мм, лист 750 × 900 мм. Диэлектрическая прочность 32 кВ/мм. Применяется для изоляции якорей и катушек.

39. Миканит гибкий 4402, то же, что и 4401, но обклеенный с обеих сторон бумагой. Толщ. 0,12 и 0,25 мм. Хуже и дешевле миканита 4401. Применяется для изоляции катушек.

40. Миканит гибкий 4405 (842). Изготавливается из слюды мусковит, склеенной гипталем. Высококачественный дорогой миканит. Применяется для изоляции скоб в местах пайки обмотки. Изготовитель—МЭИЗ.

41. Бумажно-слюдяная лента 4501 (127). Изготавливается из одного слоя щипаной слюды флогопит, наклеенной на копаловом лаке № 2304 между двумя слоями японской бумаги № 3112. Толщ. 0,1 мм, шир. 20 мм. Отклонения по толщ. ± 0,15. Диэлектрическая прочность 15 кВ/мм. Применяется для изоляции якорных стержней. Изготовитель—МЭИЗ.

42. Бумажно-слюдяная лента № 4502. Изготавливается из одного слоя слюды и одного слоя японской бумаги № 3112. Клеящий лак копаловый № 2305. Самая тонкая из микалент. Толщ. 0,075 мм, лист 460 × 200 мм. Диэлектрическая крепость 25 кВ/мм. Применяется для изоляции разрезных (транспозированных) стержней якорной обмотки. Изготовитель—з-д «Динамо» им. Кирова.

43. Бумажно-слюдяная лента № 4503. То же, что 4501, но склеенная лаком № 2305. Толщ. 0,18 мм. Превосходит ленту 4501 по качеству. Изготовитель—МЭИЗ.

44. Бумажно-слюдяная лента 4504 (1764), изготавливается из одного слоя щипаной слюды флогопит, наклеенной с перекрышкой в $\frac{2}{3}$ (остальные миканиты имеют перекрышку в $\frac{1}{3}$) на копаловом лаке между двумя слоями японской бумаги № 3112. Толщ. 0,13 мм, шир. 30 мм, для изоляции малых катушек.

45. Шелко-слюдяная лента № 4506 (840). Изготавливается из двух слоев щипаной слюды флогопит и одного слоя флорентина, склеенного асфальтовым лаком № 2102. Толщ. 0,2 мм. Применяется для изоляции концов секций. Изготовитель—з-д «Динамо» им. Кирова.

46. Шелко-слюдяная лента № 4508. Аналогична 4506, но вместо флорентина применен муслин толщ. 0,18 мм (лист 900 × 200). Содержит склеивающих веществ 16—18%. Диэлектрическая прочность — 20 кВ/мм. Применяется для изоляции пазовой части секции (ПТ-35А и ДМТ-1500 (95)). Изготовитель—з-д «Динамо» им. Кирова.

ГЛАВА II

УПРАВЛЕНИЕ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ И СХЕМЫ
ЭЛЕКТРОВОЗОВ И МОТОРВАГОНОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

I. УПРАВЛЕНИЕ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Для разгона поезда и при ведении его необходимо иметь возможность произвольно и в широких пределах изменять усилие тяги при данной скорости и, наоборот, регулировать скорость при неизменном усилии тяги, т. е. вместо линейной зависимости необходимо иметь определенную область возможных соотношений скорости и усилия тяги. Такое регулирование м. б. осуществлено или изменением клеммового напряжения E_k (при постоянном напряжении в k -тном проводе), или изменением магнитного потока Φ [точнее, изменением зависимости $\Phi=f(I)$].

В управлении ТД применяются оба эти метода, но 2-й метод не дает возможности регулировать скорость в широких пределах, т. к. уменьшение магнитного потока лимитируется условием безыскровой коммутации, а увеличение ограничивается насыщением магнитопровода машины. В результате этот способ используется только в дополнение к основному средству управления — регулированием клеммового напряжения.

Регулирование напряжения возможно:

а) включением последовательно с дв-лем регулируемого омического сопротивления, в котором гасится часть напряжения сети Ir ;

б) включением под напряжением сети последовательно различного числа дв-лей, так что на каждый приходится напряжение $E_k = \frac{E_c}{n}$

в) посредством специальных машин или аппаратов.

Последний способ применяется почти исключительно в тех случаях, когда регулирующие напряжение агрегаты используются кроме пусковых целей, напр., для преобразования переменного тока в k -тном проводе в постоянный (однофазные эл/в: моторгенераторные, с РВ и т. п.). На эл/в и м/в постоянного тока этот метод почти не применяется в силу громоздкости и сложности оборудования.

Типичным для эл. подвижного состава постоянного тока является применение во взаимной комбинации двух первых способов управления с дополнением их регулированием магнитного потока (ослабление и шунтировка поля).

Помимо регулирования скорости и усилия тяги в понятие управления ТД входят след. операции:

а) реверсирование дв-лей;

б) переключение дв-лей на генераторный режим для эл. торможения поезда;

в) регулирование скорости и тормозного усилия при эл. торможении.

2. РЕОСТАТНЫЙ ПУСК ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Сила тока в пер. пуска, т. е. при работе дв-ля под реостатами, равна:

$$I = \frac{E_k - C\Phi v}{R + r}, \quad (1)$$

где: r — сопротивление пускового реостата, R — сопротивление ТД, $C\Phi v$ — противо-
воздс ТД.

НТБ
ДНУЗТ

Сопротивление пускового реостата, в зависимости от силы тока и скорости, выразится ур-ем:

$$r = \frac{E_k - C\Phi v}{I} - R \quad (2)$$

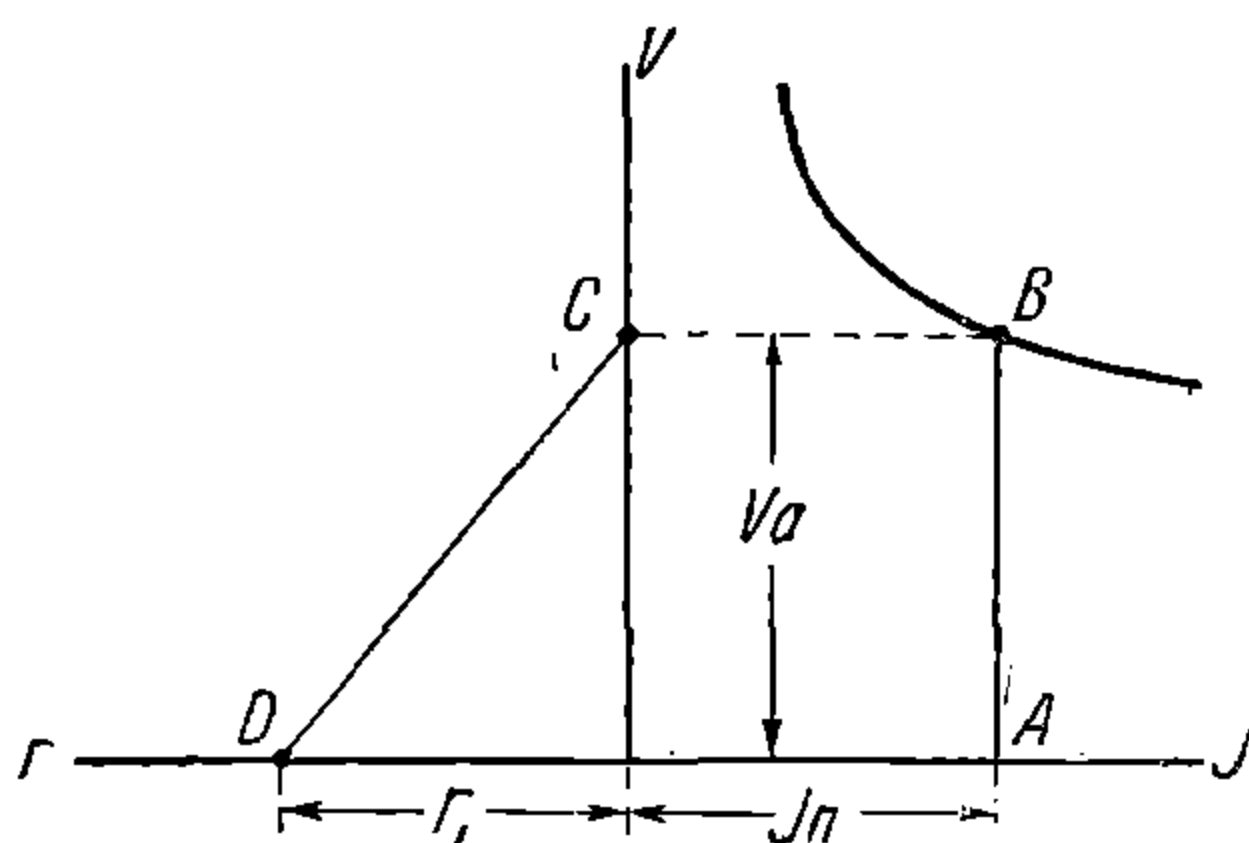
При эл-возной тяге разгон поезда обычно производится с касательным усилием, близким к предельному по сцеплению, и для м/в — при постоянном ускорении. В обоих случаях усилие тяги в пер. пуска должно оставаться приблизительно постоянным, что м. б. достигнуто поддерживанием постоянной силы тока дв-лей соответствующим изменением сопротивления пускового реостата с увеличением скорости поезда.

Закон, по к-рому должно изменяться сопротивление реостата r в ф-ии скорости, чтобы сила тока $I = I_n = \text{const}$, выражается ур-ем:

$$r = r_1 \left(1 - \frac{v}{v_a} \right), \quad (3)$$

где: $r_1 = \frac{E_k}{I_n} - R$, т. е. начальное сопротивление, включаемое еще при неподвижном дв-ле, v_a — скорость по автоматической характеристике дв-ля при токе, равном пусковому току I_n , т. е., чтобы пуск происходил с постоянной силой тока, сопротивление пускового реостата должно изменяться по закону прямой от r_1 до 0 при изменении скорости от 0 до v_a .

На фиг. 1 в правой части дана скоростная характеристика дв-ля; в левой части по оси абсцисс даны сопротивления пускового реостата, а по оси ординат — скорость в том же масштабе, что и для скоростной характеристики. Если пусковой ток равен I_n



Фиг. 1

и остается неизменным за пер. пуска, то такой пуск изобразится в системе координат $I-v$, т. е. в правом квадранте, ординатой AB . Точка B соответствует выходу на автоматическую характеристику при скорости v_a . Точка C в системе координат $r-v$ лежит на прямой по ур-ию (3) при $I = I_n$. Другую точку этой прямой D можно найти подсчетом, т. к. при $v = 0$:

$$r = r_1 = \frac{E_k}{I_n} - R.$$

Следовательно, прямая DC изобразит изменение сопротивления пускового реостата в ф-ии скорости при $I_n = \text{const}$.

Для пуска с постоянной силой тока необходимо плавно изменять сопротивление пускового реостата от r_1 до 0, что при металлических реостатах, применяемых на эл/в и м/в постоянного тока, вызывает весьма большие конструктивные затруднения. Поэтому практически регулирование сопротивления производится путем выключения отдельных частей, т. н. ступеней, реостата, при чем пуск получается ступенчатого характера и лишь в известной мере приближается к идеальному.

а) Неравномерность пуска при выведении реостата ступенями характеризуется максимальным проц-ным отклонением силы тока за пер. пуска от среднего значения, или т. н. коэф-том неравномерности:

$$\kappa_H = \frac{I_{max} - I_{cp}}{I_{cp}} = \frac{I_{cp} - I_{min}}{I_{cp}}.$$

Коэф-т неравномерности по усилию тяги, т. е.:

$$\kappa'_H = \frac{F_{max} - F_{cp}}{F_{cp}} = \frac{F_{cp} - F_{min}}{F_{cp}}$$

для серийных и компаундных дв-лей несколько больше коэф-та неравномерности по току, т. к.:

$$\kappa'_H = \frac{CI_{max}\Phi_{max} - CI_{cp}\Phi_{cp}}{CI_{cp}\Phi_{cp}} = \frac{I_{max}\Phi_{max}}{I_{cp}\Phi_{cp}} - 1$$

или

$$\kappa'_H = (1 + \kappa_H) \frac{\Phi_{max}}{\Phi_{cp}} - 1 = \frac{\Phi_{max}}{\Phi_{cp}} - 1 + \kappa_H \frac{\Phi_{max}}{\Phi_{cp}},$$

где Φ_{max} —магнитный поток при токе I_{max} , Φ_{min} —магнитный поток при токе I_{min} , а т. к: $\frac{\Phi_{max}}{\Phi_{min}} > 1$, то $\kappa'_H > \kappa_H$. Обычно $\kappa'_H = 1,02 \div 1,03 \kappa_H$, т. е. на 2—3% больше.

Для режима пуска, при к-ром пределы отклонения тока для различных ступеней имеют различное значение, коэф-т неравномерности будет переменным, при чем под коэф-том неравномерности в этом случае следует понимать отношение $\frac{I_{max} - I_{cp}}{I_{cp}}$

для каждой данной ступени.

Чтобы разгон поезда произошел без боксования, для любой ступени должно иметь место условие:

$$\frac{F_{max}}{P} \leq \psi_0,$$

где P —нагрузка на ось и ψ_0 — коэф-т сцепления или, т. к.:

$$F_{max} = (1 + \kappa'_H) F_{cp},$$

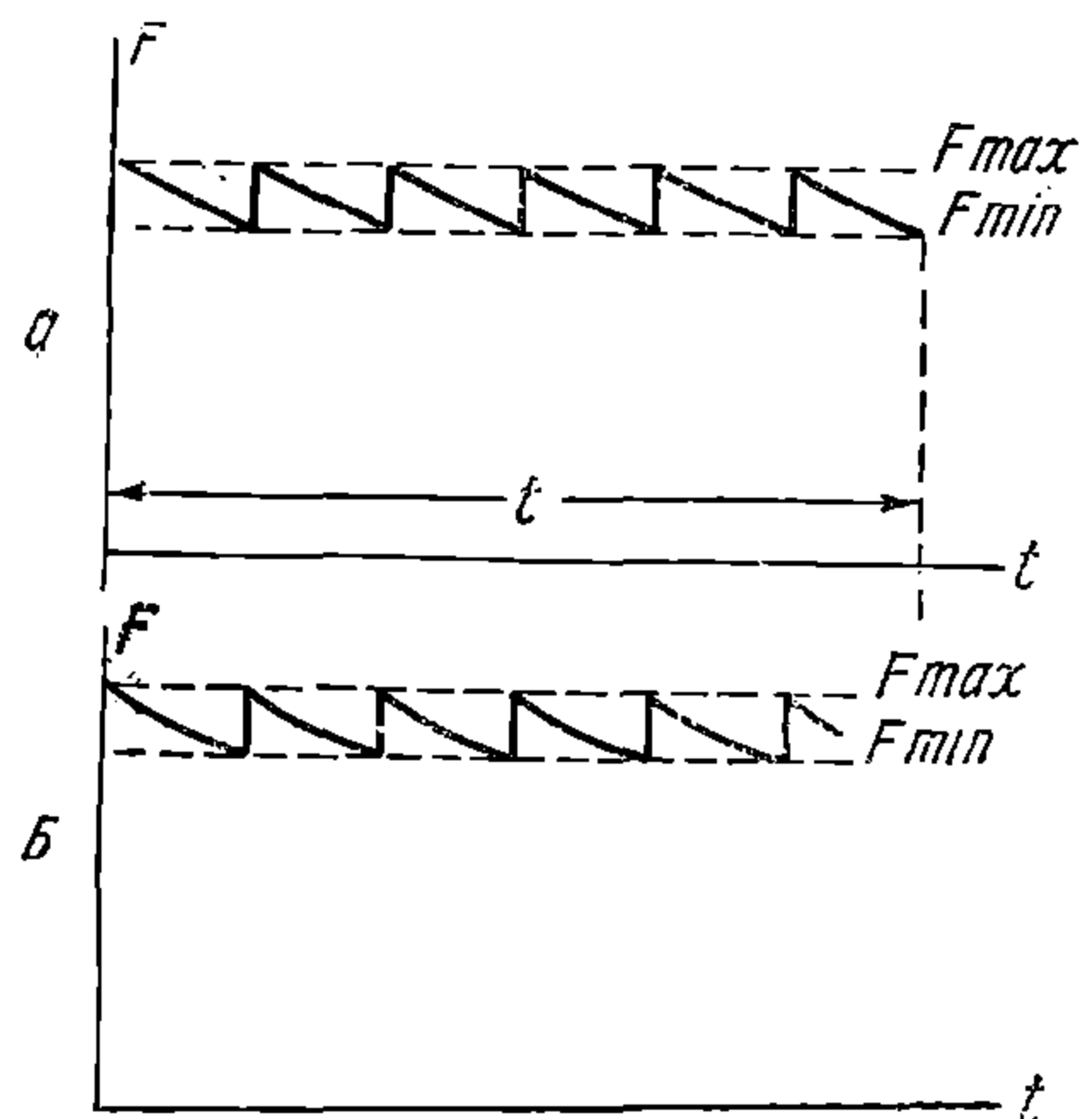
то

$$F_{cp} = \frac{\psi_0 P}{1 + \kappa'_H},$$

т. е. максимальное по сцеплению пусковое усилие тяги тем больше, чем меньше коэф-т неравномерности. Для магистральных эл/в, для к-рых вес состава часто лимитируется условием разгона поезда, т. е. условиями сцепления, следует принимать степень неравномерности возможно меньшей. Обычно принимается $\kappa_H = 0,07 \div 0,10$, т. е. отклонения тока при пуске $\pm 7 \div 10\%$, что соответствует неравномерности по усилию тяги $\omega + 9 \div 12\%$. Дальнейшее уменьшение неравномерности пуска практически не оправдывается, вызывая чрезмерное увеличение числа ступеней, тем самым усложняя и утяжеляя аппаратуру управления.

Ср.-пусковой ток I_{cp} и ср.-пусковое усилие тяги F_{cp} следует понимать лишь, как ср.-арифметическое от предельных значений. Эти величины лишь с нек-рой, практически достаточной, степенью точности приближаются к среднему по времени за пер. пуска току или усилию тяги. Ср.-арифметическое из предельных значений и среднее по времени были бы равны, т. е., напр.:

$$\frac{F_{max} + F_{min}}{2} = \frac{1}{t} \int_{t=0}^{t=t} F dt$$

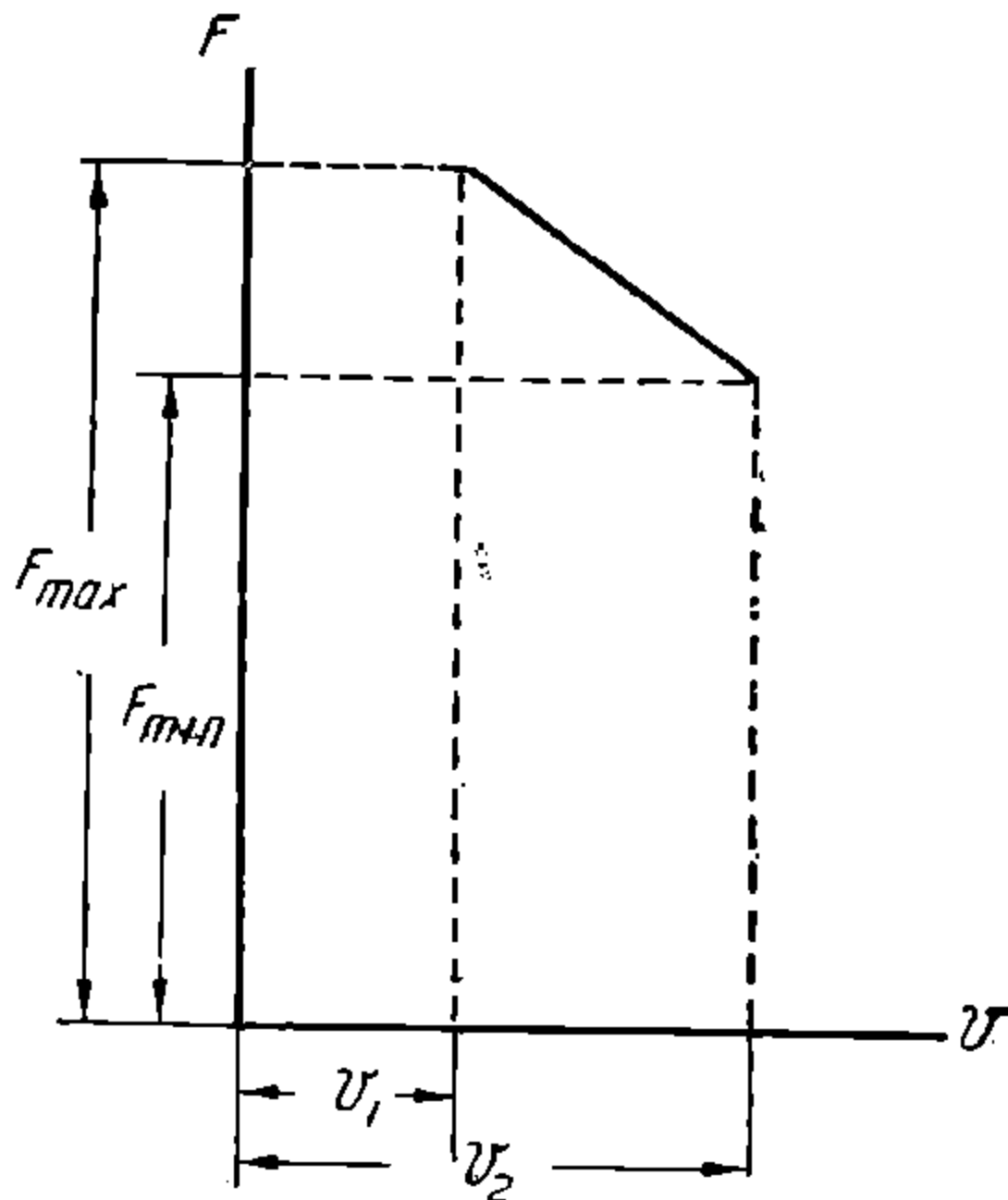


Фиг. 2.

только в том случае, если бы на каждой ступени ток или усилие тяги изменялись в ϕ -ии времени по закону прямой, как это изображено на фиг. 2,а. В действительности же и ток и усилие тяги изменяются по нек-рым кривым, как это изображено на фиг. 2,б, и средняя по времени величина всегда меньше ср.-арифметической.

В тяговых расчетах обычно принимается за расчетное пусковое усилие его ср.-арифметическое значение. Следует иметь в виду, что при этом делается нек-рое допущение, преувеличивающее действительную величину среднего усилия на 1 ÷ 3%.

Действительная величина среднего усилия тяги для пуска с пределами отклонения F_{max} и F_{min} м. б. определена след. путем.



Фиг. 3

На любой реостатной позиции при изменении скорости с v_1 до v_2 усилие тяги уменьшается с F_{max} до F_{min} , при чем с достаточной степенью точности можно считать, что для этого малого интервала, относящегося к насыщенной части кривой намагничивания дв-ля, $F = f(v)$ протекает по закону прямой, как это показано на фиг. 3, т. е. что $F = A - Bv$, или уд. усилие тяги, т. е. усилие тяги на 1 т веса поезда в кг:

$$f = a - bv.$$

Определив коэф-ты a и b по точкам прямой $v = v_1$, $f = f_{max}$ и $v = v_2$, $f = f_{min}$, получим:

$$f = \frac{f_{max}v_2 - f_{min}v_1}{v_2 - v_1} - \frac{f_{max} - f_{min}}{v_2 - v_1} v.$$

Время разгона со скорости v_1 до v_2 равно:

$$t = m \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{f - (\omega + i)},$$

где: m —масса тонны веса поезда с учетом коэф-та вращающихся масс; $m \approx 108 \frac{\text{кг/сек}^2}{\text{м}}$; ω —уд. сопротивление движению на площадке в кг/т; i —подъем в ‰.

Подставляя значение f , получим:

$$t = m \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{a - bv - (\omega + i)},$$

откуда

$$t = \frac{m(v_2 - v_1)}{f_{max} - f_{min}} \cdot \ln \frac{f_{max} - (\omega + i)}{f_{min} - (\omega + i)} \quad (4)$$

При постоянном уд. усилии тяги f_{cp} время за пер. разгона на той же позиции будет равно:

$$t = m \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{f_{cp} - (\omega + i)} = m \frac{v_2 - v_1}{f_{cp} - (\omega + i)}. \quad (5)$$

Приравнивая правые части ур-ий (4) и (5), т. к. времена д. б. равны, получим:

$$f_{cp} = \frac{f_{max} - f_{min}}{\ln \frac{f_{max} - (\omega + i)}{f_{min} - (\omega + i)}}. \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что среднее уд. усилие не зависит от интервала скоростей, т. е. выражение это справедливо для любой реостатной ступени и, следовательно, для всего пер. разгона при равных f_{max} и f_{min} на всех ступенях.

При разгоне поезда на подъеме F_{min} при ступенчатом пуске не д. б. меньше усилия, необходимого для равновесного движения поезда, и при этом F_{max} не должно выходить за пределы по сцеплению. Если F_{min} меньше усилия равновесного движения, то пуск невозможен, т. к. усилие тяги не уменьшится до F_{min} , и при переходе на след-

ступень превысит предельное по сцеплению, т. е. максимальный вес состава по условию разгона со сколь угодно малым ускорением определяется величиной f_{min} при наибольшей по сцеплению величине f_{max} , а не f_{cp} . Если вес состава определяется условием разгона на максимальном подъеме, то расчетное усилие тяги будет f_{min} , в то время как для движения на подъеме м. б. использовано усилие $f_{max} = f_{min} \frac{1 + k_n}{1 - k_n}$, т. е.

большее на 20—27%. Т. о. ограничение веса состава по условию разгона на максимальном подъеме дает значительное преуменьшение весов поездов и приводит для большинства профилей к недоиспользованию мощности эл. в. Для м/в, где имеется обычно избыточный сц. в. и разгон происходит с большими ускорениями, допускается большая неравномерность пуска, от ± 10 до $\pm 15\%$ по силе тока.

б) Графический метод расчета ступеней пускового реостата. Уменьшение неравномерности пуска достигается путем увеличения числа ступеней пускового реостата, что однако связано с усложнением и удорожанием аппаратуры управления, поэтому весьма важно рассчитать ступени реостата так, чтобы получить при данном числе ступеней возможно меньшую степень неравномерности. Если принять предельный коэф-т сцепления не зависящим от скорости, то наивыгоднейшим режимом пуска будет такой, при котором толчки тока при переходе на след. ступень каждый раз достигают одного и того же максимума, после чего следует снижение тока по мере увеличения скорости поезда на всех ступенях до одного и того же минимума. В правой части фиг. 4 кривая пуска дана в системе координат $I - v$, в левой — в системе $r - v$. В системе координат $r - v$ такой пуск изобразится ломаной линией, состоящей из поочередно следующих друг за другом вертикальных и горизонтальных отрезков. Ломаная линия пуска вписана между двумя прямыми $r = f(v)$ при $I_n = I_{min}$ и при $I_n = I_{max}$ так, что ее вершины лежат поочередно на верхнем и нижнем пределах тока.

Графический метод расчета пускового реостата основан на построении пусковой диаграммы в системе координат $r - v$. Для построения диаграммы прежде всего строятся ограничивающие прямые $r = f(v)$ при $I_n = I_{min} = \text{const}$ и при $I_n = I_{max} = \text{const}$. Построение каждой из них производится по двум точкам:

для I_{min} :

$$r = 0, v = v'_a \text{ и } v = 0, r = r_0 = \frac{E_k}{I_{min}} - R;$$

для I_{max} :

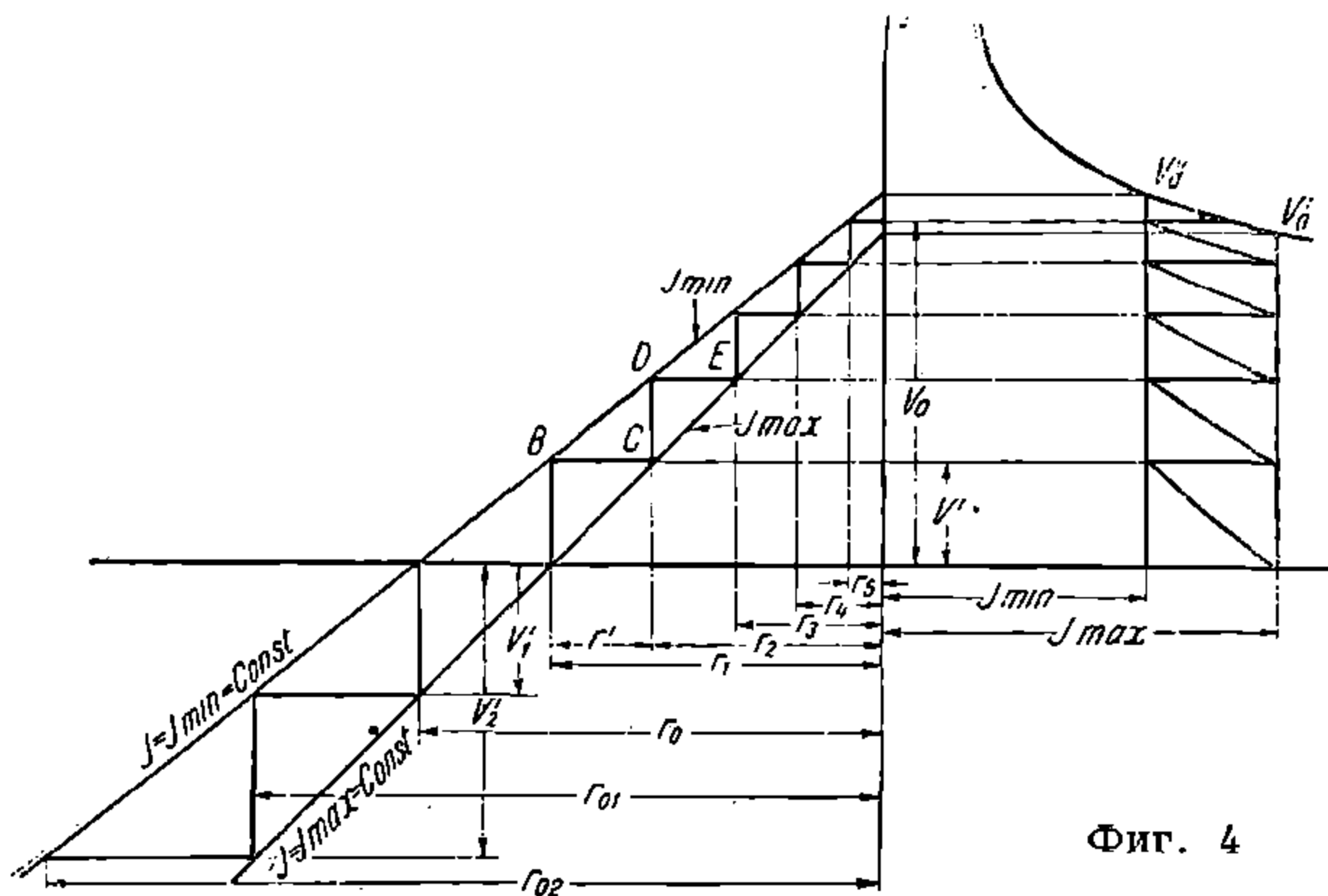
$$r = 0, v = v'_a \text{ и } v = 0, r = r_1 = \frac{E_k}{I_{max}} - R.$$

В первый момент включения при $v = 0$ должна установиться сила тока I_{max} , т. е. сопротивление на 1-й позиции должно равняться r_1 ; далее будет происходить возрастание скорости при постоянном сопротивлении, и сила тока будет уменьшаться. В точке B , т. е. при скорости v' , сила тока снизится до I_{min} , и при этой скорости нужно выключить часть пускового реостата, при чем, чтобы сила тока достигала, но не превысила I_{max} , выключенная часть сопротивления должна равняться r' , а остающаяся в цепи часть, т. е. сопротивление 2-й ступени, — r_2 . Как видно из фиг. 4, величины эти определяются точкой C , к-рая находится проведением прямой через точку B параллельно оси r до пересечения с прямой I_{max} . Для нахождения сопротивления 3-й ступени через точку C необходимо провести прямую, параллельную оси v , до пересечения с прямой I_{min} в точке D и далее через точку D прямую, параллельную оси r , до пересечения с прямой I_{max} в точке E . Отрезок r_3 даст сопротивление 3-й ступени. Далее построение продолжается тем же порядком. Отрезки r_4, r_5 и т. д. дадут сопротивления 4-й, 5-й и т. д. ступеней.

Обычно при первом построении получается, что на последней реостатной ступени при снижении тока до I_{min} скорость превышает v'_a , т. е. скорость по автоматической характеристике при токе I_{max} . Такой случай представлен на фиг. 4. Скорость на последней ступени достигла $v_a > v'_a$, и при выключении последней секции сила тока будет меньше I_{max} , т. е. режим пуска будет отличен от наивыгоднейшего, при котором на каждой ступени полностью используются пределы колебания тока. Для устранения этого приходится несколько изменять пределы отклонения, подбирая их так, чтобы последний

горизонтальный отрезок диаграммы пришелся в точку v'_a , т. е. чтобы скорость на последней реостатной ступени при токе I_{min} равнялась v'_a , — скорости по автоматической характеристике при токе I_{max} . При большом числе ступеней реостата (10 — 15) увязка достигается совершенно ничтожным изменением пределов неравномерности пуска.

Кроме полученных по вышеприведенному расчету ступеней добавляют еще 1 для м/в и 3—5 ступеней для эл/в с сопротивлениями, большими сопротивления 1-й ступени r_1 . Эти ступени необходимы для маневровой работы и для движения эл/в без состава, когда нормальный пуск вызвал бы чрезмерно большое ускорение; кроме того они используются для более или менее плавного натяжения сцепных приборов при трогании поезда с места. Сопротивления этих т. н. маневровых ступеней для эл/в определяются построением ступенчатой пусковой диаграммы вниз, т. е. в область отрицательных скоростей. На фиг. 4 показано такое построение для 3 маневровых ступеней. Число маневровых ступеней определяется тем, что на 1-й маневровой ступени ускорение



Фиг. 4

эл/в при трогании с места на площадке и без состава не должно превышать $0,4—0,6 \text{ м/сек}^2$.

Принятый для расчета ступеней режим пуска воспроизводится только в том случае, если машинист производит переключение на след. ступень всякий раз, когда ток спадает до расчетного I_{min} , т. е. для данного профиля и веса состава, при определенной скорости перемещения рукоятки контроллера. При более быстром перемещении получают большие средний пусковой ток и усилие тяги; наоборот, при замедленном перемещении рукоятки контроллера получают меньшие пусковой ток и усилие тяги, т. е. развиваемое эл/в в процессе разгона до выхода на автоматическую характеристику усилие тяги зависит от темпа движения рукоятки контроллера, благодаря чему машинист может в широких пределах варьировать пусковой режим.

В м/в обычно применяется автоматический пуск, при котором определенный пусковой режим выдерживается автоматически.

в) Построение скоростной пусковой диаграммы. Для выяснения характера пускового процесса при средних токах, больших и меньших расчетного, удобнее всего предварительно построить скоростные характеристики, т. е. $v = f(I)$ при $r = \text{const}$, для всех реостатных позиций. Это м. б. выполнено аналитически или графически.

Для аналитического определения скоростных реостатных характеристик можно воспользоваться тем, что при одной и той же силе тока скорости относятся, как эдс, т. е.:

$$\frac{v_r}{v_a} = \frac{E_{ar}}{E_a}$$

Если v_a — скорость эл/в по автоматической характеристике при силе тока I и v_r — искомая скорость при том же токе на реостатной позиции с сопротивлением пускового реостата r , то

$$v_r = v_a \frac{E_{ar}}{E_a},$$

где

$$E_a = E_k - IR \text{ и } E_{ar} = E_k - I(R + r),$$

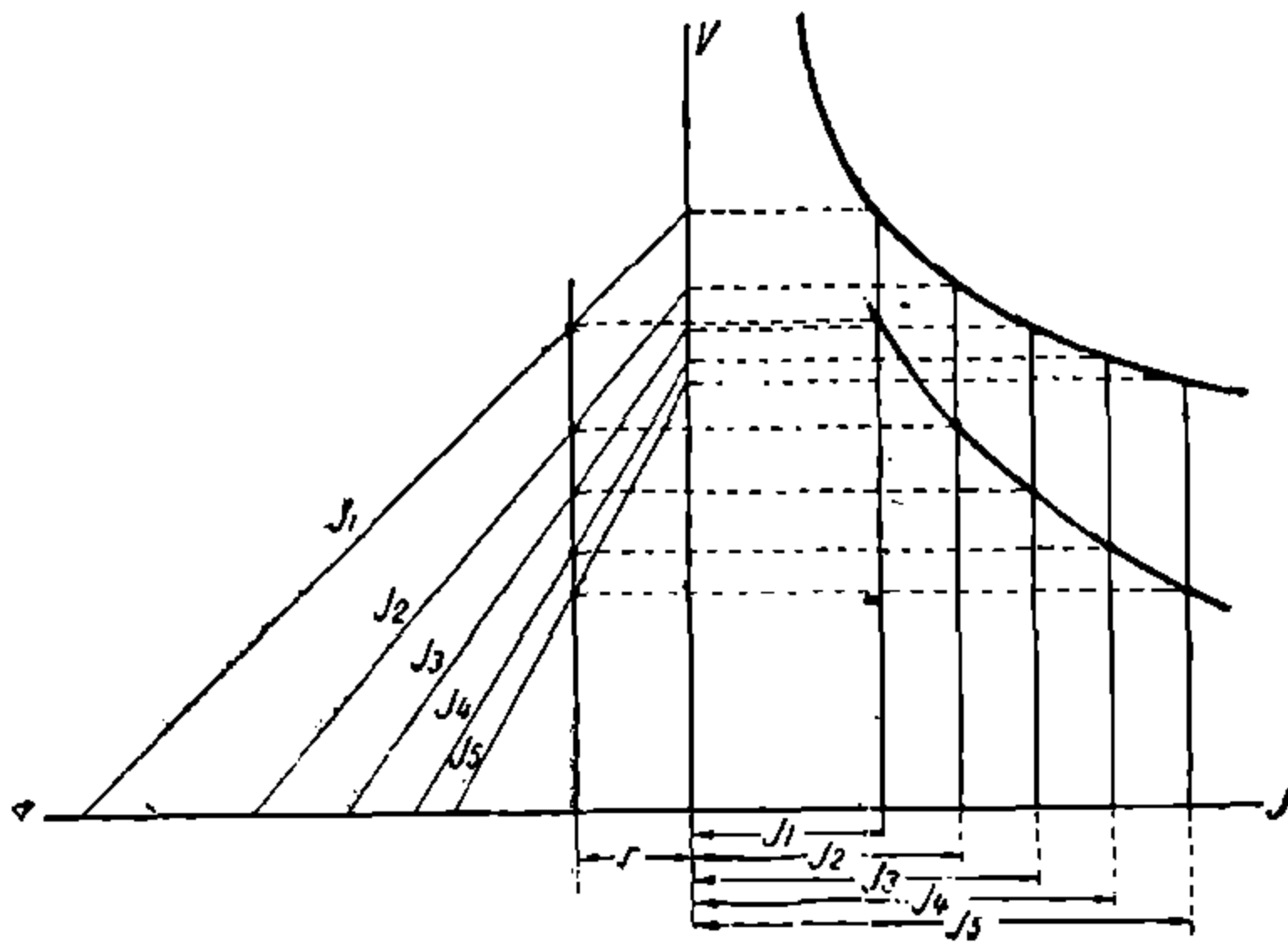
т. е.

$$v_r = \frac{E_k - IR}{E_k - I(R + r)}$$

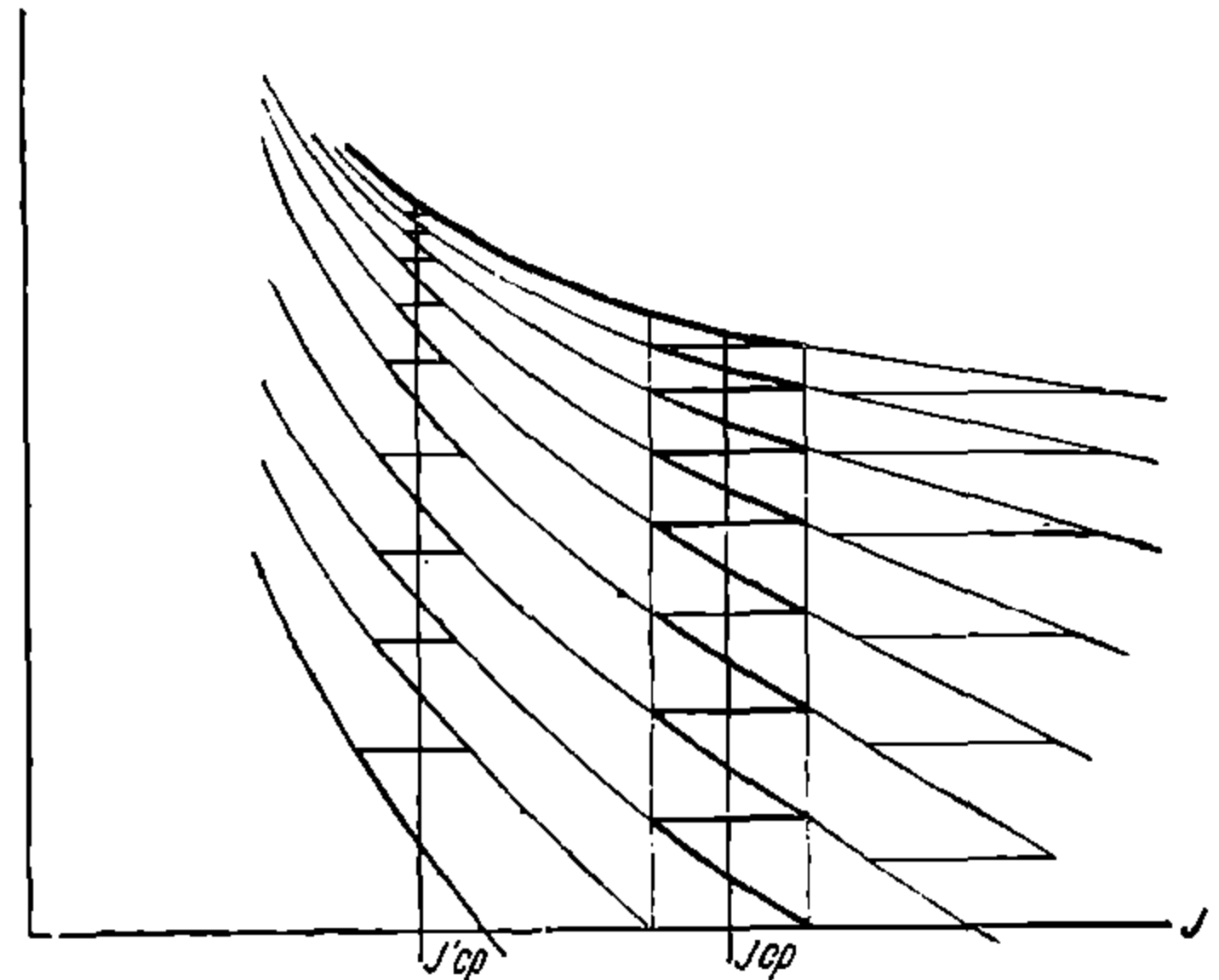
НТБ
ДНУЗТ

Пользуясь этим соотношением, можно произвести построение реостатных скоростных характеристик подсчетом ряда точек для каждой реостатной ступени, т. е. для каждого значения r . Графическое построение сводится к переносу кривых $r = \text{const}$, к-рые в системе координат $r - v$ изображаются прямыми, параллельными оси v , в систему координат $I - v$ помощью сетки прямых $I = \text{const}$. Порядок построения ясен из фиг. 5.

На фиг. 6 изображен пучок скоростных характеристик реостатных ступеней, рассчитанных для пуска со ср.-пусковым током $I_{ср}$. Расчетный режим пуска изображен на той же фиг. жирной линией. Слева от нее изображена диаграмма пуска при $I'_{ср} < I_{ср}$. Как видно из фиг., при ср.-пусковом токе, меньшем расчетного, по мере увеличения



Фиг. 5



Фиг. 6

скорости пределы отклонения тока уменьшаются. Уменьшение неравномерности пуска с увеличением скорости происходит тем интенсивнее, чем меньше ср.-пусковой ток. Очевидно, что при ср.-пусковом токе, большем расчетного, будет происходить обратное явление, т. е. увеличение неравномерности пуска с увеличением скорости. Такой характер пускового процесса невыгоден для тяговых свойств эл/в, т. к. неравномерность пуска при больших токах, т. е. когда эл/в работает близко к пределу по сцеплению, увеличивается с увеличением скорости, в то время как предельный коэф-т сцепления с увеличением скорости уменьшается. Поэтому расчетный ср.-пусковой ток следует принимать близким к предельному по условиям сцепления при хорошем состоянии рельсов.

Для м/в ср.-пусковой ток устанавливается заданным ускорением поезда.

г) **Метод проф. Виск.** Кроме вышеописанного графического метода определения ступеней пускового реостата, существует др. графический метод, предложенный проф. Виск, отличающийся от 1-го системой координат, в к-рой производится построение.

Метод этот состоит в след. В системе координат $E - I$ строится семейство кривых $E_a = f(I)$, т. е. эдс дв-ля в ф-ии тока нагрузки для ряда постоянных чисел оборотов или скоростей. Для построения этих кривых можно воспользоваться имеющейся обычно в распоряжении расчетчика скоростной характеристикой дв-ля. Если, напр., необходимо построить $E_a = f(I)$ для $v = v_1$, то:

$$E_a = (E_k - IR) \frac{v_1}{v_a}$$

где: E_k — клеммовое напряжение, для к-рого дана скоростная характеристика дв-ля; v_a — скорость по скоростной характеристике.

Путем пересчета достаточно построить кривую $E_a = f(I)$ для одной какой-либо скорости, напр., как изображено на фиг. 7 для скорости 100 км/ч. Для промежуточных скоростей кривые можно получить делением нескольких ординат 1-й кривой на равное число равновеликих отрезков, т. к. эдс дв-ля при данном токе пропорциональна скорости.

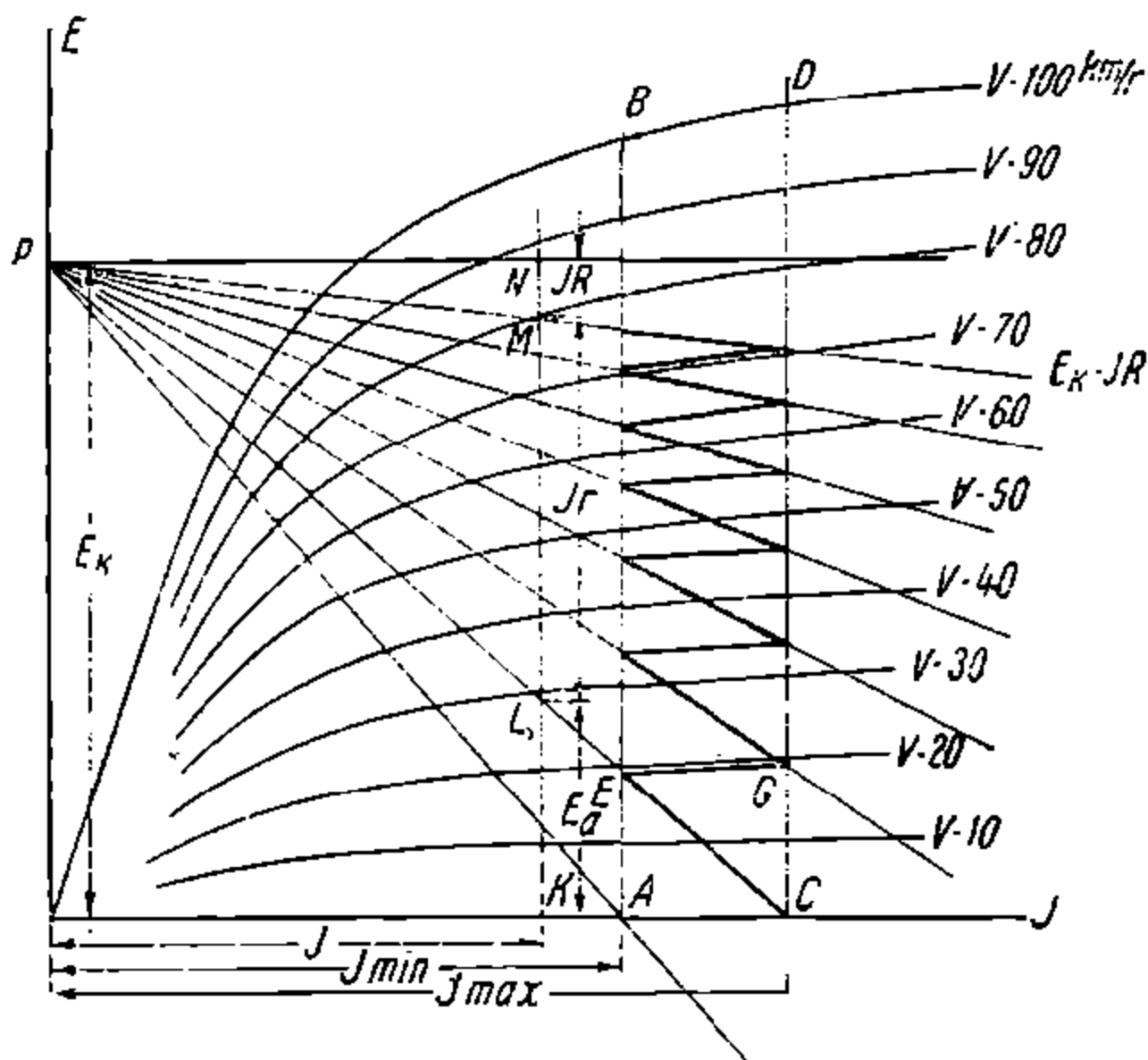
В этой системе координат автоматическая характеристика дв-ля изобразится прямой, проходящей через точку $I = 0, E_a = E_k$ и через точку $I = I_1, E_a = E_k - I_1 R$ (где I_1 — произвольно выбранная сила тока).

ДНУЗТ

Любая реостатная ступень, для к-рой:

$$E_a = E_k - (R + r) I,$$

в этой системе координат также изобразится прямой, при чем все эти прямые будут иметь общую точку, «полюс» P ($I = 0, E_a = E_k$). Точки пересечения этих прямых



Фиг. 7

с кривыми эдс дв-ля при $v = \text{const}$ дают силу тока дв-ля при данной скорости.

Прямые AB и CD изображают пределы отклонения тока при пуске. Т. к. при $v = 0$ на 1-й ступени должен установиться ток I_{max} , то характеристика этой ступени изобразится лучом PC . В точке E этой реостатной ступени сила тока снизится до I_{min} , и в этот момент необходимо перейти на след. ступень, чтобы сила тока вновь возросла до I_{max} , при чем скорость останется неизменной, т. е. переход произойдет по какой-то кривой $E_a = f(I)$ при $v = \text{const}$, т. е. точку G 2-й ступени, лежащую на ординате I_{max} , можно найти построением такой кривой, проходящей через точку E . При достаточно частой сетке кривых E_a точку G можно найти с небольшой погрешностью, проведя через точку E прямую, параллельную

отрезку ближайшей из этих кривых, заключенному между ординатами I_{min} и I_{max} , до пересечения с последней. Точка G м. б. найдена точно из след. соотношения:

$$\frac{GC}{EA} = \frac{DC}{BA}$$

откуда:

$$GC = EA \frac{DC}{BA}$$

Луч, проведенный из того же полюса P через точку G , даст характеристику 2-й реостатной ступени. Дальнейшее построение производится тем же порядком, пока пильчатая линия пуска дойдет до автоматической характеристики.

Сопротивление пускового реостата для каждой позиции легко получить из графика делением отрезка ординаты, заключенного между лучом данной ступени и автоматической характеристикой, на силу тока, к-рой соответствует данная ордината.

д) Аналитический метод. К числу недостатков графических методов относится нек-рая неизбежная неточность построений, к-рая может привести к ошибке на целую ступень, и такая ошибка останется незамеченной. Однако это возможно только при большом числе ступеней, т. е. в том случае, когда ошибка на 1 ступень, накопившаяся в результате построения и, следовательно, разверстанная по всем ступеням, вызовет лишь совершенно ничтожное отклонение действительного коэф-та неравномерности по отношению к принятому в расчете. Неточность, к-рая имеет место при определении по графику величины сопротивления отдельной ступени, не имеет существенного значения, т. к. все равно при проектировании схемы пускового реостата приходится несколько отступать от расчетных величин; кроме того по условию производства секций реостата приходится давать допуск до $\pm 5\%$ запроектированных сопротивлений; в эксплуатации же отклонения достигают еще большей величины. Т. о., графические методы при аккуратном построении дают совершенно достаточную степень точности.

Вторым недостатком графических методов является то, что они не дают правильного решения с первого построения, и необходимая увязка диаграммы достигается лишь после нескольких попыток, при чем каждый раз все построение приходится производить полностью. Этот недостаток особенно дает себя чувствовать при расчете ступеней пускового реостата для готового контроллера, т. е. для заданного числа ступеней.

Аналитический метод в этом отношении обладает явным преимуществом.

НТБ
ДНУЗТ

Из геометрических соотношений отрезков, изображающих на пусковой диаграмме в системе координат $r-v$ скорость и сопротивление, можно установить, что при пуске с постоянными пределами отклонения тока сопротивления любой k -ой ступени:

$$r_k = r_1 - (r_0 - r_1) \frac{(\alpha\beta)^k - \alpha\beta}{\alpha\beta - 1},$$

где:

$$r_1 = \frac{E_k}{I_{max}} - R;$$

$$r_0 = \frac{E_k}{I_{min}} - R;$$

$$\beta = \frac{r_1}{r_0}$$

$$\alpha = \frac{v''_a}{v'_a};$$

v''_a — скорость по автоматической характеристике дв-ля при токе I_{min} , v'_a — то же при токе I_{max} .

На последней, предположим n -ой, ступени происходит полное выключение реостата, т. е.

$$r = r_n = 0.$$

Этим ур-ием удобно пользоваться в том случае, когда необходимо произвести расчет для заданного числа ступеней, т. е. когда n известно. В этом случае, задаваясь рядом различных коэф-тов неравномерности при постоянном расчетном I_{cp} , находят соответственный ряд значений r_1, r_0, α, β и подсчитывают численное значение левой части ур-ия. Построив графически зависимость значений левой части ур-ия в ф-ии, напр., I_{max} , находят величину, при k -рой выражение обращается в нуль, т. е. искомое I_{max} . Зная I_{max} , находят коэф-т неравномерности:

$$k_n = \frac{I_{max}}{I_{cp}} \quad I_{min} = (1 - k_n) I_{cp}; \quad r_0 = \frac{E}{I_{min}} - R \text{ и т. д.}$$

По скоростной характеристике определяют v''_a и v'_a и находят:

$$\alpha = \frac{v''_a}{v'_a}$$

Подставив полученные значения r_1, r_0, β и α в выражение для r_k и придавая k_n значения от 1 до $n - 1$, находят сопротивления для всех остальных ступеней.

е) **Сопротивление реостата при пуске нескольких двигателей.** Если одновременно производится пуск нескольких дв-лей, как это всегда имеет место в действительных схемах эл/в и м/в, то сопротивления ступеней реостата будут зависеть от числа дв-лей и способа их включения. Напр., для пуска 2 дв-лей, включенных последовательно, сопротивление будет равно:

$$r_{\partial} = \frac{E_c - 2C\Phi v}{I} - 2R,$$

где E_c — напряжение сети.

После выключения сопротивления клеммовое напряжение на каждом дв-ле равно:

$$E_k = \frac{1}{2} E_c,$$

т. е.

$$E_c = 2 E_k ,$$

откуда:

$$r_{\partial} = \frac{2 E_k - 2C\Phi v}{I} - 2 R = 2 \left(\frac{E_k - C\Phi v}{I} - R \right) ,$$

но выражение в скобках представляет величину сопротивления для пуска одиночного дв-ля. Т. о., расчет ступеней для этого случая может производиться так же, как и для 1 дв-ля, принимая лишь $E_k = \frac{1}{2} E_c$. Полученные из расчета сопротивления ступеней д. б. удвоены, т. е. действительная величина сопротивлений $r_{\partial} = 2 r$, где r — сопротивление ступеней на 1 дв-ль.

Вообще при любом числе n последовательно включенных дв-лей расчет может производиться на 1 дв-ль, при чем $E_k = \frac{1}{n} E_c$ действительные же величины сопротивлений ступеней будут равны:

$$r_{\partial} = nr .$$

Наоборот, при пуске p параллельно включенных дв-лей общее пусковое сопротивление равно:

$$r_{\partial} = \frac{1}{p} r ,$$

т. е. действительные сопротивления ступеней меньше сопротивления на 1 дв-ль в p раз. Правильность этого будет ясна, если вспомнить, что назначение пускового сопротивления сводится к гашению в нем части напряжения сети. Если через пусковой реостат протекает ток pI , то то же падение напряжения в нем получится при в p раз меньшем сопротивлении, чем при токе I .

Наконец, если общим пусковым реостатом производится пуск m дв-лей, включенных в p параллельных цепей по n дв-лей последовательно в каждой, то:

$$r_{\partial} = \frac{n}{p} r .$$

т. е. и в этом случае расчет ступеней может вестись на 1 дв-ль, при чем так же, как и при простом последовательном соединении, для расчета на 1 дв-ль принимается:

$$E_k = \frac{1}{n} E_c$$

ж) Схемы включения двигателей. В эксплуатационных условиях часто требуется более или менее длительное движение поезда со скоростями, меньшими тех, которые получаются по автоматической характеристике при полном клеммовом напряжении на дв-ле. Такие пониженные скорости м. б. получены использованием реостатных ступеней, что однако связано с резким понижением КПД локомотива. Кроме того такой способ регулирования скорости вызвал бы чрезмерное утяжеление и увеличение габаритов пускового реостата.

По этим причинам помимо регулирования скорости пусковым сопротивлением используется возможность уменьшения скорости путем включения под напряжение сети нескольких дв-лей последовательно.

Если нормально дв-ль работает с клеммовым напряжением E_k , равным напряжению сети E_c , то скорость эл/в при нек-ром токе I равна:

$$v = \frac{E_c - IR}{C\Phi} .$$

Если же под напряжение сети включить n дв-лей последовательно, то на клеммах каждого дв-ля будет $\frac{1}{n} E_c$; при той же силе тока получится скорость:

$$v' = \frac{\frac{1}{n} E_c - IR}{C\Phi} \quad v = \frac{\frac{1}{n} E_c - IR}{E_c - IR} \quad v \approx \frac{1}{n} v .$$

НТБ
ДНУЗТ

Если дв-ль имеет нормальное клеммовое напряжение в a раз меньше, чем напряжение сети, т. е.

$$E_k = \frac{E_c}{a}$$

(напр., при $E_c = 3000$ V, как правило, применяются дв-ли с $E_k = 1500$ V, т. е. в этом случае $a = 2$), то скорость

$$v' = \frac{\frac{a}{n} E_c - IR}{E_c - IR} v \approx \frac{a}{n} v,$$

где v — скорость по автоматической характеристике при нормальном клеммовом напряжении; m — дв-лей эл/в или м/в м. б. соединены в p параллельных цепей по n последовательно включенных дв-лей в каждой:

$$m = np.$$

В зависимости от числа дв-лей, этому ур-ию будет удовлетворять несколько целых значений n и p (напр., если $m = 6$, то м. б. $p = 1, n = 6$ или $p = 2, n = 3$, или $p = 3, n = 2$ или $p = 6, n = 1$). Число возможных значений n и p соответствует числу возможных комбинаций включения m дв-лей, при чем, если нормальное клеммовое напряжение дв-ля меньше напряжения сети, то не все из них м. б. использованы. Напр., если $E_k = \frac{1}{2} E_c$, то $n \geq 2$.

Табл. 1. Возможные комбинации включения для обычно употребляемых чисел двигателей

E_k/E_c	1			$1/2$		
	4	6	8	4	6	8
Число дв-лей						
Комб. включ. дв-лей						
Число параллельных цепей	1	1	1	1	1	1
1. Число дв-лей последов. в каждой цепи .	4	6	8	4	6	8
Скорость	$1/4$	$1/6$	$1/8$	$1/2$	$1/3$	$1/4$
Число параллельных цепей	2	2	2	2	2	2
2. Число дв-лей последов. в каждой цепи .	2	3	4	2	3	4
Скорость	$1/2$	$1/3$	$1/4$	1	$2/3$	$1/2$
Число параллельных цепей	4	3	4		3	4
3. Число дв-лей последов. в каждой цепи	1	2	2		2	2
Скорость	1	$1/2$	$1/2$		1	1
Число параллельных цепей		6	8			
4. Число дв-лей последов. в каждой цепи		1	1			
Скорость		1	1			
Потери в пусковом реостате при пуске в проц. от потерь при пуске без переключения дв-лей	38%	33%	34%	50%	33%	38%
Кпд пуска	73%	75%	75%	67%	75%	73%

Автоматические характеристики при полном и пониженном за счет последовательного соединения нескольких дв-лей клеммовом напряжении носят название экономических скоростей, в отличие от ступеней с включением пускового сопротивления.

з) Коэффициент полезного действия пуска. Степень приближения пуска с различным числом и соотношением промежуточных экономических скоростей к идеальному—безреостатному—характеризуется кпд пуска, под к-рым понимается отношение полезной работы локомотива к энергии, поглощаемой из сети за пер. пуска при разгоне поезда с постоянным ускорением и усилием тяги.

Если эл/в за весь пер. пуска имеет лишь одно соединение дв-лей, соответствующее наивысшей экономической скорости, то мощность, забираемая из сети, равна:

$$W = pE_c I,$$

где p — число параллельных цепей дв-лей и I — средний пусковой ток одной цепи.

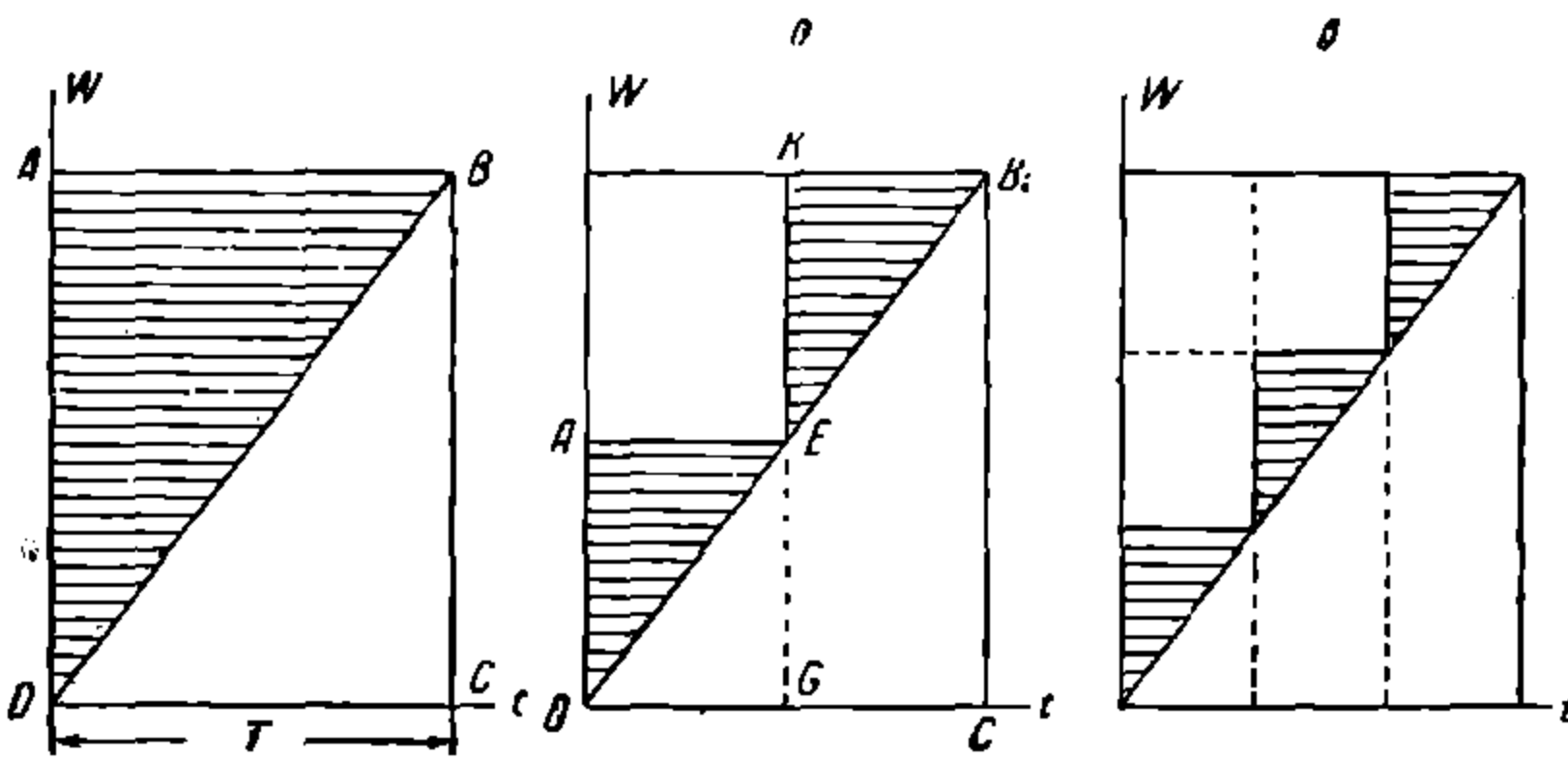
При разгоне поезда с постоянным усилием тяги за пер. пуска $I = \text{const}$ и количество энергии, поглощенной из сети, будет равно WT , т. е. изобразится площадью прямоугольника $ABCD$ (фиг. 8,а). Мощность, поглощаемая дв-лями, в любой момент времени равна:

$$W_{\partial} = mI(C\Phi v + R) = mIC\Phi at + mIR,$$

где m — число дв-лей в схеме и a — ускорение поезда, или, если пренебречь потерями, в дв-лях, то:

$$W_{\partial} = mIC\Phi at,$$

т. е. полезная мощность возрастает пропорционально времени, и $W_{\partial} = W$ при $t = T$,



Фиг. 8

диаграмма полезной работы остается без изменения, а потребляемая мощность за пер. пуска на 1-м соединении:

$$W_I = \frac{p}{2} E_c I$$

и за пер. пуска на 2-м соединении:

$$W_{II} = pEI,$$

т. е. на 1-м соединении из сети потребляется половинная мощность по сравнению с пер. пуска на 2-м соединении. Пусковая диаграмма для этого случая примет вид по фиг. 8,б. Площадь фиг. $DAEKBC$ представляет поглощенную энергию, а полезная работа изображается тр-ком DBC . Из соотношения площадей следует, что кпд пуска для этого случая равен 0,67. На фиг. 8,в дана диаграмма для пуска при 3 соединениях дв-лей с экономическими скоростями $\frac{1}{3} v_a$, $\frac{2}{3} v_a$ и v_a . Для этого случая кпд равен 0,75. В общем случае кпд пуска равен:

$$\eta_{in} = \frac{a^2 n}{2(1 + a^2_2 - a_2 + a^2_3 - a_3 a_2 + a^2_4 - a_4 a_3 \dots)}$$

где: $a_2 = \frac{E_2}{E_1}$, $a_3 = \frac{E_3}{E_1}$, $a_4 = \frac{E_4}{E_1}$ и т. д., E_1, E_2, \dots напряжения на коллекторе одного дв-ля на 1-м, 2-м и т. д. соединениях в порядке прохождения их при пуске.

и) Определение ступеней реостата для пуска с переключением двигателей. Выше были рассмотрены методы определения ступеней пускового сопротивления для пуска одного и нескольких дв-лей без переключения их с одного соединения на другое. Если

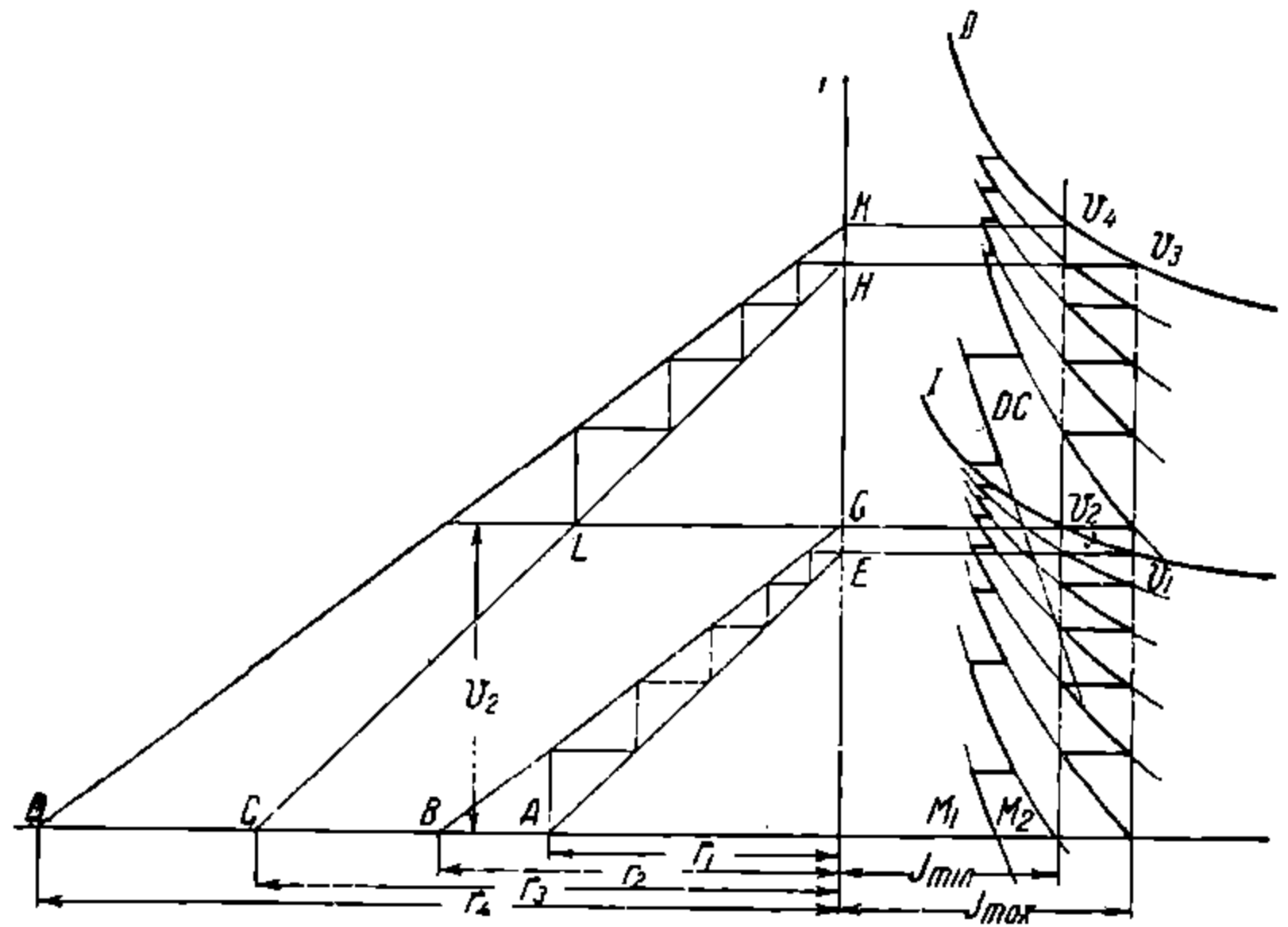
m дв-лей эл/в имеют в процессе пуска несколько соединений, то, полагая, что на каждом таком соединении производится реостатный пуск со скоростью, равной нулю, можно определить ступени пускового сопротивления для каждого соединения одним из рассмотренных выше методов, но часть ступеней высших соединений дв-лей, к-рые дают скорости, достигаемые на предыдущем соединении, будут в этом случае ненужными.

Определение ступеней для 2 соединений дв-лей с половинным и полным клеммовым напряжением изображено на фиг. 9. Кривая II — скоростная характеристика при полном клеммовом напряжении E_K , кривая I —

при клеммовом напряжении $\frac{1}{2}E_K$. Точки A, B, C , и D для построения предельных прямых $r = j(v)$ определяются подсчетом величин:

$$r_1 = \frac{\frac{1}{2}E_K}{I_{max}} - R; \quad r_2 = \frac{\frac{1}{2}E_K}{I_{min}} - R;$$

$$r_3 = \frac{E_K}{I_{max}} - R; \quad r_4 = \frac{E_K}{I_{min}} - R.$$



Фиг. 9

Построение ступеней для 1-го соединения дв-лей ведется обычным, уже рассмотренным выше, порядком. Выход на автоматическую характеристику промежуточной (половинной) экономической скорости происходит при скорости v_1 , при чем устанавливается ток I_{max} . Далее по мере увеличения скорости ток падает и при скорости v_2 достигает I_{min} . Чтобы пределы отклонения тока при пуске не были нарушены, именно в этом момент, т. е. при скорости v , необходимо произвести переключение дв-лей на след. соединение, при чем величина предвключенного пускового сопротивления д. б. такова, чтобы ток вновь достиг I_{min} . Величина этого сопротивления находится проведением горизонтальной прямой на высоте скорости v_2 до пересечения с прямой CH . Отрезок LG дает искомое сопротивление 1-й ступени. Дальнейшее построение ступеней для реостатного пуска на 2-м соединении дв-лей ясно из чертежа и отличается от предыдущих построений только тем, что ступенчатая диаграмма в этом случае начинается не со скорости, равной нулю, а со скорости v_2 , т. е. со скорости при токе I_{min} по автоматической характеристике дв-ля на предыдущем соединении.

Аналогично будет построение и для 3 и большего числа соединений дв-лей, при чем для каждого след. соединения построение также начинается со скорости при токе I_{min} для предыдущей экономической скорости.

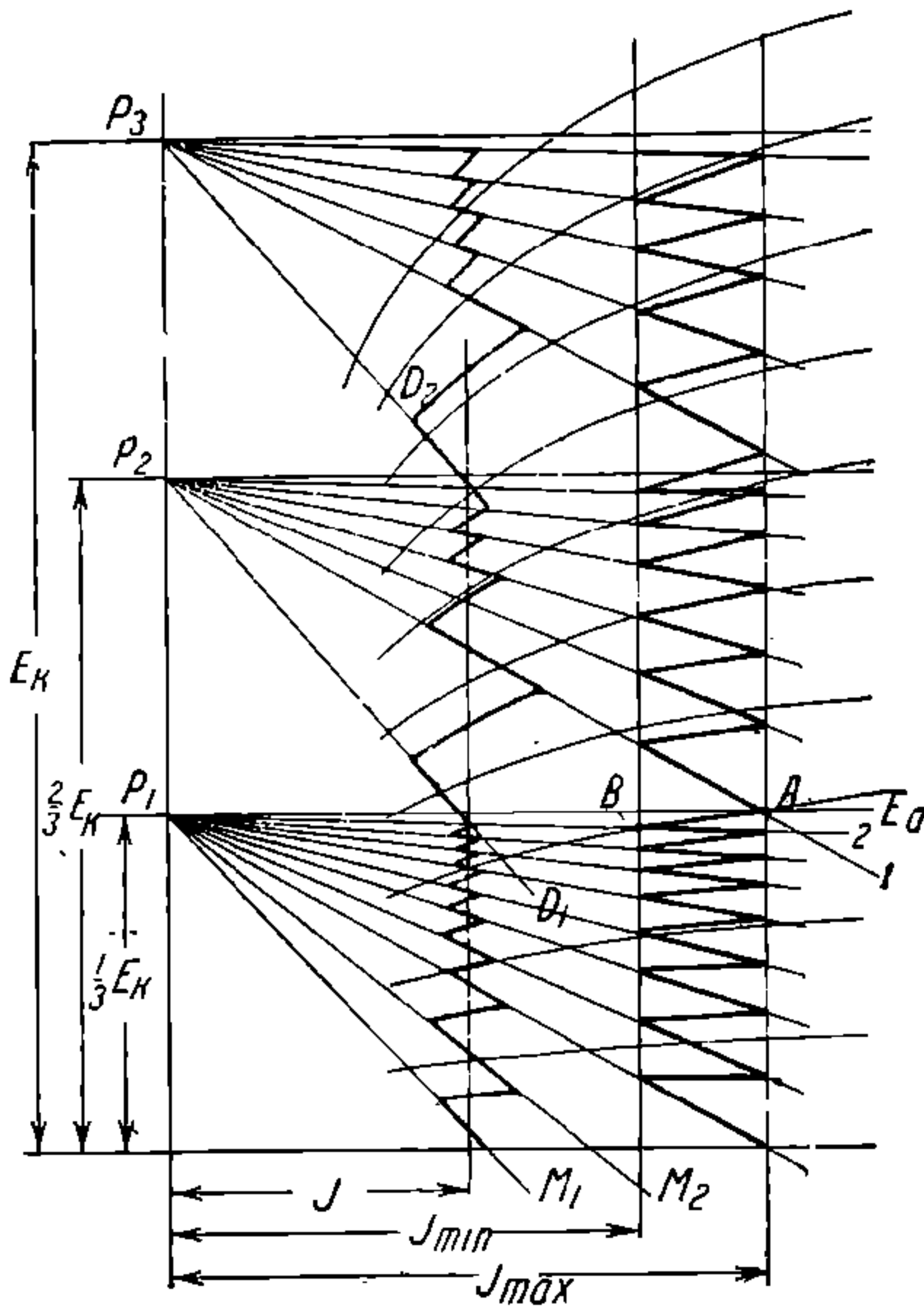
На той же фиг. 9 в правой части изображены диаграммы пуска при нормальном и пониженном ср.-пусковом токах. Для пуска с пониженными пусковыми токами даны дополнительные, маневровые, ступени M_1 и M_2 на 1-м соединении. Из диаграммы видно, что при пусковом токе, меньшем расчетного, переход на 1-ю реостатную ступень 2-го соединения дв-лей получается со значительным толчком тока. Для устранения такого толчка тока на 2-м соединении дв-лей добавляются 1 или 2 дополнительные реостатные ступени. На фиг. 9 показана 1 такая дополнительная ступень DC .

Для м/в с автоматическим пуском дополнительные ступени не требуются.

На фиг. 10 дано определение ступеней сопротивлений по методу проф. Виск для 3 соединений дв-лей с клеммовым напряжением на дв-ль: на 1-м — $\frac{1}{3}E_K$, на 2-м — $\frac{2}{3}E_K$ и на 3-ем — E_K . Построение для 1-го соединения ведется так же, как это делалось для пуска одиночного дв-ля, при чем полюсом P для этого построения, очевидно, будет служить точка P_1 , отстоящая от начала координат на отрезок OP_1 , равный в соответствующем масштабе $\frac{1}{3}E_K$. Для построения ступеней 2-го соединения будет служить полюс P_2 ($OP_2 = \frac{2}{3}E_K$), для 3-го соединения — P_3 ($OP_3 = E_K$), при чем 1-й луч для каждо-

НГБ
ДНУЗТ

го следующего соединения дв-лей проводится через точку, лежащую на ординате I_{max} и на кривой эдс дв-ля при $v = \text{const}$, проходящей через точку пересечения ординаты I_{min} с лучом, соответствующим предыдущей безреостатной ступени.



Фиг. 10

Так, напр., на фиг. 10 луч I , дающий 1-ю реостатную ступень для 2-го соединения дв-лей, проведен через точку A , к-рая определяется пересечением кривой E_a , проходящей через точку B . Точка B определяется пересечением прямой 2, изображающей безреостатную ступень на 1-м соединении с ординатой I_{min} . Такое построение, очевидно, обеспечивает переход с пикой тока до I_{max} . Помимо основных ступеней на графике показаны 2 маневровые ступени M_1 и M_2 и дополнительные ступени D_1 и D_2 . На той же фиг. произведено построение пусковой диаграммы при среднем токе, меньшем расчетного.

Определение ступеней реостата аналитическим методом для 1-го соединения дв-лей ведется так, как это было описано выше. Для последующих соединений расчет ведется по тем же ϕ -лам, но сопротивления r_0 и r_1 здесь уже равны:

$$r_0 = \left(\frac{E_K}{I_{min}} - R \right) \frac{v_2}{v_4};$$

$$r_1 = \left(\frac{E_K}{I_{min}} - R \right) \frac{v_2}{v_3},$$

где: E_K — клеммовое напряжение дв-ля на безреостатной ступени данного соединения; v_2 — скорость по автоматической характеристике предыдущего соединения при токе I_{min} ; v_4 — скорость по автоматической характеристике для данного соединения при токе I_{min} ; v_3 — то же, но при токе I_{max} .

Коэф-ты α и β равны:

$$\alpha = \frac{v_4 - v_2}{v_3 - v_2};$$

$$\beta = \frac{r_1}{r_0}.$$

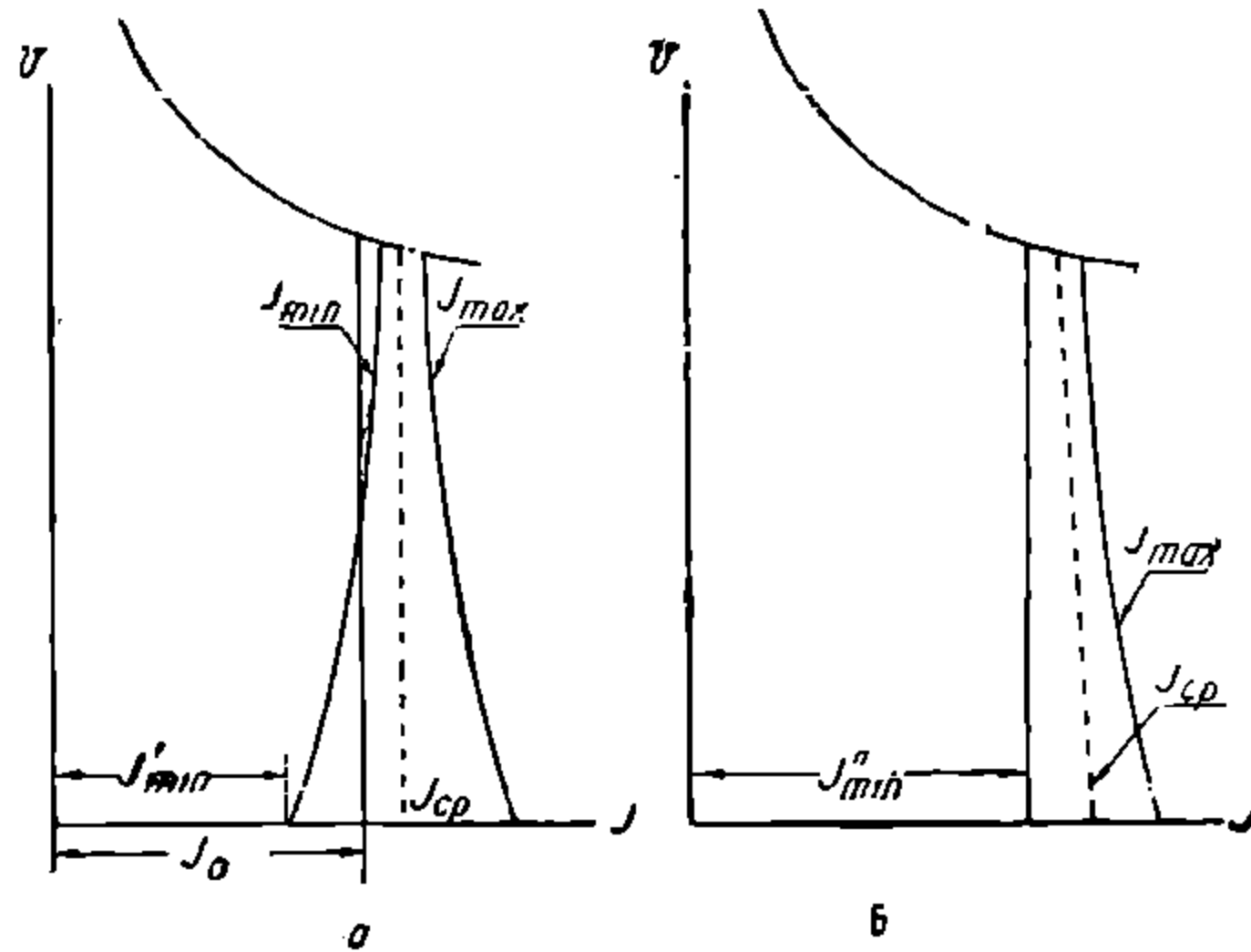
Для эл/в определение реостатных ступеней лучше вести не по постоянному пределу I_{max} , а с учетом изменения предельного коэф-та сцепления с изменением скорости.

Минимальный предел I_{min} м. б. также взят не постоянным, а изменяющимся в ϕ -ин скорости по тому или иному закону; так, напр., чтобы при убывающем пределе I_{max} получить постоянный ср.-пусковой ток, следовало бы с увеличением скорости повышать предел I_{min} (фиг. 11,а) т. к.:

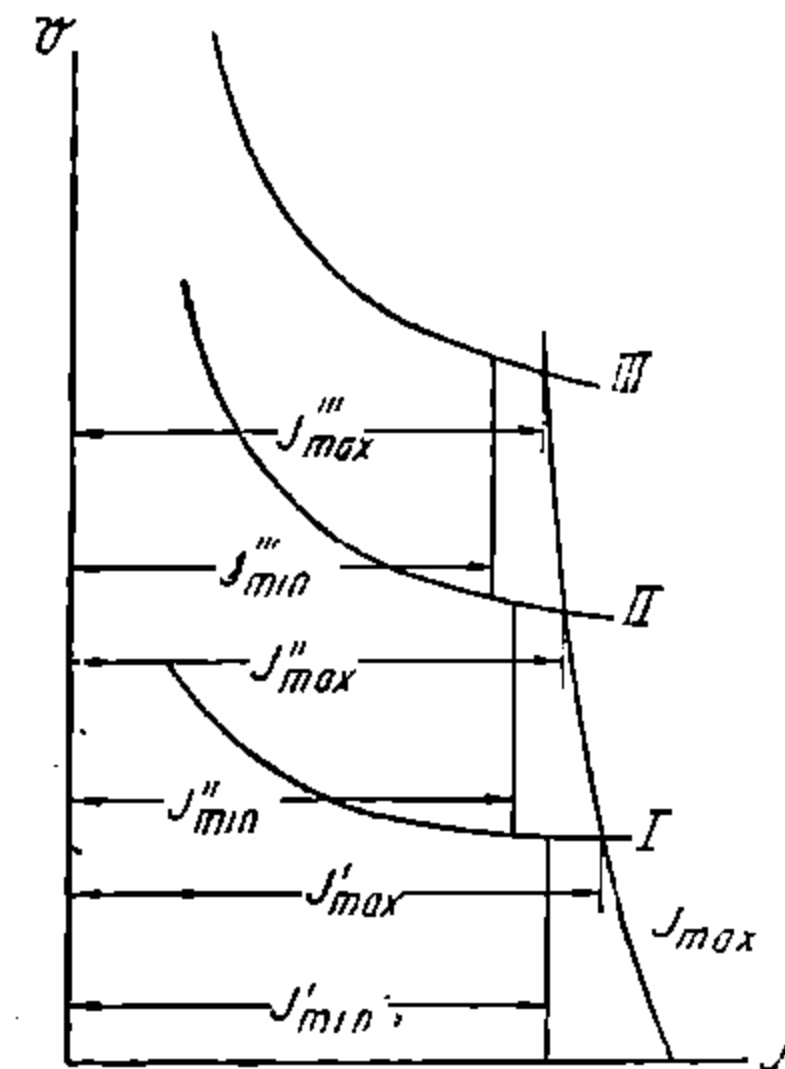
$$I_{min} = 2 I_{cp} - I_{max}.$$

Однако такая пусковая диаграмма не является наивыгоднейшей в тяговом отношении, т. к. I_{min} всегда д. б. равно или больше тока I_0 , при к-ром усилие тяги эл/в достаточно лишь для равновесного движения поезда (см. стр. 142), в противном случае т. е., если для какой-либо ступени $I_{min} \leq I_0$, то расчетный режим пуска был бы нарушен, т. к. переход на след. ступень пришлось бы произвести при токе $I_0 > I_{min}$ и толчок тока при этом вышел бы за пределы I_{max} . Ток I_0 м. б. принят постоянным, не зависящим от скорости, т. к. нас в первую очередь интересуют условия разгона поезда на тяжелых

подъемах, где значительную часть полного сопротивления движению дает слагающая от подъема, не зависящая от скорости. Основное же сопротивление движению мало меняется со скоростью и составляет в данном случае меньшую часть полного сопротивления поезда. Т. о., ясно, что и в случае расчета по переменному пределу I_{max} минимальный предел следует принимать постоянным, не зависящим от скорости (фиг. 11, б).



Фиг. 11



Фиг. 12

На фиг. 12 изображены 3 скоростные характеристики для 3 значений клеммового напряжения на дв-ль соответственно 3 соединениям дв-лей эл/в. Кривая I_{max} дает ограничение тока по сцеплению. Для определения предела I_{min} исходят из коэф-та неравномерности пуска при выходе на автоматическую характеристику. Если, напр., принять коэф-т неравномерности при выходе на автоматическую характеристику последнего соединения (кривая III) — k_H , то:

$$I'''_{min} = I_{max} \frac{1 - k_H}{1 + k_H}$$

и тот же предел I'_{min} принять для реостатного пуска на всех соединениях дв-лей, то неравномерность пуска получается чрезмерно велика особенно для 1-го соединения. Поэтому обычно для пуска на каждом соединении принимают свой самостоятельный предел, исходя из одного и того же коэф-та неравномерности при выходе на автоматическую характеристику каждого соединения.

Так, напр., для 2-го соединения (кривая II):

$$I''_{min} = I''_{max} \frac{1 - k_H}{1 + k_H}$$

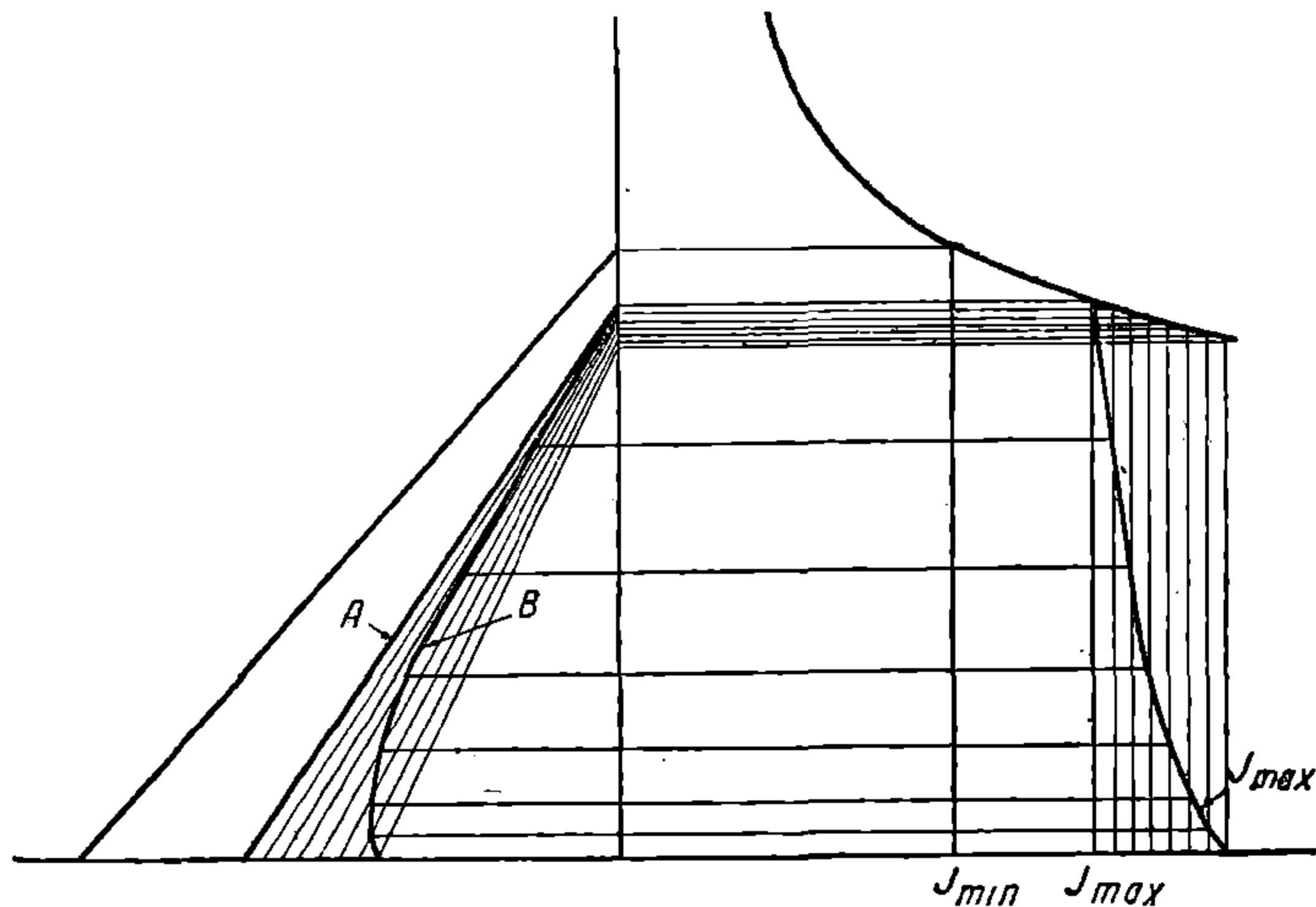
и для 1-го соединения:

$$I'_{min} = I'_{max} \frac{1 - k_H}{1 + k_H}$$

В 1-м случае, когда принимался один и тот же предел I_{min} для всех соединений, коэф-т k_H был различным для каждого соединения, при чем резко уменьшался с увеличением скорости. Во 2-м случае коэф-т неравномерности претерпевает на каждом соединении изменение приблизительно в одинаковых пределах. Для эл/в, имеющих интервал между соседними экономическими скоростями более 15—20 км/час, k_H для пуска, рассчитанного с переменным I_{max} , претерпевает на каждом соединении столь значительное изменение, что при нормальной величине k_H , принятого для выхода на автоматическую характеристику в начале пуска, в данном соединении k_H получается чрезмерно большим. В таких случаях следует ограничить k_H в начале пуска, принимая его не более полуторного значения k_H в конце пуска на данном

соединении, и изменение I_{max} принимать по закону прямой, определяемой верхней и нижней точками.

Что касается самих графических построений для определения ступеней при переменном пределе k_H , то по методу Вукс переменный предел I_{max} не вызывает затруднений; при построении же в системе координат $r-v$ следует иметь в виду, что вместо прямолинейного ограничения пусковой диаграммы по максимальному току (прямая A фиг. 13) теперь получится некая кривая B (фиг. 13).



Фиг. 13

к) Автоматический пуск. На м/в, как правило, применяется автоматический пуск, при котором переход с позиции на позицию происходит помимо воли машиниста всякий раз, когда ток в ТД снижается до определенной минимальной величины. За машинистом сохраняется лишь возможность управления началом пуска и переходом с одного соединения дв-лей на другое. Реостатный же пуск на каждом соединении происходит автоматически.

Расчет реостатов в этом случае из условия работы реле должен вестись с постоянным пределом I_{min} на всех соединениях дв-лей. Принципиально возможен автоматический пуск с разными пределами на первом и втором соединении дв-лей путем автоматической перерегулировки реле или комбинации двух реле, и такой пуск м. б. полезен особенно при больших скоростях выхода на автоматическую характеристику и при больших ускорениях, когда величина ускорения лимитируется сцеплением мп/в.

л) Хронометрический пуск является также пуском автоматическим, но, в отличие от вышеописанного, здесь пуск происходит не в ф-ии пускового тока, а в ф-ии времени, т. е. время движения поезда на каждой реостатной позиции есть величина постоянная, и если машинист не задерживает пуска на промежуточной экономической скорости, то и время разгона поезда до выхода на автоматическую характеристику есть также величина постоянная. Др. словами, характерной особенностью этой системы

пуска является постоянство величины ускорения $\frac{dv}{dt}$ в то время как для обычного автоматического пуска $I_n = \text{const}$ и $F_n = \text{const}$.

При $\frac{dv}{dt} = \text{const}$.

$$F_n = Q \left[\iota + \omega + 102 (1 + \gamma) \frac{dv}{dt} \right],$$

т. е. пусковое усилие будет прямо пропорционально весу поезда, и если считать, что нагрузка распределяется равномерно на моторный и прицепные вагоны, то: $\frac{F_n}{Q} = \text{const}$

НТБ
ДРУЗТ

т. е. коэф-т тяги зависит от нагрузки ваг. Это дает возможность полностью использовать сцепной вес при пуске максимально нагруженного м/в, не опасаясь боксования при движении его даже в порожнем состоянии.

Отрицательным свойством этой системы является то, что пусковое усилие тяги зависит также от подъема и при пуске на тяжелом подъеме может настолько возрасти, что соответствующий этому усилию ток превысит допустимую по коммутации ТД величину. Поэтому, когда пусковой ток достигает определенного максимального значения, скорость перехода с позиции на позицию начинает замедляться токовым реле, и система начинает работать уже по первому принципу, т. е. в зависимости от тока, а не от времени.

3. ШУНТИРОВКА ПОЛЯ

Для ослабления поля дв-ля необходимо уменьшить число ампер-витков обмотки возбуждения, что м. б. получено 2 способами: 1) путем выключения части витков катушек главных полюсов и 2) ответвлением части якорного тока, помимо обмотки возбуждения, путем шунтирования последней сопротивлением.

Принципиальная схема для 1-го способа ослабления поля изображена на фиг. 14. Здесь на ступени скорости с ослаблением поля из общего числа ω витков обмотки возбуждения выключается ω_2 витков и под током остается ω_1 витков. Число ампер-витков при полном поле $AW_{n.n} = \omega I$, при ослабленном поле $AW_{o.n} = \omega_1 I$.

Ослабление поля характеризуется отношением числа ампер-витков при ослабленном поле к числу ампер-витков при полном поле.

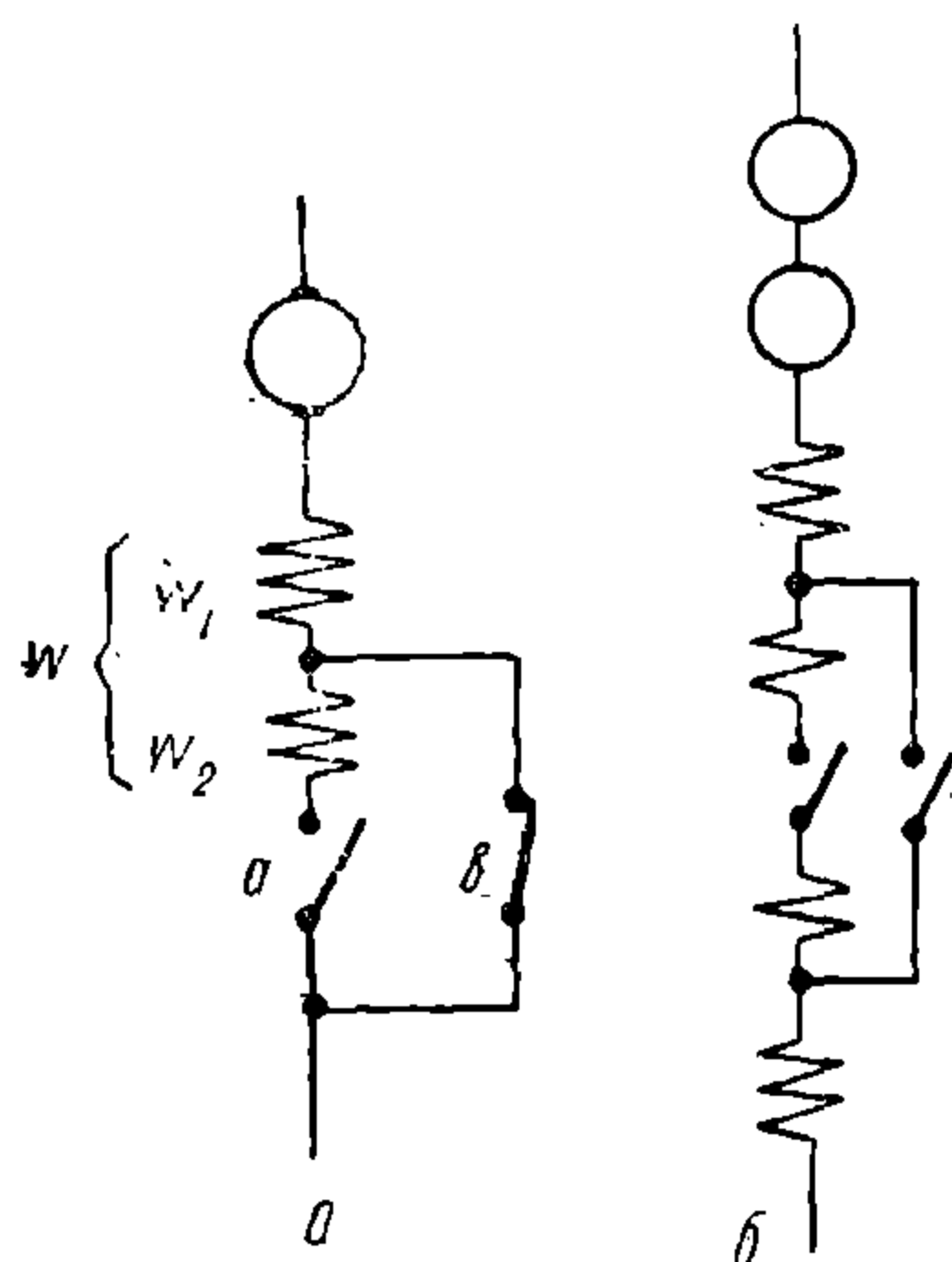
Назовем коэф-т ослабления поля:

$$\frac{AW_{o.n}}{AW_{n.n}} = \beta.$$

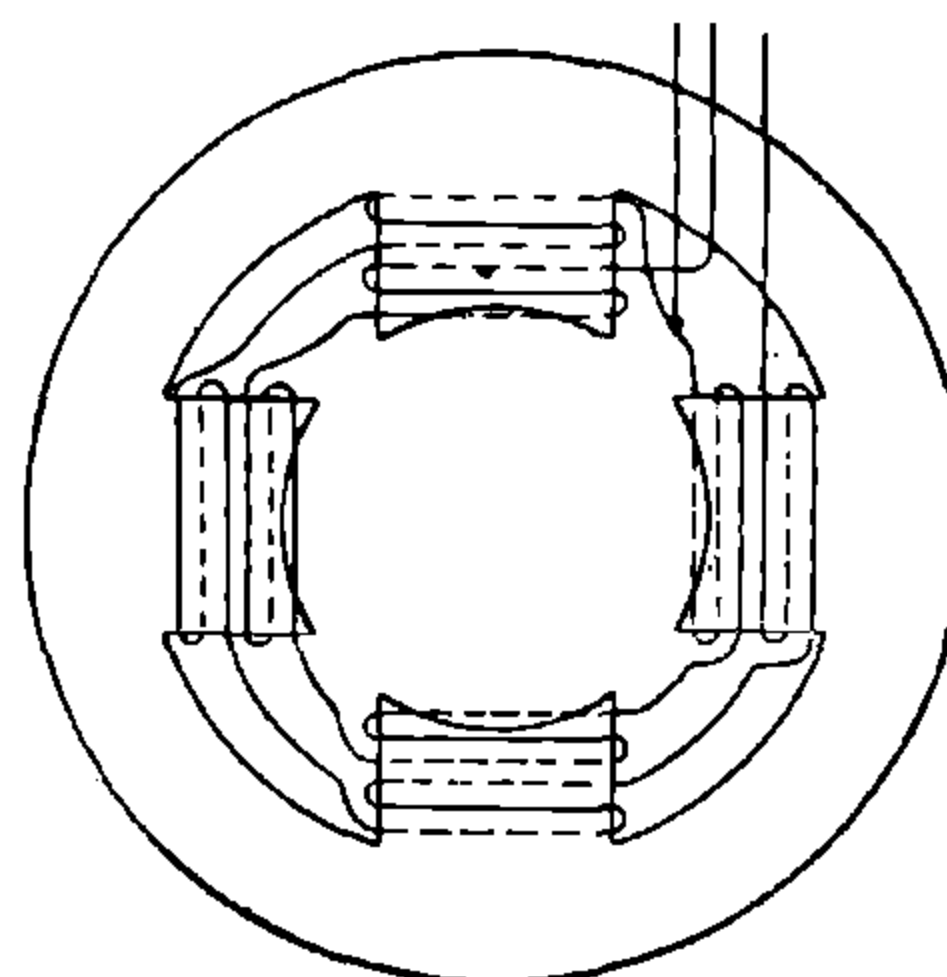
Для ослабления поля выключением части витков коэф-т β равняется:

$$\beta = \frac{\omega_1 I}{\omega I} = \frac{\omega_1}{\omega}.$$

Величина эта обычно выражается в проц. ($100 \beta \%$), и, напр., коэф-т ослабления 75% означает, что 75% витков обмотки возбуждения остаются включенными в цепь. Следует отметить, что термин «коэф-т ослабления поля» применительно к коэф-ту β в сущности



Фиг. 14



Фиг. 15

неправильно, т. е. он выражает степень ослабления мдс обмотки возбуждения, т. е. ампер-витков, поток же для машин с насыщенным магнитопроводом будет ослаблен в меньшей степени, т. к. прямая пропорциональность между ампер-витками и потоком в этом случае отсутствует.

Выключаемые при ослаблении поля витки обмотки возбуждения не м. б. просто замкнуты, что имело бы место при отсутствии в схеме к-ра *a* (фиг. 14-а), т. к. замкнутые накоротко витки оказывали бы сильное тормозящее действие, препятствующее изменениям магнитного потока дв-ля в соответствии с током нагрузки. Эта инерция магнитного потока может повлечь к образованию кругового огня при быстром нарастании тока дв-ля, особенно после полного отключения цепи, напр., при отскоке пантографа на неровности к-тного провода.

Схема соединений катушек главных полюсов 4-полюсного дв-ля для ослабления поля изображена на фиг. 15. Из схемы видно, что при таком способе ослабления поля на каждом полюсе приходится размещать как бы 2 самостоятельные катушки, что при больших сечениях меди серийной обмотки усложняет конструкцию и удорожает дв-ль.

При 2 ступенях ослабления получалось бы еще большее усложнение обмотки возбуждения. Поэтому для эл-возных дв-лей, для к-рых весьма часто даются 2 ступени ослабления, применяется преимущественно 2-й способ,—шунтировка обмотки возбуждения сопротивлением.

Схема для ослабления поля дв-ля шунтировкой сопротивлением изображена на фиг. 16. В этом случае обмотка возбуждения имеет обычное устройство, и дополнительных выводов из катушек не требуется. Если через якорь дв-ля проходит ток *I*, то

далее ток разветвится, и через обмотку возбуждения будет протекать ток *I*₁, а через шунтирующее сопротивление—ток *I*₂, при чем, очевидно:

$$I_1 + I_2 = I.$$

При полном поле и нагрузке *I* ампер-витки обмотки возбуждения $AW_{n.n} = \omega I$, при ослабленном поле $AW_{o.n} = \omega I_1 < AW_{n.n}$. Коэф-т ослабления поля, или коэф-т шунтировки, будет равен:

$$\beta = \frac{AW_{o.n}}{AW_{n.n}} = \frac{I_1}{I_2}$$

Очевидно, коэф-т шунтировки будет зависеть от соотношения сопротивлений параллельных цепей обмотки дв-ля и шунта. Определим, каково будет β при сопротивлении обмотки возбужде-

ния *r*₁ и сопротивлении шунта *r*₂. Т. к. падение напряжения по обеим параллельным цепям д. б. одинаково, то

$$I_1 r_1 = I_2 r_2,$$

или, т. к.

$$I_1 = \beta I \text{ и } I_2 = (1 - \beta) I,$$

то

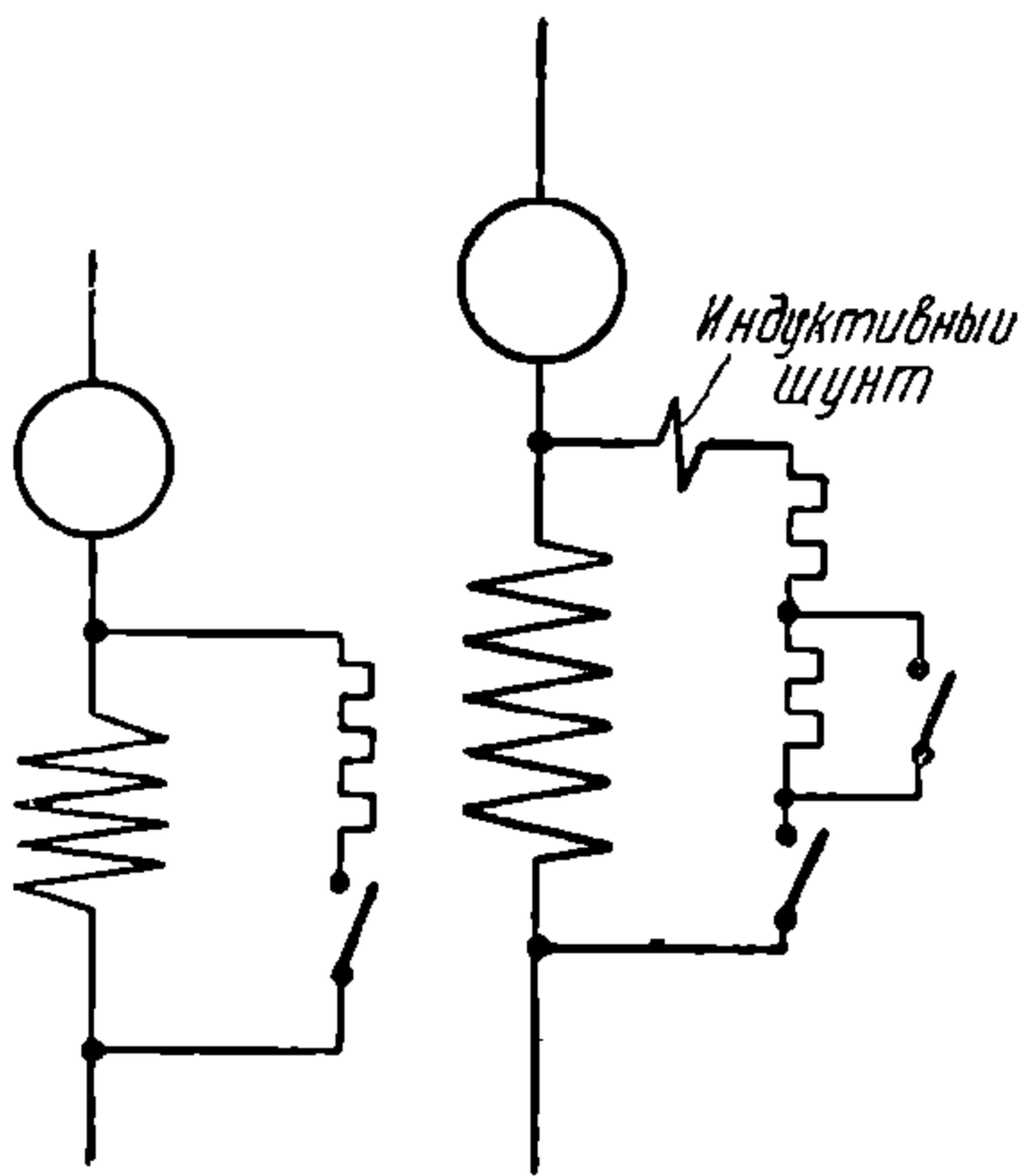
$$\beta r_1 = (1 - \beta) r_2,$$

откуда

$$\beta = \frac{r_2}{r_1 + r_2}$$

Из этого выражения видно, что коэф-т шунтировки зависит от величины сопротивления шунта, что является большим преимуществом этого способа ослабления поля, т. к. дает возможность при надобности изменить коэф-т шунтировки без переделки дв-ля соответствующим изменением сопротивления шунта, и кроме того здесь легко осуществляется несколько ступеней шунтировки замыканием накоротко части шунтирующего сопротивления. Такая схема для 2 ступеней изображена на фиг. 17.

Однако шунтировка обмотки возбуждения одним омическим сопротивлением практически не применяется, т. к. она не обеспечивает постоянства величины коэф-та β при нестационарных явлениях. Если, напр., вследствие резкого повышения напряжения, ток в цепи дв-ля, обмотка возбуждения к-рого шунтирована омическим сопротивлением, быстро нарастает, то избыточный ток пойдет преимущественно через шунт, т. к. само-



Фиг. 16

Фиг. 17

ДРУЗТ

индукция обмотки возбуждения будет препятствовать нарастанию тока в ней, т. е. в выражении $\beta = \frac{I_1}{I}$ числитель будет оставаться постоянным, в то время как знаменатель будет быстро возрастать, следовательно, коэф-т β будет падать. Это явление аналогично действию короткозамкнутых витков и особенно опасно при восстановлении напряжения в сети после кратковременного его снятия (повторное включение п/ст после отключения автомата, отскоки пантографа). В этих случаях в момент восстановления напряжения весь ток пройдет через якорь дв-ля и шунт, и дв-ль вследствие отсутствия поля и, следовательно, противоэдс будет сильно перегружен, и кроме того большой ток в якоре при отсутствии поля приведет к возникновению кругового огня на коллекторе.

Этот недостаток ослабления поля шунтировкой устраняется включением в цепь шунта индуктивного сопротивления, т. н. индуктивного шунта (фиг. 17), к-рый выполняется в виде дроссельной катушки с железом.

Выясним, какова д. б. величина самоиндукции индуктивного шунта, чтобы разветвление тока якоря в отношении β и $1 - \beta$ обеспечивалось также и при нестационарных режимах, т. е. при наличии в цепи $\frac{dI}{dt}$. Для нестационарного режима напряжение на обмотке возбуждения будет равно:

$$I_1 r_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} = I_2 r_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt},$$

где: L_1 — самоиндукция обмотки возбуждения дв-ля, L_2 — самоиндукция индуктивного шунта, r_1 — суммарное омическое сопротивление шунтового реостата и индуктивного шунта.

По поставленному выше условию требуется, чтобы в любой момент времени

$$I_1 = \beta I \text{ и } I_2 = (1 - \beta) I,$$

$$\beta I r_1 + L_1 \beta \frac{dI}{dt} = (1 - \beta) I r_2 + L_2 (1 - \beta) \frac{dI}{dt}$$

но

$$\beta I r_1 = (1 - \beta) I r_2,$$

откуда

$$L_1 \beta = (1 - \beta) L_2$$

и

$$L_2 = \frac{\beta}{1 - \beta} L_1$$

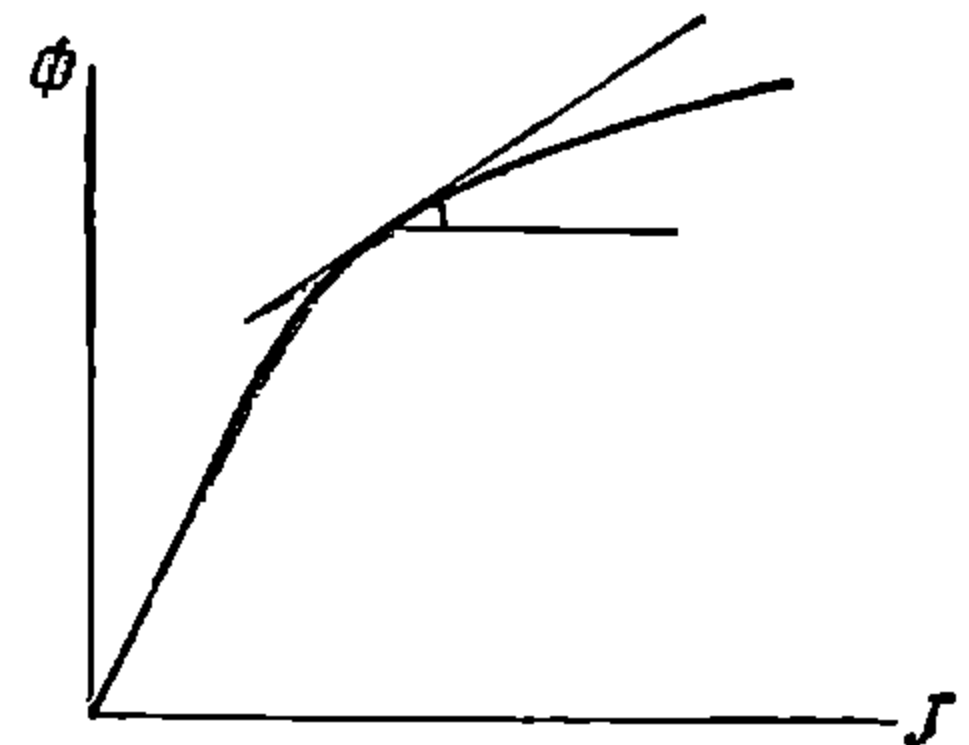
Для машин с насыщенным магнитопроводом коэф-т самоиндукции обмотки возбуждения L_1 — величина непостоянная и изменяется с изменением ампер-витков возбуждения, т. к.:

$$L_1 = \alpha \omega \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8},$$

где: α — коэф-т меньший 1, учитывающий размагничивающее влияние токов Фуко в массивном остове.

Но величина $\frac{d\Phi}{dt}$ — тангенс угла наклона касательной кривой намагничивания, — как видно из фиг. 18, уменьшается с увеличением $A \mathcal{W}$ возбуждения вследствие насыщения магнитопровода. Очевидно, чтобы при любой нагрузке сохранялось постоянное отношение коэф-тов самоиндукции, необходимо, чтобы кривая намагничивания для индуктивного шунта имела сходную конфигурацию с кривой намагничивания дв-ля. Выясним, каково д. б. соотношение между магнитными потоками дв-ля и шунта, чтобы при любой

нагрузке сохранялось соотношение $L_2 = \frac{\beta}{1 - \beta} L_1$



Фиг. 18

РГБ
ДНУЗТ

$$L_1 = \alpha \omega_1 \frac{d\Phi_1}{dI_1} 10^{-9};$$

$$L_2 = \omega_2 \frac{d\Phi_2}{dI_2} 10^{-9}$$

откуда:

$$\omega_2 \frac{d\Phi_2}{dI_2} = \frac{\beta}{1-\beta} \alpha \omega_1 \frac{d\Phi_1}{dI_1}$$

или

$$\omega_2 \frac{1}{1-\beta} \frac{d\Phi_2}{dI} = \alpha \frac{\beta}{1-\beta} \frac{1}{\beta} \omega_1 \frac{d\Phi_1}{dI};$$

$$\omega d\Phi_2 = \alpha \omega_1 d\Phi_1;$$

$$\omega_2 \Phi_2 = \alpha \omega_1 \Phi_1 + C.$$

Постоянная интегрирования $C = 0$, т. к. при $\Phi = 0$, Φ_2 также равно нулю. Поэтому

$$\Phi_2 = \frac{\alpha \omega_1}{\omega_2} \Phi_1.$$

Т. о., поток индуктивного шунта должен изменяться с изменением тока нагрузки дв-ля пропорционально потоку дв-ля.

а) **Характеристики при ослабленном поле** На фиг. 19 кривая $\Pi\Pi$ изображает скоростную характеристику при полном поле. Характеристика для ослабленного поля м. б. построена след. способом. Для точки A скоростной характеристики полного поля скорость равна $v_{n.n}$ км/ч и ток — $I_{n.n}$. Ампер-витки обмотки возбуждения при этом равны $AW_{n.n} = \omega I_{n.n}$, при ослабленном поле $AW_{o.n} = \omega_2 I_{o.n}$. Чтобы потоки в обоих случаях были равны, достаточно, чтобы:

$$AW_{n.n} = AW_{o.n};$$

т. е.

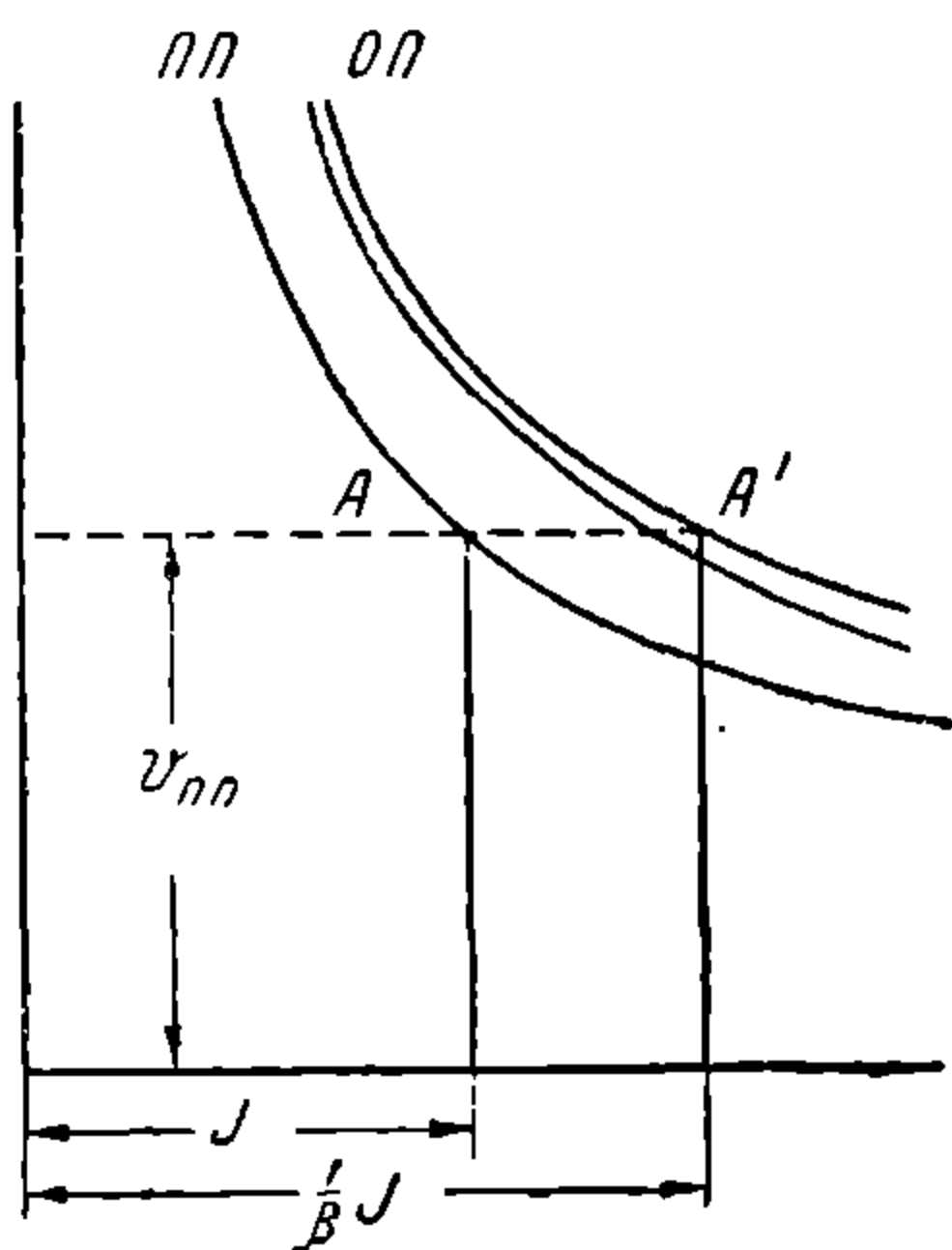
$$\omega I_{n.n} = \omega_2 I_{o.n}$$

или, т. к.

$$\omega_2 = \beta \omega;$$

то

$$I_{o.n} = \frac{1}{\beta} I_{n.n},$$



Фиг. 19

т. е. на ступени ослабленного поля те же ампер-витки и, следовательно, тот же поток получатся при большем в $\frac{1}{\beta}$ раз токе. Если пренебречь увеличением падения напряжения в дв-ле при большей нагрузке, то в обоих случаях будут равны и скорости. Т. о., построение скоростной характеристики для ослабленного поля сводится к увеличению ее абсцисс в отношении, обратном «коэф-ту ослабления поля», т. е. в $\frac{1}{\beta}$ раз, как это показано для точки A на фиг. 19. Если же учесть дополнительное падение напряжения при большей нагрузке, то при токе $I_{o.n} = \frac{1}{\beta} I_{n.n}$ скорость д. б. взята равной:

$$v_{o.n} = \frac{E_k - \frac{I_{n.n}}{\beta} (R_a + \beta R_e)}{E_k - I_{n.n} (R_a + R_e)}$$

где: R_a — сопротивление якоря и дополнительных полюсов, R_e — сопротивление обмотки возбуждения.

НТБ
ДНУЗТ

Следует отметить, что в вышеприведенном пересчете скоростной характеристики для ослабленного поля не учитывается нек-рое увеличение при ослаблении поля поперечно-размагничивающих ампер-витков реакции якоря $A W_{\partial}$. Однако дополнительное ослабление поля за счет реакции якоря невелико и для практических целей, напр. для тяговых расчетов, может не учитываться.

Характеристика КПД для режима работы дв-ля с ослабленным полем также легко м. б. получена по таковой же для полного поля. КПД для полного поля:

$$\eta_{n.n} = \frac{E_{\kappa} I_{n.n} - I_{n.n}^2 (R_a + R_e) - (W_{ж} + W_m)}{E_{\kappa} I_{n.n}} \quad (7)$$

где: $W_{ж}$ — железные потери дв-ля, W_m — механические потери.

Для ослабленного поля:

$$\frac{E_{\kappa} I_{o.n} - I_{o.n}^2 (R_a + \beta R_e) - (W'_{ж} + W'_m)}{E_{\kappa} I_{o.n}} \quad (8)$$

При нагрузке $I_{o.n} = \frac{1}{\beta} I_{n.n}$ можно принять, что $W_{ж} = W'_{ж}$ и $W_m = W'_m$, т. к. скорость, от к-рой зависят механические потери и при равных потоках — железные, будет равна скорости при полном поле и токе $I_{n.n}$.

Решая ур-ие (7) относительно $W_{ж} + W_m$, найдем, что:

$$W_{ж} + W_m = -\eta_{n.n} E_{\kappa} I_{n.n} + E_{\kappa} I_{n.n} - I_{n.n}^2 (R_a + R_e).$$

Подставив это значение железных и механических потерь в ур-ие (7), найдем

$$\eta_{o.n} = \frac{E_{\kappa} I_{o.n} - I_{o.n} (R_a + \beta R_e) + \eta_{n.n} I_{n.n} E_{\kappa} - E_{\kappa} I_{n.n} + I_{n.n}^2 (R_a + R_e)}{E_{\kappa} I_{o.n}}$$

и заменив $I_{o.n}$ равной ему величиной $\frac{1}{\beta} I_{n.n}$, найдем:

$$\eta_{o.n} = \frac{E_{\kappa} \left[1 - \beta (1 - \eta_{n.n}) \right] + I_{n.n} \left[R_a \left(\frac{1}{\beta} - \beta \right) + R_e (1 - \beta) \right]}{E_{\kappa}} \quad (9)$$

Взяв ряд значений КПД для полного поля при различных токах $I_{n.n}$, можно по ф-ле (9) найти значения $\eta_{o.n}$, при чем эти значения будут относиться к значениям тока при ослабленном поле.

Как видно из выражений (7) и (8), вывод ф-лы (9) предусматривает пересчет КПД, отнесенного к валу дв-ля, т. е. без потерь в зубчатой передаче. Если же пересчету подлежит характеристика КПД, отнесенная к ободу, то прежде, чем пользоваться ф-лой (9), необходимо привести ее к валу дв-ля, и после пересчета потери в зубчатой передаче д. б. вновь введены для получения КПД при ослабленном поле, отнесенного к ободу.

Характеристика усилия тяги $F = f(I)$ определится по скоростной характеристике и КПД.

4. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ

Эл. торможение поезда основано на использовании тормозного момента, развиваемого ТД при работе их генераторами.

В зависимости от способа поглощения отдаваемой ТД при эл. торможении энергии, системы эл. торможения подразделяются на: 1) реостатное торможение и 2) рекуперативное.

Практически применимые системы эл. торможения должны удовлетворять след. требованиям:

1) эл. устойчивости, под к-рой понимается свойство эл. схемы развивать дополнительные ЭДС, направленные против любых отклонений силы тока в одной или, в любом сочетании, в нескольких цепях, т. е. свойство схемы к восстановлению определенного состояния равновесия при любом отклонении от него;

ДНУЗТ

2) механической устойчивости, т. е. свойству увеличивать тормозной момент с увеличением оборотов, или, др. словами, увеличивать тормозное усилие с увеличением скорости поезда. Удовлетворение этому условию является одним из существенных преимуществ эл. торможения перед механическими средствами торможения. Аналитическое выражение механической устойчивости будет:

$$\frac{dB}{dv} > 0,$$

где B — тормозное усилие на ободу колес;

3) минимальному влиянию колебания напряжения в сети на нагрузку и тормозной момент дв-лей (для рекуперации);

4) возможности и простоте регулирования скорости и тормозного усилия в широком диапазоне;

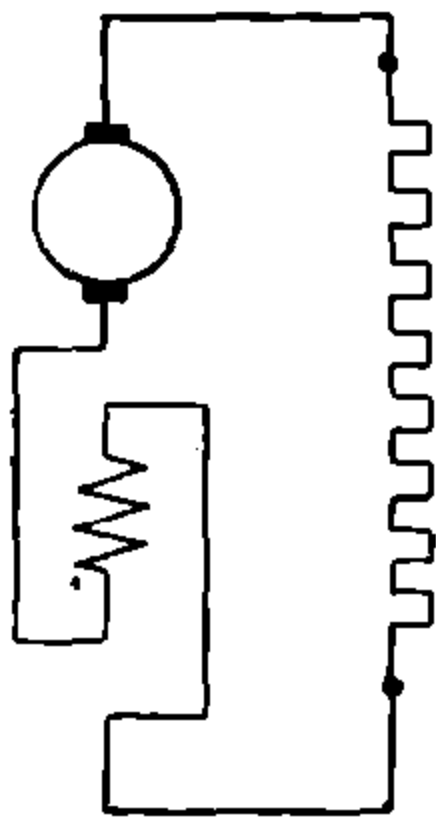
5) автоматичности или простоте операций при переходе с моторного режима на тормозной и обратно;

6) минимуму дополнительного оборудования.

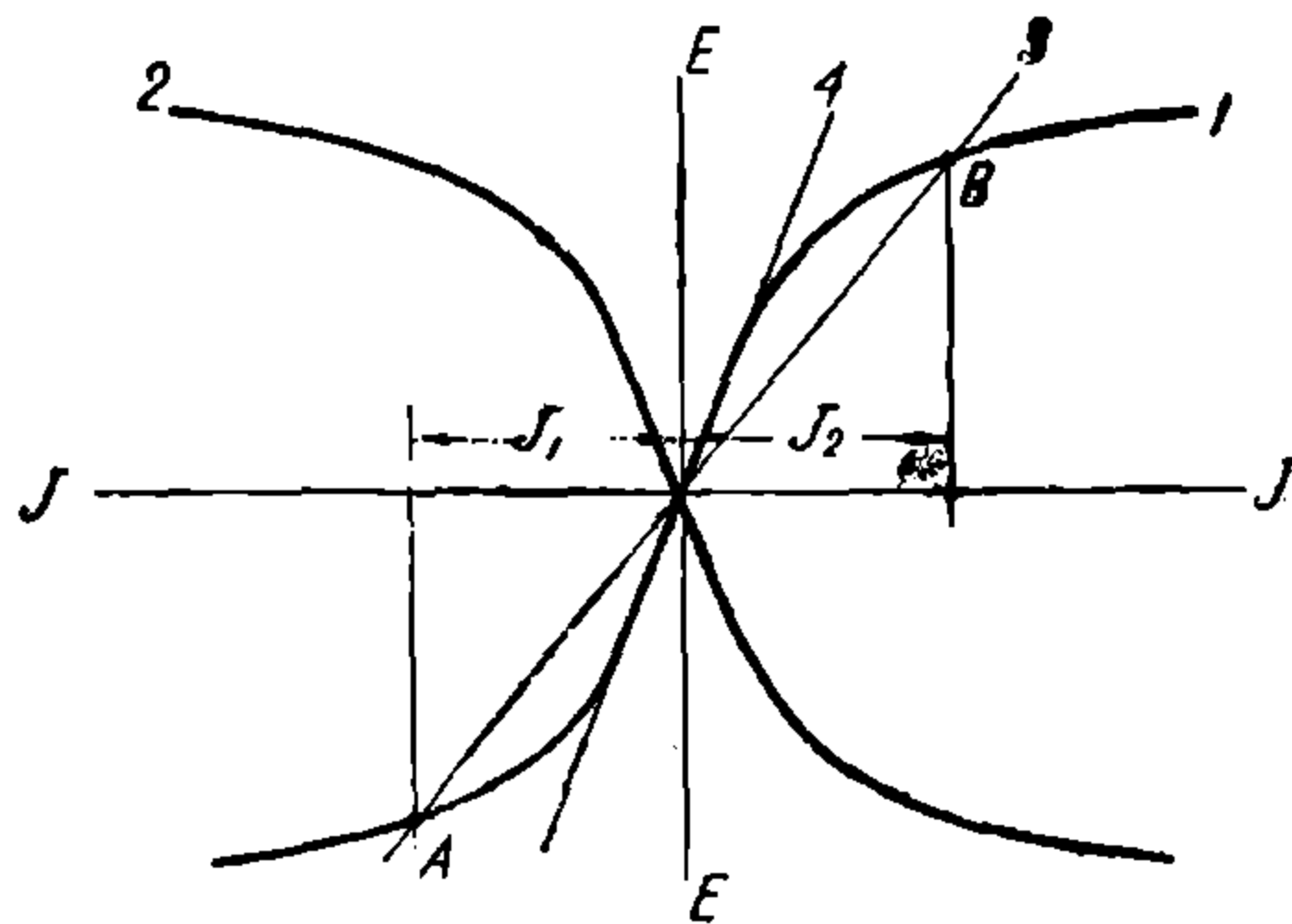
а) Реостатное торможение. Реостатным торможением наз. такой вид эл. торможения, при к-ром отдаваемая дв-лями энергия гасится в реостате, помещенном на том же эл/в или м/в.

Реостатное торможение возможно с дв-лями любых систем возбуждения, — серийного, шунтового или независимого и смешанного.

На фиг. 20 приведена простейшая схема реостатного торможения с одним серийным дв-лем. На фиг. 21 приведены характеристики серийного генератора $E = f(I)$ при $n = \text{const}$, т. е. кривые эдс в ф-ии нагрузки при постоянной скорости. Кривая 2 соответствует включению обмотки возбуждения, согласно моторному режиму в данном направле-



Фиг. 20



Фиг. 21

нии движения, и кривая 1 — обратному (реверсивному) включению при том же направлении движения. Эдс дв-ля уравнивается падением напряжения в контуре $I(R + r)$, к-рое при постоянном сопротивлении реостата изобразится прямой 3. Точки пересечения A и B дают устойчивый генераторный режим дв-ля с нагрузкой I_1 , или I_2 , т. е. для осуществления генераторного режима необходимо обратное включение обмотки возбуждения по сравнению с моторным режимом в данном направлении движения. Характеристика нереверсированного дв-ля (кривая 2) дает одну точку пересечения с прямой 3 при $I = 0$, т. е. дв-ль в этом случае не нагружается. Точка пересечения при $I = 0$ для кривой 1 неустойчива, т. к. всякое отклонение от этой точки вызывает бóльшую эдс, чем падение напряжения в контуре, и действующую в направлении тока. В зависимости от начального отклонения, к-рое определяется остаточным магнетизмом, при правильном включении обмотки устанавливается режим в точке A или B. Устойчивость обоих этих режимов следует из того, что при любом отклонении разность между эдс дв-ля и падением напряжения действует против соответствующего приращения тока. Условием устойчивости в данном случае является:

$$\frac{dE_a}{dI} < \frac{dE}{dI},$$

где $E = I(R + r)$, т. е.

$$\frac{dE_a}{dI} < R + r.$$

Сопротивление цепи $R + r = \operatorname{tg} \alpha$, т. е. чем больше сопротивление реостата, тем круче проходит прямая $E = f(I)$. При нек-ром r_{max} прямая $E = f(I)$ займет положение 4, т. е. пройдет касательно к прямолинейному уч-ку характеристики, соответствующему ненасыщенному состоянию магнитопровода машины. При этом:

$$\frac{dE_a}{dI} = R + r_{max},$$

т. е. условие устойчивости нарушается при дальнейшем увеличении сопротивления:

$$\frac{dE_a}{dI} > R + r.$$

Здесь имеется только одна, притом устойчивая, точка при $I = 0$, т. е. генераторный режим становится невозможным. Сопротивление r_{max} является наибольшим при данной скорости сопротивлением, при к-ром происходит самовозбуждение машины и устанавливается устойчивый генераторный режим.

Для различных скоростей величина критического сопротивления r_{max} различна, т. к. $E_a = C\Phi v$, т. е.:

$$\frac{dE_a}{dI} = Cv \frac{d\Phi}{dI} = R + r_{max},$$

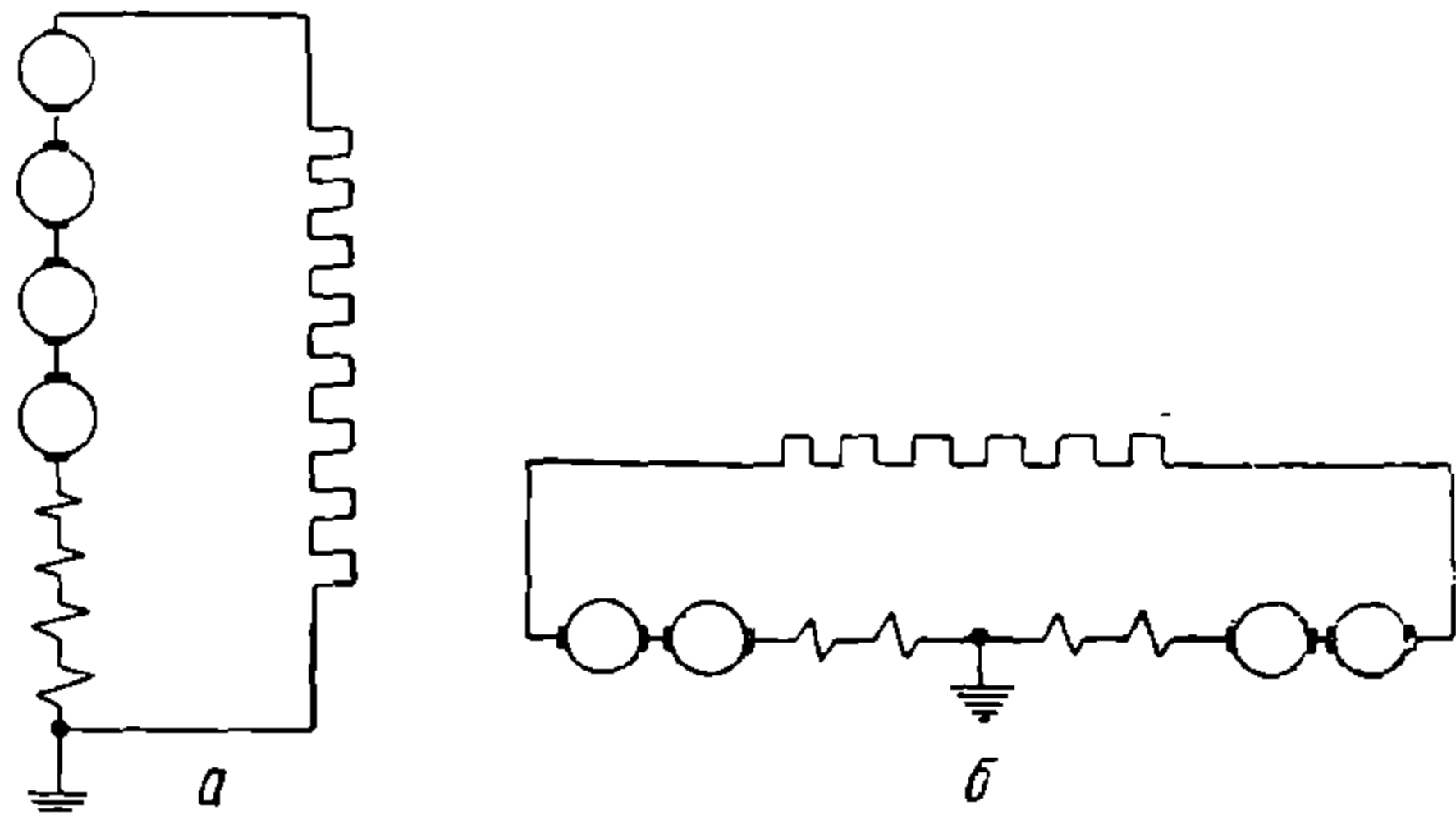
где $\frac{d\Phi}{dI} = \operatorname{const}$ — относится к уч-ку кривой намагничивания до насыщения магнитопровода.

Условие устойчивости удовлетворяется только на криволинейной и пологой ветви кривой намагничивания, т. е. реостатное торможение при малых нагрузках, при к-рых машина работает на крутой ветви характеристики, невозможно.

Реостатное торможение несколькими дв-лями м. б. осуществлено: 1) нагрузкой каждого дв-ля на отдельное сопротивление; 2) последовательным включением всех дв-лей на общее сопротивление; 3) параллельным включением дв-лей на общее сопротивление, 4) комбинированным, последовательно-параллельным, включением.

Первый способ практически не применяется из-за большого количества аппаратуры, необходимой для управления несколькими реостатами.

Применение 2-го способа при большом числе дв-лей лимитируется напряжением, максимальным по изоляции аппаратов и машин. Число последовательно соединенных дв-лей должно выбираться так, чтобы максимальное в цепи напряжение относительно земли не превосходило такового при моторном режиме. При правильном выборе точки заземления цепи возможно понижение максимального напряжения и, следовательно, увеличение допустимого числа последовательно соединенных дв-лей. Напр., в схеме по фиг. 22, а максимальное относительно земли напряжение равно $4E_k$, где E_k — клеммовое напряжение одного дв-ля; в той же по существу схеме по фиг. 22, б, но при заземлении др. точки, максимальное напряжение вдвое ниже и равно $2E_k$.

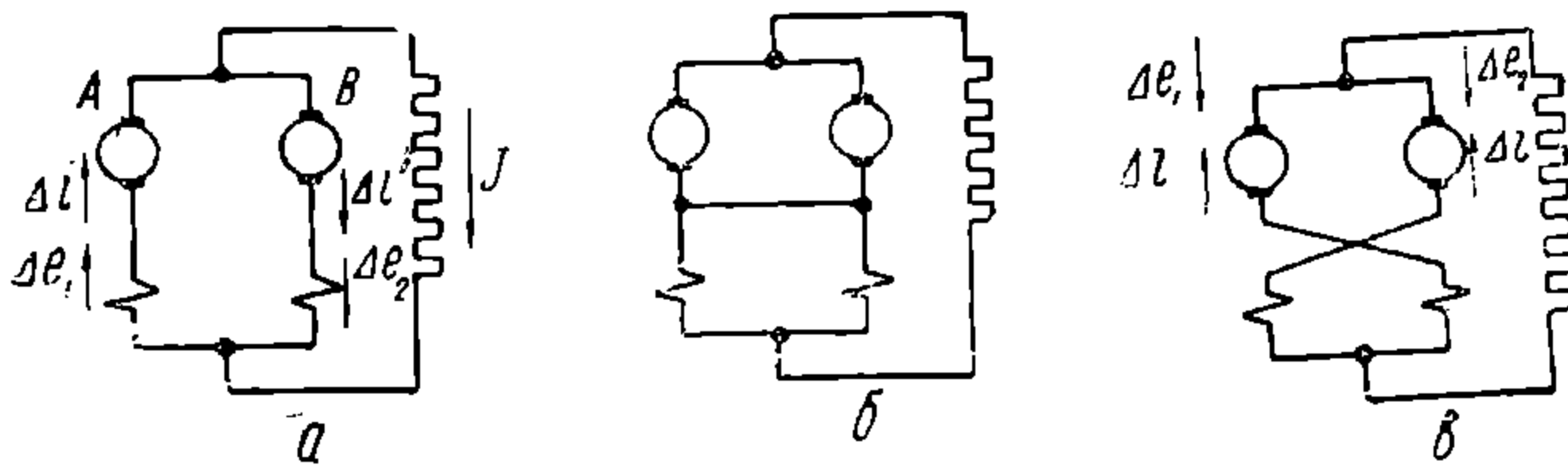


Фиг. 22

В отношении расчетного по изоляции напряжения наиболее благоприятно параллельное включение; однако без особых мероприятий схемы с параллельным включением серийных генераторов не удовлетворяют условию устойчивости. Так, напр., параллельное включение 2 серийных генераторов (фиг. 23, а) неустойчиво. Если в одной цепи (дв-ль А) произойдет приращение тока на ΔI , а в другой (дв-ль В) уменьшение на ΔI , что можно рассматривать как возникновение тока ΔI в контуре дв-лей, то эдс дв-ля А

ДНУЗТ

возрастет на Δe_1 , а дв-ля B уменьшится на Δe_2 . Дополнительные эдс Δe_1 и Δe_2 действуют в направлении тока Δi , т. е. содействуют дальнейшему его возрастанию. Состояние равновесия наступает только после полного опрокидывания системы, т. е. после полного перемагничивания одной из машин, что соответствует КЗ друг на друга двух последовательно соединенных серийных генераторов.



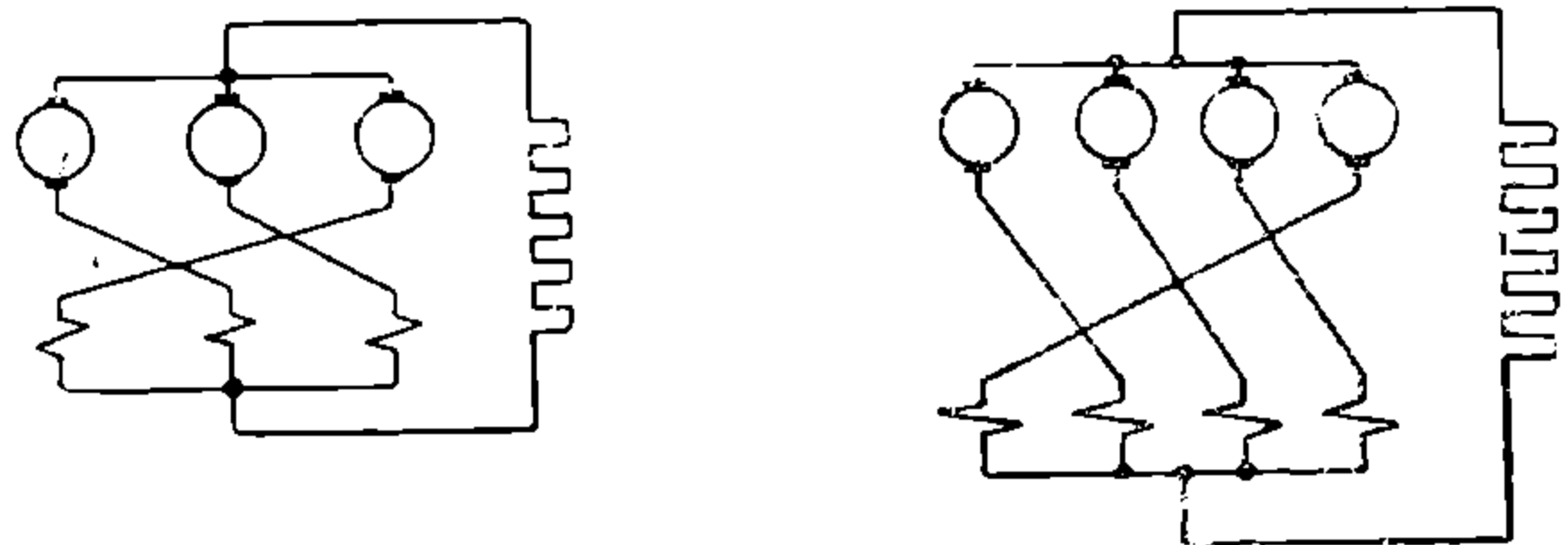
Фиг. 23

Устойчивость параллельного включения 2 серийных генераторов достигается введением уравнивающего провода согласно схеме фиг. 23, б. В отличие от предыдущей схемы, здесь отклонение от равновесного распределения токов в цепи якостей не влияет на возбуждение машин. При равных сопротивлениях обмоток возбуждения ток в каждой из них всегда равен половине тока нагрузки. Однако схема эта не удовлетворяет условию равномерности распределения нагрузок. В этом отношении схема аналогична параллельной работе шунтовых генераторов: незначительная неидентичность характеристик и неравенство токов возбуждения вследствие неравенства сопротивлений обмоток возбуждения приводят к недопустимой неравномерности нагрузок.

Второй способ стабилизации параллельной работы — перекрестное включение обмоток возбуждения (фиг. 23, в). Возникновение тока Δi при отклонении от состояния равновесия в этой схеме вызывает дополнительные эдс Δe_1 и Δe_2 , направленные против этого тока. В отношении распределения нагрузок схема дает также хорошие результаты.

Схема перекрестного соединения представляет частный случай схем параллельной работы нескольких серийных генераторов с циклическим включением обмоток возбуждения.

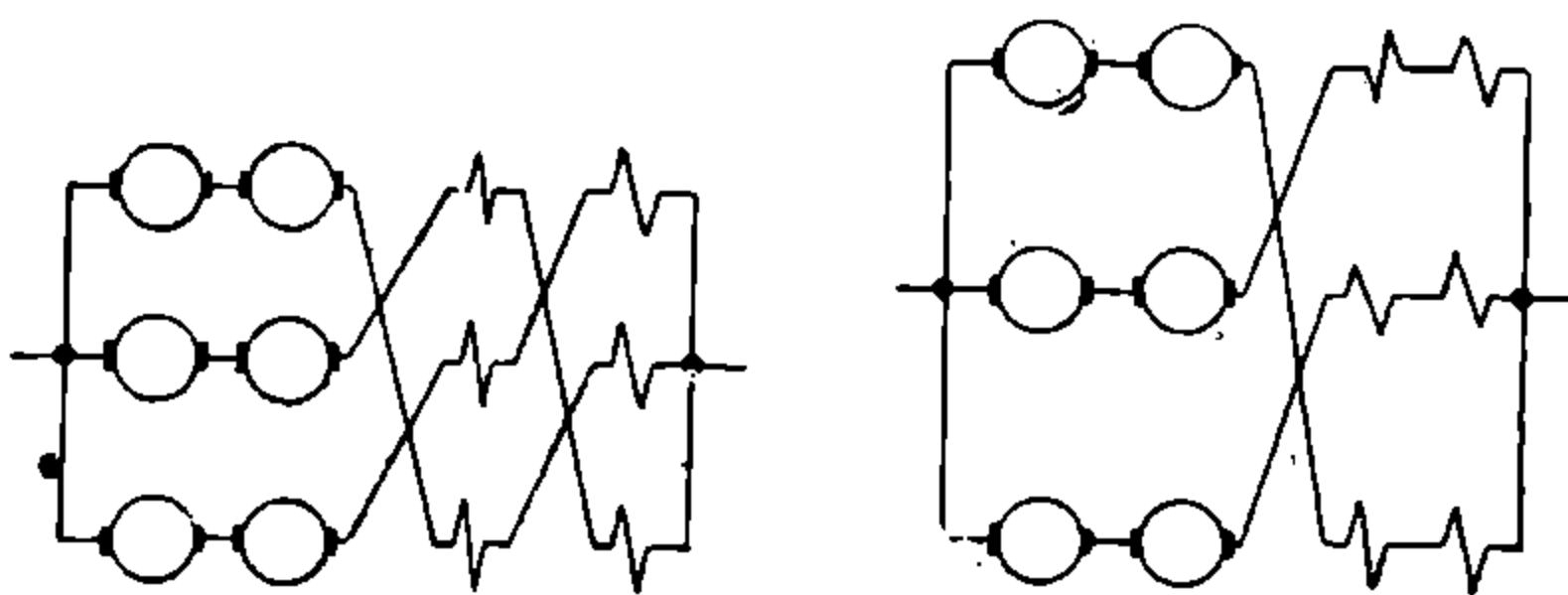
На фиг. 24 приведены схемы циклического включения для 3 и 4 дв-лей. При 3 параллельных цепях циклическое соединение дает электрически устойчивую схему, при 4 и 5 параллельных цепях схема устойчива только при идентичных и весьма мало различающихся характеристиках дв-лей, при 6 и более — состояние всегда неустойчиво.



Фиг. 24

Простое параллельное включение 2 и более цепей, состоящих из нескольких последовательно соединенных дв-лей, неустойчиво. При наличии уравнивающего

соединения, аналогичного фиг. 23, в, схема устойчива, но не удовлетворяет условию в отношении распределения нагрузок. Также в силе остаются свойства перекрестного и циклических соединений. При 2 и более дв-лях в параллельной цепи кроме простого циклического включения возможны схемы с двойной и многократной перестановкой; так, на фиг. 25 приведены схемы с 3 параллельными цепями по 2 дв-ля по-

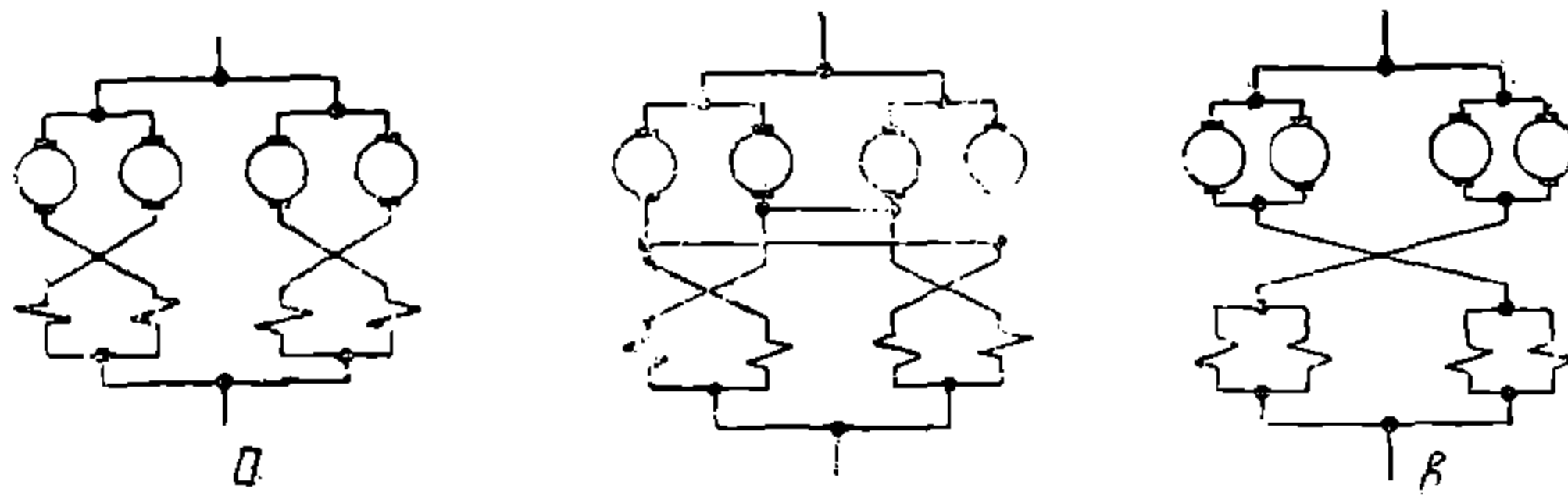


Фиг. 25

следовательно в каждой, при чем одна выполнена с простой циклической схемой включения обмоток возбуждения, а др. — с двойной. Обе схемы устойчивы, но последняя более благоприятна в отношении распределения нагрузок. Эта последняя схема применена на наших эл/в «ВЛ» и «ЛБ», оборудованных для реостатного торможения.

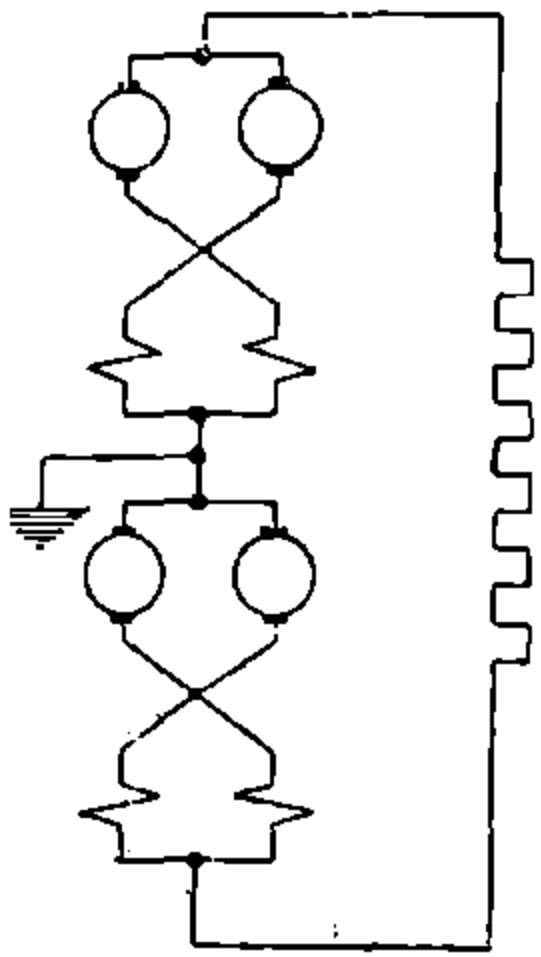
ДНУЗТ

Простое параллельное включение 2 устойчивых схем на общее сопротивление неустойчиво (фиг. 26,а). Применением уравнительных соединений достигается устойчивость схем (фиг. 26,б и в), но не удовлетворяется условие распределения нагрузок.

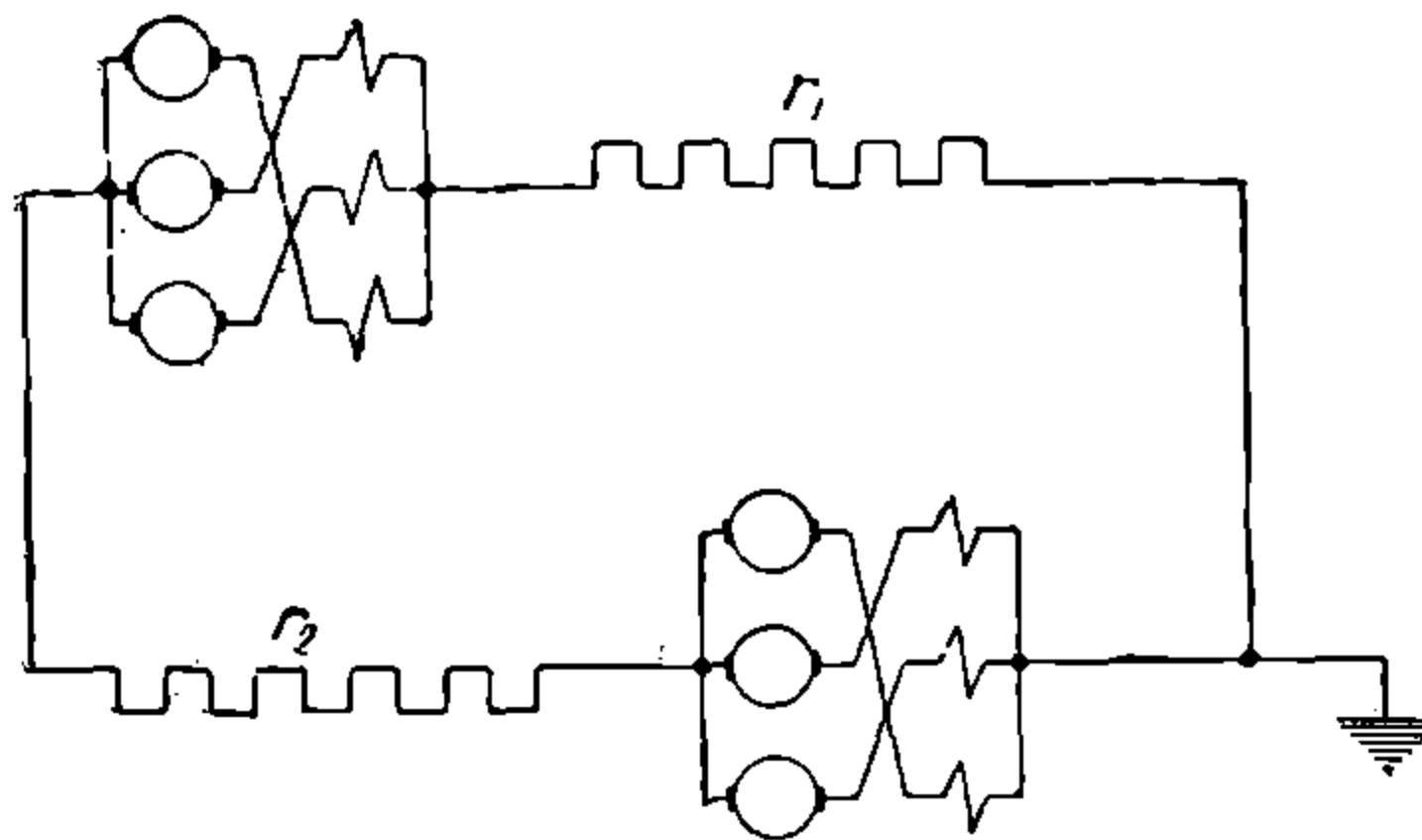


Фиг. 26

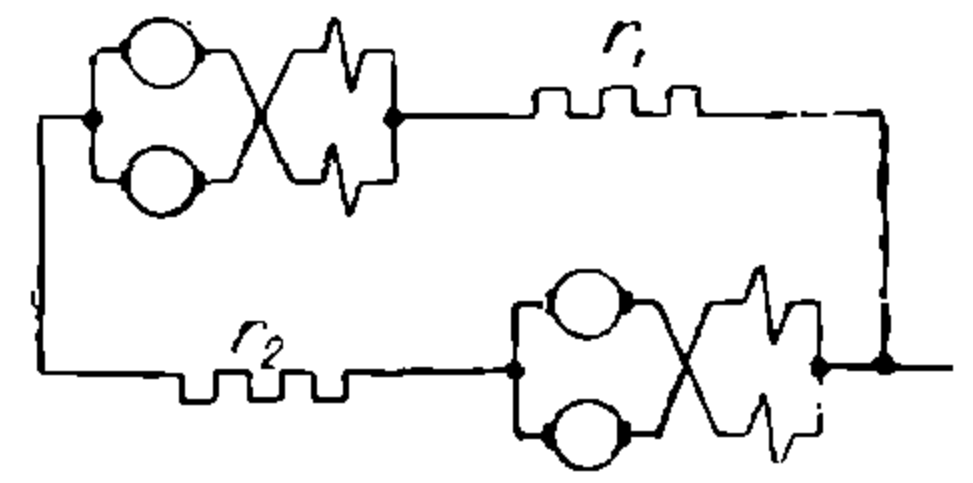
Последовательное соединение 2 устойчивых схем — устойчиво (фиг. 27—29). Схемы по фиг. 28 и 29 удобны для силовых схем эл/в и м/в, в к-рых переход с одного соединения на др. осуществляется мостиком. Чтобы максимальное напряжение в цепи по отношению к земле не превышало в этих схемах напряжения одной группы дв-лей, необходимо иметь на всех ступенях равенство сопротивлений r_1 и r_2 .



Фиг. 27



Фиг. 28



Фиг. 29

Схемы включения, устойчивые при реостатном торможении, м. б. неустойчивыми на моторном режиме. Напр., перекрестное или циклическое соединения обмоток возбуждения на моторном режиме недопустимы из-за неустойчивости схемы в этом случае. Поэтому соответствующие переключения должны производиться только при переходе на тормозной режим специальными аппаратами, т. е. должна осуществляться специальная схема тормозного режима.

б) Расчет ступеней сопротивлений для реостатного торможения. Тормозной ток при реостатном торможении равен:

$$I_m = \frac{C\Phi v}{R + r}.$$

Если сопротивление реостата остается неизменным, то с уменьшением скорости сила тока будет также уменьшаться. Чтобы сила тока оставалась постоянной, необходимо сопротивление реостата изменять по определенному закону с изменением скорости.

При скорости v_a по автоматической характеристике моторного режима дв-ль развивает противоэдс:

$$C\Phi v_a = E_k - IR.$$

При той же скорости и силе тока $I_m = I$ на реостатном торможении дв-ль будет развивать ту же эдс, т. е.

$$C\Phi v_a = E_k - I_m R,$$

откуда сопротивление реостата для скорости v_a :

$$r_a = \frac{E_k - 2RI_m}{I_m}.$$

Для произвольной же скорости v сопротивление реостата равно:

$$r = \frac{C\Phi}{I_m} v - R$$

или, т. к.

$$C\Phi v_a = (R + r_a) I_m$$

и, следовательно,

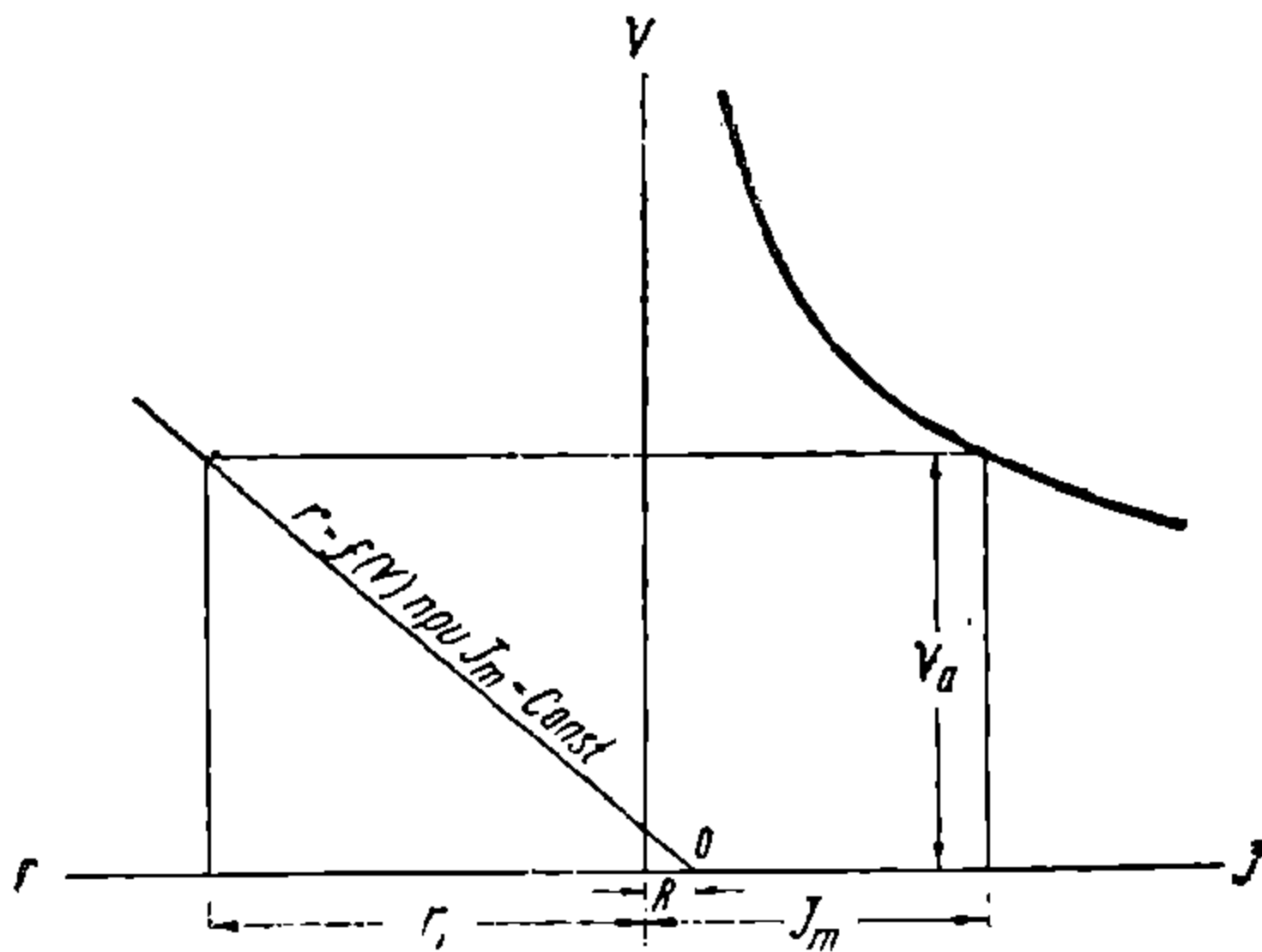
$$\frac{C\Phi}{I_m} = \frac{R + r_a}{v_a},$$

то

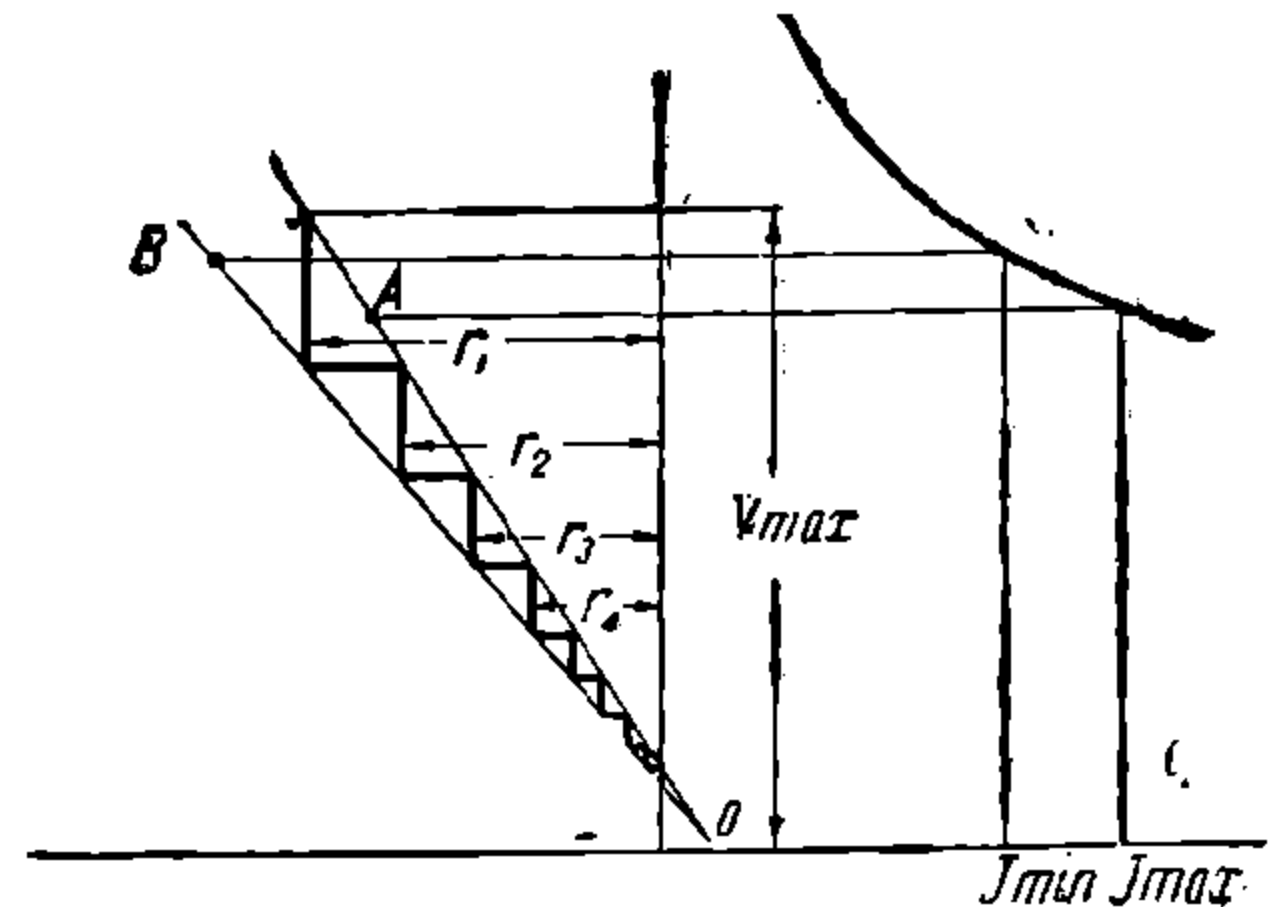
$$r = (r_a + R) \frac{v}{v_a} - R, \quad (11)$$

т. е. сопротивление реостата должно изменяться по закону прямой.

Если $v = 0$, то $r = -R$. Можно видеть, что координаты этой точки не зависят от силы тока, и через эту точку (точка O на фиг. 30) будут проходить все прямые $r = f(v)$ при $I_m = \text{const}$.



Фиг. 30



Фиг. 31

Т. о., для графического построения любой прямой $r = f(v)$ при $I_m = \text{const}$ достаточно найти координаты одной какой-либо точки, для которой $v \neq 0$. Это удобнее всего при $v = v_a$, т. е. для скорости по автоматической характеристике моторного режима, при которой $I = I_m$, т. к. для этой точки $r = r_a$ и легко подсчитывается по ур-ию (10).

Плавное изменение сопротивления реостата практически неосуществимо по тем же причинам, что и в случае пуска (см. стр. 140). Уменьшение сопротивления тормозного реостата с уменьшением скорости производится ступенями, при чем сила тока колеблется от нек-рого I_{min} до I_{max} .

На фиг. 31 прямые OA и OB соответствуют $r = f(v)$ при $I_m = I_{max}$ (прямая OA) и при $I = I_{min}$ (прямая OB), т. е. представляют предельные прямые для построения ступенчатой тормозной диаграммы. Сопротивление для 1-й ступени следует выбирать так, чтобы при переходе на реостатное торможение на максимальной скорости для начала торможения установилась сила тока I_{max} . Величину этого сопротивления r найдем, проведя абсциссу $v = v_{max}$ до пересечения с прямой OA . Дальнейший расчет сводится к построению ступенчатой диаграммы торможения в область скоростей, меньших v_{max} , при чем тормозной процесс м. б. доведен до полного выключения внешнего сопротивления, т. е. до КЗ дв-ля. Однако, как видно из фиг. 31, последние ступени действуют в весьма малом интервале скоростей, вследствие чего иногда бывает целесообразно не доводить торможение до полного выключения реостата, используя на малых скоростях механические тормоза. Если же торможение доводится до полного КЗ, то на последних ступенях с целью сокращения числа потребных ступеней можно допустить несколько больший коэф-т неравномерности тока, учитывая, что на малых скоростях коэф-т сцепления несколько повышается. Это допустимо и целесообразно еще потому, что

практически ступени, рассчитанные для реостатного торможения, приходится использовать также для пуска дв-лей, при чем всегда число тормозных ступеней для пуска оказывается излишне велико, т. е. коэф-т неравномерности оказывается меньше, и при этом пусковая диаграмма получается с убывающим коэф-том неравномерности по мере возрастания скорости.

Кроме полученных из такого построения ступеней, необходимо добавить несколько ступеней с сопротивлениями, большими r_1 , т. к. иначе при переходе на реостатное торможение при скорости v_{max} всякий раз получался бы большой тормозной ток I_{max} и машинист был бы лишен возможности варьировать величиной тормозного тока на больших скоростях, близких к v_{max} . Кроме того обычно оказывается, что сила тока I_{max} вообще недопустима на максимальной скорости, т. к. при этом дв-ль развивает чрезмерно большую эдс и межламельное напряжение превосходит допустимую величину. Это обстоятельство наглядно видно и легко м. б. учтено построением тормозной диаграммы по способу Виск.

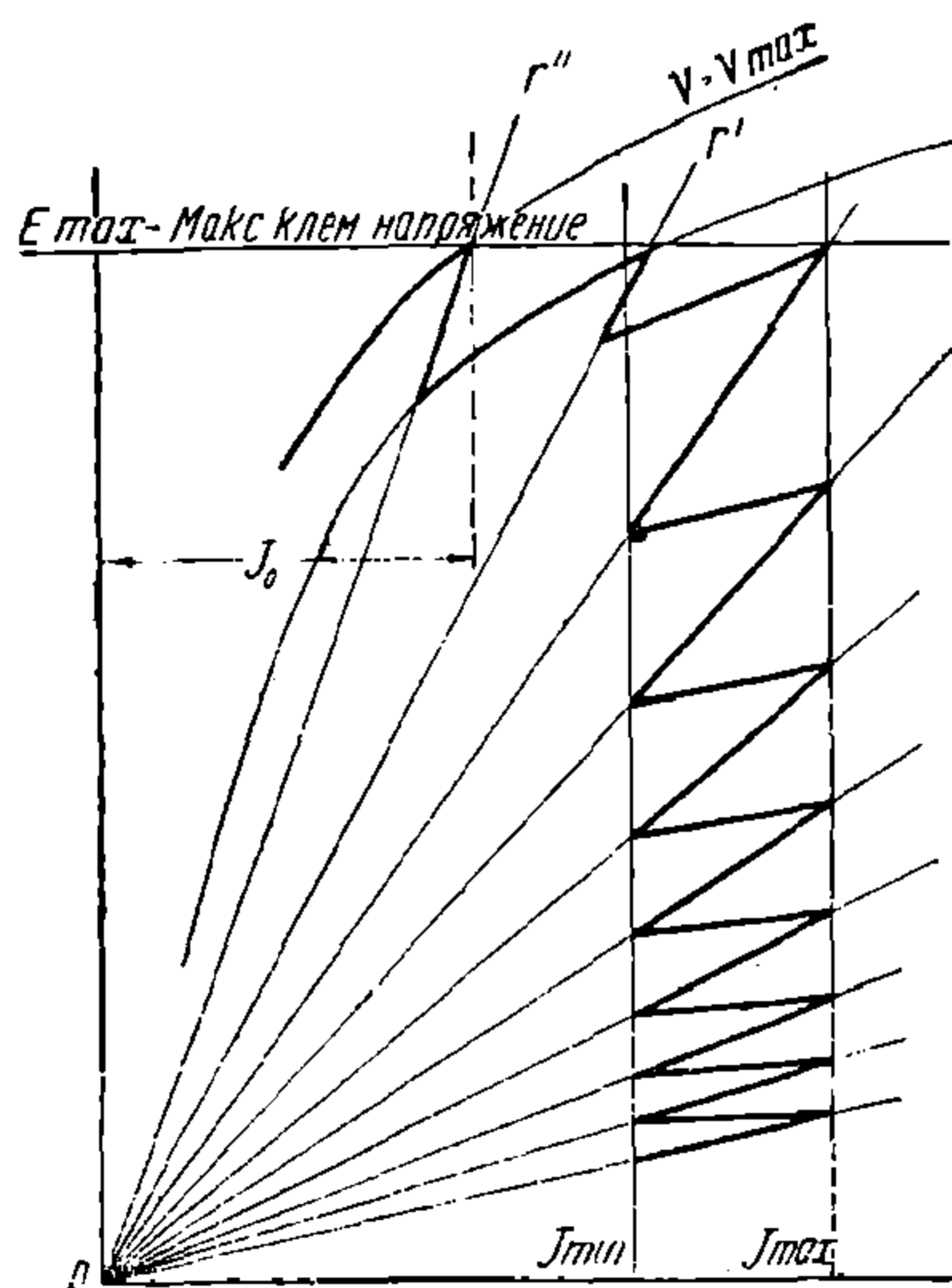
Построение тормозной диаграммы по способу Виск показано на фиг. 32. Полюсом P для прямых, представляющих реостатные ступени, будет в этом случае начало координат, т. к. ур-ие для них будет:

$$E_a = (R + r) I.$$

Из диаграммы видно, что при $v = v_{max}$ сила тока не должна превосходить I_0 и далее, по мере уменьшения скорости, может увеличиваться, достигая I_{max} . Для такого режима торможения необходимы дополнительные ступени r' и r'' .

Из расчета получаются сопротивления ступеней реостата для включения на 1 дв-ль. При нагрузке на реостат нескольких дв-лей полученные величины д. б. пересчитаны по ф-ле (см. стр. 148):

$$r_{\partial} = \frac{n}{p} r.$$



Фиг. 32

в) Характеристики реостатного торможения. Скоростная характеристика для режима реостатного торможения м. б. подсчитана по скоростной характеристике моторного режима пересчетом скорости при равной нагрузке в отношении эдс:

$$v_m = v_a \frac{E_{aT}}{E_{aM}} = v_a \frac{(r + R)I}{E_k - IR}$$

где: v_m — скорость для тормозного режима при токе I , v_a — скорость по автоматической характеристике моторного режима при том же токе и напряжении E_k

То же можно получить графическим построением, аналогичным для построения реостатных пусковых характеристик. Для построения (фиг. 33) предварительно в системе координат $r-v$ необходимо нанести пучок прямых $r = f(v)$ для различных постоянных значений токов. Точки пересечения этих прямых с ординатой $r = \text{const}$ дают скорости для реостатного торможения на сопротивление r . Снесением этих точек на соответствующие ординаты $I = \text{const}$ в системе координат $I-v$ получается искомая характеристика. Графический метод удобен при построении большого числа кривых скорости для ряда ступеней реостата (фиг. 34).

Ограничение скорости по напряжению на коллекторе определяется также пересчетом скоростей со скоростной характеристики моторного режима по ф-ле:

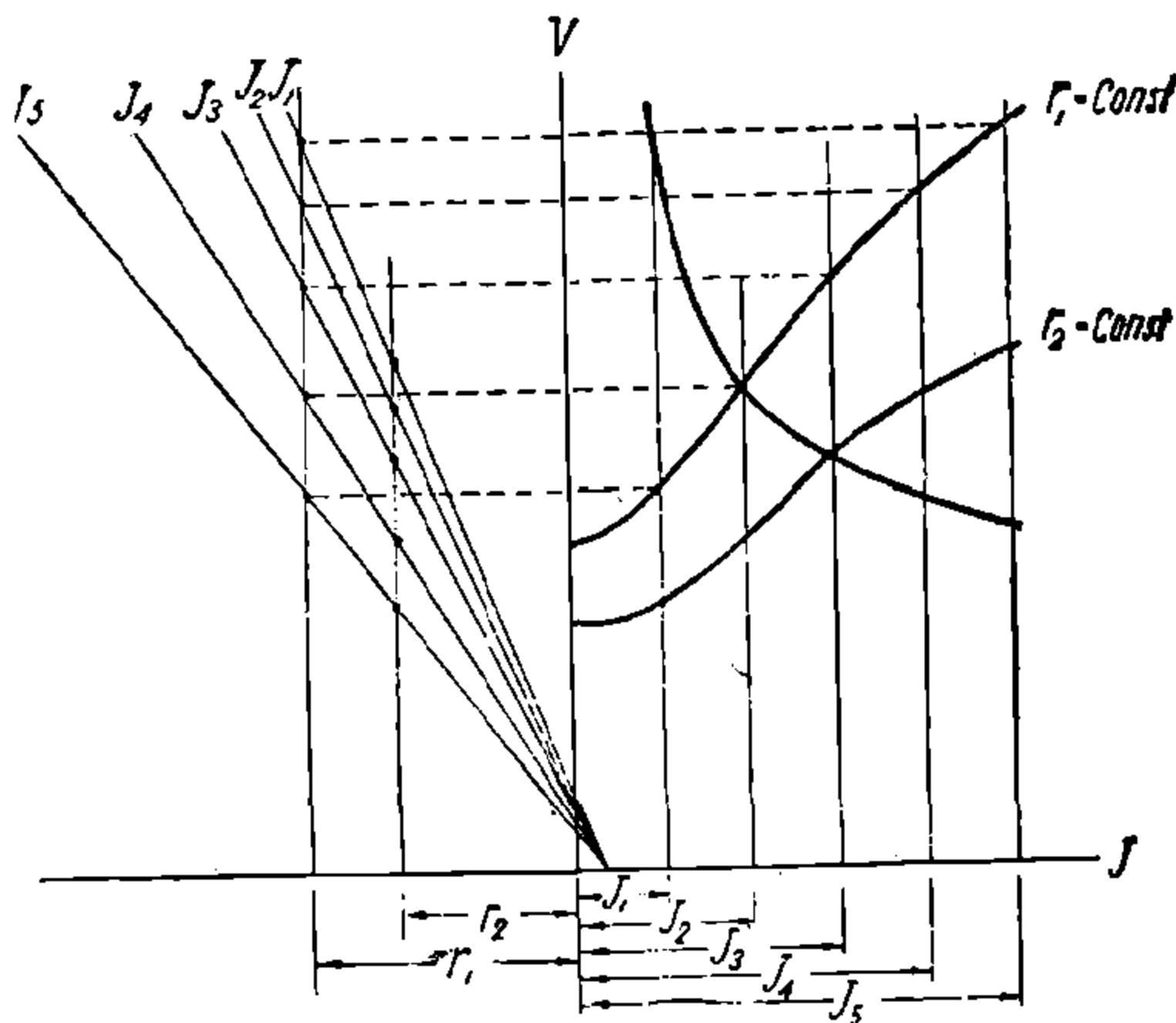
$$v_{max} = v_a \frac{E_{max}}{E_k - IR}$$

где E_{max} — максимальное напряжение на коллекторе.

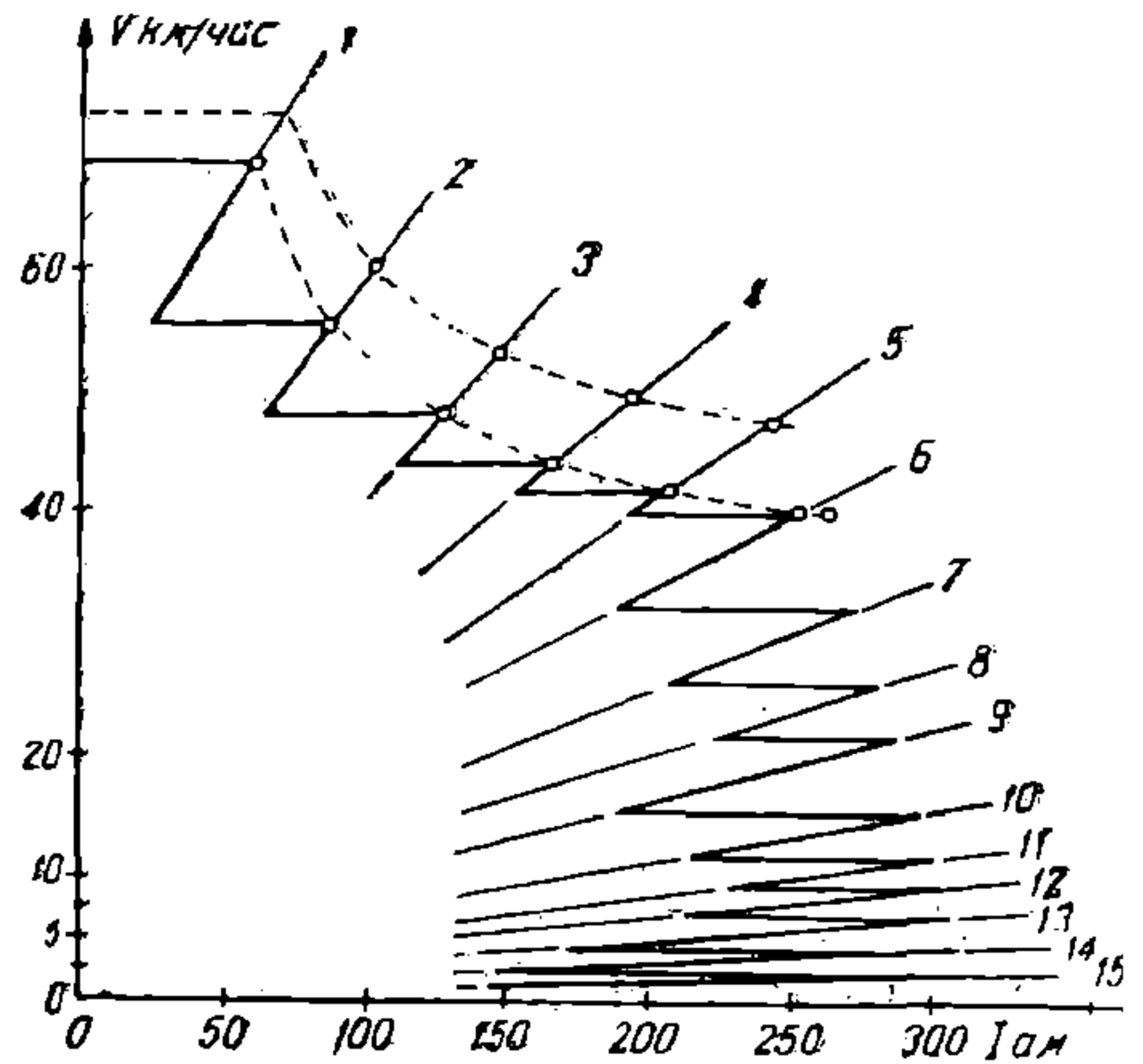
Характеристика тормозного усилия м. б. подсчитана по ф-ле:

$$B = 0,367 \frac{I^2 (R + r)}{v} + 0,367 \frac{W_{м + жс}}{v}$$

где 1-й член представляет тормозное усилие, обусловленное эл. мощностью дв-ля, работающего генератором, а 2-й член — дополнительное тормозное усилие, идущее на преодоление механических и железных потерь.



Фиг. 33



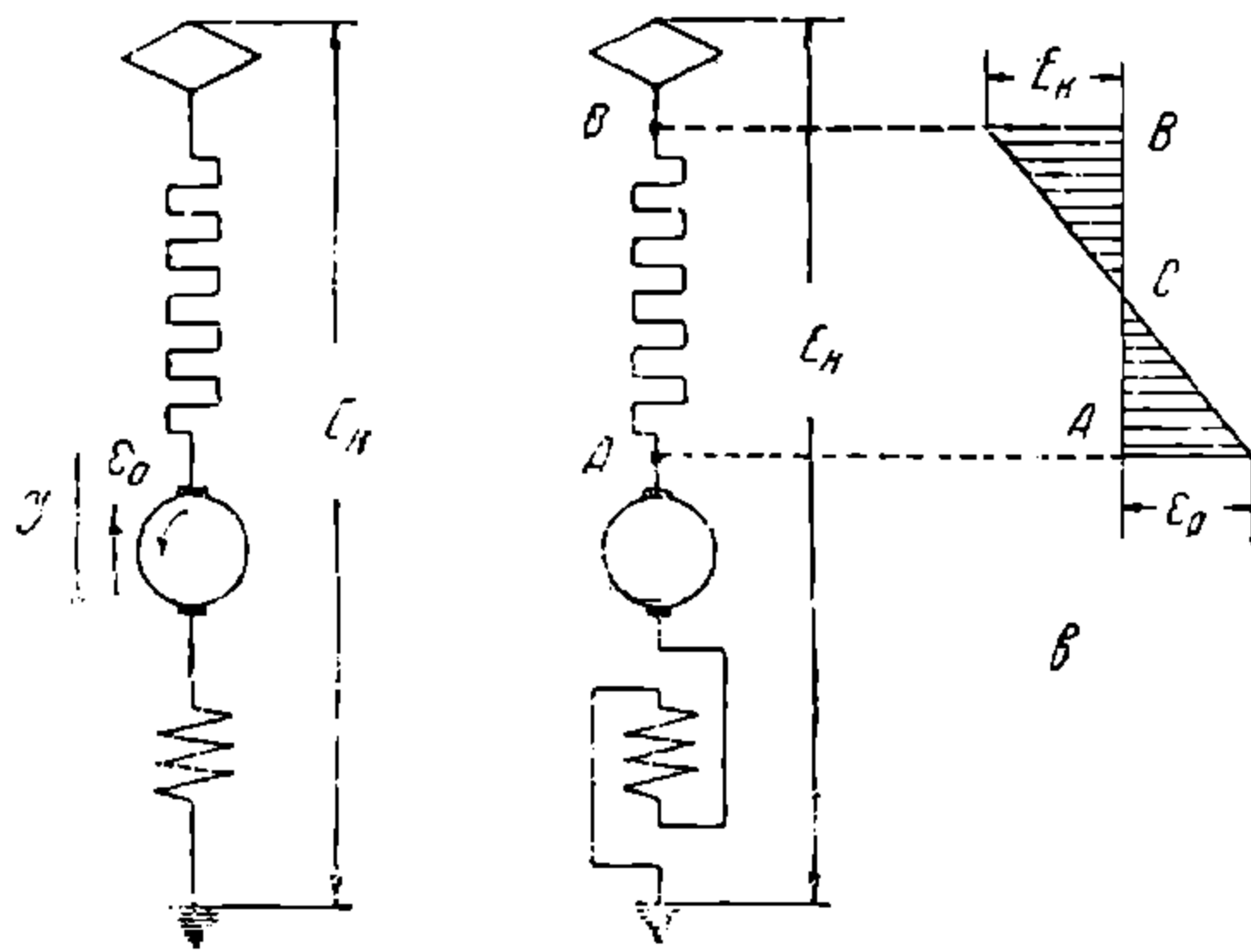
Фиг. 34

При реостатном торможении м. б. применен тот же принцип, что и при рекуперативном, — возбуждение поля генераторов (тяговых моторов) от независимого источника тока. В этом случае требуется установка специального МГ, питаемого от к-тной сети.

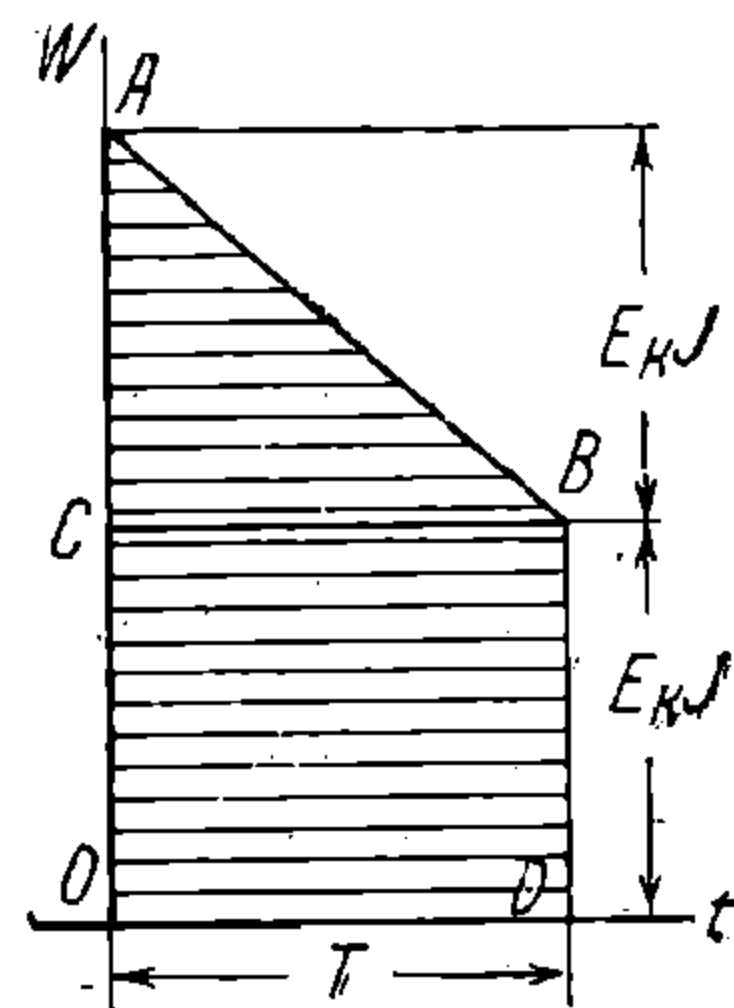
Преимущества такой системы: плавность торможения, возможность осуществления больших тяговых усилий на больших скоростях без значительного повышения напряжения, устойчивость режима торможения.

Большим недостатком этой системы являются необходимость установки специальной группы машин и зависимость торможения от наличия напряжения в к-тной сети.

г) Торможение противотоком. Кроме реостатного торможения серийными дв-лями, возможен др. вид эл. торможения — «торможение противотоком», к-рое получается включением с реверсированного дв-ля под напряжение сети последовательно с сопротивлением.



Фиг. 35



Фиг. 36

На фиг. 35, а дв-ль включен нормально, соответственно моторному режиму. На фиг. 35, б при том же направлении вращения дв-ля внешним моментом обмотка возбужде-

НТБ
ДУЭТ

ния включена на обратное направление. ЭДС дв-ля при таком включении будет направлена согласно с током, т. е. режим генераторный. Внешнее напряжение здесь суммируется с ЭДС дв-ля и уравновешивается омическим падением напряжения в цепи:

$$E_k + C\Phi v = I_m(R+r).$$

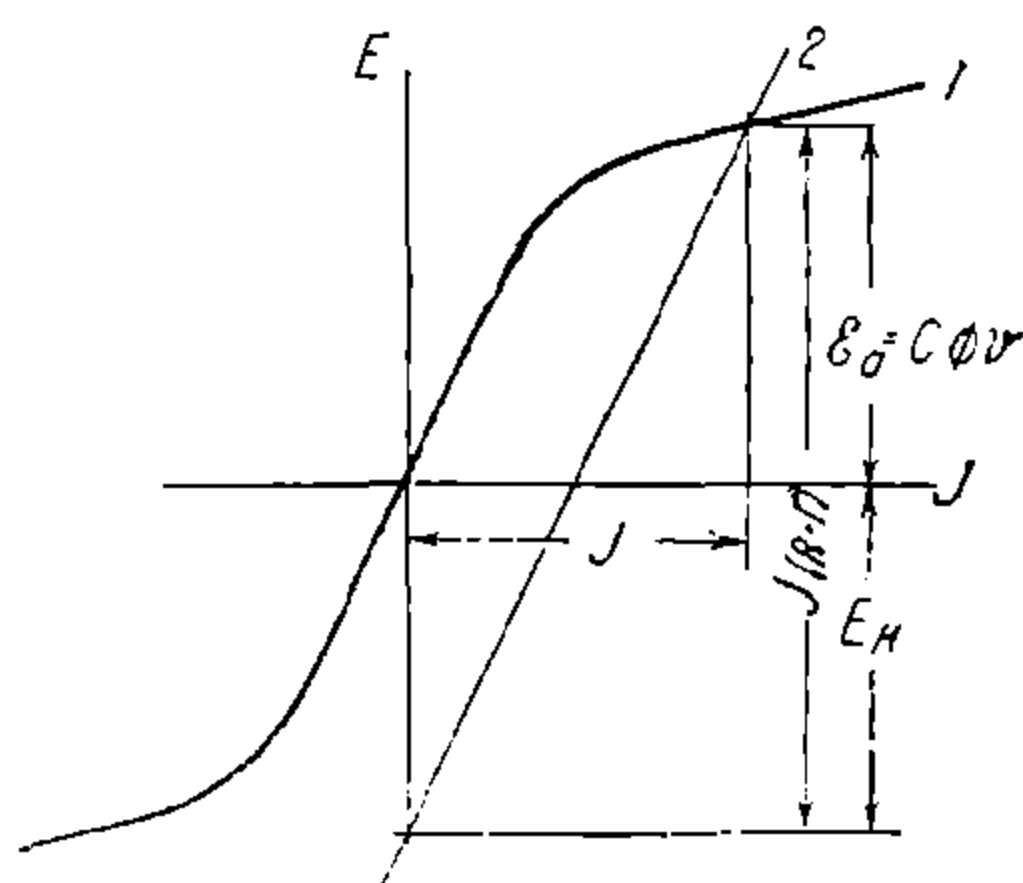
Гасимая в реостате мощность:

$$W_p = E_k I_m + C\Phi v I_m$$

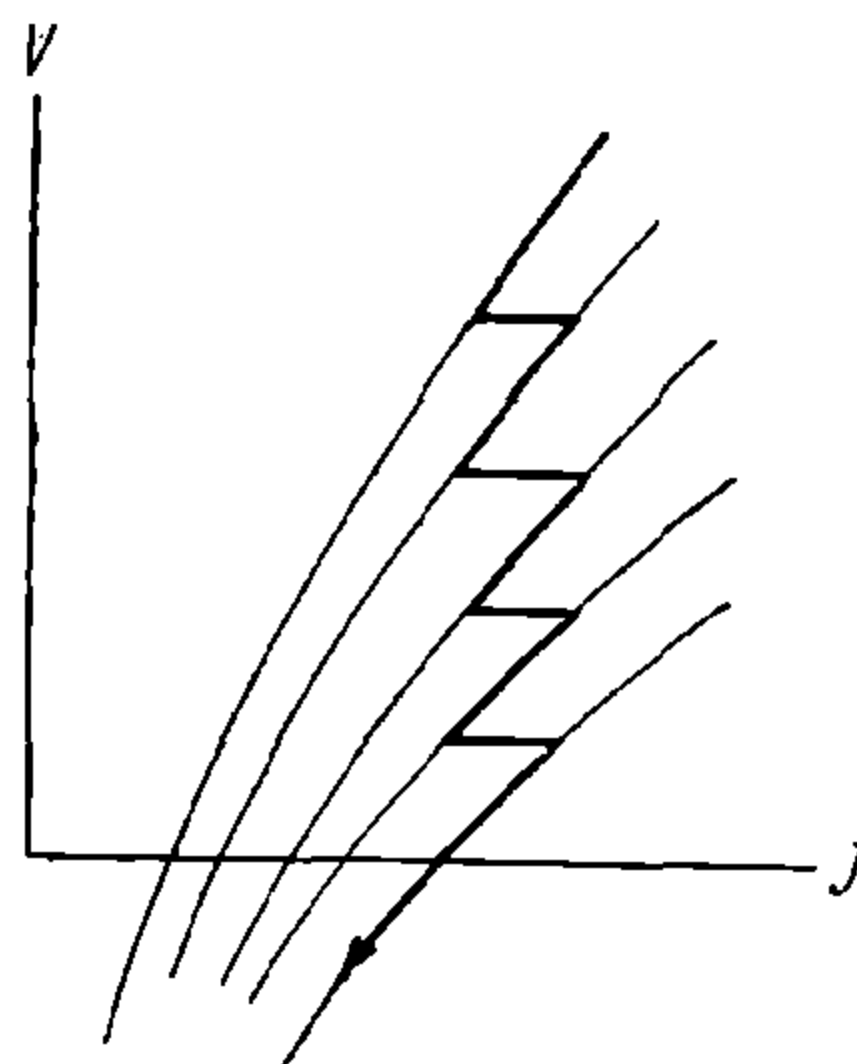
помимо тормозной мощности включает еще мощность $E_k I_m$.

При скорости $v = v_a$, т. е. скорости по автоматической характеристике моторного режима для той же нагрузки I , ЭДС дв-ля $C\Phi v \cong E_k$, т. е. при этой скорости в реостате гасится двойная мощность по сравнению с тормозной. Если торможение со скорости v_a происходит при $I = \text{const}$ и при постоянном замедлении, то диаграмма гасимой в реостате мощности изобразится прямой AB (фиг. 36). Площадь чет-ка $ABDO$ представляет все количество энергии, поглощаемой сопротивлениями, при чем тр-к ABC представляет тормозную энергию, а чет-к $CBDO$ — энергию, забираемую из сети. Из соотношения площадей следует, что количество энергии, совершенно напрасно расходуемой из сети, вдвое превышает количество тормозной энергии. Это обстоятельство является основной причиной того, что торможение противотоком не находит себе применения для эл/в и м/в магистральных ж. д.

Эл. устойчивость системы при торможении противотоком одним дв-лем видна из фиг. 37. Здесь кривая I представляет характеристику ЭДС машины в ф-ии тока при нек-рой постоянной скорости, а прямая 2 — напряжение, гасимое в реостате. Точка



Фиг. 37



Фиг. 38

пересечения кривой I с прямой 2 соответствует устойчивому режиму торможения противотоком. Последовательное включение двух или нескольких дв-лей представляет также устойчивую систему; при параллельной же работе для обеспечения устойчивости необходимо перекрестное или циклическое включение обмоток возбуждения.

Скоростные характеристики и диаграмма торможения противотоком приведены на фиг. 38. Замечательным свойством торможения противотоком является переход характеристики в область отрицательных скоростей, что означает автоматическую реверсировку, т. е. движение эл/в или м/в назад после остановки. Однако это ценное для маневровых эл/в свойство не м. б. использовано в тех случаях, когда торможение производится при наличии в схеме параллельных цепей дв-лей, т. к. перекрестное или циклическое включение обмоток возбуждения на тормозном режиме представляет электрически неустойчивую систему на моторном режиме.

Представляет интерес распределение потенциала в цепи по отношению к земле при торможении противотоком (фиг. 35, б и в). Точка A перед якорем дв-ля имеет потенциал ниже потенциала земли на величину напряжения на клеммах дв-ля. Распределение потенциала по реостату имеет вид по фиг. 35, в. Очевидно, что пока напряжение на коллекторе дв-ля не превышает напряжения сети, ни одна из точек схемы не будет иметь чрезмерного напряжения относительно земли. Иначе дело обстоит, если якорь дв-ля

включить перед сопротивлением, непосредственно за токоприемником: в этом случае напряжение сети суммируется с напряжением дв-ля, и за якорем будет чрезмерно высокое напряжение.

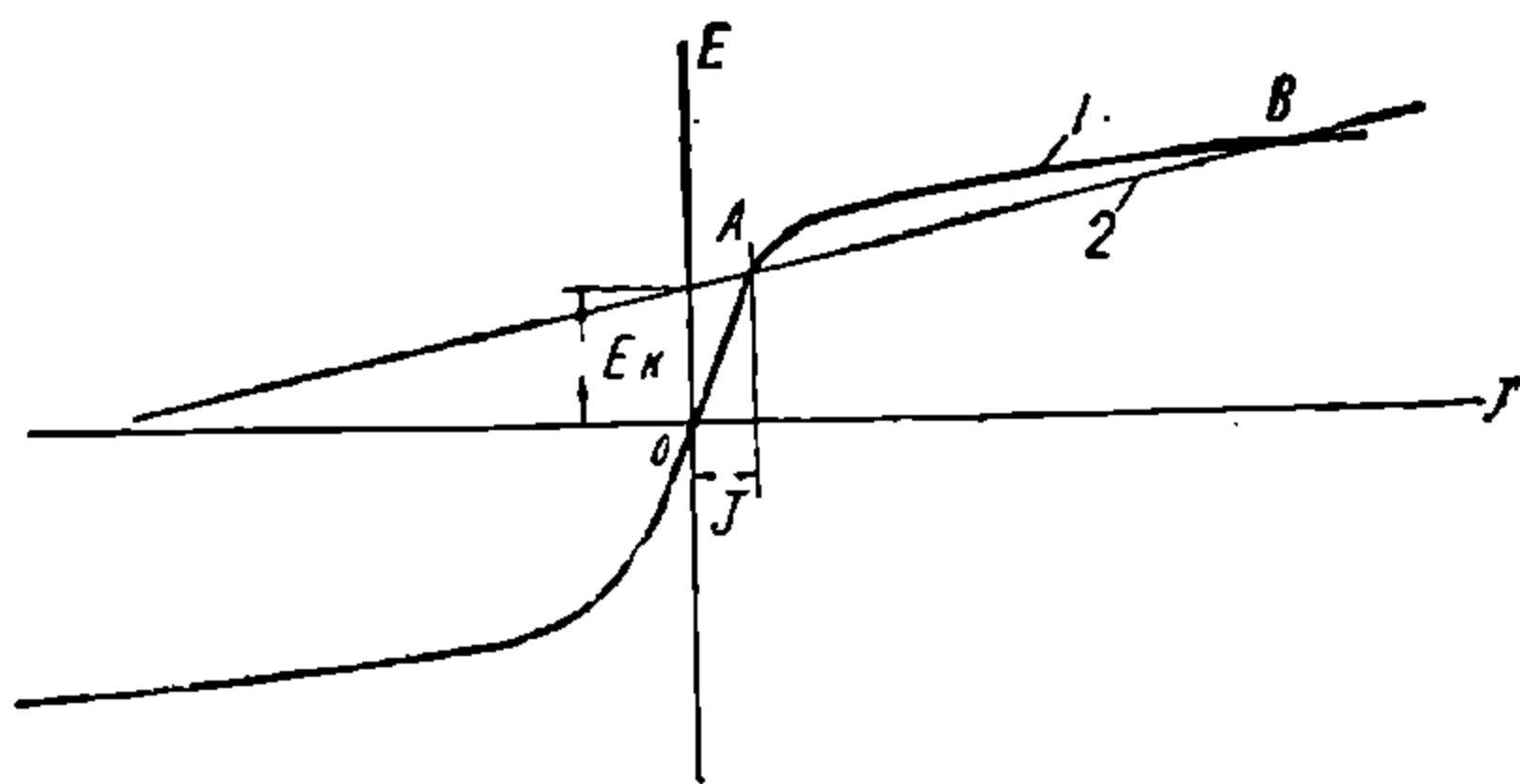
д) **Рекуперация, или полезное торможение**, отличается от реостатного торможения тем, что эл. энергия, вырабатываемая ТД, возвращается в к-тную сеть для питания др. поездов или передается через преобразователи п/ст в сеть переменного тока.

Преимуществами рекуперативного торможения перед реостатным являются: 1) использование механической энергии поезда при торможении, что понижает расход эл. энергии, и 2) сокращение веса и габаритов сопротивлений на локомотиве, к-рые в этом случае рассчитываются лишь на пусковой режим.

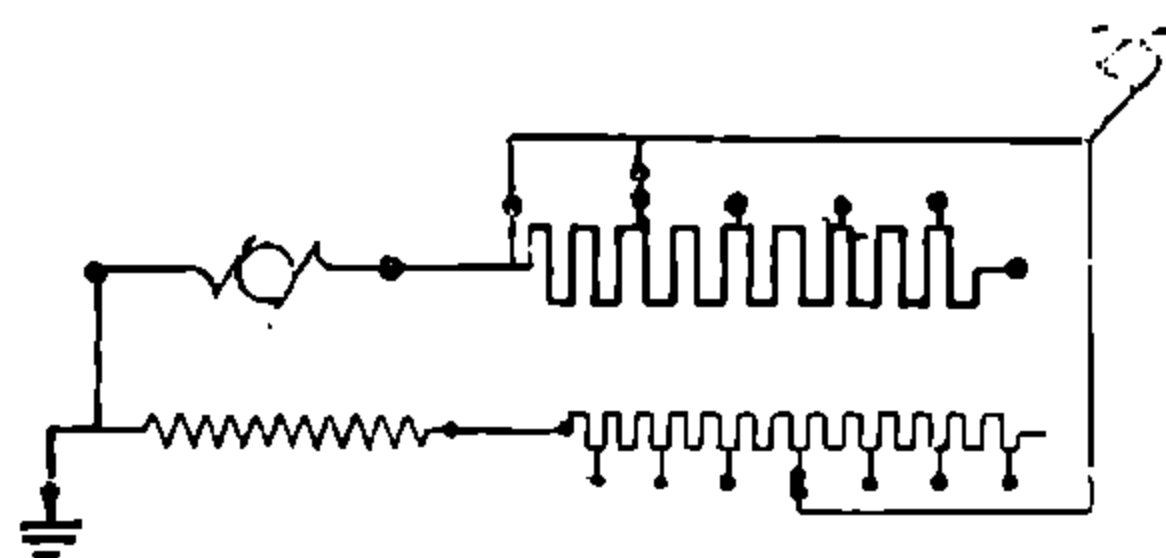
К числу недостатков относятся: 1) зависимость тормозного режима от наличия и устойчивости напряжения в сети, 2) как правило, большая сложность схемы, большее число дополнительных аппаратов и, в большинстве схем, необходимость в дополнительных машинах в виде возбuditеля и дв-ля к нему, 3) меньший диапазон скоростей, для расширения к-рого необходимо переключение дв-лей в различные соединения, что все же не обеспечивает торможения до полной остановки.

К схемам рекуперации предъявляются те же требования, что и к схемам реостатного торможения, и специальными требованиями являются: 1) минимальное влияние колебаний напряжения в сети на нагрузку и тормозной момент дв-лей и 2) высокий кпд.

1) **Рекуперация серийным дв-лем** невозможна вследствие неустойчивости режима работы серийного генератора на постоянное напряжение. Кривая 1 (фиг. 39) представляет характеристику серийного генератора $E_k = f(I)$ и прямая 2 — напряжение сети, несколько изменяющееся с нагрузкой вследствие переменной величины падения напряжения в линии. Режим в точке А неустойчив: всякое отклоне-



Фиг. 39



Фиг. 40

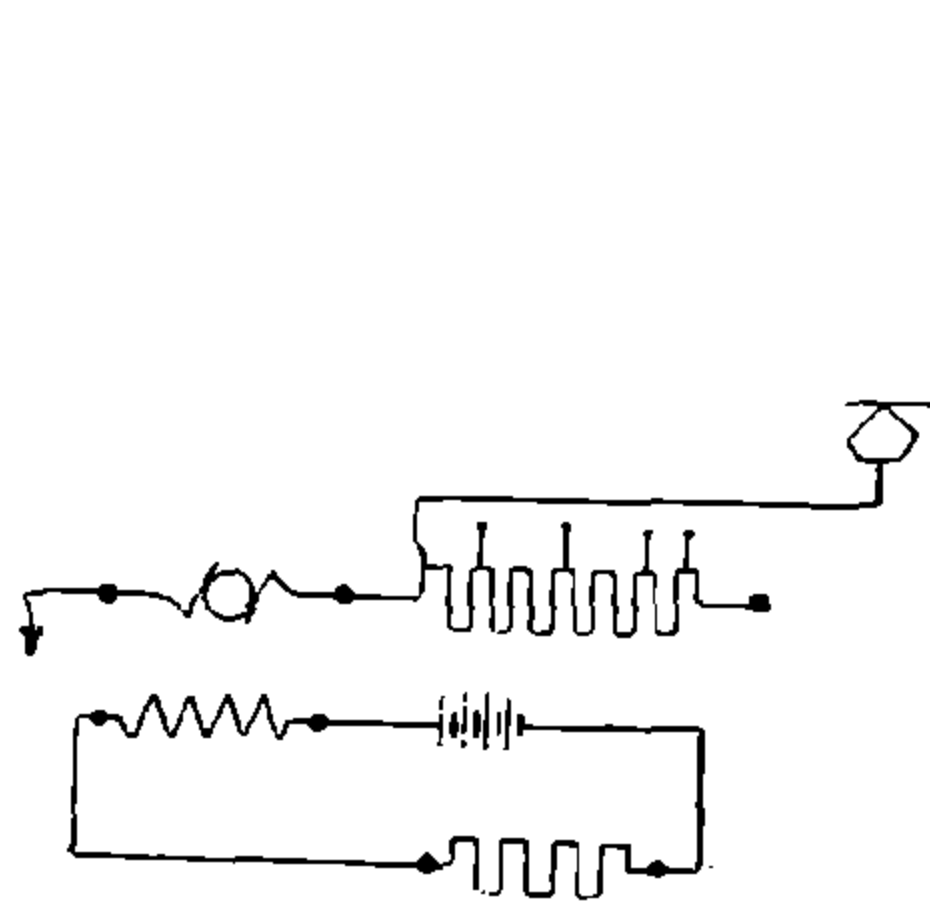
ние силы тока, напр., в сторону увеличения, вызывает большее увеличение напряжения генератора, нежели сети, что должно привести к дальнейшему увеличению генераторного тока. Равновесие наступает в точке В при большом токе, равносильном КЗ. Наоборот, при уменьшении тока напряжение генератора становится меньше напряжения сети, вследствие чего сила тока будет продолжать уменьшаться. После падения тока до нуля равновесия не наступает, и ток начинает протекать в обратном направлении, перематывая генератор. Равновесие наступает лишь при весьма большом ТКЗ сети и генератора, напряжения к-рых после перематывания генератора суммируются.

2) **Рекуперация шунтовыми дв-лями**. Шунтовой дв-ль (фиг. 40) принципиально пригоден для рекуперации, при чем для перехода на генераторный режим достаточно лишь несколько увеличить силу тока в обмотке возбуждения так, чтобы эдс дв-ля была выше напряжения п/ст на величину падения напряжения в линии. Однако ряд недостатков шунтового генератора делает эту систему рекуперации практически неприемлемой.

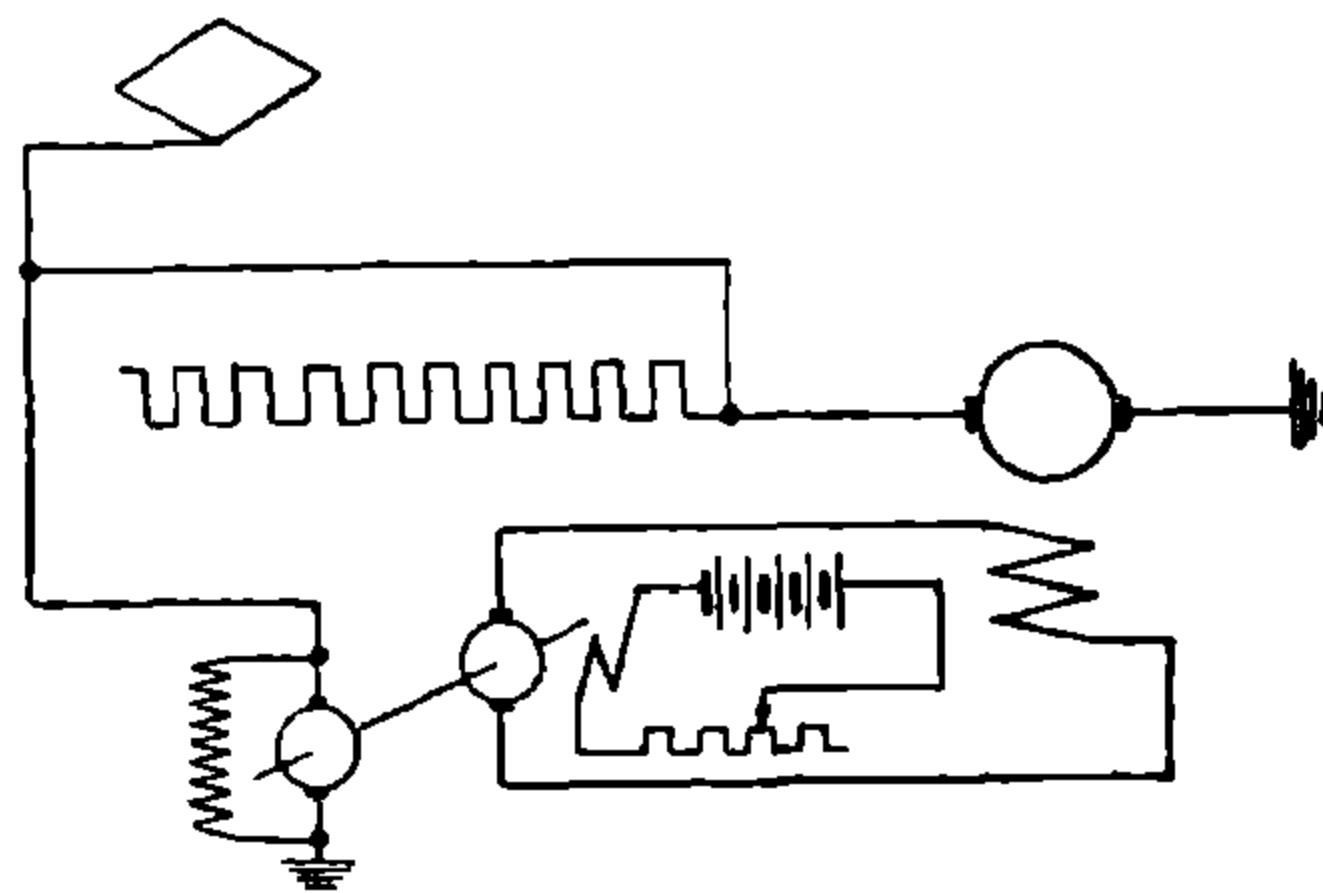
К числу недостатков относятся прежде всего чрезвычайно сильное влияние на тормозной режим колебаний напряжения в сети и недопустимая неравномерность распределения нагрузок между параллельными цепями дв-лей, причиной чего является пологая, почти $\vartheta = \text{const}$, скоростная характеристика шунтовой машины. Кроме того при высоком напряжении к-тного провода обмотка возбуждения должна иметь большое число витков при малом сечении провода, что понижает коэф-т заполнения сечения катушек главных полюсов и ухудшает теплоотдачу от них. В результате увеличиваются размеры катушек и, как следствие, габаритные размеры дв-ля. Наконец высокое напряжение и большая самоиндукция шунтовых обмоток создают затруднение для регулирования тока шунтовой цепи. Недостаток в отношении габаритных размеров шунтовой машины устра-

няется применением независимого возбуждения от специального источника н/н (фиг. 41). В этом случае возможно использование нормальных серийных дв-лей с переключением их на независимое возбуждение только для рекуперации.

Применение для независимого возбуждения ТД специального низковольтного возбуждателя разрешает также вопрос регулирования тока возбуждения, к-рое может производиться посредством шунтового регулятора в цепи возбуждения возбуждателя (фиг. 42). Однако влияние колебаний напряжения сети и распределение нагрузок между параллельными цепями дв-лей остаются все же совершенно неудовлетворительными.



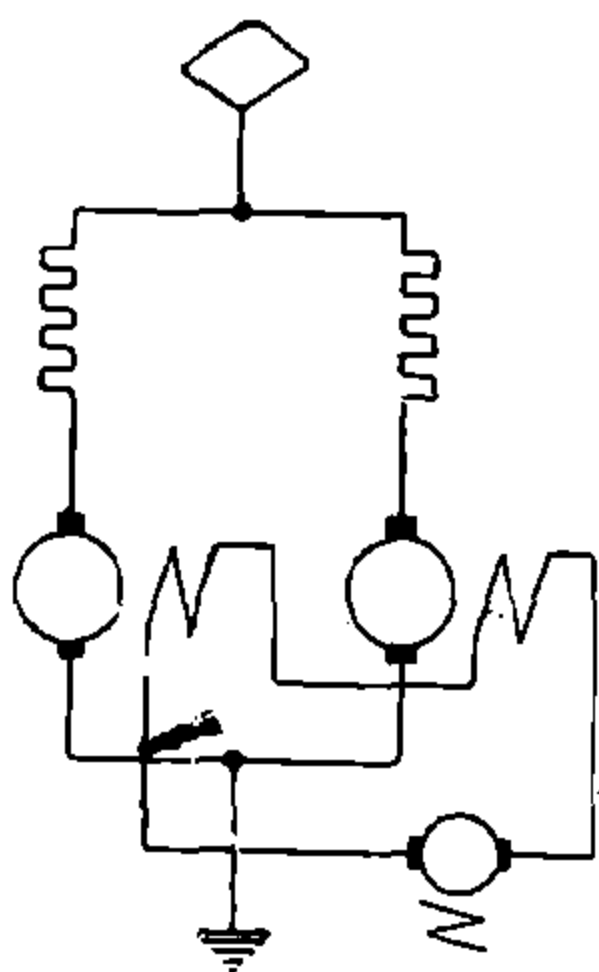
Фиг. 41



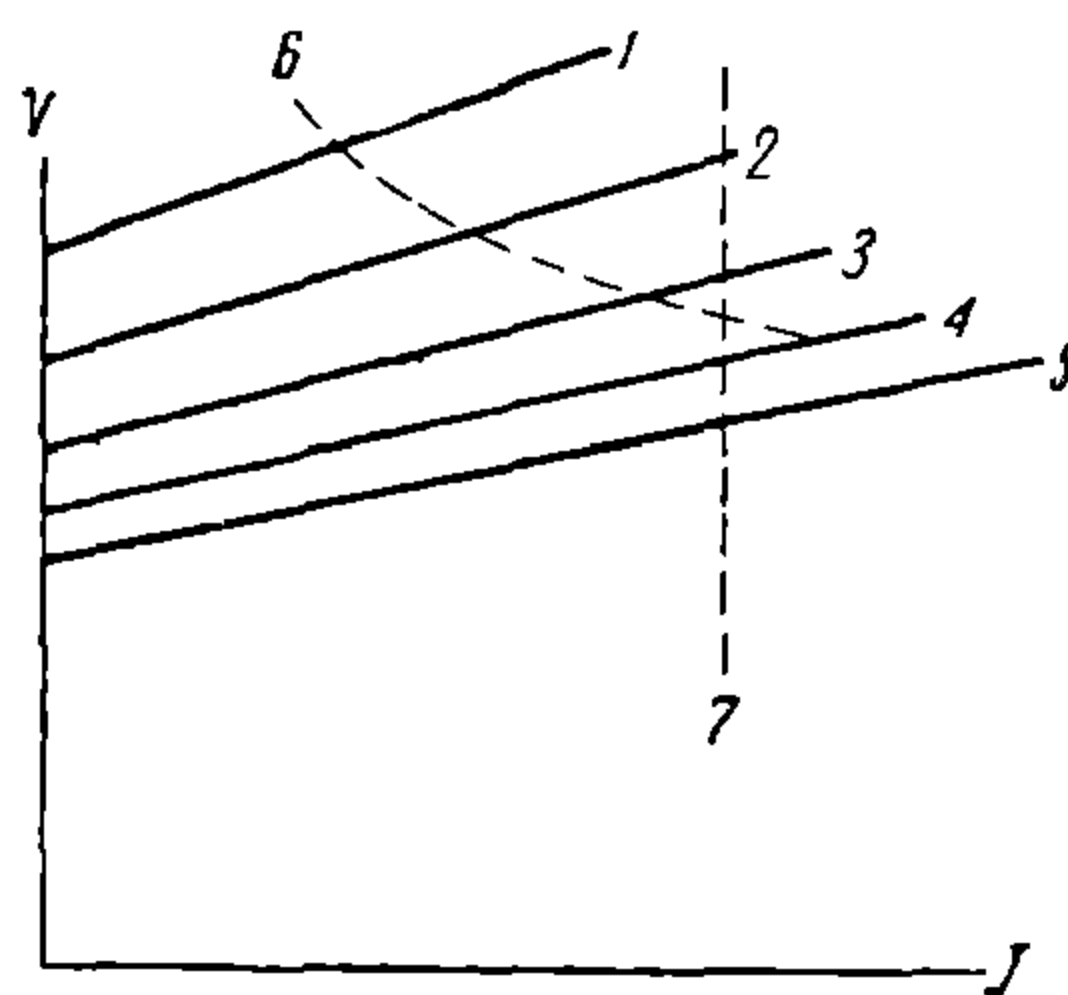
Фиг. 42

Этот недостаток м. б. устранен введением в каждую параллельную цепь дв-лей некого омического сопротивления (фиг. 43-а). Скоростные характеристики для шунтового дв-ля с предвключенным сопротивлением (фиг. 43-б, где 1—5 — скоростные характеристики при различных токах возбуждения, 6—ограничение по коммутации, 7—ограничение по напряжению) представляют наклонные кривые, близкие к прямым. Для смягчения колебаний нагрузки и тормозного момента, а также для улучшения распределения нагрузки между параллельными цепями ТД желательно, чтобы характеристики имели возможно больший наклон, т. е. дополнительное сопротивление д. б. возможно большим; однако увеличение дополнительного сопротивления сопряжено с ухудшением кпд схемы.

Кроме того увеличение сопротивления влечет к понижению максимального по напряжению тока нагрузки.



Фиг. 43-а



Фиг. 43-б

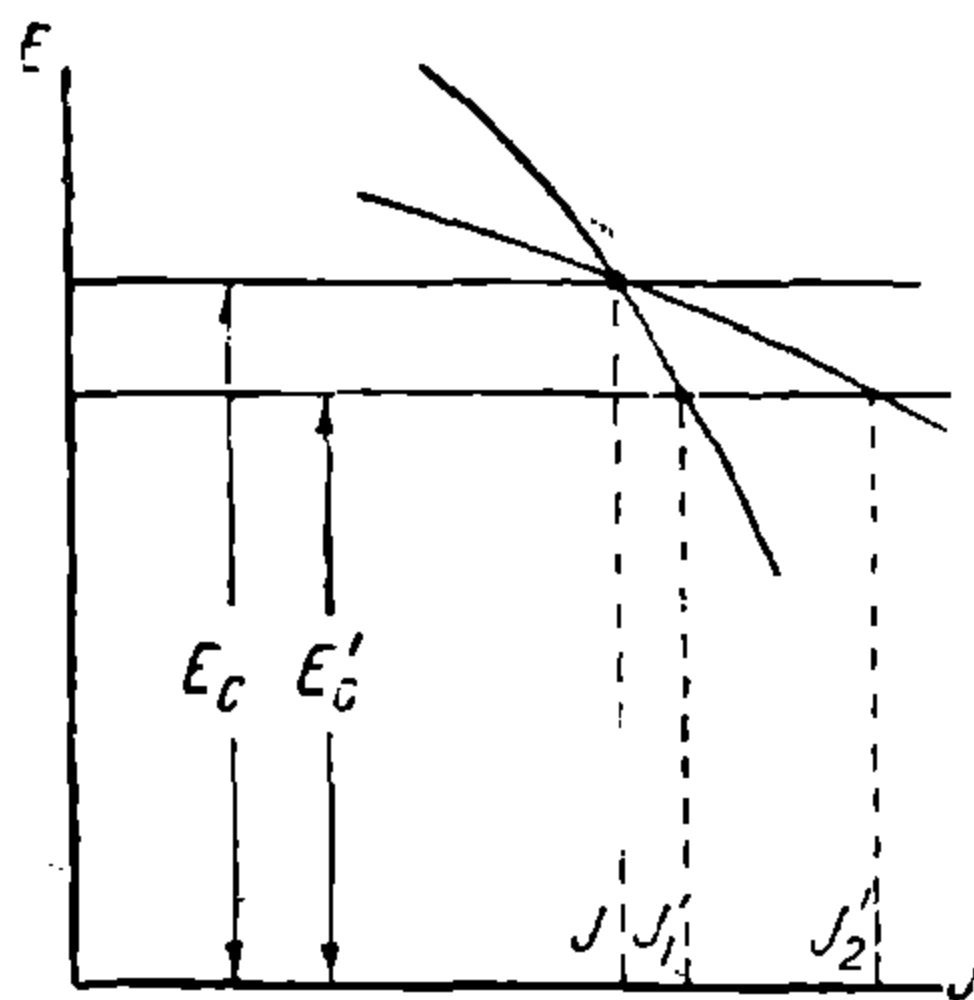
Если к схеме рекуперации не предъявляется требование высокого кпд, то схема по фиг. 43-а может быть упрощена в части системы возбуждения ТД. Вместо питания обмоток возбуждения от специального возбуждателя в этом случае обмотки возбуждения могут питаться непосредственно от напряжения сети через дополнительное сопротивление. Обмотки возбуждения всех дв-лей д. б. включены последовательно. Кпд схемы тем выше, чем больше в схеме параллельных цепей якорей ТД. При двух параллельных цепях кпд ок. 0,5, при трех — 0,66, при четырех — 0,75 и т. д. Эти значения кпд относятся к случаю, когда ток возбуждения равен току нагрузки якоря.

Такая система положена в основу схемы реостатно-рекуперативного торможения, примененной на промышленном эл/в сер. «СО» з-да «Динамо» им. Кирова. Реостатное торможение в этой схеме применяется для торможения на низких скоростях и получается простым отключением цепи ТД от сети и шунтированием обмоток возбуждения сопротивлением с таким расчетом, чтобы ток возбуждения был равен нагрузке одной параллельной цепи якорей.

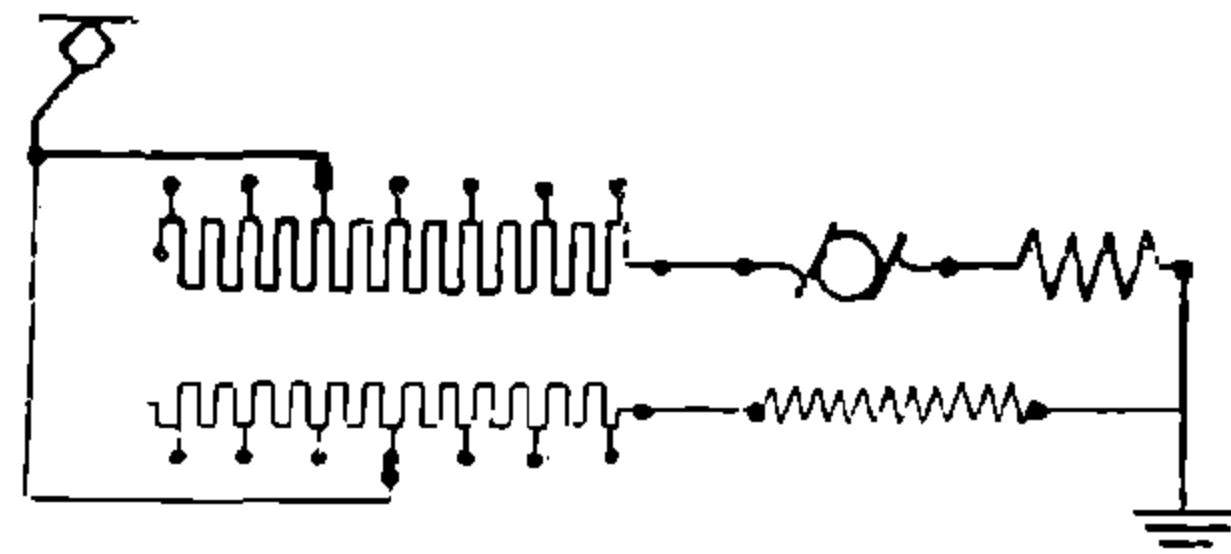
3) Р е к у п е р а ц и я к о м п а у н д н ы м и д в - л я м и. Устойчивый режим рекуперации м. б. получен только с генератором, обладающим падающей вольт-амперной

НГБ
ДУЗТ

характеристикой; при этом (фиг. 44) чем круче протекает характеристика, тем меньше влияние на нагрузку колебаний напряжения сети. Такой характеристикой обладает противокомпаундный генератор (фиг. 45), внешняя характеристика для которого приведена



Фиг. 44



Фиг.

на фиг. 46. Скоростная характеристика противокомпаундного генератора (фиг. 47) распространяется и в область моторного режима, на котором он обращается в компаундный дв-ль.

Эл-механические свойства компаундного дв-ля вообще и в частности его характеристические свойства на режиме рекуперации зависят от соотношения ампер-витков шунтовой и серийной обмоток возбуждения в суммарных ампер-витках, напр., для часового моторного режима AW_h :

$$AW_h = AW_m + \omega_c I_h$$

или, если

$$\frac{\omega_c I_h}{AW_h}$$

то

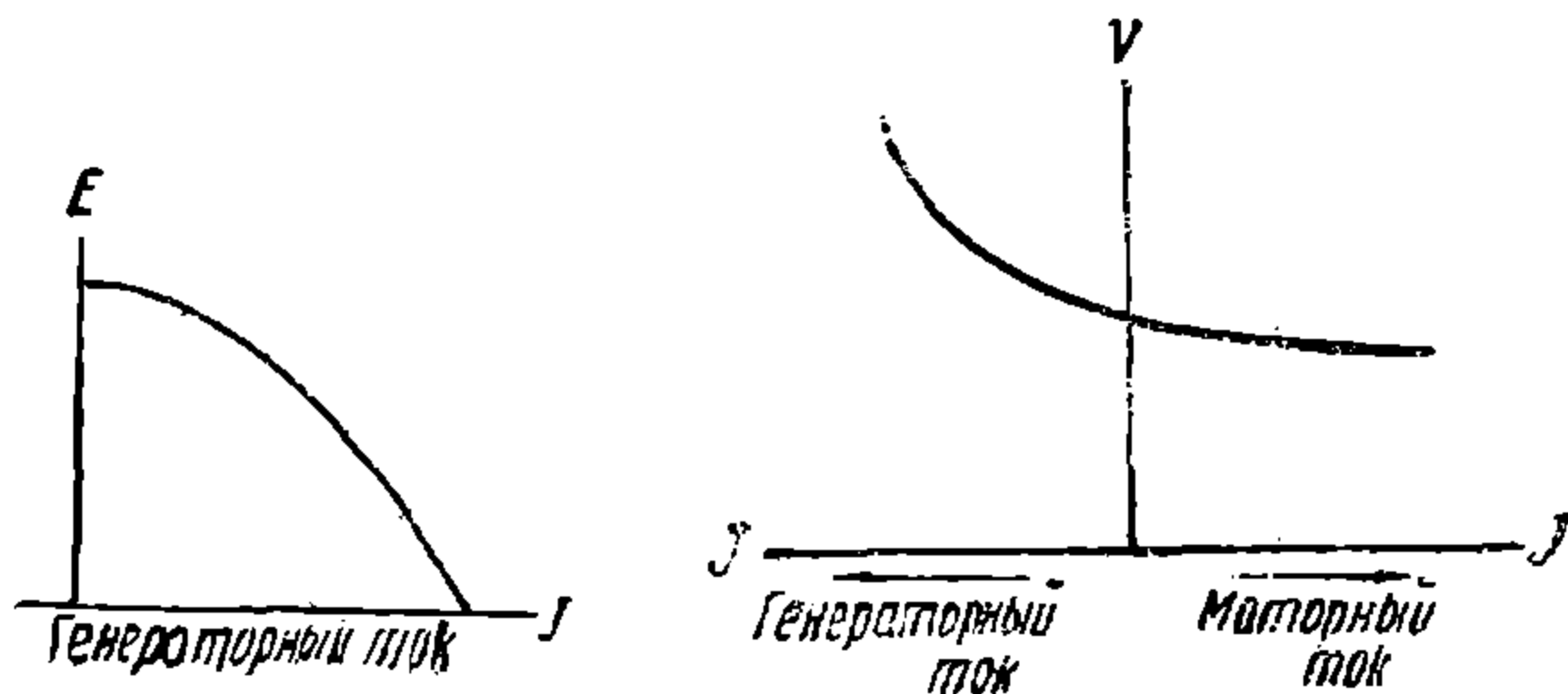
$$AW_h (1 - \alpha) AW_h + \alpha AW_h,$$

а ампер-витки при нек-рой произвольной нагрузке I :

$$AW = (1 - \alpha) AW_h \pm \alpha \frac{AW_h}{I_h} I. \tag{12}$$

Знак (+) для моторного и знак (—) для генераторного режима.

В зависимости от коэф-та α суммарные ампер-витки в большей или меньшей степени зависят от тока нагрузки, и тем самым величина коэф-та α определяет протекание скоростной и пр. характеристик дв-ля, к-рые с увеличением α приближаются к характеристикам серийного дв-ля и, наоборот, с уменьшением α — к характеристикам шунтового дв-ля.



Фиг. 46

Фиг. 47

С точки зрения работы дв-ля на моторном режиме решающим является наклон скоростной характеристики, к-рый д. б. достаточно велик для обеспечения минимальной неравномерности нагрузок параллельных цепей дв-лей при неидентичности характеристик и смягчения толчков тока при колебаниях напряжения сети. Из ур-ия (12) м. б. установлено влияние α на наклон скоростной характеристики.

В области больших моторных нагрузок, представляющей наибольший интерес с точки зрения распределения нагрузок и влияния колебаний напряжения сети, дв-ль работает

ДЛЯ ДРУЗЬ

на пологой ветви кривой намагничивания, для к-рой приближенно можно принять прямолинейный закон изменения потока Φ в ф-ии AW , т. е.:

$$\Phi = C_1 + C_2 AW$$

или

$$\Phi = C_1 + (1 - \alpha) C_2 AW_h + \frac{\alpha AW_h}{I_h} C_2 I,$$

или, если пренебречь омическим падением напряжения, скорость будет равна:

$$v = \frac{E_k}{C\Phi} = \frac{E_k}{C \left[C_1 + (1 - \alpha) C_2 AW_h + \frac{\alpha AW_h}{I_h} C_2 I \right]}$$

Отсюда:

$$\frac{dv}{dI} = \frac{-E_k \alpha \frac{AW_h}{I_h} C_2}{C^2 \left[C_1 + (1 - \alpha) C_2 AW_h + C_2 \frac{\alpha AW_h}{I_h} I \right]^2}$$

или для часовой нагрузки $I = I_h$

$$\frac{dv}{dI} = - \frac{E_k AW_h C_2}{I_h C^2 (C_1 + C_2 AW_h)^2} \alpha,$$

т. е. тангенс угла наклона скоростной характеристики прямо пропорционален коэф-ту α и равен нулю при $\alpha = 0$, т. е. для шунтового дв-ля. Максимальной величины $\frac{dv}{dI}$

достигает при $\alpha = 1$, т. е. для чисто серийного дв-ля. Реакция якоря и омическое падение напряжения лишь в малой степени искажают эту зависимость. Т. о., с точки зрения работы компаундного дв-ля на моторном режиме выгоднее увеличивать α , т. е. принимать возможно больший проц. серийных ампер-витков.

Однако размагничивающее действие серийных ампер-витков на генераторном режиме приводит к тому, что тормозное усилие на ободу, к-рое пропорционально произведению $I\Phi$, с увеличением генераторного тока возрастает лишь до определенного предела, после к-рого, несмотря на дальнейшее увеличение тока якоря, тормозное усилие падает (фиг. 48). Торможение механически устойчиво лишь на восходящей ветви характеристики, где с возрастанием скорости одновременно происходит увеличение тормозного усилия, т. е. пределами для генераторного режима являются B_{max} и нагрузка I_{max} .

Для машины с ненасыщенным магнитопроводом

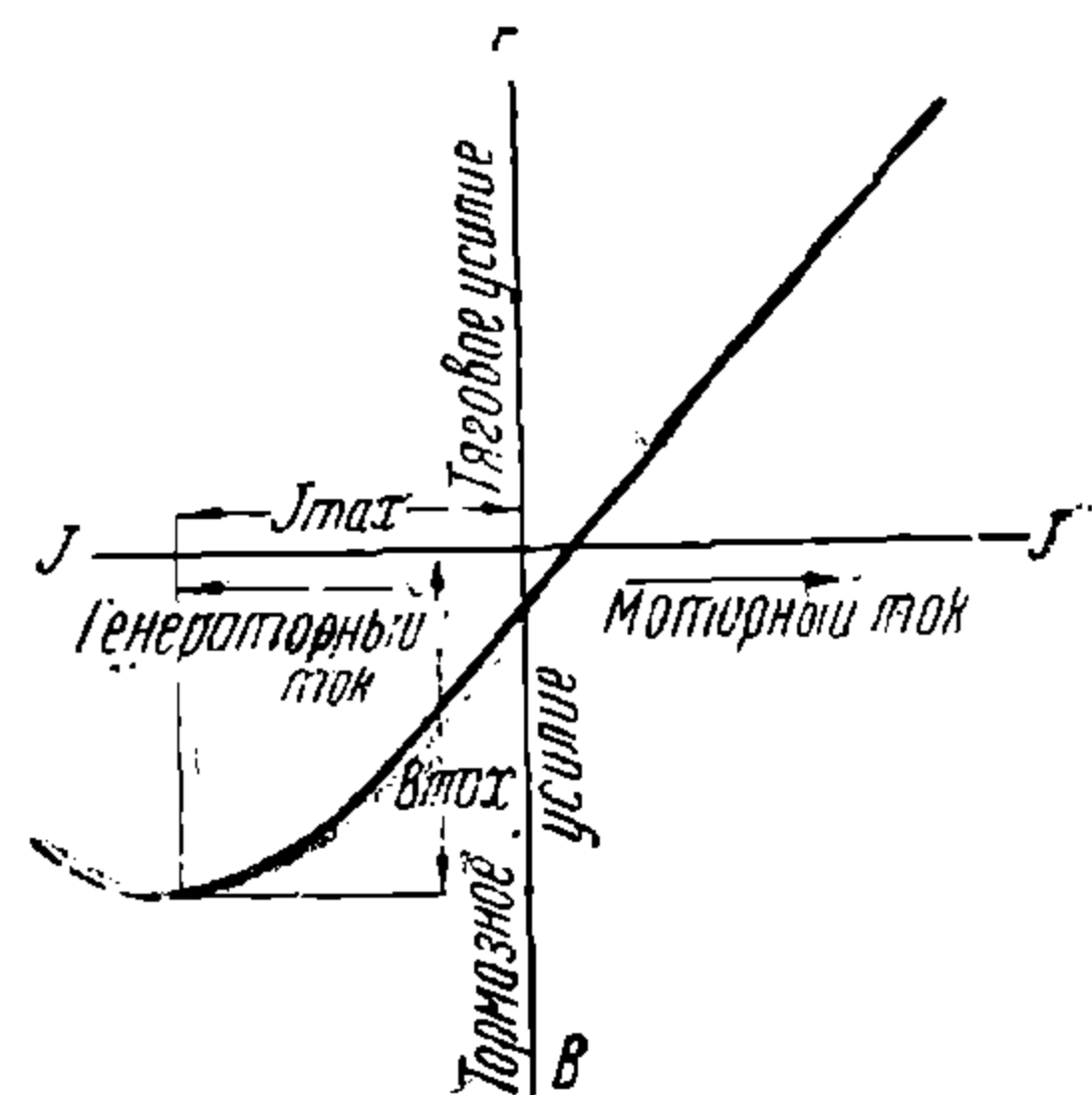
$$B = \frac{KW \cdot 376}{\eta v} = \frac{EI \cdot 376}{\eta \cdot 1000} = \frac{CAW_m - C\omega_c I}{E_k}$$

Для точки B_{max}

$$\frac{dB}{dI} = \frac{0,367}{\eta} C (AW_m - 2\omega_c I) = 0,$$

откуда:

$$I_{max} = \frac{AW_m}{2\omega_c}$$



Фиг. 48

или

$$I_{max} = \frac{1 - \alpha}{2\alpha} I_h.$$

Практически и это максимальное значение тока, соответствующее максимальному тормозному усилию, не м. б. достигнуто, т. к. еще ранее наступает предел по безыскровой коммутации, при чем предельный по коммутации ток также зависит от коэф-та α , резко падая с его увеличением.

Суммарное число ампер-витков AW_h можно рассматривать, как мде нек-рой фиктивной обмотки с числом витков w'_c , по к-рой протекает ток якоря I_h :

$$w'_c = \frac{AW_h}{I_h}$$

При любой иной нагрузке I

$$AW = w'_c I_\theta = (1 - \alpha)AW_h + \frac{\alpha AW_h}{I_h} I$$

или

$$I_\theta = (1 - \alpha)I_h + \frac{\alpha I}{I_h} I$$

и для генераторного режима:

$$I_\theta = (1 - \alpha)I_h - \frac{\alpha I}{I_h} I,$$

где: I_θ — приведенный ток возбуждения для обмотки с числом витков w'_c .

Безыскровая коммутация современных ТД обеспечивается при $I_\theta \geq \frac{1}{2} \div \frac{2}{5} I$.

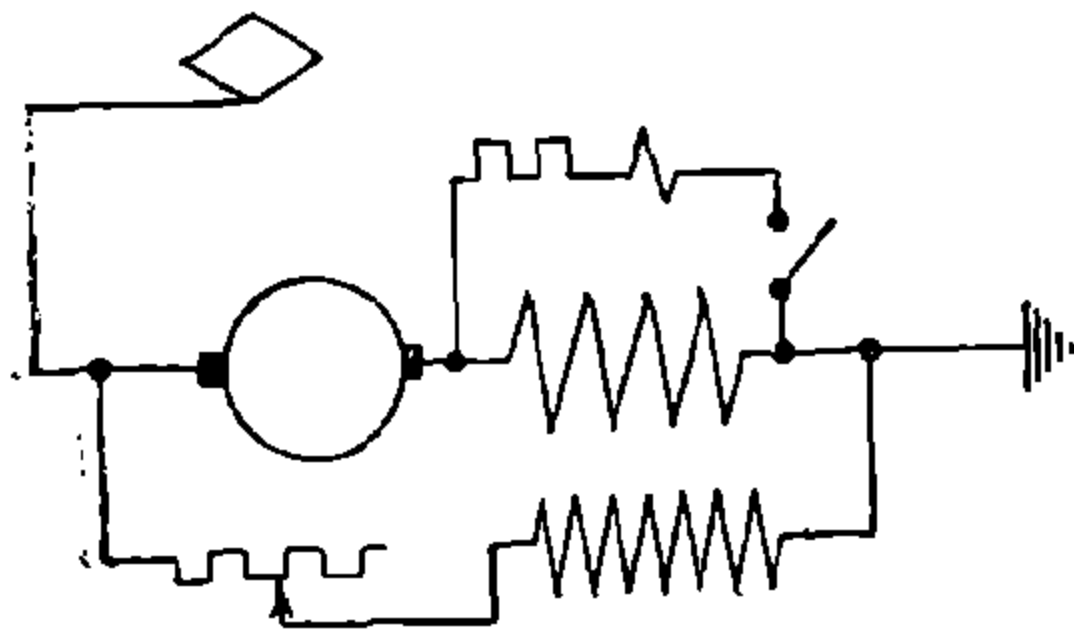
Если $I_\theta \geq \frac{1}{2} I$, то максимальный ток нагрузки будет равен:

$$0,5I_{max} = (1 - \alpha)I_h - \frac{\alpha I_{max}}{I_h};$$

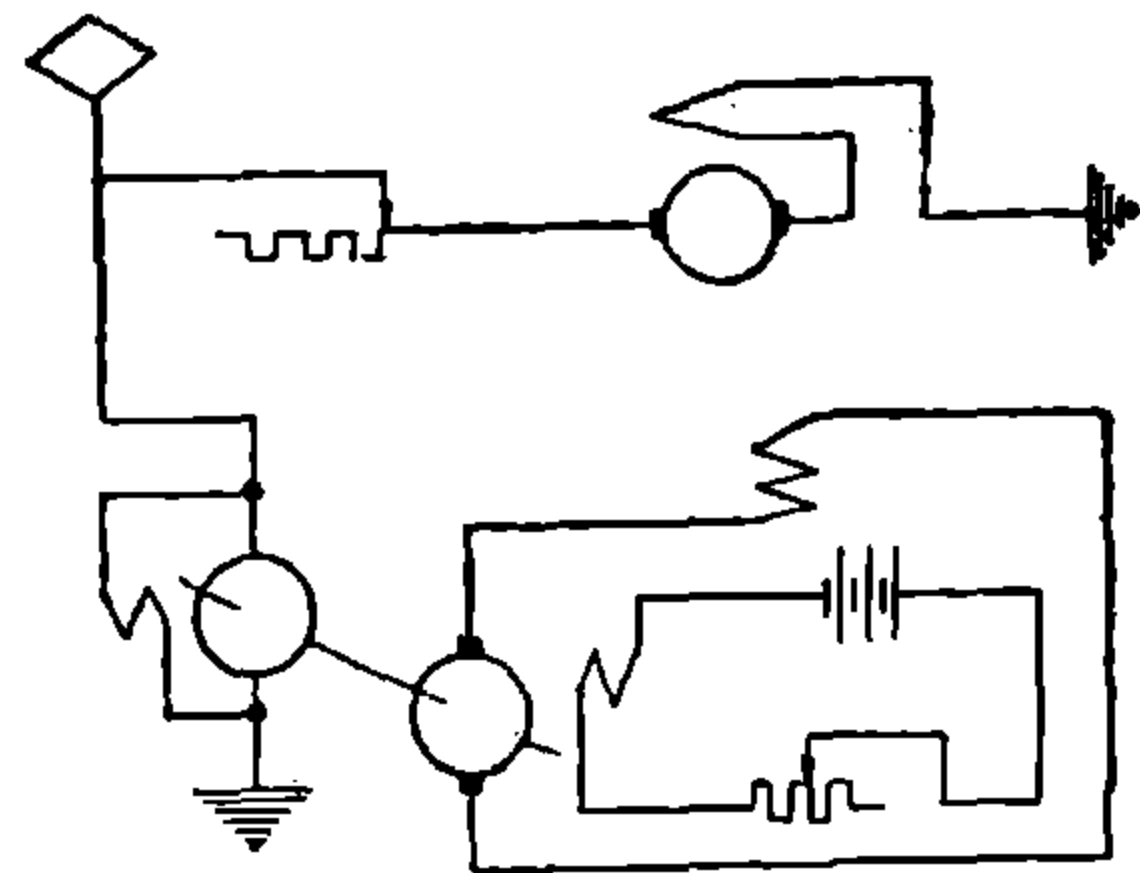
$$I_{max} = \frac{1 - \alpha}{0,5 + \alpha} I_h.$$

Из этого выражения следует, что для увеличения предельного по коммутации тока генераторного режима коэф-т α следует принимать минимальным, что однако противоречит условию удовлетворительного распределения нагрузок между параллельными цепями дв-лей и увеличивает влияние колебаний напряжения сети.

Чтобы удовлетворить этим противоречивым требованиям, приходится принимать низкие плотности тока в шунтовой обмотке с тем, чтобы на генераторном режиме можно



Фиг. 49



Фиг. 50

было увеличивать ток шунтового возбуждения, получая, т. о., более выгодное соотношение ампер-витков для генераторного режима. Др. средством является шунтировка серийной обмотки на генераторном режиме (фиг. 49).

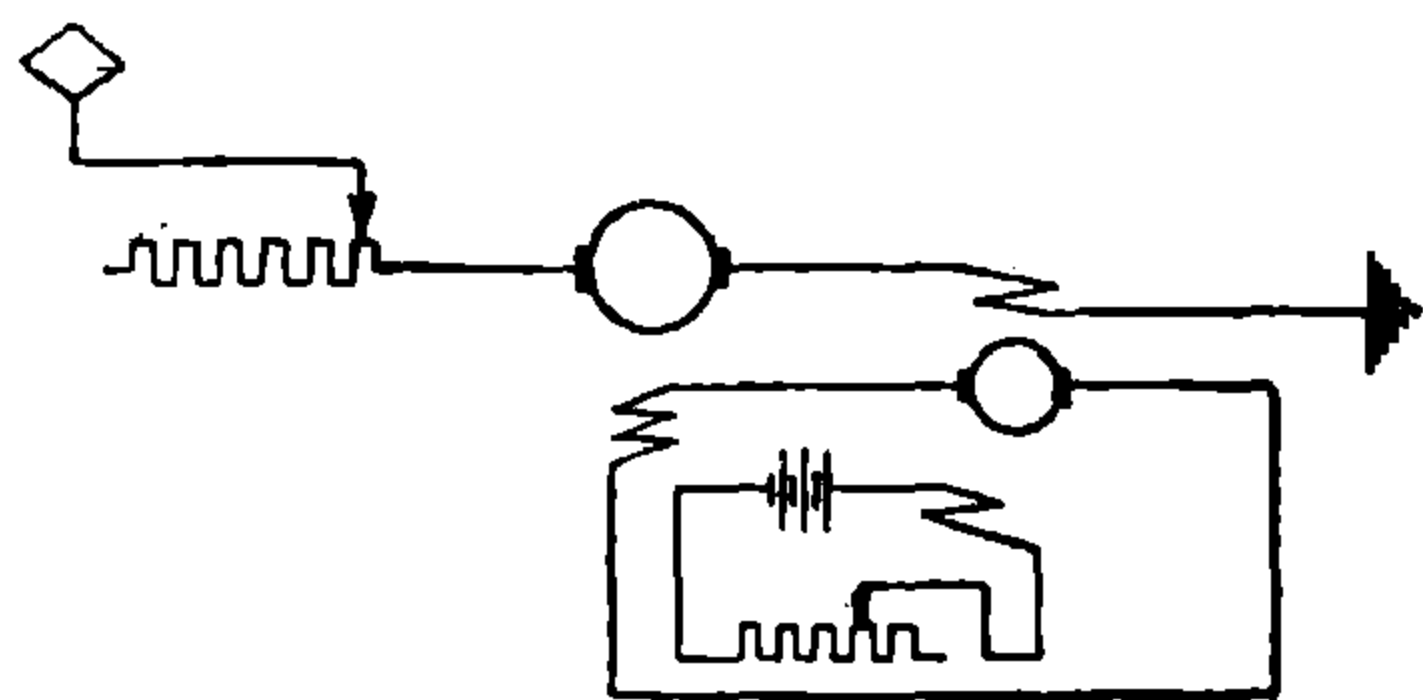
Вследствие худшего коэф-та заполнения медью сечения шунтовых катушек, к-рые выполняются из тонкого провода с большим числом витков, компаундный дв-ль всегда должен иметь большие габаритные размеры, чем аналогичный серийный дв-ль, что

особенно остро сказывается при в/н сети магистральных ж. д. Этот недостаток устраним применением вместо шунтового — независимого возбуждения от специального МГ (фиг. 50), понижающего напряжение сети. Однако при наличии на эл/в или м/в МГ для возбуждения ТД компаундная характеристика м. б. получена и для обычных серийных дв-лей.

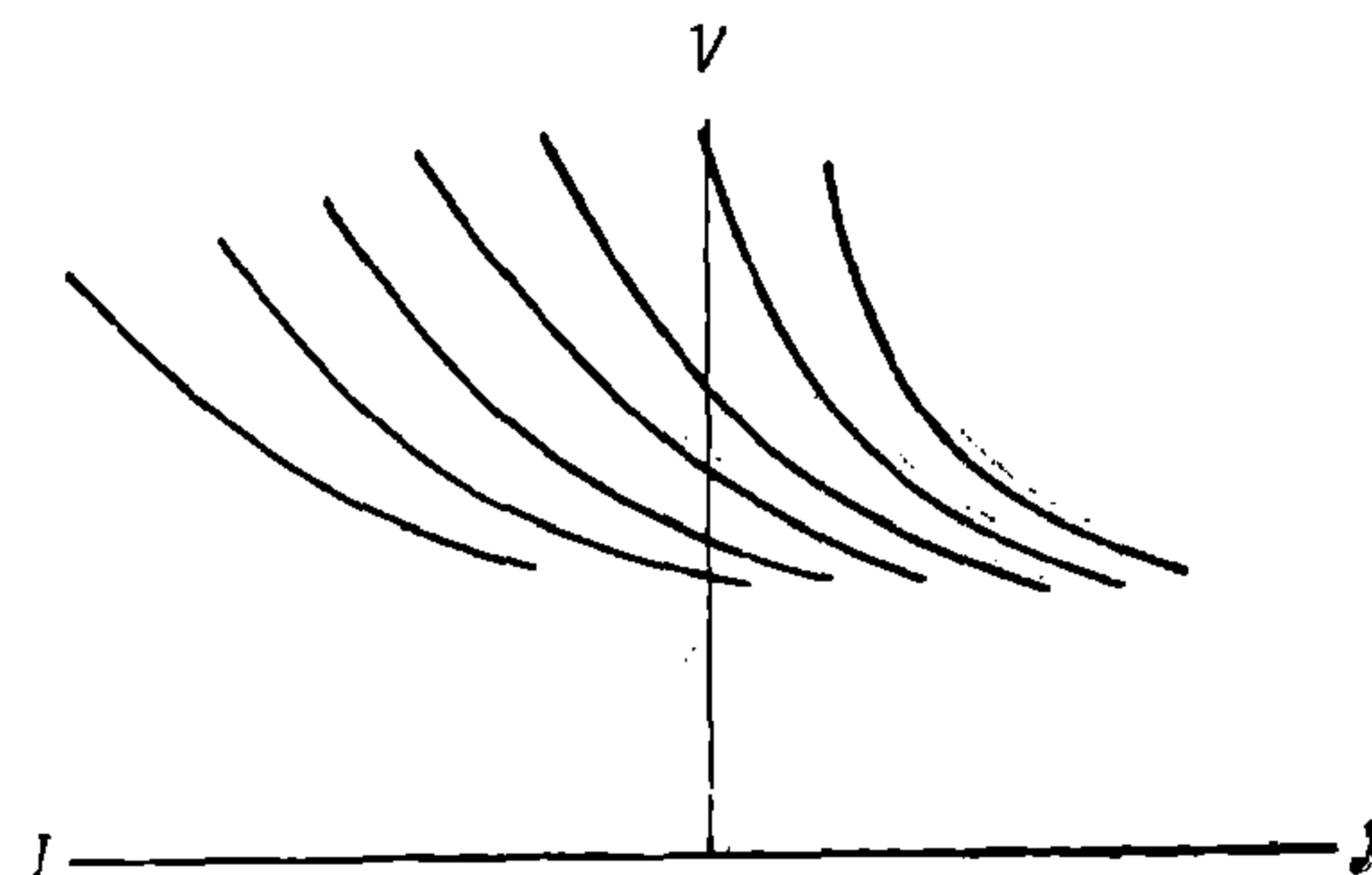
4) Рекуперация серийными дв-лями с применением возбуждителей. Конструктивная простота серийного дв-ля и ценные тяговые качества серийной характеристики побуждают применять нормальные серийные дв-ли и для рекуперации, переключая их обмотки при генераторном режиме на питание от специального возбудителя.

Одна из схем включения возбудителя—обычное независимое возбуждение (фиг. 42)—была рассмотрена выше (см. стр. 169). При таком включении дв-ль приобретает все свойства шунтовой машины, непригодной для рекуперации (см. стр. 168).

Иные свойства приобретает серийный дв-ль, если возбудитель, помимо шунтового возбуждения, имеет еще возбуждение от тока нагрузки ТД (фиг. 51). Если цепь незави-



Фиг. 51



Фиг. 52

симого возбуждения возбудителя разомкнута, то ток возбуждения будет пропорционален току нагрузки и дв-ль будет работать по серийной характеристике. При включении цепи независимого возбуждения возбудителя ток возбуждения дв-ля:

$$I_e = \frac{e}{r} = \frac{C(AW_m + \omega'_c I)}{r}.$$

Соотношение это справедливо, если магнитопровод возбудителя не насыщается. Здесь: e —напряжение возбудителя, r —сопротивление цепи возбуждения, ω'_c —число витков компаундирующей обмотки возбудителя, AW_m —ампер-витки независимого возбуждения возбудителя.

Из этого выражения для I_e видно, что ток возбуждения имеет постоянную слагающую, не зависящую от тока нагрузки, действие к-рой эквивалентно шунтовому возбуждению компаундного дв-ля. По мере увеличения тока шунтового возбуждения возбудителя характеристики дв-ля все более отходят от серийной характеристики и приближаются к шунтовой (фиг. 52).

Ценным свойством этой схемы является то, что переход с режима работы по серийной характеристике на компаундную характеристику происходит без переключений в силовой цепи. Схема эта для эл/в постоянного тока все же непригодна, т. к. компаундирование возбудителя делает устойчивыми лишь внешние характеристики эл/в, условия же распределения нагрузок между параллельными цепями дв-лей остаются такими же, как по схеме фиг. 42. Поэтому схема эта нашла себе применение только на преобразовательных эл/в однофазно-постоянного тока, где параллельное включение дв-лей благодаря возможности плавного регулирования напряжения постоянного тока не является обязательным.

Свойства компаундной машины м. б. приданы серийному дв-лю также включением возбудителя по схеме фиг. 53 и 54. Для схемы по фиг. 53 ток в обмотке возбуждения равен сумме токов возбудителя и якоря ТД:

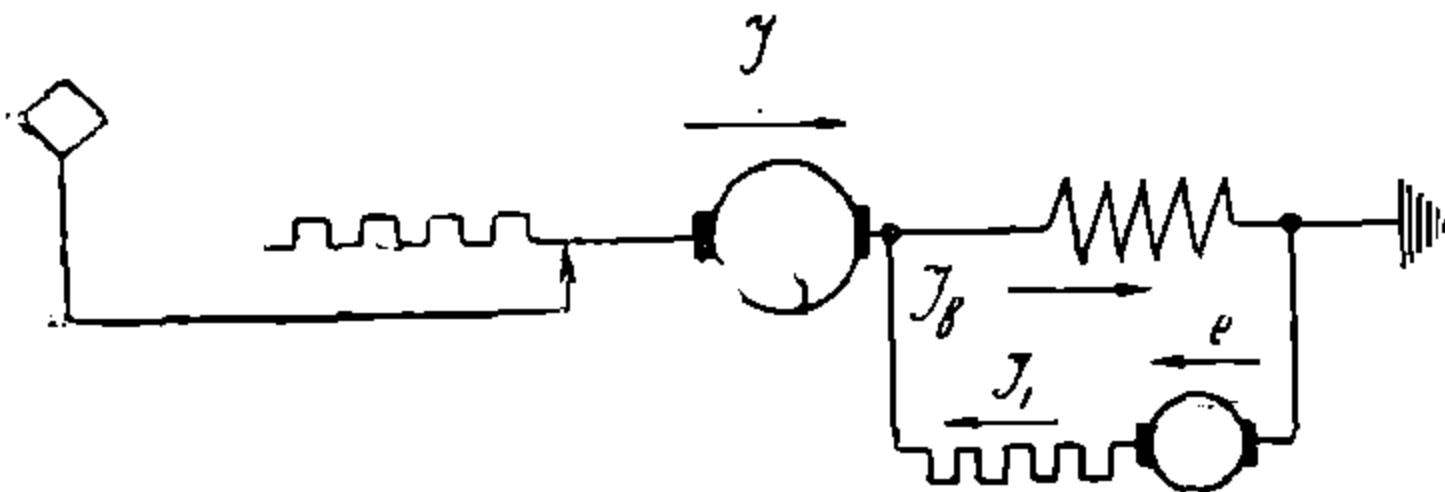
$$I_e = I_1 + I.$$

Зависимость между якорным током I и током возбуждения I_{θ} определится из след. ур-ня:

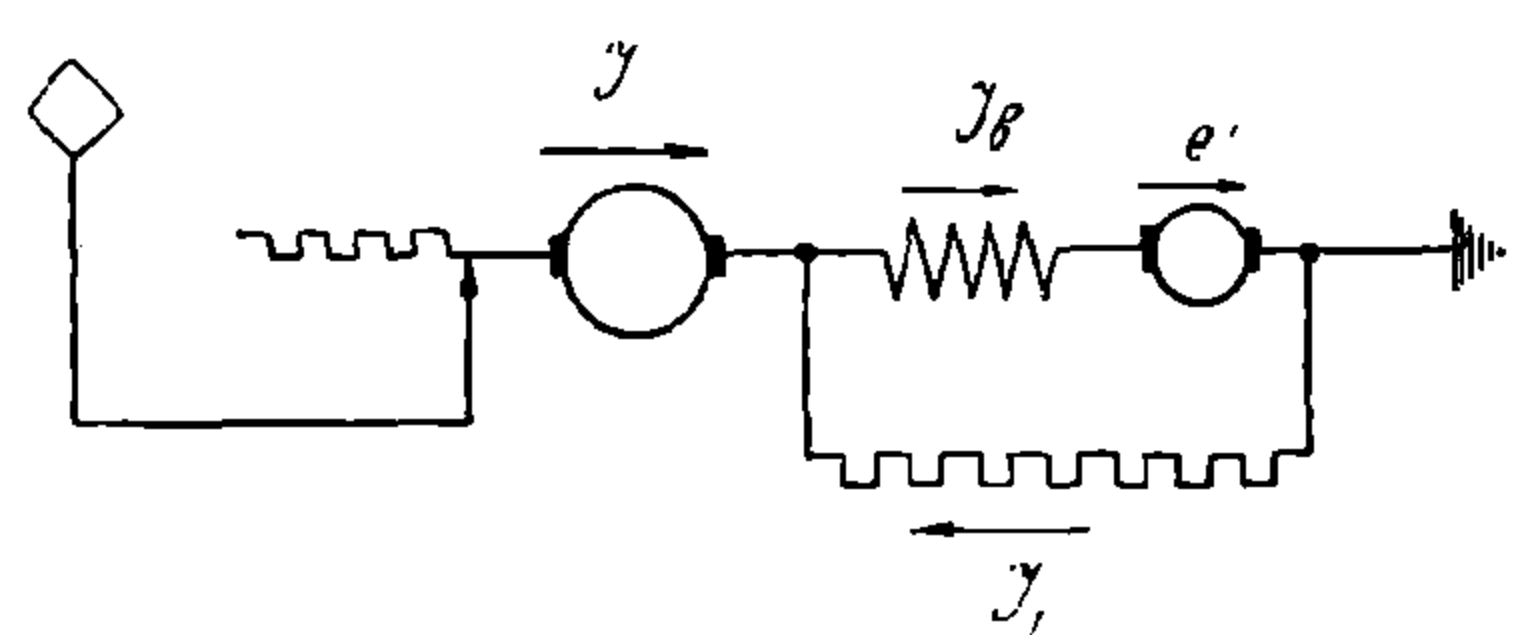
$$e = I_1(R_0 + R_c) + I_{\theta}R_{\theta} = (I_{\theta} - I)(R_0 + R_c) + I_{\theta}R_{\theta} = I_{\theta}(R_0 + R_c + R_{\theta}) - I(R_0 + R_c).$$

$$I_{\theta} = \frac{e}{R_0 + R_c + R_{\theta}} + \frac{R_0 + R_c}{R_0 + R_c + R_{\theta}} I,$$

где: R_{θ} — сопротивление обмотки возбуждения и $R_0 + R_c$ — сопротивление возбудителя в сумме со стабилизирующим сопротивлением, включенным последовательно с возбудителем.



Фиг. 53



Фиг. 54

Для генераторного режима, когда ток I имеет обратное направление:

$$I_{\theta} = \frac{e}{R_0 + R_c + R_{\theta}} - \frac{R_0 + R_c}{R_0 + R_c + R_{\theta}} I.$$

Ампер-витки возбуждения равны:

$$AW \quad \omega_c I_{\theta} = \frac{e}{R_0 + R_c + R_{\theta}} \omega_c - \frac{R_0 + R_c}{R_0 + R_c + R_{\theta}} \omega_c I.$$

Первая дробь не зависит от нагрузки и представляет, т. о., ампер-витки шунтового возбуждения; вторая дробь аналогична серийным ампер-виткам противокомпаундной обмотки.

Коэф-т α для часового моторного режима равен:

$$\frac{(R_0 + R_c) I_h}{e + (R_0 + R_c) I_h},$$

т. е. коэф-т α зависит от величины сопротивления $R_0 + R_c$ и напряжения возбудителя e : с увеличением $R_0 + R_c$ и уменьшением e коэф-т α стремится к единице, т. е. характеристика дв-ля приближается к серийной; наоборот, с уменьшением $R_0 + R_c$ и увеличением e коэф-т α стремится к нулю и характеристика дв-ля приближается к шунтовой. В соответствии с этим регулирование тормозного режима может производиться или путем изменения напряжения возбудителя, или изменением сопротивления R_c .

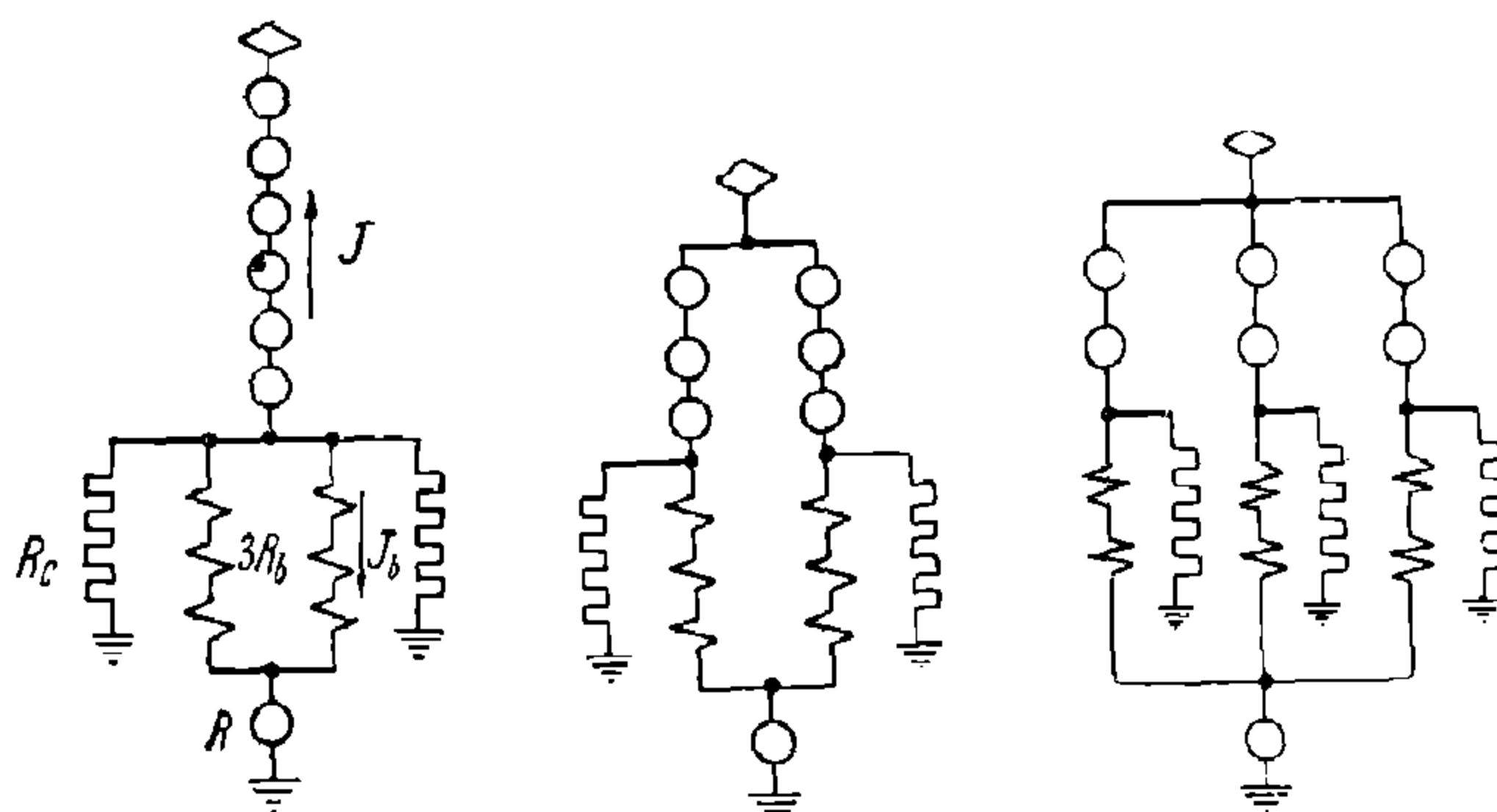
Первый способ, как это следует из выражения для I_{θ} , совершенно аналогичен регулированию тока шунтового возбуждения для компаундного дв-ля, где изменяются только ампер-витки шунтового возбуждения, а противокомпаундное действие серийной обмотки остается без изменения.

Несколько иное влияние оказывает изменение сопротивления R_c . С уменьшением сопротивления R_c одновременно увеличивается постоянная составляющая тока возбуждения, т. е. шунтовые ампер-витки, и уменьшается противокомпаундное действие тока рекуперации I , к-рый начинает протекать преимущественно через цепь возбудителя. При полном выключении сопротивления R_c некое противокомпаундное действие все же сохраняется благодаря сопротивлению самого возбудителя R_0 .

Схема по фиг. 54 отличается от предыдущей лишь местом включения возбудителя. Ток возбуждения ТД для режима рекуперации:

$$I_{\theta} = \frac{e}{R_0 + R_c + R_{\theta}} - \frac{R_c}{R_0 + R_c + R_{\theta}} I,$$

т. е. функциональная зависимость тока возбуждения от тока якоря соответствует предыдущей схеме. Влияние напряжения возбудителя и величины сопротивления R_c на характеристику дв-ля так же остается тем же, что и для схемы по фиг. 53. Однако в 1-й схеме через возбудитель протекает ток, равный сумме тока рекуперации и тока возбуждения, в то время как во 2-й схеме через возбудитель протекает только ток возбуждения. Поэтому мощность возбудителя во 2-й схеме, с последовательным включением возбудителя, существенно меньше, чем в 1-й схеме, с параллельным включением возбудителя. Это является основной причиной, в силу которой схема с последовательным включением возбудителя применяется чаще, чем схема с параллельным включением, и м. б. признана как наиболее удачное разрешение вопроса рекуперации для магистральных эл/в постоянного тока. К числу недостатков этой схемы относится большая сложность переключений в схеме для перехода на режим рекуперации, чем в схеме с параллельным включением возбудителя, где подключение возбудителя м. б. легко выполнено и без отключения дв-лей от сети.



Фиг. 55

Включение нескольких дв-лей (6) в различные соединения для рекуперации по схеме с последовательным включением возбудителя приведено на фиг. 55. Зависимость между током возбуждения и током рекуперации для первого соединения:

$$I_{\theta} = \frac{e - 0,5 R_c I}{2 R_0 + 3 R_{\theta} + R_c}$$

для второго соединения в 2 параллельные цепи:

$$I_{\theta} = \frac{e - R_c I}{2 R_0 + 3 R_{\theta} + R_c},$$

и для последнего включения в 3 параллельные цепи:

$$I_{\theta} = \frac{e - R_c I}{3 R_0 + 2 R_{\theta} + R_c},$$

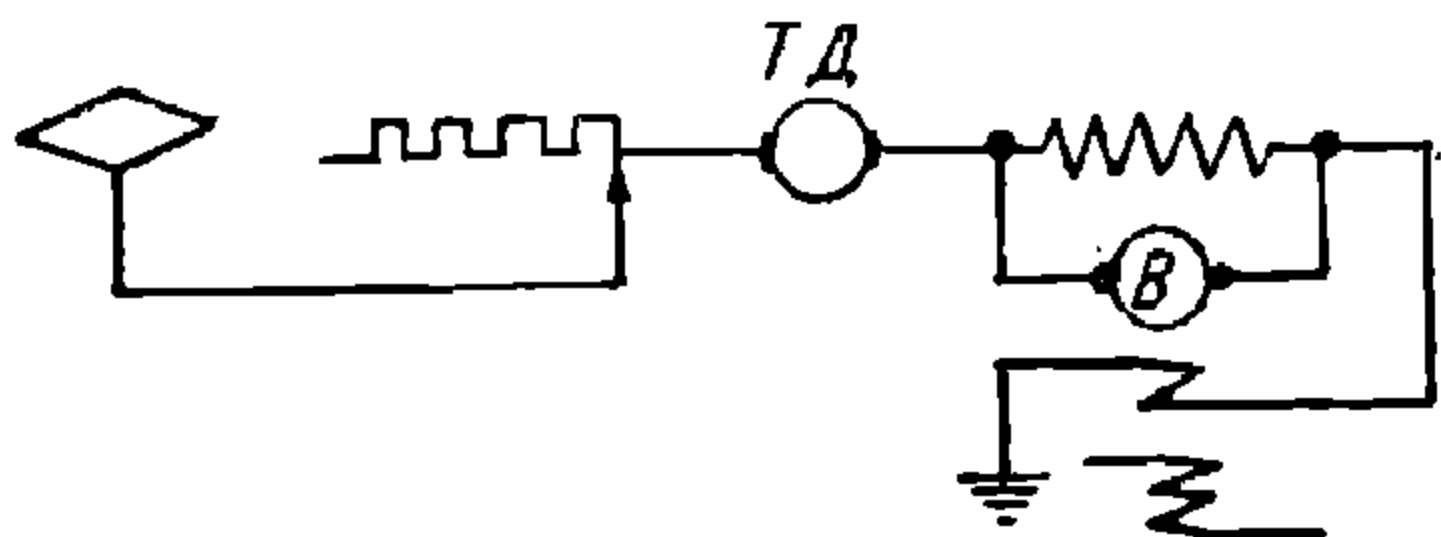
где: e — напряжение возбудителя; I_{θ} — ток возбуждения ТД; I — ток рекуперации (якоря дв-ля); R_0 — сопротивление возбудителя, R_{θ} — сопротивление обмотки возбуждения дв-ля, R_c — стабилизирующее сопротивление.

Ограничение по коммутации $I = 2 \div 2,5 I_{\theta}$

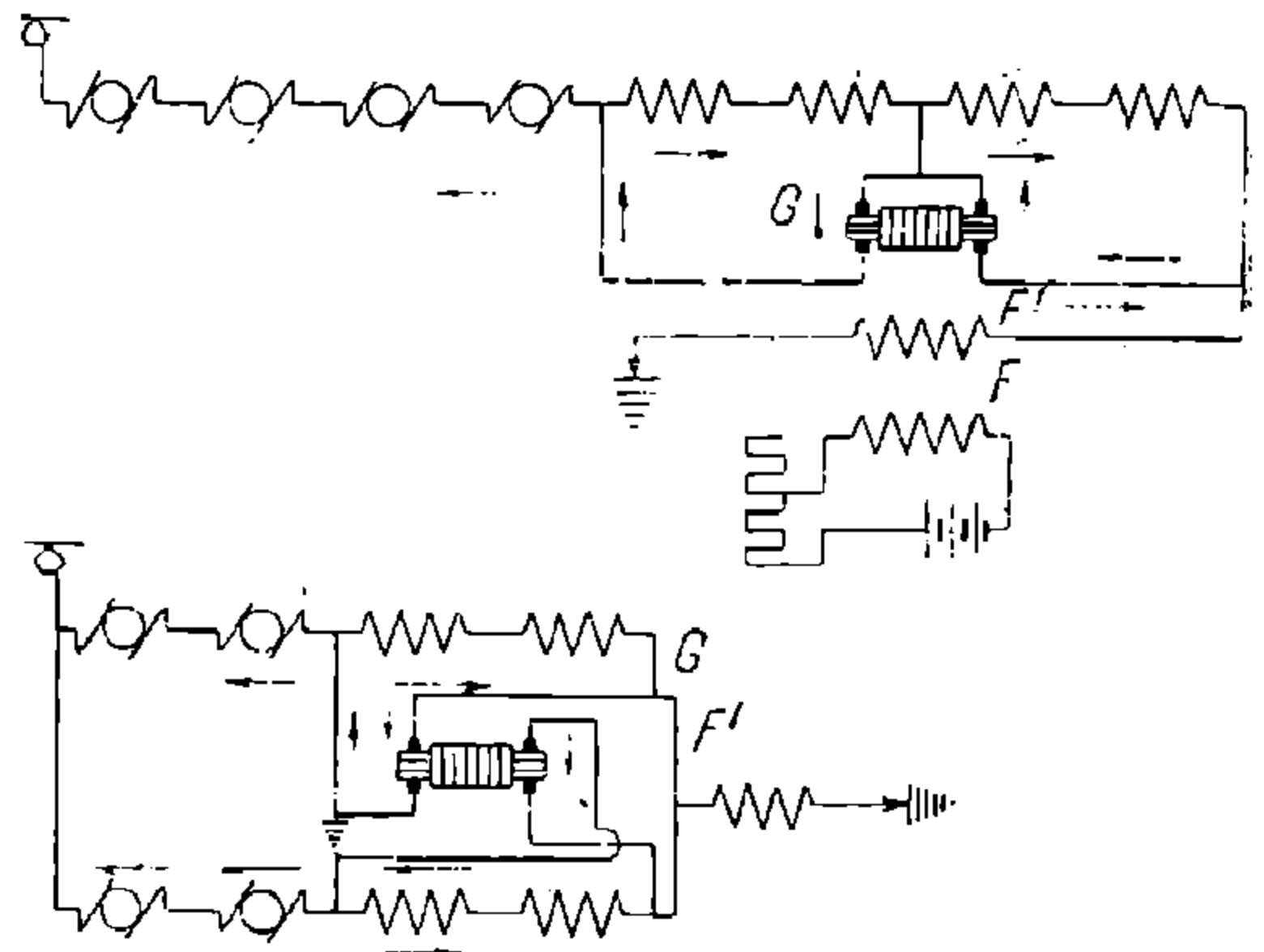
Переход на рекуперацию по этой схеме производится предварительным включением желаемого соединения дв-лей, возбудителя и стабилизирующих сопротивлений при обесточенной — отключенной от токоприемника — схеме, после чего схема включается на сеть через пусковое сопротивление. Далее, постепенным повышением напряжения возбудителя выравнивается напряжение ТД с напряжением сети, после чего выводятся пусковые сопротивления и дальнейшим увеличением напряжения возбудителя устанавливается ток рекуперации желаемой силы.

Принципиально возможен переход и без выключения тока, с предварительным переходом на тормозную схему еще на моторном режиме работы, при чем переход совершается без потери усилия тяги эл/в. Однако вследствие усложнения аппаратуры этот способ перехода не нашел себе применения на эл/в постоянного тока, но применяется на мотор-генераторных эл/в Вестингауза-Форда.

В схеме с параллельным включением возбuditеля (фиг. 53) мощность возбuditеля м. б. уменьшена за счет уменьшения его напряжения при одновременном уменьшении сопротивления $R_c + R_0$. В пределе получается схема простого параллельного включения возбuditеля без дополнительного стабилизирующего сопротивления. Такая схема обладает жесткой характеристикой, близкой к шунтовой. Смягчение характеристики м. б. достигнуто противокомпаундным возбуждением возбuditеля главным током (фиг. 56). Эта схема применена на 4-моторных эл/в ж. д. Чикаго—Мильвоки—С.-Поль (фиг. 57). Здесь возбuditель G имеет 2 обмотки в общем железе якоря и 2 коллектора. Поскольку обмотки находятся в общем магнитном потоке, противокомпаундная обмотка F_1 смягчает лишь внешние характеристики эл/в и не выравнивает распределение нагрузок между параллельными цепями дв-лей. Несколько сглаживает неравномерность распределения нагрузок лишь противокомпаундное действие сопротивлений якорных

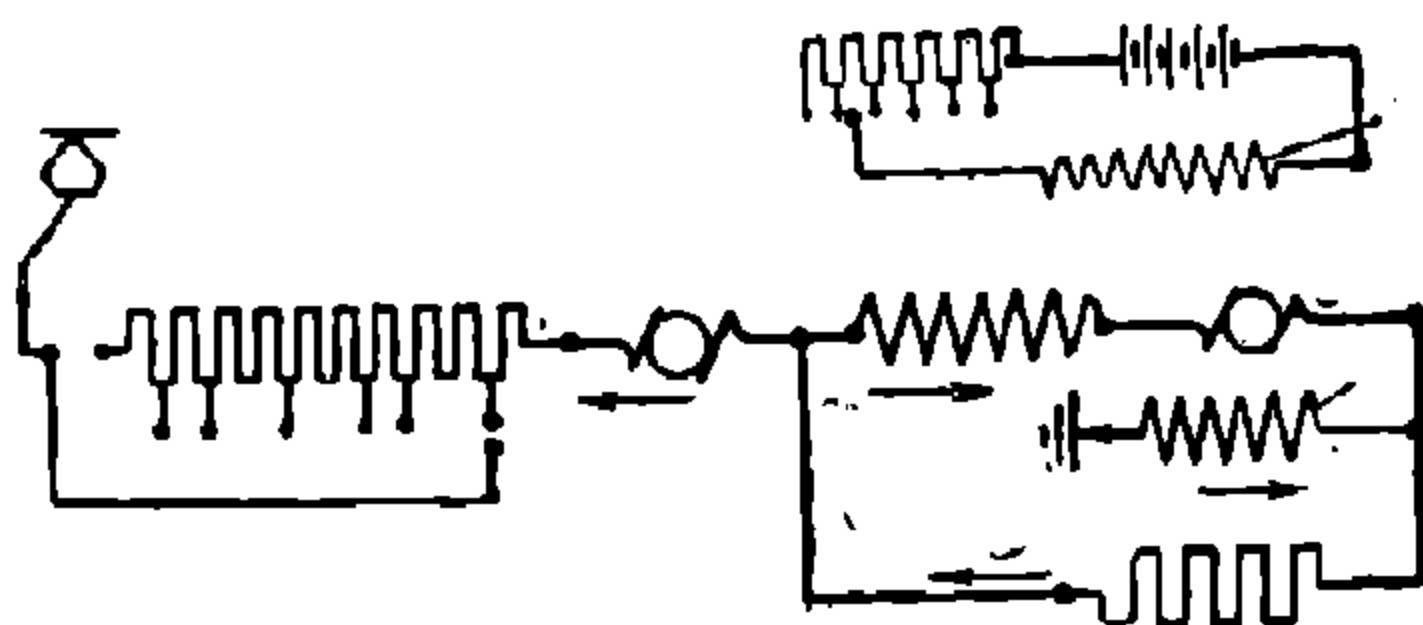


Фиг. 56



Фиг. 57

обмоток возбuditеля. Последняя схема представляет случай одновременного применения 2 способов противокомпаундирования дв-ля на генераторном режиме: параллельное включение возбuditеля и противокомпаундирование самого возбuditеля главным током. Такое дополнительное противокомпаундирование системы противокомпаундным возбуждением возбuditеля целесообразно и для схемы с последовательным включением возбuditеля (фиг. 58). В этой схеме то же общее противокомпаундное действие достигается



Фиг. 58

при меньшем стабилизирующем сопротивлении, чем повышается КПД схемы вследствие уменьшения потерь в стабилизирующем сопротивлении и несколько уменьшается мощность возбuditеля. Уменьшение стабилизирующего сопротивления возможно однако лишь до некоего предела, при котором противокомпаундное действие только стабилизирующего сопротивления дает еще достаточно наклонную характеристику дв-ля для обеспечения удовлетворительного распределения нагрузок.

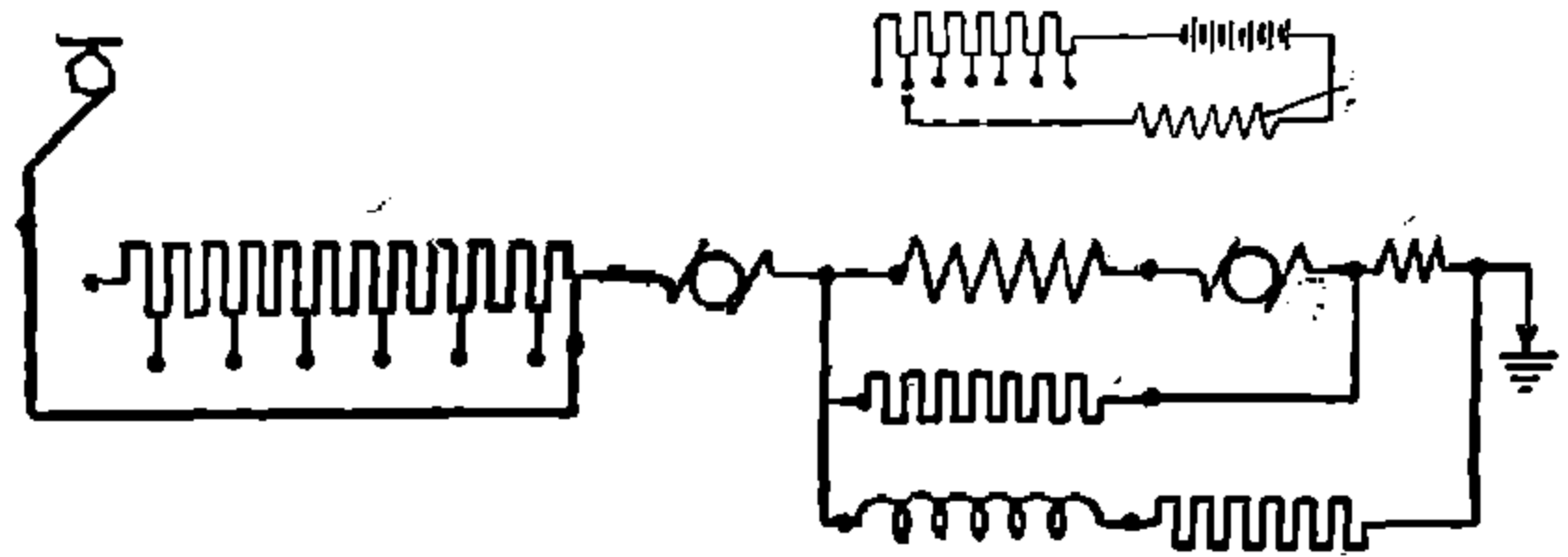
Подобная схема (фиг. 59) с последовательным включением противокомпаундного возбuditеля нашла практическое применение на эл/в $C_0 - C_0$ сер. 7001 испанских ж. д. и на нек-рых эл/в ж. д. Париж—Лион—Средиземное море. Эта схема отличается от предыдущей лишь тем, что система возбуждения здесь дополнительно шунтирована сопротивлением R_1 , вследствие чего через противокомпаундную обмотку возбuditеля помимо главного тока протекает нек-рый ток от возбuditеля, представляющий дополнительное шунтовое возбуждение возбuditеля.

5) С х е м ы с м о т о р - с т а б и л и з а т о р о м. Вместо стабилизирующего сопротивления в схемах фиг. 53 и 54 м. б. включен серийный мотор «МС» по схеме фиг. 59-а. Если обороты этого дв-ля, т. е. мотор-стабилизатора, постоянны и магнитопровод

не насыщен, то напряжение его на клеммах будет пропорционально нагрузке $e_c = I + I_e$ и мотор-стабилизатор будет эквивалентен стабилизирующему сопротивлению:

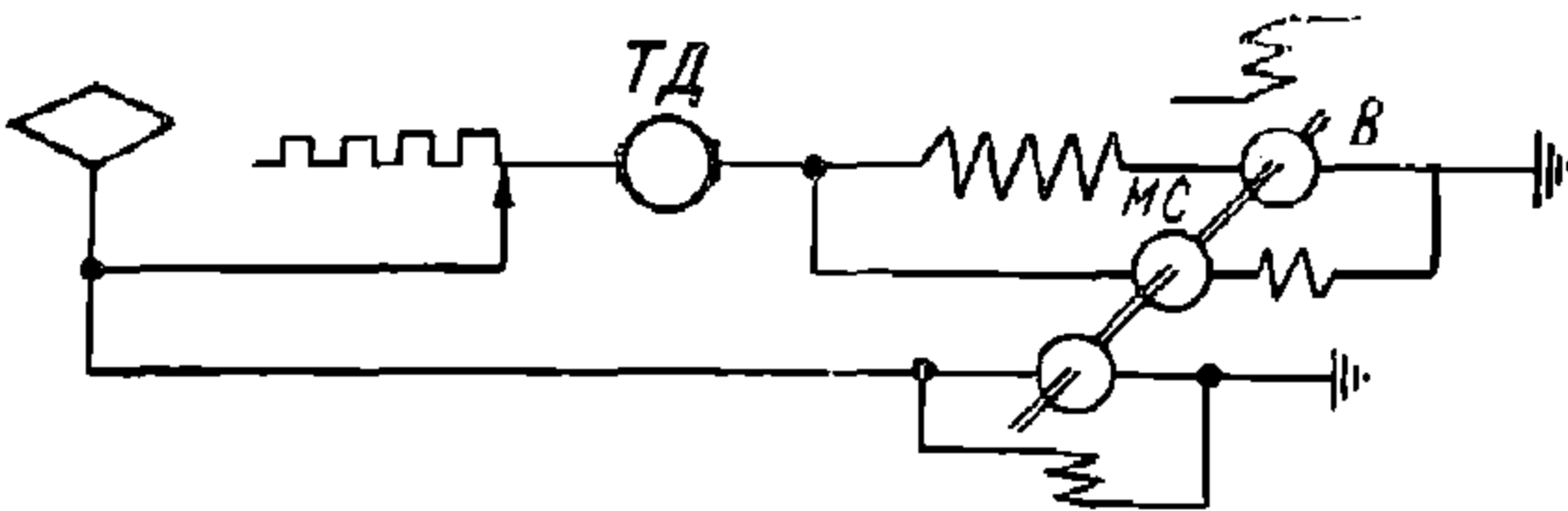
$$R_c = \frac{e_c}{I + I_e}$$

Одним из преимуществ такой схемы является то, что мощность $(I + I_e)^2 R_c$ в этом случае, за исключением потерь в самом мотор-стабилизаторе, используется для привода возбuditеля, одновременно уменьшая потребную мощность приводного мотора возбuditеля. Др. ценным свойством схемы является возможность получения переменной величины эквивалентного сопротивления R_c , для получения рекуперативных характеристик, более выгодных, чем обычные противокомпаундные.



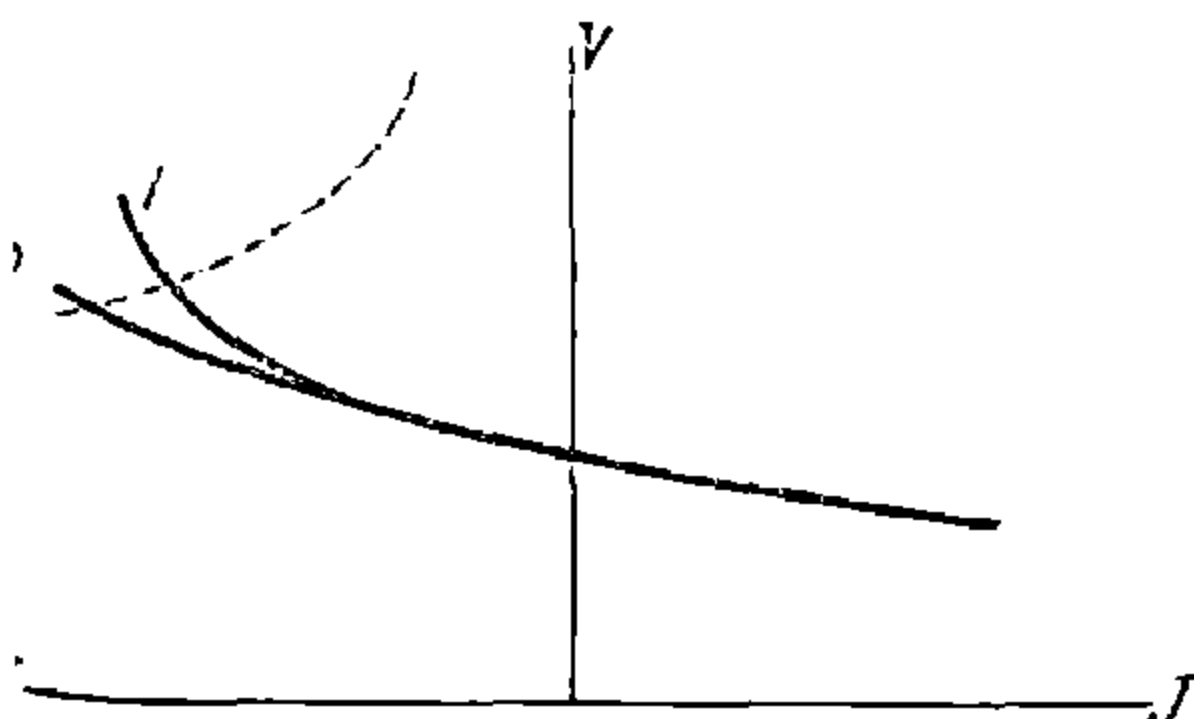
Фиг. 59

Недостатком простой противокомпаундной характеристики является то, что при достаточном противокомпаундном действии и соответственно достаточном наклоне скоростной характеристики в области малых нагрузок при больших нагрузках это противокомпаундное действие излишне велико с точки зрения обеспечения равномерности нагрузок параллельных цепей и влияния толчков напряжения сети. Вместе с тем чрезмерное размагничивание дв-лей влечет к уменьшению предельной по коммутации нагрузки. Поэтому желательно иметь ослабление противокомпаундного действия с увеличением нагрузки, т. е. уменьшение коэф-та α .

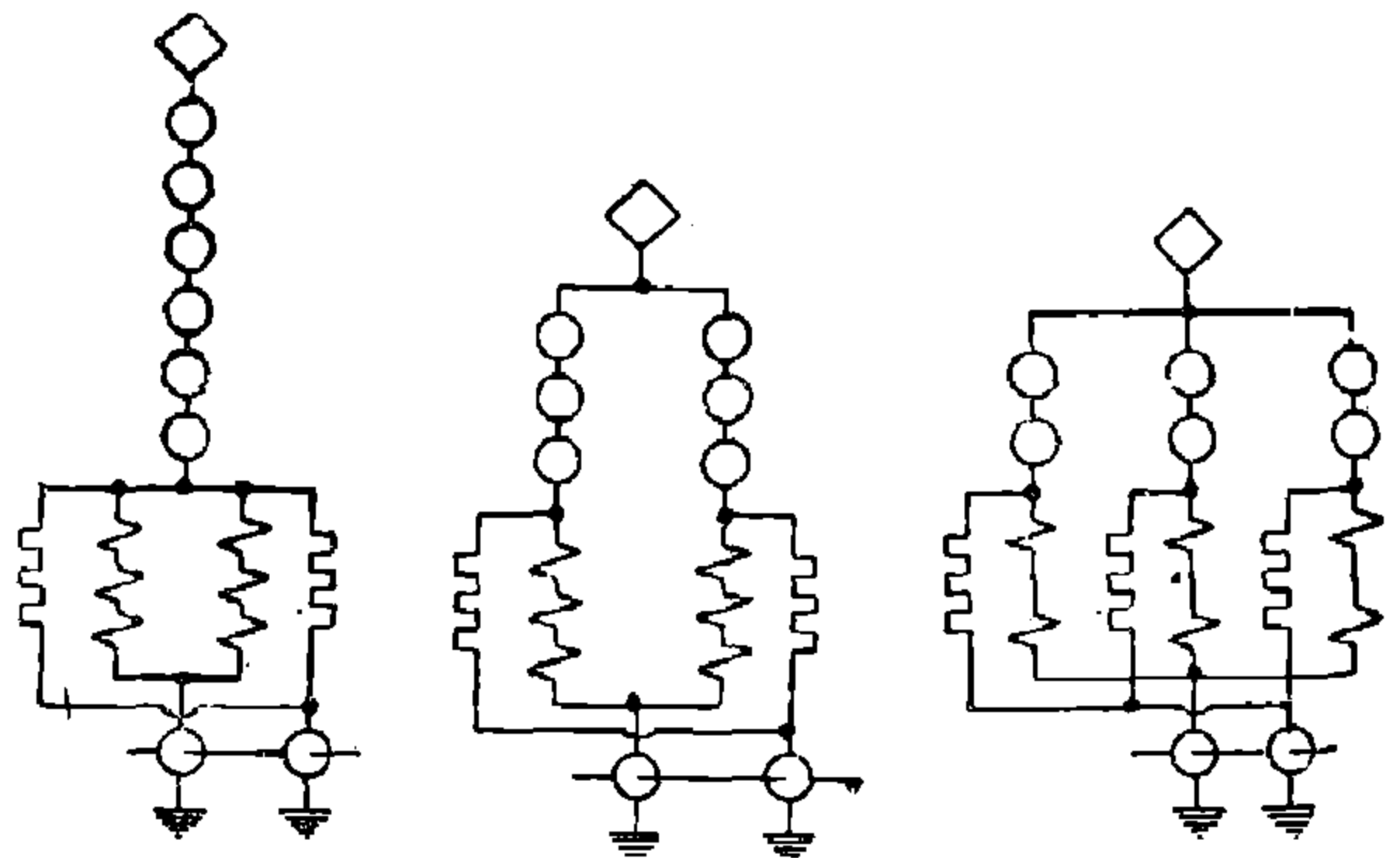


Фиг. 59-а

Если магнитопровод мотор-стабилизатора рассчитан так, что режим работы его захватывает пологую ветвь кривой намагничивания, то в области больших нагрузок пропорциональность между клеммовым напряжением и нагрузкой] будет нарушаться и эквивалентное сопротивление R_c будет падать, что повлечет ослабление противокомпаундного действия схемы. Скоростная характеристика для схемы с мотор-стабилизатором будет протекать по кривой 2 (фиг. 60), близкой к наклонной прямой, вместо гиперболической кривой 1 противокомпаундной характеристики.



Фиг. 60



Фиг. 61

стная характеристика для схемы с мотор-стабилизатором будет протекать по кривой 2 (фиг. 60), близкой к наклонной прямой, вместо гиперболической кривой 1 противокомпаундной характеристики.

Вместо насыщения магнитопровода м. б. применено дополнительное независимое возбуждение мотор-стабилизатора. В этом случае напряжение мотор-стабилизатора

$$e_c = e'_c + r_c (I + I_\theta)$$

и эквивалентное стабилизирующее сопротивление

$$R_c = r_c + \frac{e'_c}{I + I_\theta}$$

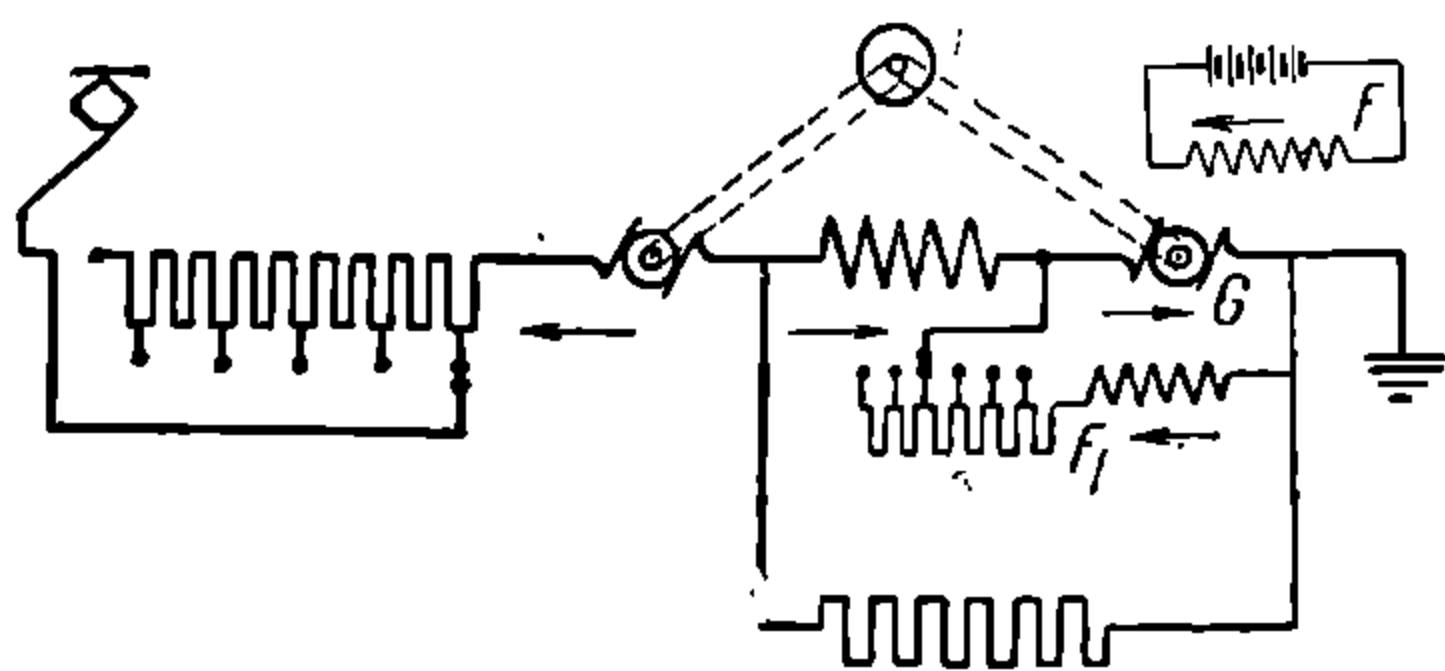
уменьшаются с увеличением тока рекуперации.

В действительных многомоторных схемах для осуществления этой системы в чистом виде потребовалось бы несколько мотор-стабилизаторов,—по числу параллельных цепей дв-лей. Поэтому фирма BBC прибегает к компромиссному решению, применяя одновременно и стабилизирующие сопротивления и мотор-стабилизатор (фиг. 61).

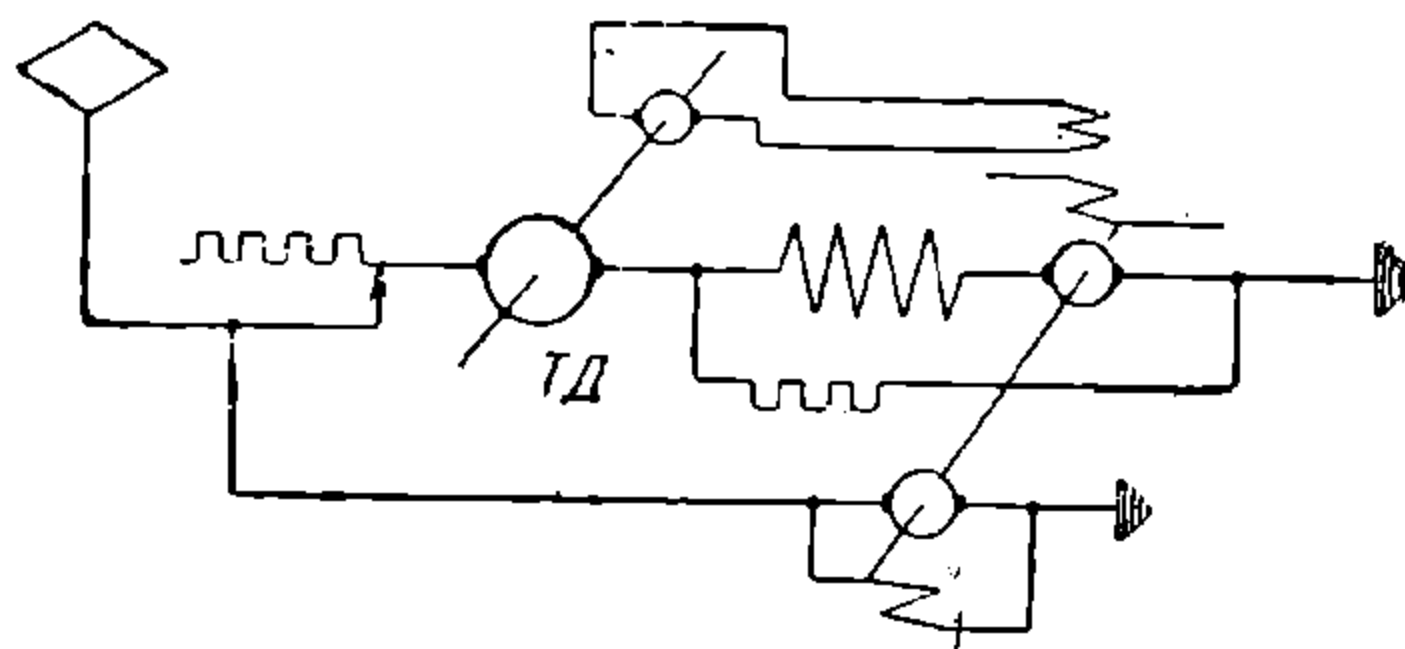
6) **О с е в о й в о з б у д и т е л ь.** Улучшение характеристик противокомпаундных схем, к-рое дает введение мотор-стабилизатора, достигается также применением привода к возбuditелю не от специального дв-ля с постоянным числом оборотов, а от оси эл/в. В этом случае эдс возбuditеля является ф-ией скорости поезда. При независимом возбуждении возбuditеля эдс его возрастает прямо пропорционально скорости, увеличивая постоянную, не зависящую от тока рекуперации, составляющую тока возбуждения противокомпаундной схемы:

$$I_\theta = \frac{e}{R_c + R_\theta} - \frac{R_c}{R_c + R_\theta} I,$$

т. е. как бы усиливая шунтовое возбуждение. В результате скоростная характеристика получает меньшее искривление при больших нагрузках и приближается к наклонной прямой. Действие осевого возбuditеля G будет еще более эффективно, если при слабом независимом возбуждении F дополнить возбуждение его шунтовым F_1 (фиг. 62), т. к. в этом



Фиг. 62



Фиг. 63

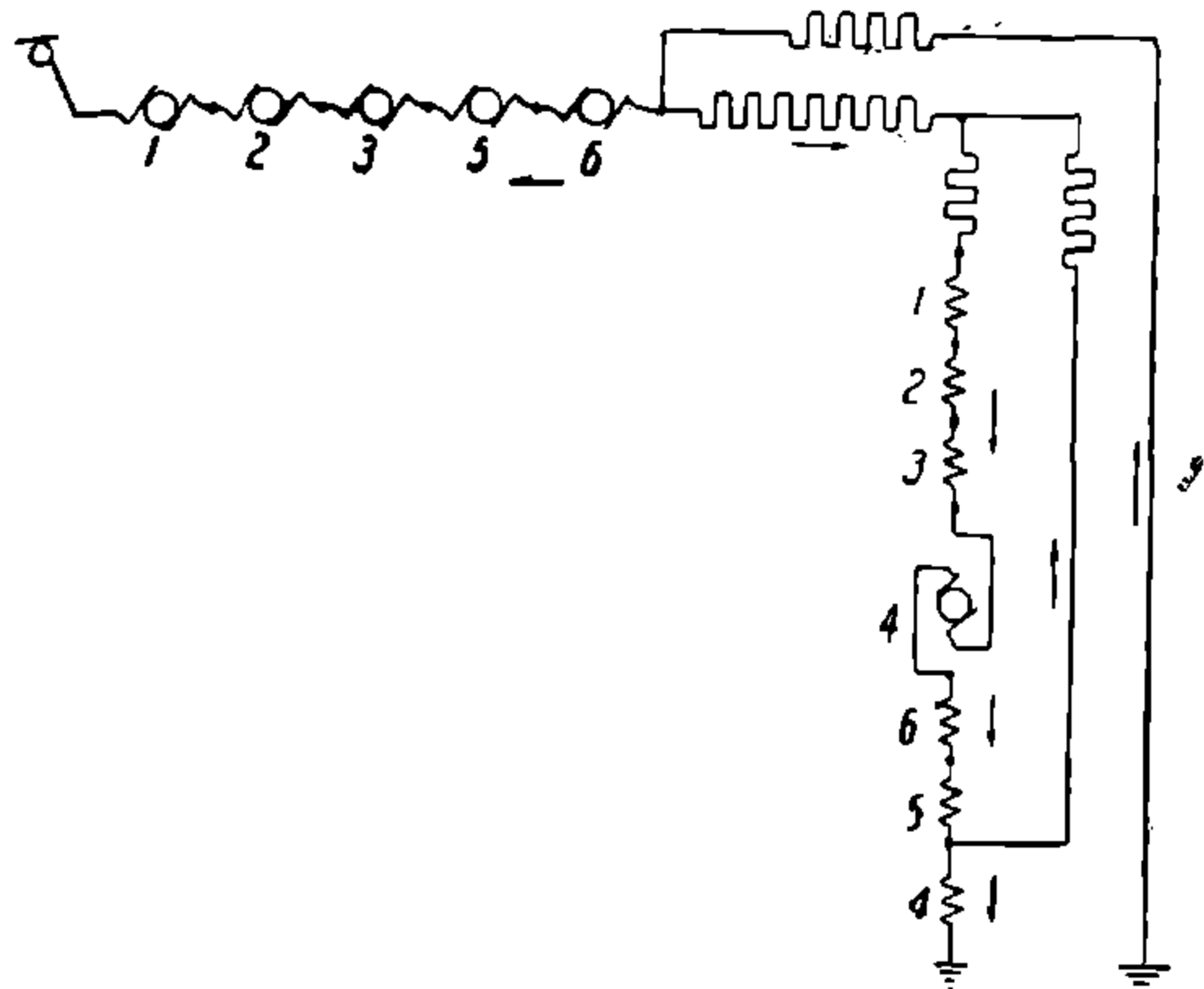
случае напряжение его будет возрастать в степени выше первой с увеличением скорости. Привод возбuditеля от оси кроме того упрощает оборудование, необходимое для введения рекуперации, т. к. отпадает приводной дв-ль к возбuditелю. Однако осевой возбuditелю м. б. применен только на эл/в, имеющих бегунковые оси, и кроме того габариты и вес его получаются большими, чем у обычного возбuditеля, т. к. он должен давать достаточное напряжение и при низких скоростях.

На эл/в без бегунковых осей, на к-рых установка громоздкого осевого возбuditеля невозможна, м. б. применен вспомогательный осевой возбuditелю малой мощности, дающий изменяющееся со скоростью возбуждение главному возбuditелю (фиг. 63). Кроме того возможно использование в качестве возбuditеля одного или нескольких ТД. Такое решение особенно заманчиво с точки зрения упрощения дополнительного оборудования, необходимого для рекуперации, принято на эл/в C_0-C_0 сер. 6101 испанских ж. д. (фиг. 64) и на эл/в $1C_0-C_0-C_0-C_01$ ж. д. Чикаго — Мильвоки — С.-Поль (фиг. 65).

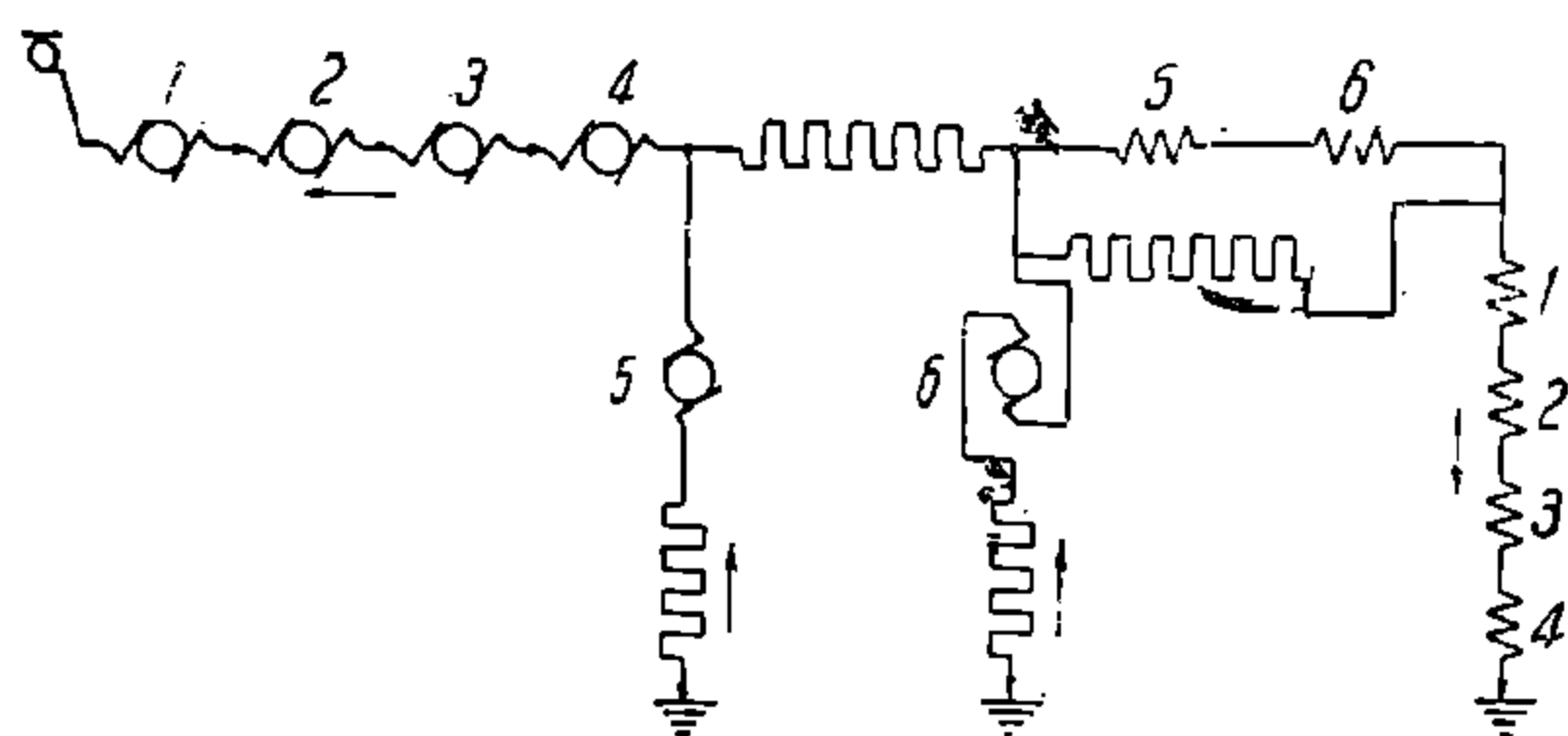
Использование ТД в качестве возбuditелей имеет весьма существенные недостатки: дв-ли, используемые в качестве возбuditелей, развивают лишь незначительный тормозной момент, т. к. должны иметь всегда слабое возбуждение. Кроме того всегда уменьшается число возможных комбинаций включения дв-лей, остающихся в качестве генераторов, и соответственно сокращается диапазон скоростей, на к-рых возможно рекупера-

тивное торможение. Для схемы по фиг. 64 вообще возможно лишь последовательное включение 5 дв-лей, и рекуперация применима только на низких скоростях.

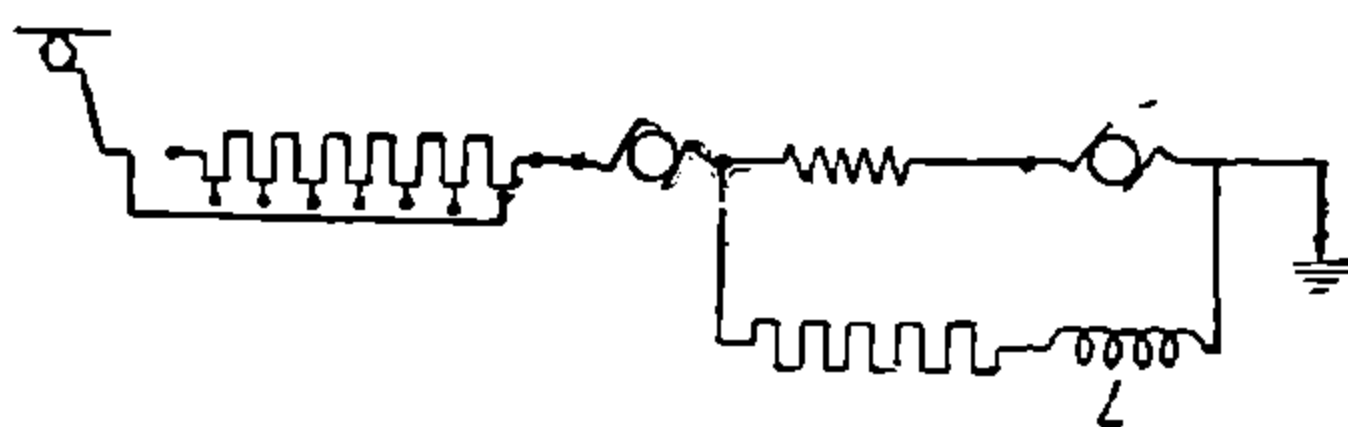
7) Влияние нестационарных явлений. Противокомпаундная характеристика ТД на режиме рекуперации смягчает влияние лишь сравнительно медленных колебаний напряжения в сети, когда нестационарные явления в схеме могут не приниматься во внимание. При быстрых же изменениях напряжения в параллельных цепях нек-рых схем возможно разветвление токов по иному закону, чем это имело бы



Фиг. 64



Фиг. 65



Фиг. 66

место при соответствующем установившемся режиме, и свойства противокомпаундной схемы могут нарушаться. В этом отношении как раз особенно неблагоприятна наиболее распространенная схема с последовательным включением возбuditеля по фиг. 54, где ветвь через стабилизирующее сопротивление представляет сопротивление чисто омическое, в то время как др. ветвь, через обмотку возбуждения и возбuditель, обладает значительной самоиндукцией. При резком падении напряжения ток рекуперации будет возрастать в первый момент исключительно по стабилизирующему сопротивлению, а ток возбуждения ТД будет оставаться неизменным, т. е. при нестационарных явлениях схема теряет свои противокомпаундные свойства и резкие колебания напряжения сопряжены со значительными толчками нагрузки.

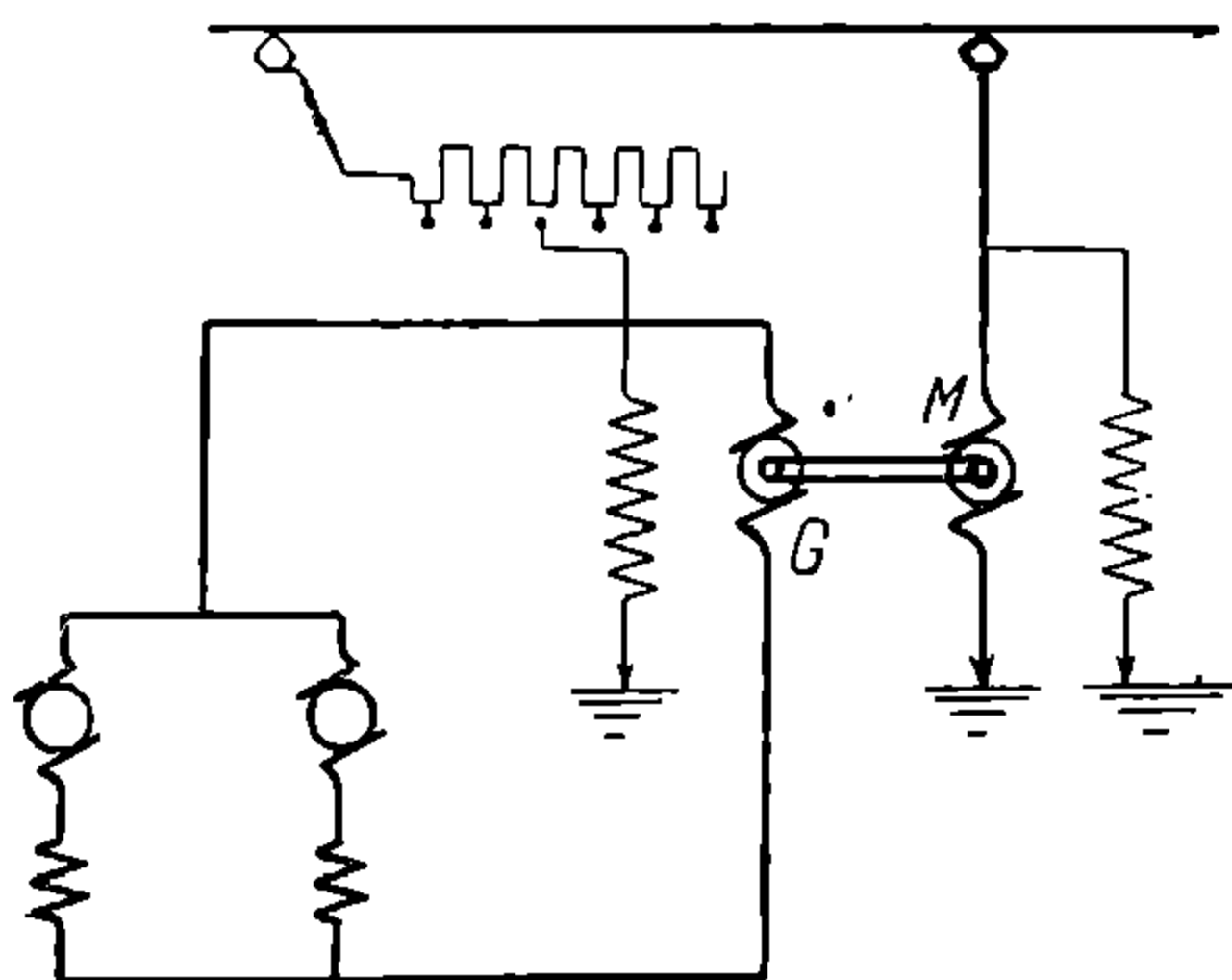
Это явление сходно с влиянием колебаний напряжения сети на дв-ль, обмотка возбуждения к-рого для ослабления поля шунтирована омическим сопротивлением (см. стр. 156), с той разницей, что в рассматриваемой рекуперативной схеме невозможен случай полного размагничивания дв-ля под нагрузкой, имеющий место в схеме шунтировки поля при отскоке пантографа, т. к. и при отрыве пантографа возбуждение дв-ля сохраняется и даже усиливается. Этим объясняется возможность практического применения схемы по фиг. 54 и без специальных мероприятий, обеспечивающих правильное разветвление токов.

Однако такие мероприятия безусловно полезны. В качестве одного из них может служить включение индуктивного шунта L последовательно со стабилизирующим сопротивлением (фиг. 66). В схеме по фиг. 59 роль такого индуктивного шунта выполняет мотор-стабилизатор, к-рый, т. о., помимо прочих ценных свойств, улучшает схему в отношении работы ее при нестационарных явлениях.

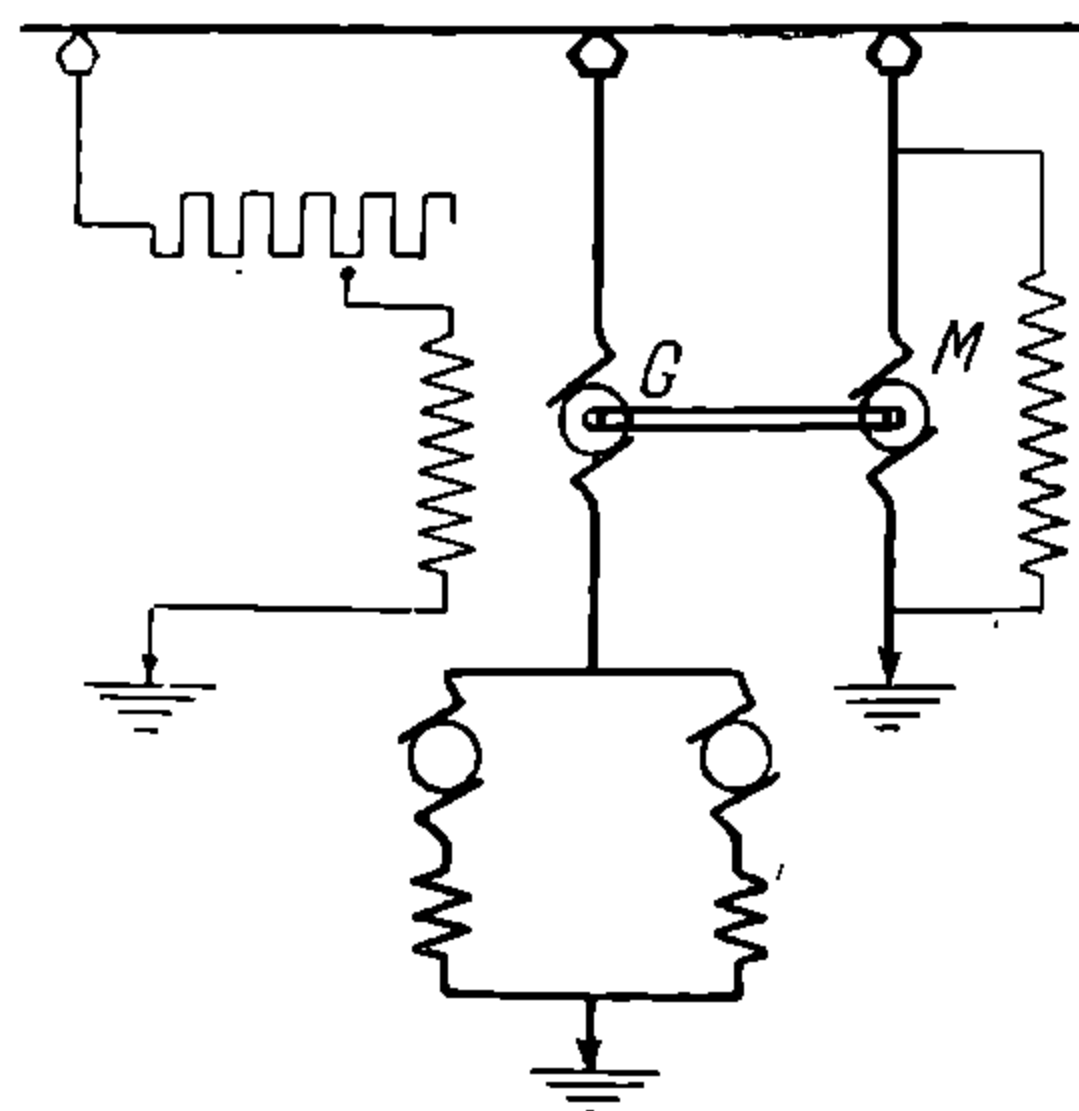
5. БЕЗРЕОСТАТНЫЙ ПУСК

Безреостатный пуск, т. е. система пуска и регулирования скорости ТД без потерь в пусковых реостатах, представляет интерес как с точки зрения уменьшения расхода энергии, так и с точки зрения упрощения схемы и аппаратуры управления эл/в и м/в. Однако безреостатный пуск осуществляется лишь посредством громоздких вольтопреобразующих агрегатов или вольтодобавочных машин, вследствие чего системы безреостатного пуска для эл. подвижного состава магистральных ж. д., где пусковые потери незначительны, до последнего времени не находят себе применения. Простейшим разрешением проблемы безреостатного пуска является применение вольтопреобразующего МГ по схеме

фиг. 67. Пуск и регулирование скорости ТД здесь осуществляются путем регулирования с нуля напряжения генератора G шунтовым регулятором. Недостатком схемы является большая мощность МГ, равная мощности ТД, т. е. установленная добавочная мощность равна здесь удвоенной мощности эл/в.

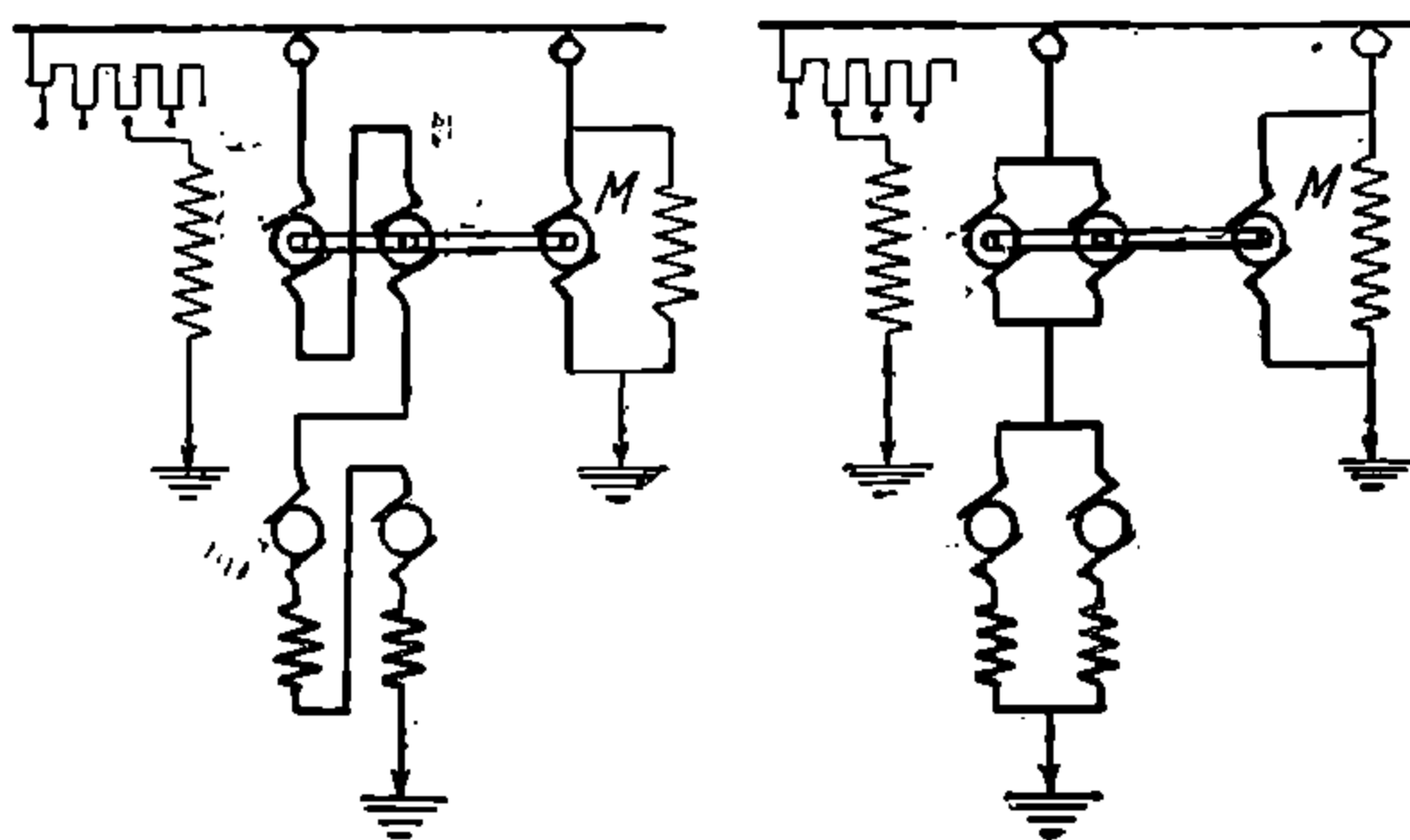


Фиг. 67

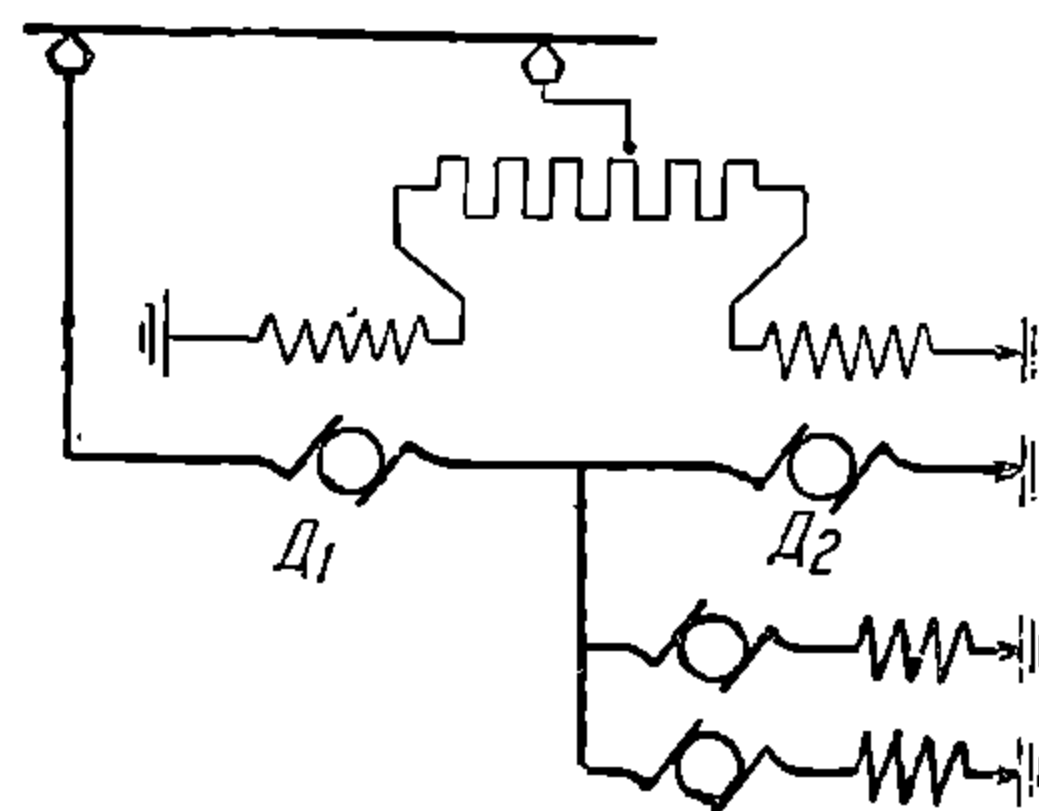


Фиг. 68

Другим — и более удачным — решением является применение для регулирования напряжения сети вольтодобавочного агрегата, состоящего из генератора G и мотора M



Фиг. 69

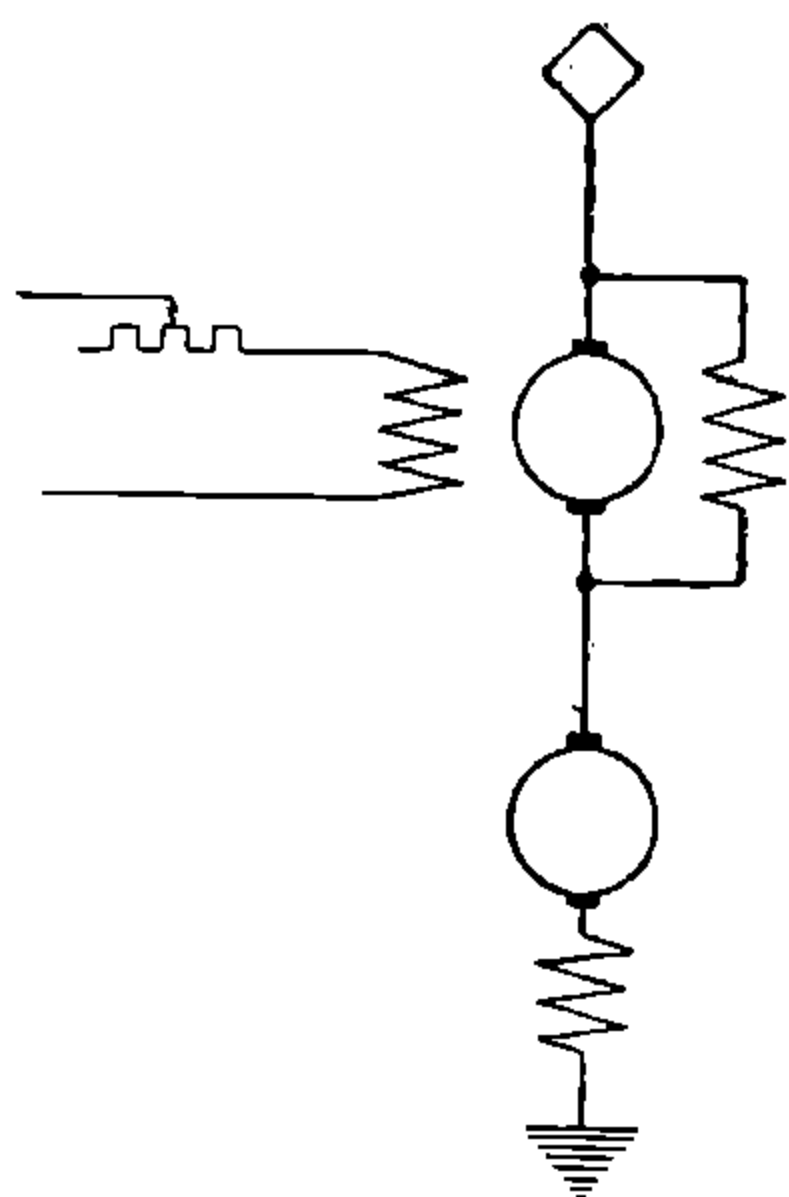


Фиг. 70

(фиг. 68 и 69). В начале пуска вольтодобавочная машина развивает эдс, направленную против тока ТД и почти компенсирующую напряжение сети. Далее по мере увеличения

скорости возбуждение вольтодобавочной машины уменьшается и эдс ее падает, а напряжение на ТД соответственно повышается, пока при полном выключении возбуждения напряжение на ТД не достигает напряжения сети. После этого вольтодобавочная машина м. б. выключена. Преимуществом такой системы является то, что полную мощность ТД вольтодобавочный агрегат развивает только в первый момент пуска, далее же преобразуемая им мощность уменьшается и при работе ТД по автоматической характеристике с нормальным напряжением на коллекторе падает до нуля, т. е. в этом случае требуется агрегат меньшей мощности, чем в схеме по фиг. 66, т. к. он м. б. рассчитан лишь на пусковой режим. Дальнейшее уменьшение мощности вольтодобавочного агрегата достигается путем переключения дв-лей при пуске. Напр., в схеме по фиг. 69 дв-ли имеют 2 включения, и здесь имеются 2 скорости при полном выключении вольтодобавочного агрегата.

На фиг. 70 приведена принципиальная схема 3-го метода безреостатного пуска с использованием для регулирования напряжения вольтоделительного агрегата $D_1 D_2$.



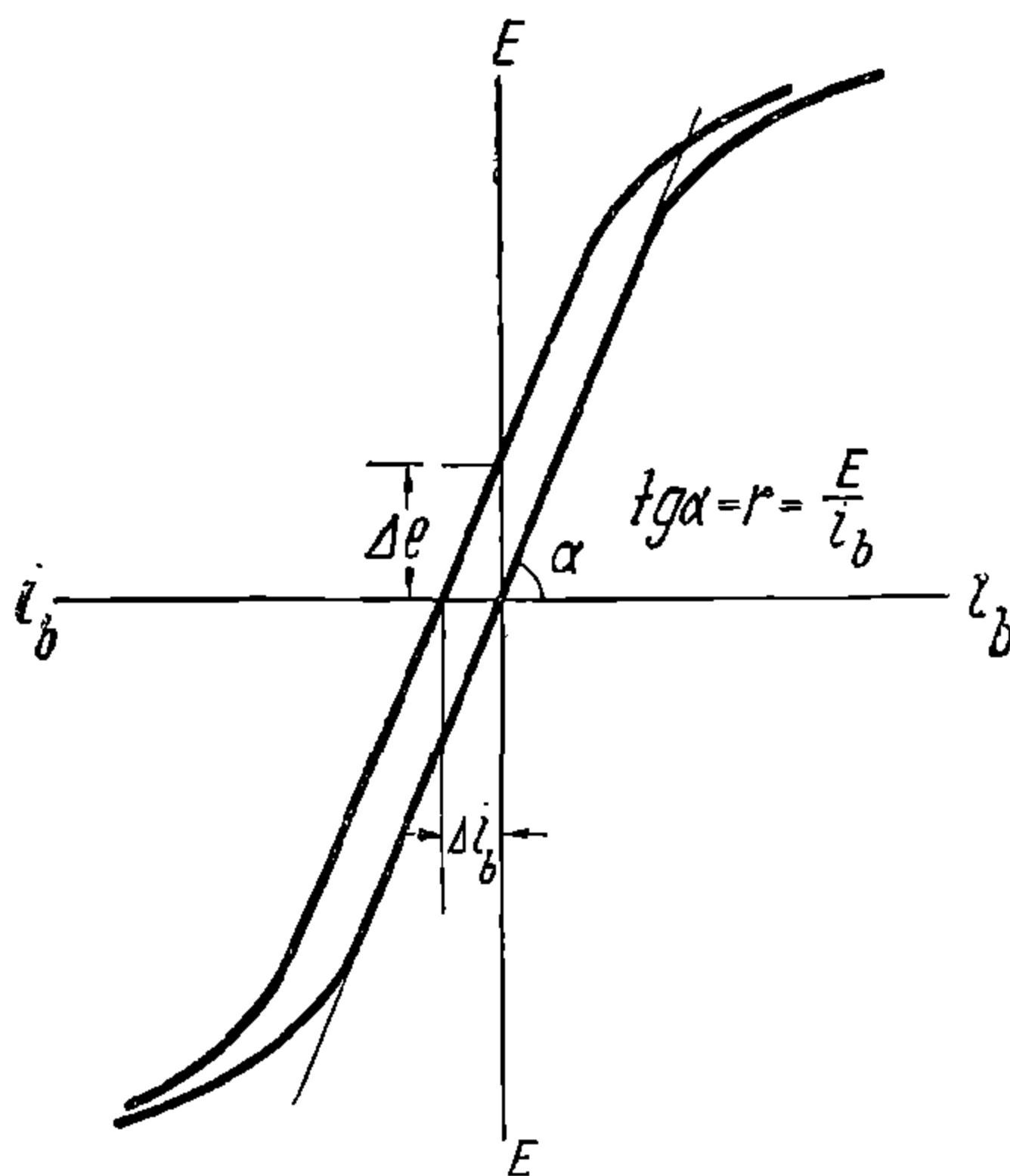
Фиг. 71

На фиг. 71 приведена принципиальная схема безреостатного пуска компании STAR, которая обладает свойством поддерживать постоянной силу тока в цепи ТД

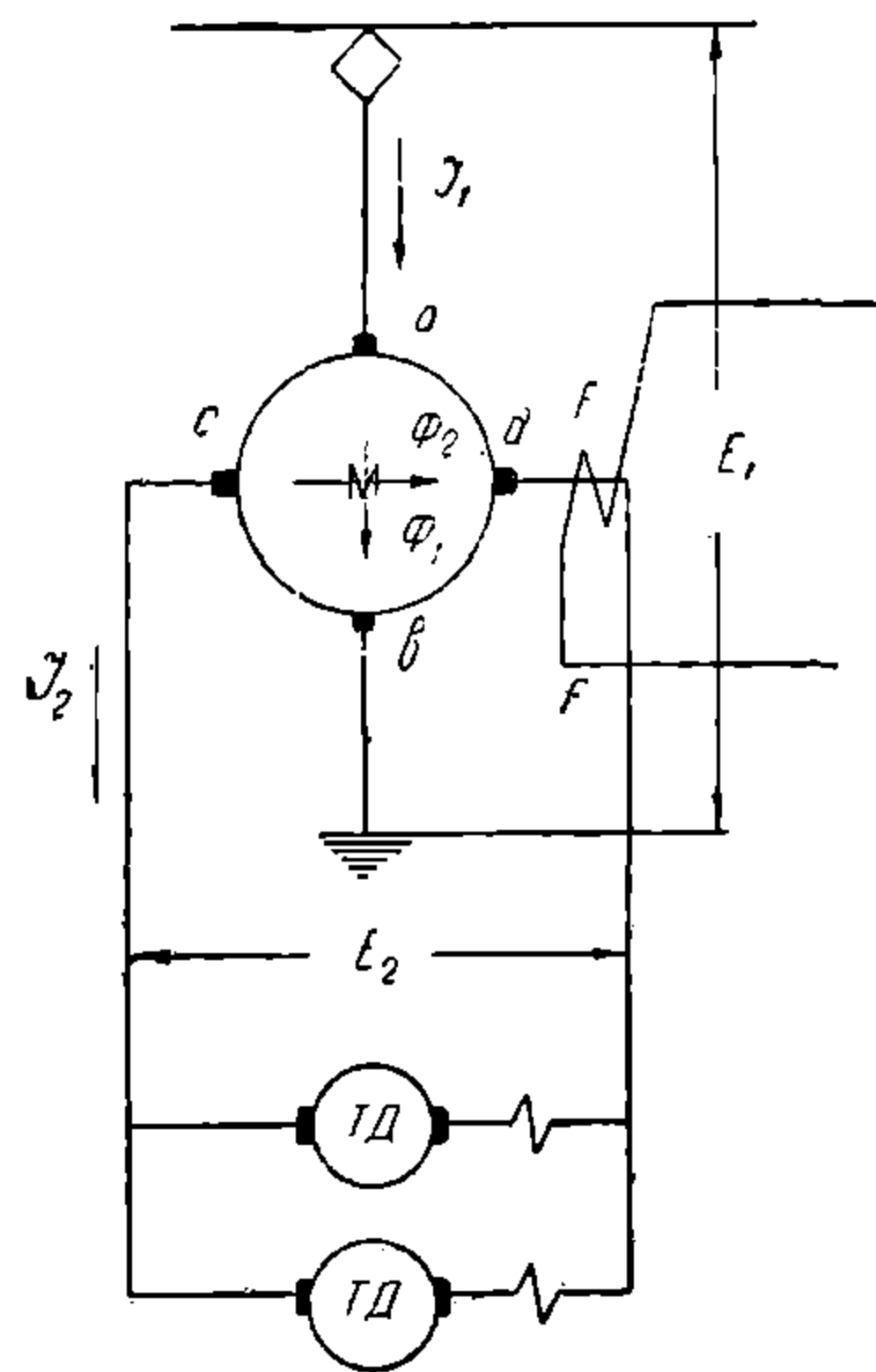
автоматизируя т. о. процесс пуска. Вольтодобавочная машина в этой схеме имеет 2 обмотки возбуждения: шунтовую, питаемую от напряжения на якоре вольтодобавочной машины, и независимую, к-рая служит для регулирования пускового тока. Число витков и сопротивление шунтовой обмотки подобраны так, что прямая, изображающая зависимость между напряжением на клеммах этой обмотки и током в ней, совпадает с прямолинейным участком характеристики вольтодобавочной машины,—эда в ф-ии тока шунтового возбуждения (фиг. 72). Если такое совпадение имеет место, то вольтодобавочная машина будет обладать свойством уравнивать любое внешнее напряжение, к-рое не выходит за пределы прямолинейного участка характеристики. Введением независимого возбуждения, действующего против шунтового, напряжение вольтодобавочной машины понижается на нек-рую величину Δe , и в цепи устанавливается ток:

$$I = \frac{\Delta e}{R},$$

где R — сопротивление цепи. Разность напряжений Δe остается все время постоянной, пока вольтодобавочная машина работает на прямолинейном участке кривой намагничивания, поддерживая постоянным пусковой ток. Регулирование пускового тока достигается регулированием тока в обмотке независимого возбуждения вольтодобавочной машины. Недостатком этой системы является сильное самопроизвольное влияние на пусковой режим нек-рых факторов, как то: изменение сопротивления шунтовой и независимой обмоток возбуждения с их нагреванием.



Фиг. 72



Фиг. 73

Более удачно автоматизация безреостатного пуска достигнута в схеме, известной под названием системы «метадин». Принцип работы вольтопреобразующей машины системы «метадин» иллюстрируется фиг. 73. Машина имеет 2 системы щеток, одна из к-рых a и b присоединена к постоянному напряжению сети E_1 , а др.—к ТД. Ток, протекающий из сети, через щетки a и b создает поток Φ_1 . При вращении якоря «метадина» этим потоком наводится эдс E_2 на щетках c и d , под действием к-рой во вторичной цепи, образуемой якорем «метадина» и ТД, протекает ток I_2 . Ток I_2 в свою очередь создает магнитный поток Φ_2 , к-рым наводится противоэдс E_1 на щетках a и b , уравнивающая напряжение сети. Если пренебречь омическим сопротивлением якоря «метадина» и принять магнитопровод его ненасыщающимся, то:

$$E_1 = C_1 \Phi_2$$

$$E_1 = C_2 I_2;$$

или

НТБ
ДНУЗТ

$$E_2 = C_1 \Phi_1; \quad (c)$$

$$E_2 = C_2 I_1. \quad (d)$$

Т. к. $E_1 = \text{const}$, то из ур-ия (b) следует, что $I_2 = \text{const}$, т. е. пусковой ток ТД остается постоянным. Из ур-ия (d) следует, что первичный ток пропорционален вторичному напряжению E_2 , но при постоянном токе I_2 :

$$E_2 = Cn,$$

где n —число оборотов ТД, или:

$$I_1 = \frac{C}{C_1} n.$$

Мощность, забираемая из сети, равна:

$$E_1 I_1 = E_1 \frac{C}{C_2} n$$

и равна мощности ТД:

$$E_2 I_2 = E_1 \frac{C}{C_2} n,$$

т. е. вся мощность передается во вторичную цепь и свободной мощности на валу «метадина» не имеется, а следовательно, для привода «метадина» требуется лишь небольшой мотор, покрывающий его механические и железные потери.

Регулирование пускового тока достигается добавлением обмотки FF , сила тока в к-рой может произвольно регулироваться. Если ампер-витки этой обмотки AW , то:

$$E_1 = C_2 I'_2 + C_3 AW$$

и

$$I'_2 = \frac{E_1 - C_3 AW}{C_2}$$

Все рассмотренные системы безреостатного пуска м. б. использованы для управления ТД при рекуперации. Для обеспечения устойчивого генераторного режима работы ТД последние д. б. включены по одной из схем, рассмотренных выше. Благодаря регулированию напряжения до нуля и даже до некого отрицательного значения торможение возможно до полной остановки поезда.

Система «метадина», обладая свойством поддерживать вторичный ток постоянным, делает устойчивой работу серийного генератора; устойчивый режим рекуперации получается без изменения системы возбуждения ТД: требуется лишь реверсивное включение обмоток возбуждения. Для стабилизации параллельной работы серийных генераторов здесь также необходимо перекрестное или циклическое включение обмоток возбуждения.

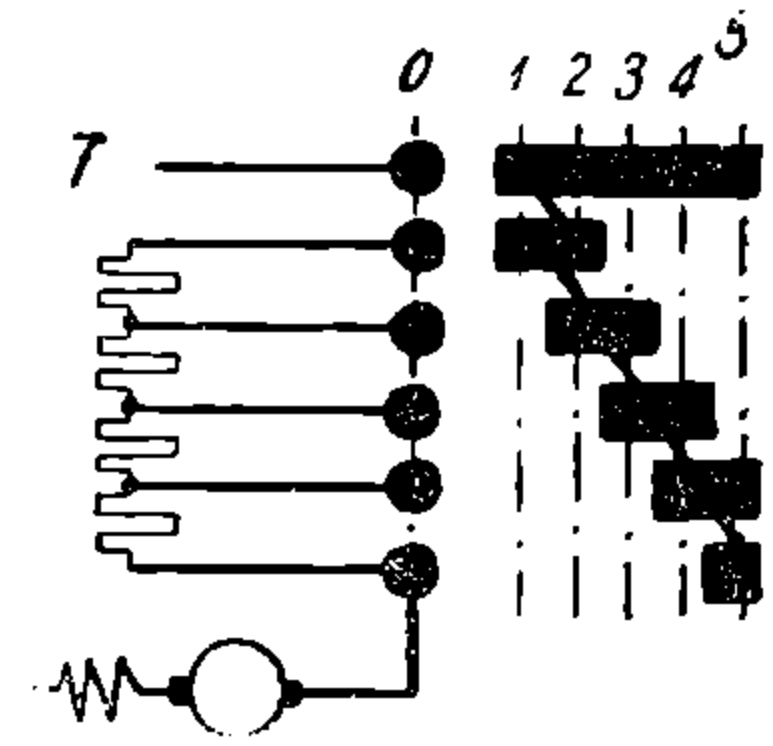
II. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Система приборов, посредством к-рых производятся переключения в схеме эл/в и м/в, необходимые для регулирования числа оборотов и крутящего момента ТД, наз. аппаратурой управления.

Аппараты управления приводятся в действие или непосредственно рукой машиниста, или посредством различного рода включающих и переключающих механизмов, действием к-рых машинист управляет на расстоянии, обычно с помощью специальной эл. схемы, т. н. цепи тока управления. Первая система наз. системой непосредственного управления, вторая — системой косвенного или дистанционного управления.

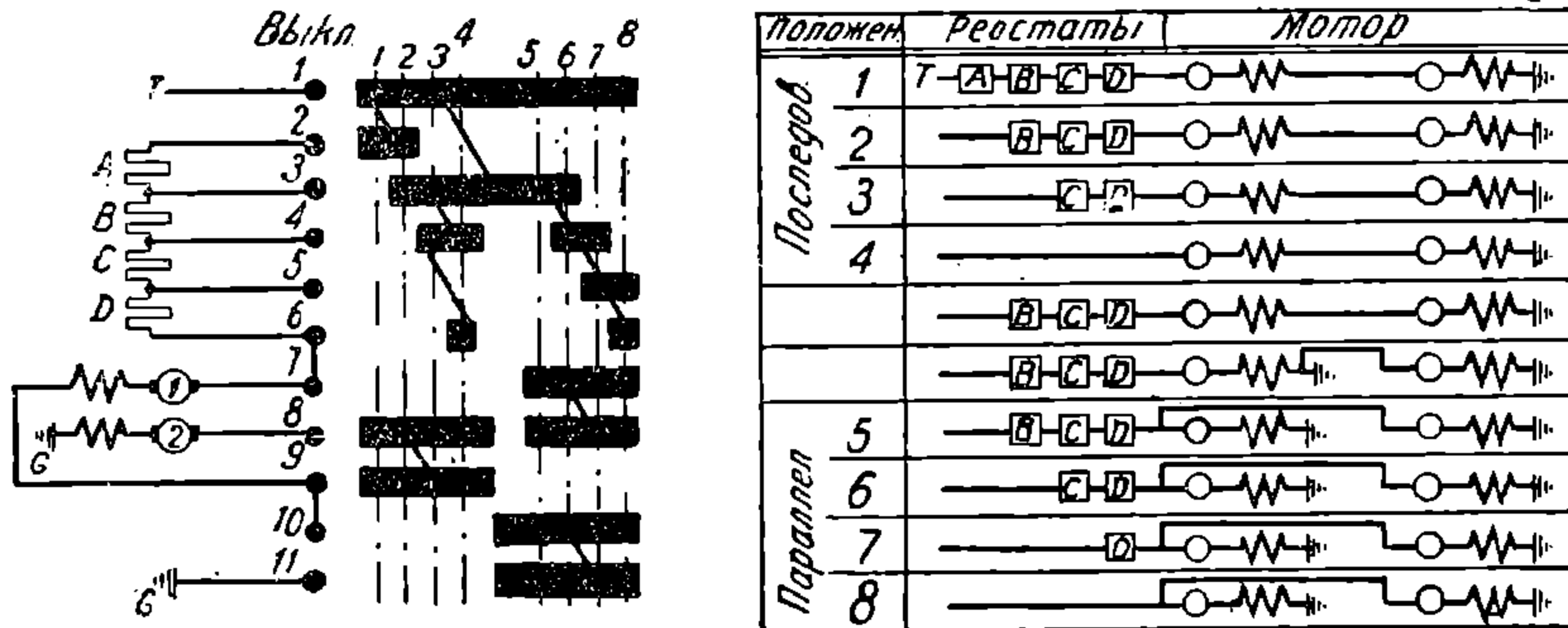
1) Система непосредственного управления применяется лишь на подвижном составе малой мощности и при н/н сети, обычно не свыше 750 В. Аппаратом управления в этой системе служит т. н. силовой контроллер, к-рым непосредственно производятся все необходимые при пуске переключения в схеме ТД, при чем все эти манипуляции в необходимой последовательности получаются путем простого перемещения рукояток контроллера.

На фиг. 74 приведена наиболее простая схема непосредственного управления для одного нереверсируемого серийного дв-ля. Вертикальный ряд точек изображает пальцы контроллера, справа от к-рых дана развертка барабана. Вращение барабана соответствует на схеме перемещению его развертки справа налево. Вертикальными пунктирными линиями отмечены рабочие положения барабана, или т. н. позиции контроллера. На 1-й позиции контроллера, т. е. при повороте его барабана до совмещения 1-й пунктирной оси развертки с осью пальцев, соединяются между собой верхний и второй пальцы, в результате чего происходит включение дв-ля под напряжение сети последовательно со всеми секциями пускового реостата. На след. позициях постепенно выключаются отдельные секции реостата до полного выключения пускового сопротивления на последней, 5-й, позиции.



Фиг. 74

На фиг. 75 приведены схема и развертка контроллера для управления двумя ТД с переключением их с последовательного на параллельное включение по способу КЗ. Контроллер в этой схеме уже более сложен, — имеет большее число пальцев и большее число позиций, — по 4 на последовательном и параллельном включении дв-лей. Специальных переходных позиций, к-рые соответствуют различным стадиям

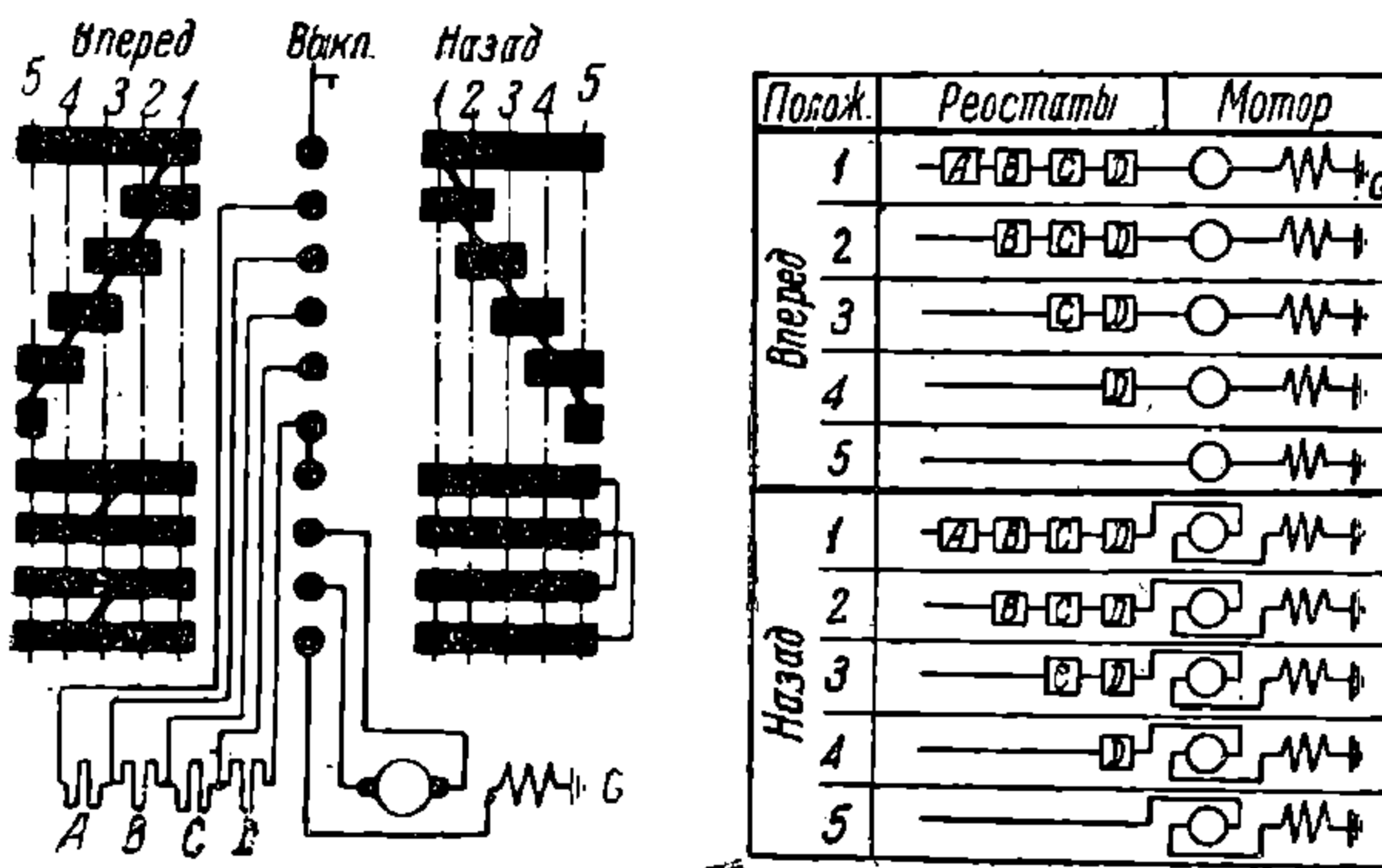


Фиг. 75

включений силовой схемы в процессе перехода с последовательного на параллельное соединение, контроллер не имеет, и машинист сразу переводит рукоятку контроллера с 4-й позиции, соответствующей последнему соединению дв-лей без пусковых сопротивлений,

на 5-ю, — параллельное соединение дв-лей с включением в цепь пускового сопротивления. Необходимая последовательность операций переключения достигается надлежащей последовательностью сбегания и набегания к-тных пальцев на сегменты во время движения барабана с 4-й позиции на 5-ю.

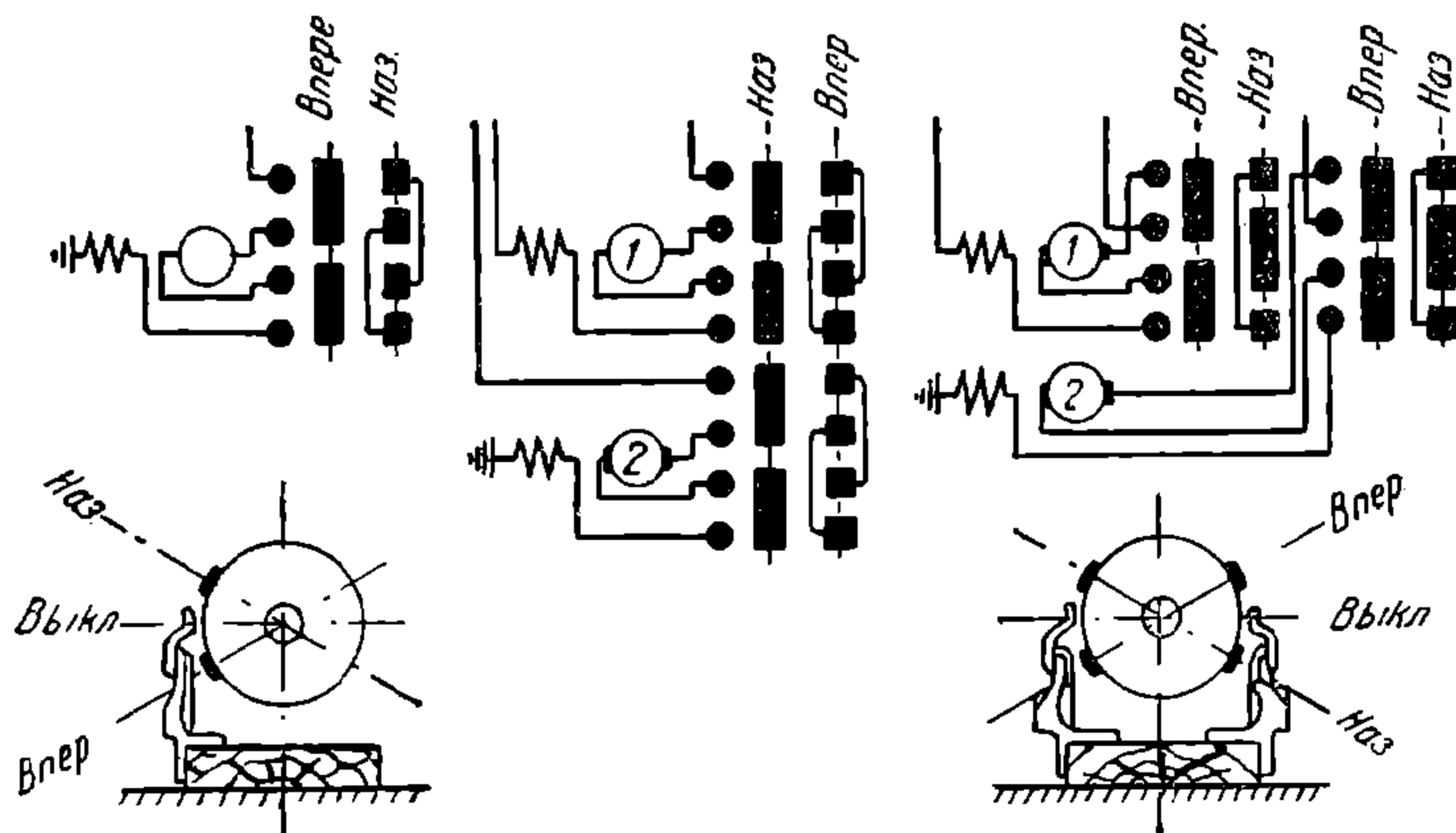
Для реверсирования дв-лей применяется специальный реверсивный контроллер (фиг. 76), барабан к-рого имеет двойное число позиций и 2 группы сегментов, — каждую для одного из направлений движения вперед и назад. Однако в



Фиг. 76

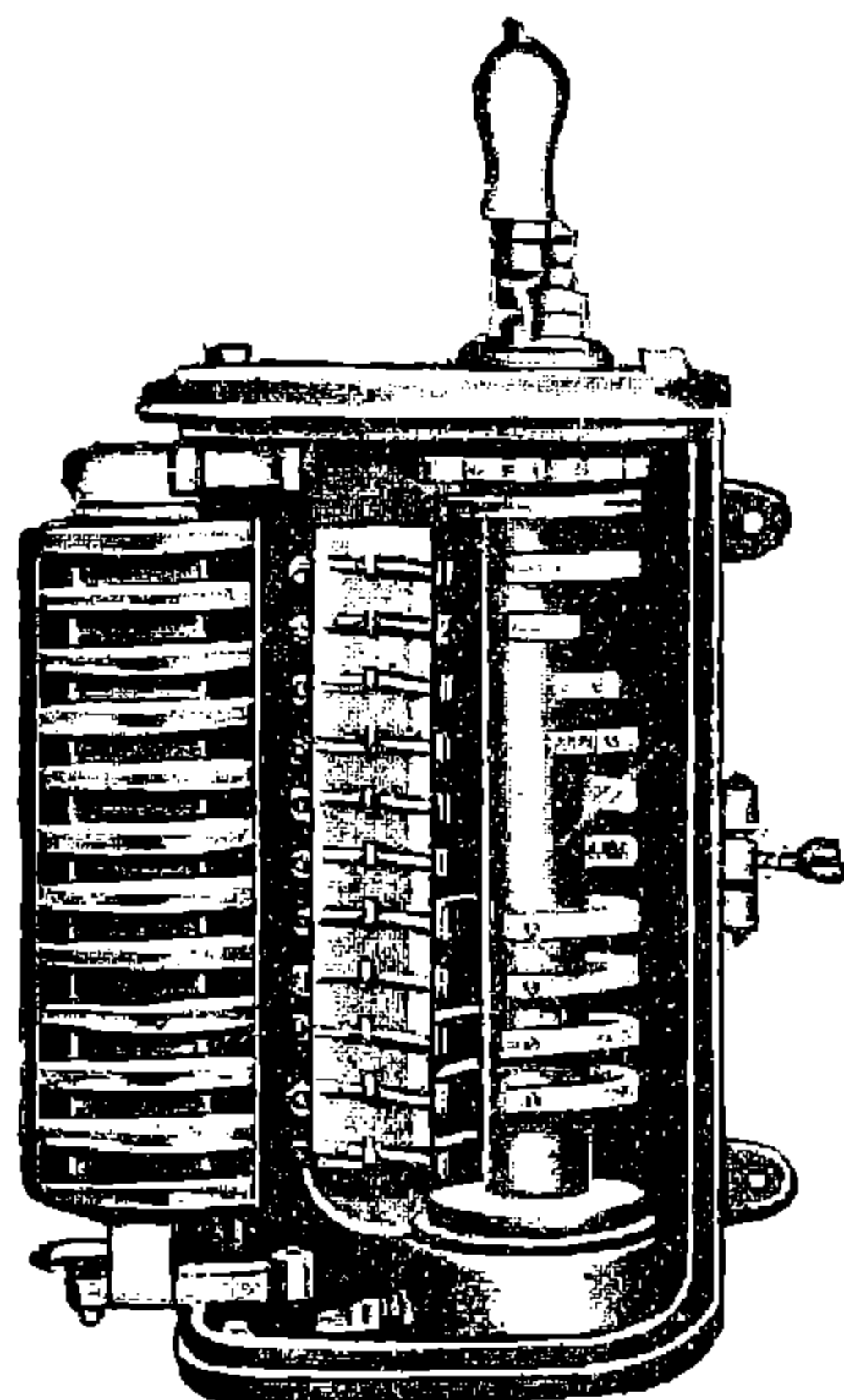
сложных схемах, с большим числом позиций барабана контроллера, двойное число позиций весьма усложняет и утяжеляет конструкцию контроллера. Поэтому в современных тяговых контроллерах почти исключительно применяется специальный т. н. реверсивный барабан, к-рый размещается в общем каркасе с главным барабаном, но

имеет самостоятельную рукоятку. Развертка такого реверсивного барабана для реверсирования дв-лей 1 и 2 приведена на фиг. 77.

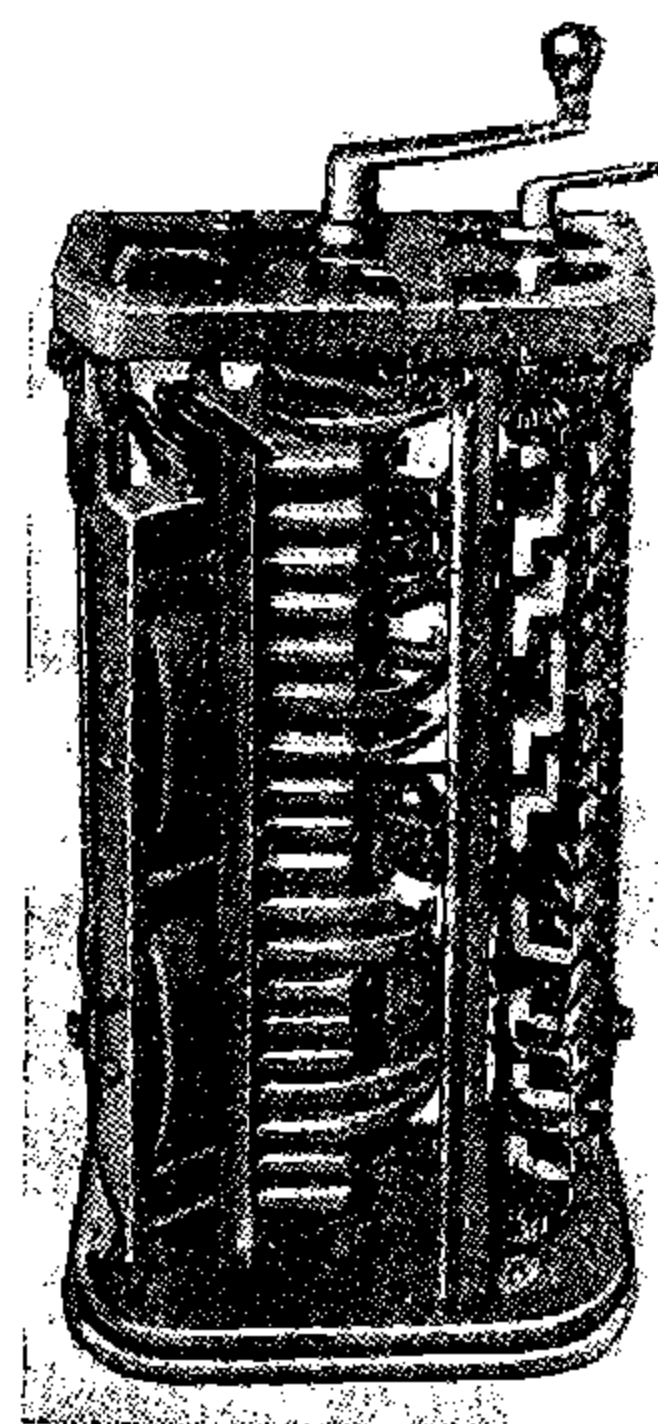


Фиг. 77

Для переключения схемы на эл. торможение используется главный барабан контроллера, при чем при наличии тормозного режима главный барабан имеет специальные тормозные позиции в обратном направлении вращения и нек-рое количество дополнительных пальцев и сегментов, необходимых для переключений схемы с моторного на тормозной режим работы. На фиг. 78 приведен контроллер с «осевым типом» искрогасительной катушки, к-рая расположена в нижней части контроллера, под главным барабаном, и концентрически относительно его вала. Магнитопроводом служат железный вал глав-



Фиг. 78



Фиг. 79

ного барабана и навесной железный кожух. Магнитное поле направлено перпендикулярно к валу барабана, и дуга, образующаяся между сегментом и пальцем, разрывается под действием этого поля вверх или вниз. Во избежание переброса дуги между соседними пальцами к-тные пальцы и сегменты отделяются друг от друга перегородками из огнестойкого изоляционного материала. Более совершенная система магнитного дутья применена в контроллере, изображенном на фиг. 79. Здесь имеются 2 самостоятельные искрогасительные катушки, к-рые создают магнитное поле вдоль вала барабана (фиг. 80), и дуга разрывается в горизонтальной плоскости. Основным недостатком системы непо-

средственного управления является невозможность применения в/н в к-тном проводе, к-рое как максимум м. б. доведено до 1200 V, обычно же не превышает 600—750 V.

2) Д и с т а н ц и о н н ы е с и с т е м ы у п р а в л е н и я. В эл. подвижном составе магистральных ж. д. и современных метрополитенов находят применение почти исключительно системы дистанционного управления, к-рые обеспечивают наибольшую надежность в эксплуатации при мощностях современных м/в в несколько сот, а эл/в в 2000 kW и более и при в/н сети—1500 и 3000 V.

Аппараты управления в этих системах приводятся в действие не непосредственно усилием руки машиниста, а с помощью различного рода включающих и переключающих механизмов, действием к-рых машинист управляет на расстоянии через специальную эл. схему н/н, т. н. цепь управления. Наличие такой специальной эл. схемы — цепи

управления — весьма упрощает управление сложными силовыми схемами современных м/в и эл/в, оборудованных мощными в/в дв-лями и имеющих весьма большое число ступеней скорости на моторном и часто на генераторном режиме работы. Кроме того дистанционные системы дают возможность совершенно изолировать машиниста от соприкосновения с в/в аппаратами во время движения и упрощают размещение аппаратуры управления в стесненных габаритах подвижного состава. Наконец, при дистанционных системах легко решается вопрос управления несколькими м/в или эл/в с любого поста управления одного из работающих в параллель эл/в или м/в, при чем в последнем случае управление возможно даже не с моторного, а с любого прицепного ваг., оборудованного постом управления. В силу этого последнего свойства дистанционных систем они получили название системы «соединенных» или «многих единиц» (multiple unit). Однако этот термин имеет скорее историческое значение, т. к. дистанционные системы первоначально возникли именно как решение задачи управления многими моторными поездными единицами с одного поста управления. В настоящее же время это является лишь одним из ряда пр. ценных качеств дистанционных систем.

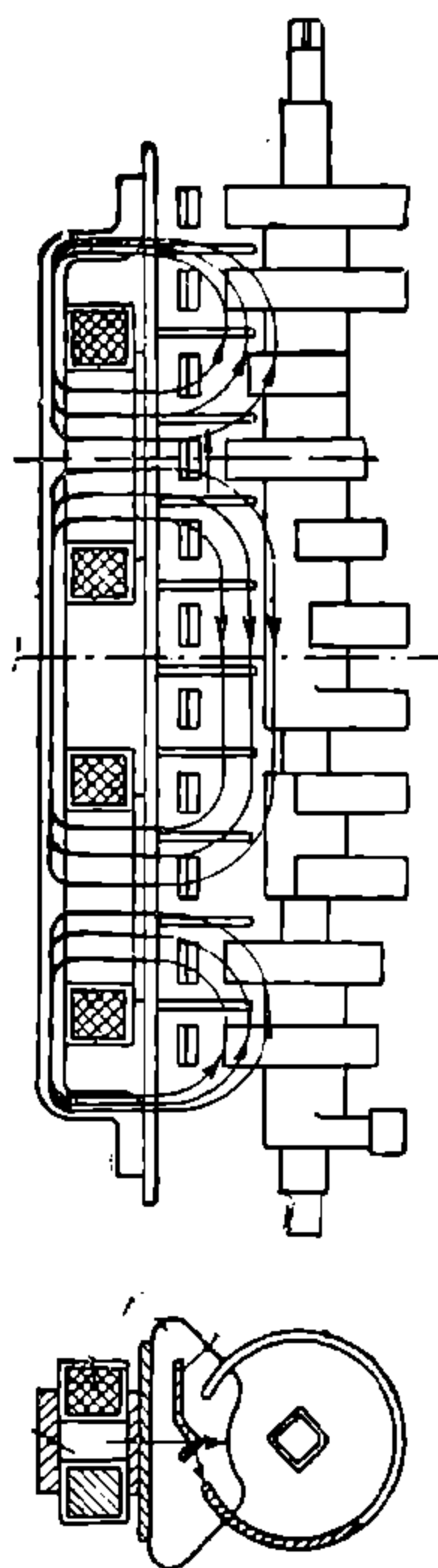
Дистанционные системы управления м. б. подразделены на: 1) системы управления с ИК; 2) системы управления с ГК и 3) смешанные системы.

В первом случае аппаратура управления состоит из некоторого количества конструктивно вполне самостоятельных выключателей, или т. н. ИК, с эл-магнитным или эл-пневматическим включающим механизмом, каждым из к-рых производится простейшая операция: замыкание и размыкание между собой 2 каких-либо точек схемы. Катушки эл-магнитных включающих механизмов, или ЭК, управляющих пневматическими включающими механизмами к-ров, питаются током н/н 50—100 V, напр., от

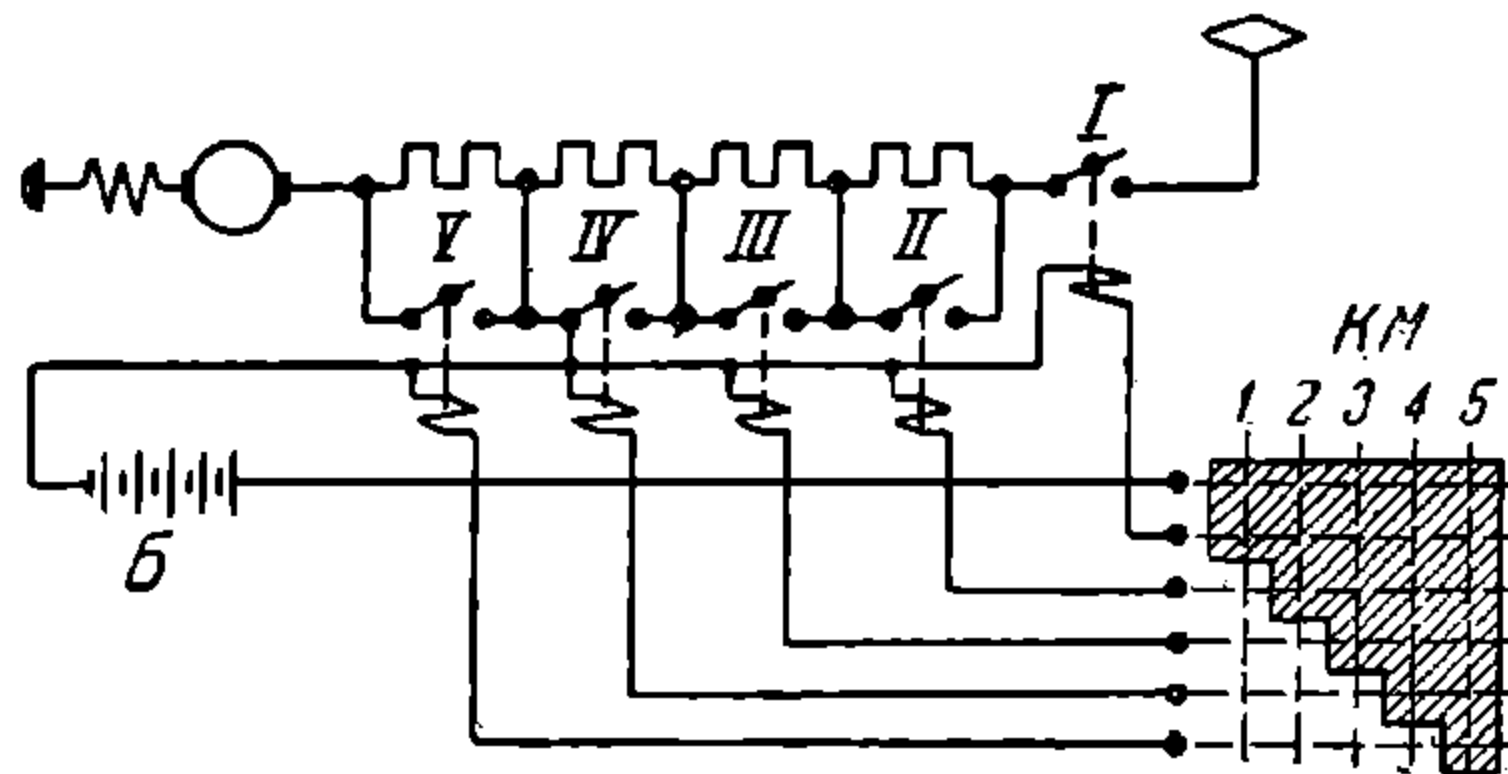
АБ или специального генератора.

Для включения к-ра достаточно замкнуть цепь питания катушки включающего механизма, и пока катушка находится под током, к-р будет включен; для отключения к-ра достаточно прервать цепь. Т. о., все необходимые переключения в силовой схеме выполняются путем включения и выключения катушек соответствующих к-ров. Управление эл/в или м/в сводится к переключениям в цепи управления, к-рые выполняются посредством КМ, принципиально сходным с силовым контроллером непосредственной системы управления, но компактной и легкой конструкции благодаря н/н и малым силам тока цепи управления.

Простейшая схема реостатного пуска 1 серийного дв-ля, приведенная на фиг. 73, при непосредственной системе управления, при дистанционной системе с ИК примет вид схемы по фиг. 81. I, II V ИК, катушки включающих механизмов к-рых питаются от источника



Фиг. 80



Фиг. 81

НТБ
ДУЗТ

тока н/н Б. Цепи включающих катушек замыкаются КМ. На 1-й позиции контроллера замкнута цепь только катушки к-ра I, т. е. включен только к-р I, и дв-ль включен под напряжение сети последовательно с полным пусковым сопротивлением. На последующих позициях постепенно замыкаются цепи катушек к-ров II, III и т. д. и соответствующие к-ры включаются, замыкая накоротко секции пускового реостата.

Характерной особенностью системы управления с ИК является то, что строго определенная последовательность действия к-ров не всегда обеспечивается надлежащей разверткой контроллера, и для обеспечения необходимой последовательности приходится применять эл. блокировку к-ров между собой. Такая эл. блокировка осуществляется путем размещения на к-ре помимо главного к-та, замыкающего силовую схему, системы вспомогательных к-тов, к-рые включаются последовательно с включающими катушками др. к-ров. Т. о., включение этих последних ставится в зависимость от положения данного к-ра.

Эл. блокировка применяется не только между к-рами, но и с пр. аппаратами эл/в, и является одним из факторов, обеспечивающих максимальную надежность действия системы в эксплуатации. Впрочем следует отметить, что при большом количестве таких блокировок в сложных схемах они иногда сами являются причиной неисправностей системы, вследствие, напр., загрязнения их к-тных частей. Поэтому индивидуальной системе нередко предпочитают групповые системы управления.

Под групповой системой понимается управление посредством т. н. ГК, к-рый представляет систему выключателей к-рного типа, объединенных в единый аппарат и управляемых общим кулачковым валом. ГК приводится в действие эл. или эл-пневматическим сервомотором, управляемым дистанционно с постов управления. Преимуществом групповой системы является то, что последовательность действия к-ров строго определяется разверткой кулачкового вала без эл. блокировки, усложняющей цепь управления. Однако при большом числе к-ров и числе позиций кулачковые шайбы ГК получаются чрезмерно большого диам., и ГК приобретает неконструктивно большие размеры. Поэтому групповые системы находят применение лишь в более простых схемах м/в. В сложных же схемах эл/в чисто групповые системы встречаются редко.

Типичной для современных магистральных эл/в является смешанная, индивидуально-групповая система управления, в к-рой применяются как ИК, так и ГК, причем последний используется в качестве переключателя дв-лей с одного соединения на др. Такая система полностью сохраняет гибкость индивидуальной системы и вместе с тем освобождает цепь управления от обилия блокировочных к-тов, необходимых для правильной работы ИК при переходах с одного соединения дв-лей на др.

III. СХЕМЫ ЭЛЕКТРОВОЗОВ И МОТОРНЫХ ВАГОНОВ

Полная схема включения аппаратов и машин эл/в или м/в подразделяется на: 1) силовую схему ТД; 2) схему цепи управления ТД; 3) силовую схему вспомогательных машин; 4) схему управления вспомогательных машин; 5) пр. вспомогательные цепи.

Первая представляет схему соединения ТД с силовой аппаратурой или с силовыми токонесущими частями аппаратов управления и защиты ТД.

Вторая образуется эл. соединениями н/в аппаратуры управления и н/в элементов силовых аппаратов управления и защиты, как-то: катушек эл-магнитных к-ров и вентилях эл-пневматических к-ров, БК силовых аппаратов и т. п., и служит для дистанционного управления в/в силовой аппаратурой.

Третья образуется в/в вспомогательными машинами и аппаратами для управления ими и их защиты. К этой же схеме обычно относятся в/в отопление и в/в измерительные приборы.

Четвертая представляет н/в цепи для дистанционного управления в/в аппаратурой предыдущей схемы.

Пр. вспомогательные цепи включают: цепи освещения, н/в отопления, оборудование для питания н/в цепей—н/в генераторы, АБ, регуляторы напряжения и т. п.

1. СХЕМЫ СИЛОВОЙ ЦЕПИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Основные соединения аппаратов и машин силовой цепи ТД определяются след. данными: 1) числом дв-лей в схеме, 2) отношением нормального клеммового напряжения ТД к напряжению сети — E_k/E_c , 3) числом экономических скоростей, 4) способом перехода с одного соединения ТД на др., 5) системой эл. торможения.

Число дв-лей в схеме для м/в встречается 2 и 4. Число дв-лей в схеме равно числу дв-лей м/в: объединение в общую силовую схему дв-лей нескольких ваг. не практикуется.

ИТЬ
ДНУЗТ

2-моторные схемы встречаются, когда для повышения эксплуатационной гибкости поезда составляются из одних м/в. В этом случае мощность легко и конструктивно удобнее укладывается в 2 дв-ля на м/в. Нормальное напряжение на коллекторе в этом случае $E_k = E_c$, т. к. при этом возможны 2 соединения дв-лей.

Типичными для м/в являются 4-моторные схемы. Дв-ли применяются с $E_k = \frac{1}{2}E_c$, и каждые 2 дв-ля соединяются в постоянное последовательное включение. Схема дает 2 соединения с соотношением скоростей $\frac{1}{2}$ и 1. При $E_k = E_c$ для 4-моторной схемы возможны 4 соединения дв-лей с соотношением скоростей $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, но экономическая скорость, равная $\frac{1}{4}$ полной, при последовательном соединении всех дв-лей не имеет для м/в эксплуатационного значения, а осуществление ее связано с усложнением схемы и увеличением количества аппаратуры.

В схемах эл/в приходится иметь дело с 4, 6, 8 и, как исключение, с 12 дв-лями. Больше 8 дв-лей в общей схеме обычно не встречается из-за конструктивных затруднений и эксплуатационной нецелесообразности выполнения эл/в с числом осей более 8 в виде нераздельной тяговой единицы. Исключение представляют быстроходные эл/в со сдвоенными дв-лями, к-рые при 12 дв-лях (6 сдвоенных) имеют 6 сцепных осей.

Нормальное соотношение напряжений на коллекторе дв-ля и сети $E_k = \frac{1}{2}E_c$.

При $E_k = E_c$ число возможных соединений дв-лей на одно больше, чем при $E_k = \frac{1}{2}E_c$, но использование всех их в многомоторных схемах с 6 и 8 дв-лями чрезмерно усложняет схему, и соотношение экономических скоростей ($\frac{1}{6}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, 1 — для 6-моторной и $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ и 1 — для 8-моторной схемы), к-рые распределены весьма неравномерно, не оправдывает этого усложнения. При $E_k = \frac{1}{2}E_c$ соотношение скоростей: $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, 1 — для 6-моторной и $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1 — для 8-моторной, т. е. в первом случае получаются 3 совершенно равные ступени скорости, а во втором теряется лишь ступень скорости, равная $\frac{1}{8}$ наивысшей экономической скорости. Схемы с дв-лями, у к-рых напряжение на коллекторе равно напряжению сети, могут иметь смысл для эл/в на 1500 В с целью использования одних и тех же дв-лей для эл/в на 1500 и 3000 В, а также для маневровых эл/в, в к-рых лишняя безреостатная ступень с малой скоростью дает значительное уменьшение веса и габаритов пусковых сопротивлений.

Наиболее удобной схемой для магистральных эл/в является 6-моторная схема, к-рая при $E_k = \frac{1}{2}E_c$ дает 3 равномерно распределенные, безреостатные скорости.

Кроме того 6-моторная схема соответствует удобному в тяговом и конструктивном отношении 6-осному товарному эл/в и 3-осному быстроходному пассажирскому эл/в со сдвоенными дв-лями.

а) Схемы перехода с одного соединения двигателей на другое. Возможны 4 способа перехода с одного соединения дв-лей на др.: 1) переход с полным отключением цепи ТД, 2) с шунтированием дв-лей на сопротивление; 3) с КЗ дв-лей и 4) переход мостиком.

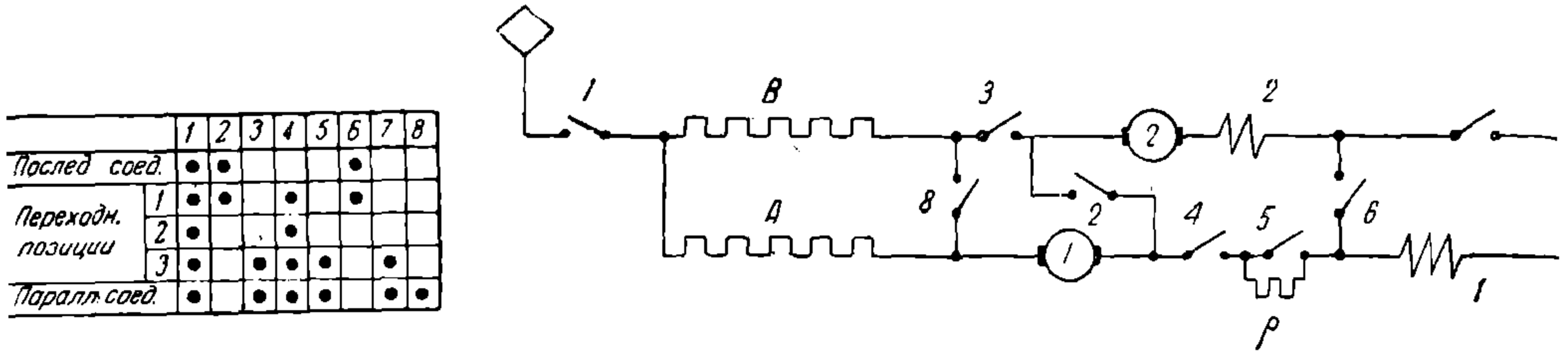
1) Переход с полным отключением ТД состоит в том, что в момент, непосредственно предшествующий переключению дв-лей отключателем, снабженным мощным искрогасительным приспособлением, производится полное отключение цепи дв-лей от напряжения сети, после чего дв-ли переключаются в новую схему соединения и вновь включаются под напряжение сети с предвключением пускового реостата. Преимуществом такого способа перехода является то, что аппараты, переключающие дв-ли с одного соединения на др., не работают под током. Однако в тяговом отношении этот способ обладает весьма существенным недостатком, к-рый особенно ощутителен для товарных эл/в, т. к. при разгоне эл/в на подъеме с большим прицепным весом хотя бы кратковременная полная потеря усилия тяги неизбежно вызывает «оттяжку», к-рая может привести к обрыву состава.

В м/в, особенно при больших ускорениях, резкая потеря тягового усилия весьма неприятна для пассажиров.

Эти недостатки перехода с полным отключением от сети заставили изыскивать иные методы, при к-рых в пер. перехода хотя бы частично сохранялось усилие тяги. Таким условиям удовлетворяют методы перехода с шунтированием на сопротивление и с КЗ дв-лей.

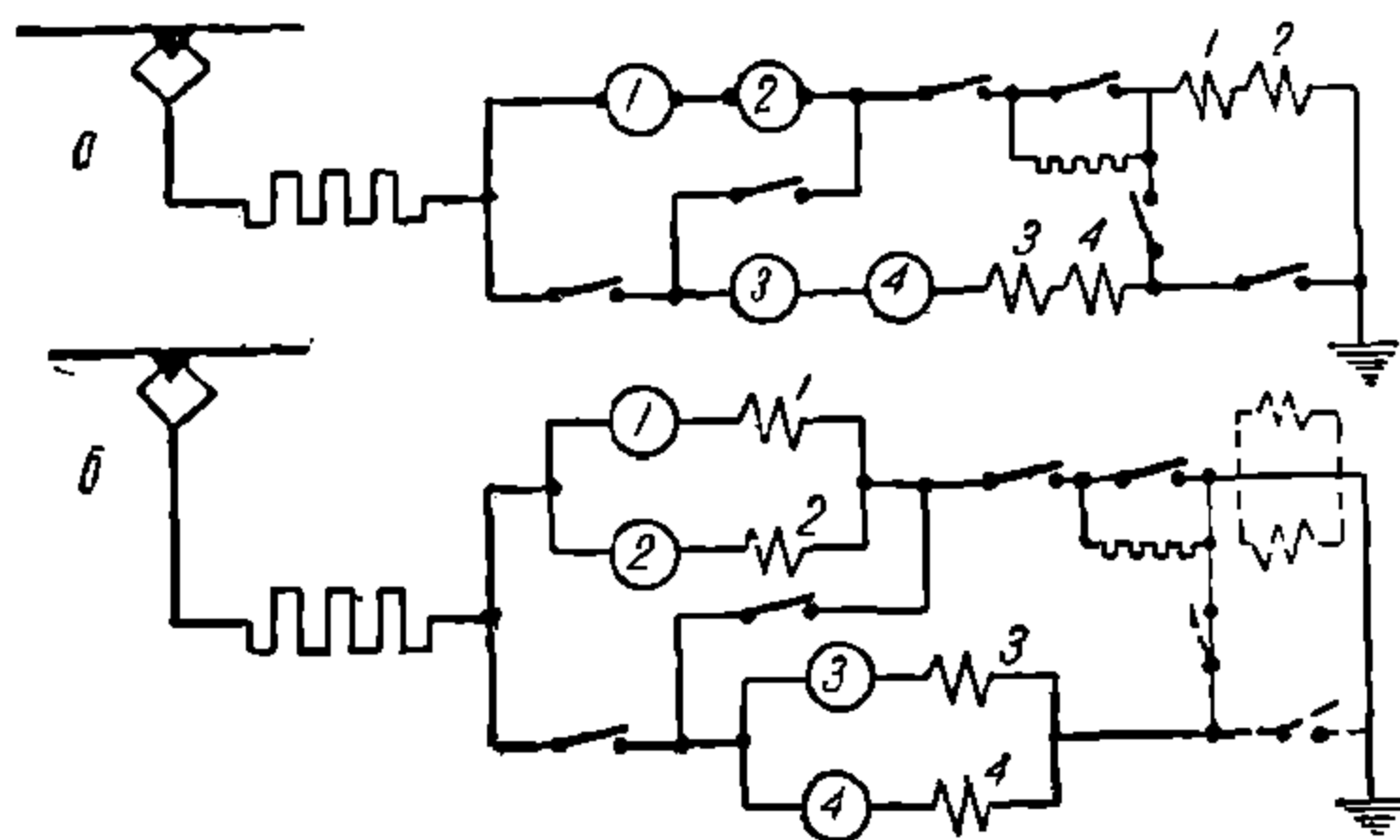
2) Переход шунтировкой. На фиг. 82 изображена схема, предусматривающая переход с шунтированием дв-ля 2 на сопротивление для переключения с последовательного на параллельное соединение 2 дв-лей. В этой схеме вместо каждого дв-ля

м. б. включена группа дв-лей, напр., 2 последовательно (фиг. 83, а). В этом случае получится 4-моторная схема с клеммовым напряжением каждого дв-ля, равным половине напряжения сети. Включение по такой схеме групп с параллельным соединением дв-лей дано на фиг. 83, б. Здесь обмотки возбуждения группы дв-лей 1—2 необходимо включать непосредственно за якорями, т. к. включение их согласно основной схеме, как это изображено пунктиром, может вызвать неравномерное распределение нагрузок между дв-лями 1 и 2.



Фиг. 82

Включение обмоток возбуждения непосредственно за якорями, как это показано на схеме, несколько неудобно, т. к. на последовательном соединении дв-лей разность потенциалов между обмотками возбуждения групп дв-лей будет равна половине напряжения сети, в результате чего затрудняется применение общего для всех дв-лей реверсора. Для эл/в с рекуперацией такое включение обмоток возбуждения усложняет аппаратуру для переключения схемы на тормозной режим.

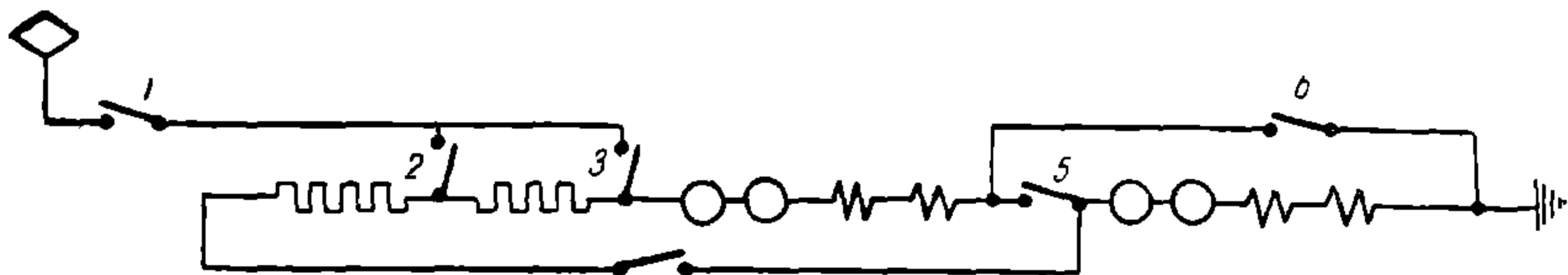


Фиг. 83

Переход с последовательного на параллельное соединение по методу шунтировки дв-лей на сопротивление происходит след. порядком. На последовательном соединении ток проходит от токоприемника через линейный к-р 1, пусковой реостат, к-рое на безреостатной позиции замкнуто накоротко, через якорь дв-ля 1, к-р 2, якорь и обмотку возбуждения дв-ля 2 и далее через к-р 6 и обмотку возбуждения дв-ля 1 в землю.

Процесс перехода начинается с введения в цепь части пускового реостата (ветвь А), затем замыкается к-р 4, при этом дв-ль 2 оказывается замкнутым на сопротивление ρ . Дв-ль

1 остается включенным под напряжение сети. Ток от токоприемника проходит через пусковой реостат, якорь дв-ля 1, к-р 4, сопротивление ρ и далее через обмотку возбуждения дв-ля 1 в землю. В замкнутой цепи дв-ля 2 в первый момент после замы-



Фиг. 84

кания действует полная эдс якоря, направленная против тока, к-рый поддерживается самоиндукцией цепи. Сила тока будет быстро уменьшаться до нек-рой величины I_0 , при к-рой эдс якоря уравнивается падением напряжения на переходном сопротивлении ρ . Далее размыкаются к-ры 2 и 6 и замыкаются к-ры 3 и 7, включая дв-ль 2 под напряжение сети последовательно с ветвью пускового сопротивления В, одновременно к-ром 5 замыкается накоротко переходное сопротивление ρ и наконец к-р 8 замыкает уравнительное соединение, обеспечивающее равен-

	1	2	3	4	5	6
Послед. соед.	•	•	•	•	•	•
Переходн. позиции	1	•	•	•	•	•
	2	•	•	•	•	•
	3	•	•	•	•	•
Паралл. соед.	•	•	•	•	•	•

Фиг. 84-а

НТБ
ДРУЗТ

ство клеммовых напряжений дв-лей 1 и 2 при любых величинах сопротивлений A и B .

Вышеописанную последовательность операций при переходе можно проследить также по табл. замыкания к-ров. За весь процесс перехода разрыв тока производится только к-рами 2 и 6, при чем разрывается ток, сила к-рого при малом переходном сопротивлении ρ будет весьма невелика. В нек-рых схемах в качестве шунтирующего сопротивления используется часть пускового реостата. Схема с таким переходом приведена на фиг. 84. Такой метод перехода применен в схеме м/в з-да «Динамо» для пригородных ж. д. на 1500 V

3) Переход КЗ. Если $\rho = 0$, т. е. переходное сопротивление вообще отсутствует, то при замыкании к-ра 4 (фиг. 83) получается полное КЗ дв-ля, при чем, т. к. эдс дв-ля направлена против тока, последний быстро падает до нуля.

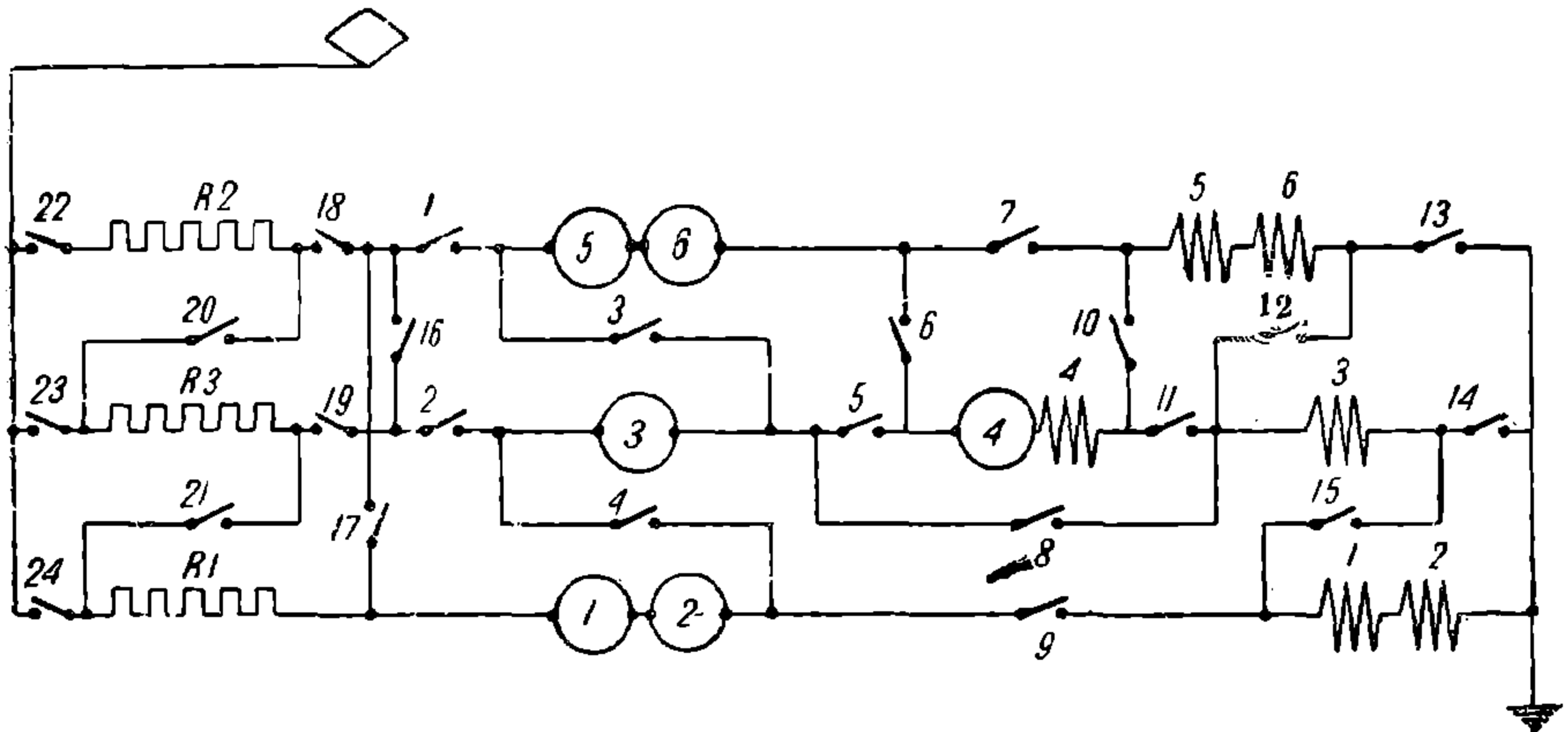
Переход КЗ дает нек-рое упрощение схем по сравнению со схемами, предусматривающими переход шунтировкой сопротивлением. Благодаря своей простоте способ этот нашел значительное распространение в схемах трамваев и м/в. Для магистральных эл/в он применен на советских эл/в «ВЛ 19» и «ПБ 21».

В отношении плавности перехода способ шунтировки на сопротивление не дает преимущества. Для способа КЗ величина предвключенного перед переходом сопротивления м. б. подобрана так, что после замыкания дв-ля 2 накоротко в цепи дв-ля 1 установится нормальный пусковой ток. В этот момент потеря усилия тяги будет равна 50%. То же будет и в случае перехода с шунтировкой сопротивлением, когда разомкнутся к-ры 2 и 6 и замкнется к-р 5. Однако, когда к-р 5 еще не замкнулся и в цепи дв-ля 1 находится сопротивление ρ , ток этого дв-ля, очевидно, будет меньше нормального пускового, и потеря усилия тяги всегда будет больше 50%.

Преимущественное распространение перехода с шунтировкой на сопротивление для магистральных эл/в можно объяснить лишь опасениями в отношении коммутации дв-лей в пер. КЗ, т. к. при быстром размагничивании и, следовательно, значительной величине $\frac{d\Phi}{dt}$ в короткозамкнутых витках якоря, находящихся в пер. коммутации, будет наводиться значительная тр-рная эдс. Однако экспериментальная проверка показывает, что сколько-нибудь существенного влияния нестационарных явлений при КЗ на коммутацию не наблюдается.

В момент КЗ наблюдается кратковременный импульс тока генераторного направления, что объясняется замедлением размагничивания дв-ля токами Фуко в массивном остове дв-ля. Опасной величины этот импульс не достигает.

На фиг. 85 изображена принципиальная схема для переключения 6 дв-лей при 3 ступенях скорости, т. е. при 3 соединениях,—с переходом КЗ.

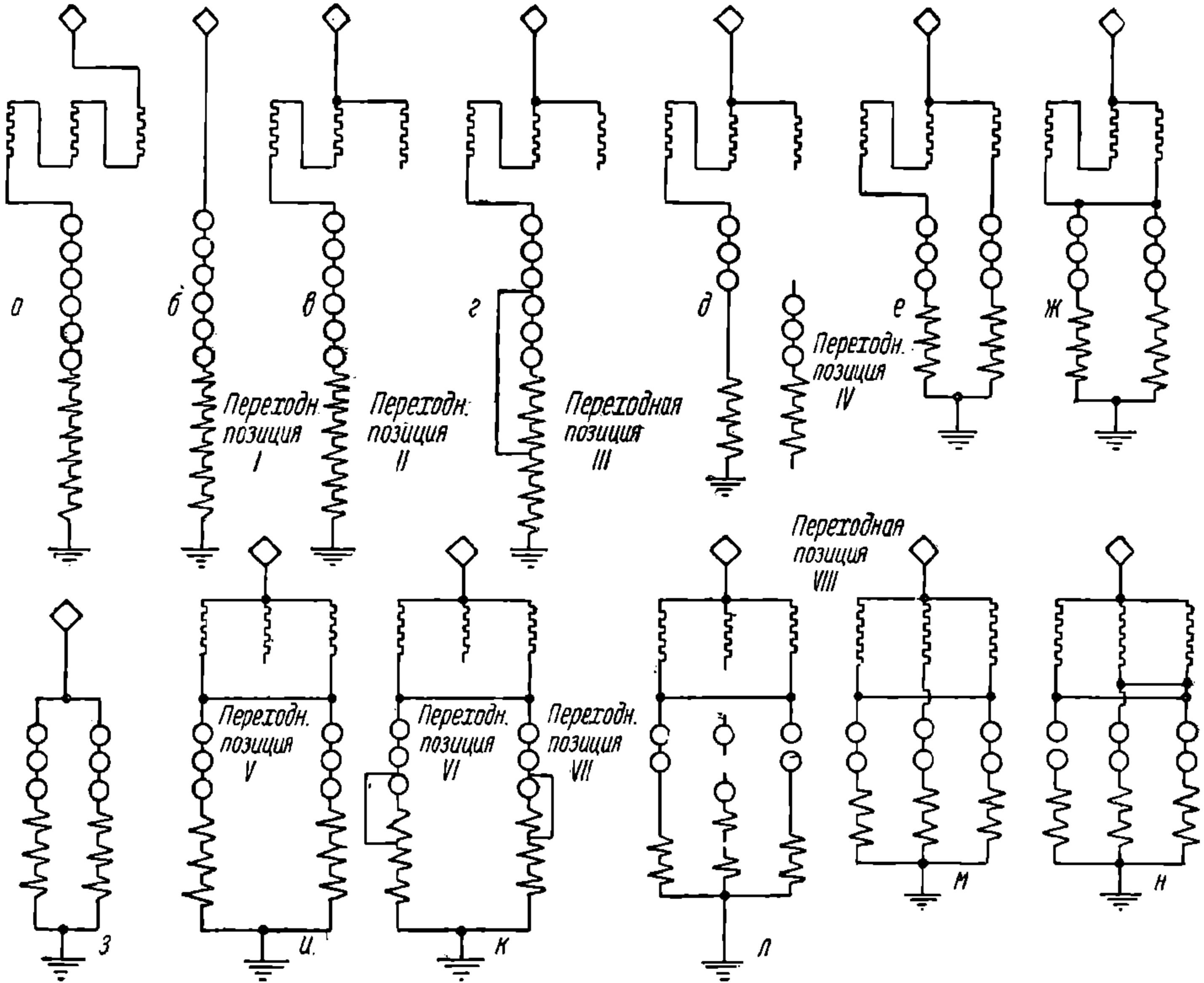


Фиг. 85

Последовательное соединение (1-я ступень скорости) получается замыканием к-ров 4, 3, 6, 10, 12 и 15. Переход на 2-ю ступень скорости, последовательно-параллельное соединение, начинается также с введения в цепь пускового сопротивления ($R_3 + R_1$), после чего включением к-ра 8 замыкаются накоротко дв-ли 5, 6 и 4 (фиг. 86, з). Далее размыкаются к-ры 3 и 12, и дв-ли 5, 6 и 4 совершенно отключаются от схемы (фиг. 86, д). Замыканием к-ров 1 и 13 цепь дв-лей 5, 6 и 4 последовательно с сопротивлением

R_2 включается параллельно цепи дв-лей 1, 2 и 3 (фиг. 86, е), после чего к-р 17 замыкает уравнивательное соединение (фиг. 86, ж). Теперь дв-ли включены в последовательно-параллельное соединение с 2 параллельными цепями по 3 дв-ля в последовательном соединении в каждой. Далее происходит реостатный пуск на этом новом соединении дв-лей до полного выключения сопротивлений.

Переход на след. соединение дв-лей начинается опять с введения в цепь пусковых сопротивлений ($R_1//R_2$), после чего включением ко-ров 7 и 9 замыкаются накоротко дв-ли 4 и 3, при чем каждый образует свой самостоятельный короткозамкнутый контур (фиг. 86, к). Затем размыкаются к-ры 4, 8, 15, 6 и 10, и дв-ли 3 и 4 полностью отклю-



Фиг. 86

чаются от цепи и замыканием к-ров 3, 5, 11, 14, 19 включаются на сопротивление R_3 , параллельно двум др. параллельным цепям дв-лей, после чего к-р 16 замыкает уравнивательное соединение.

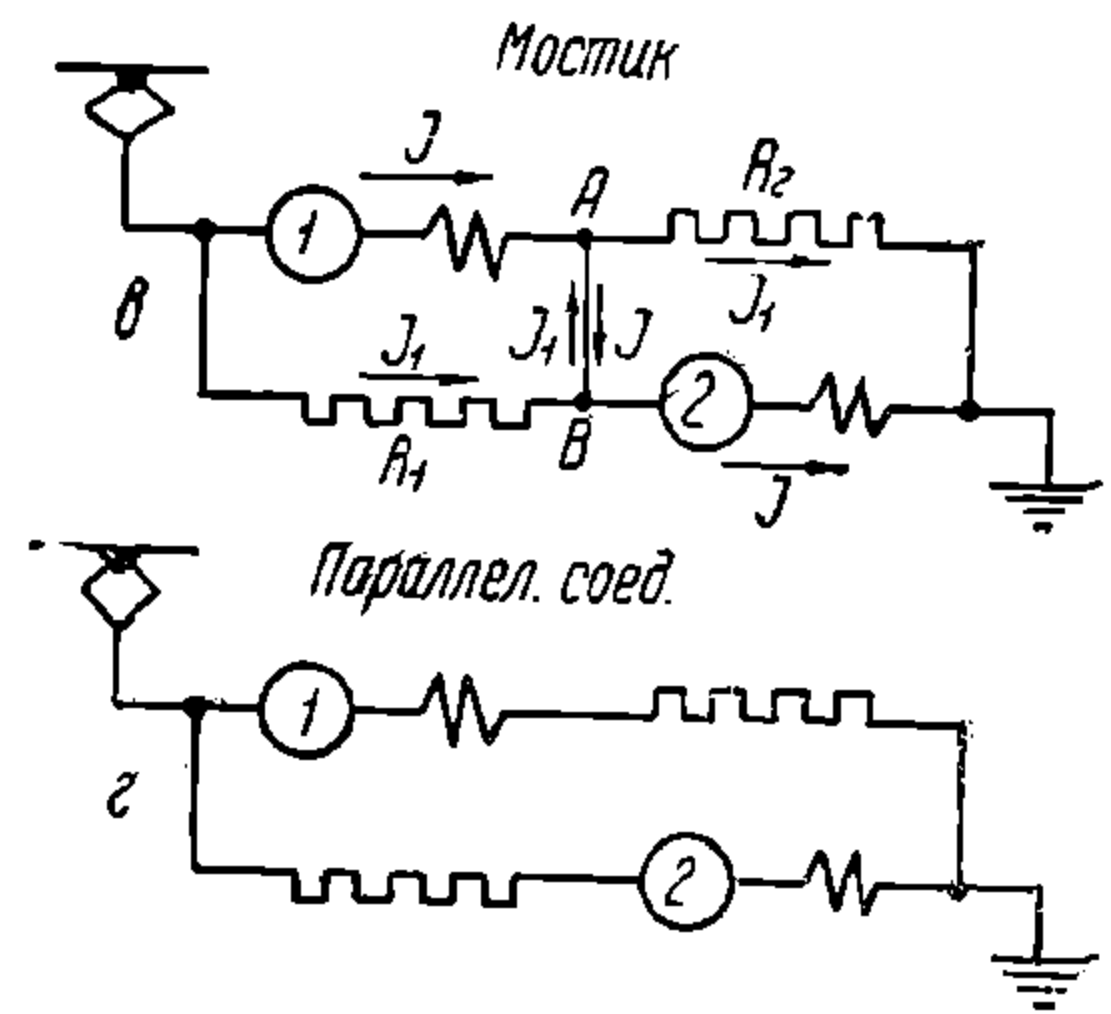
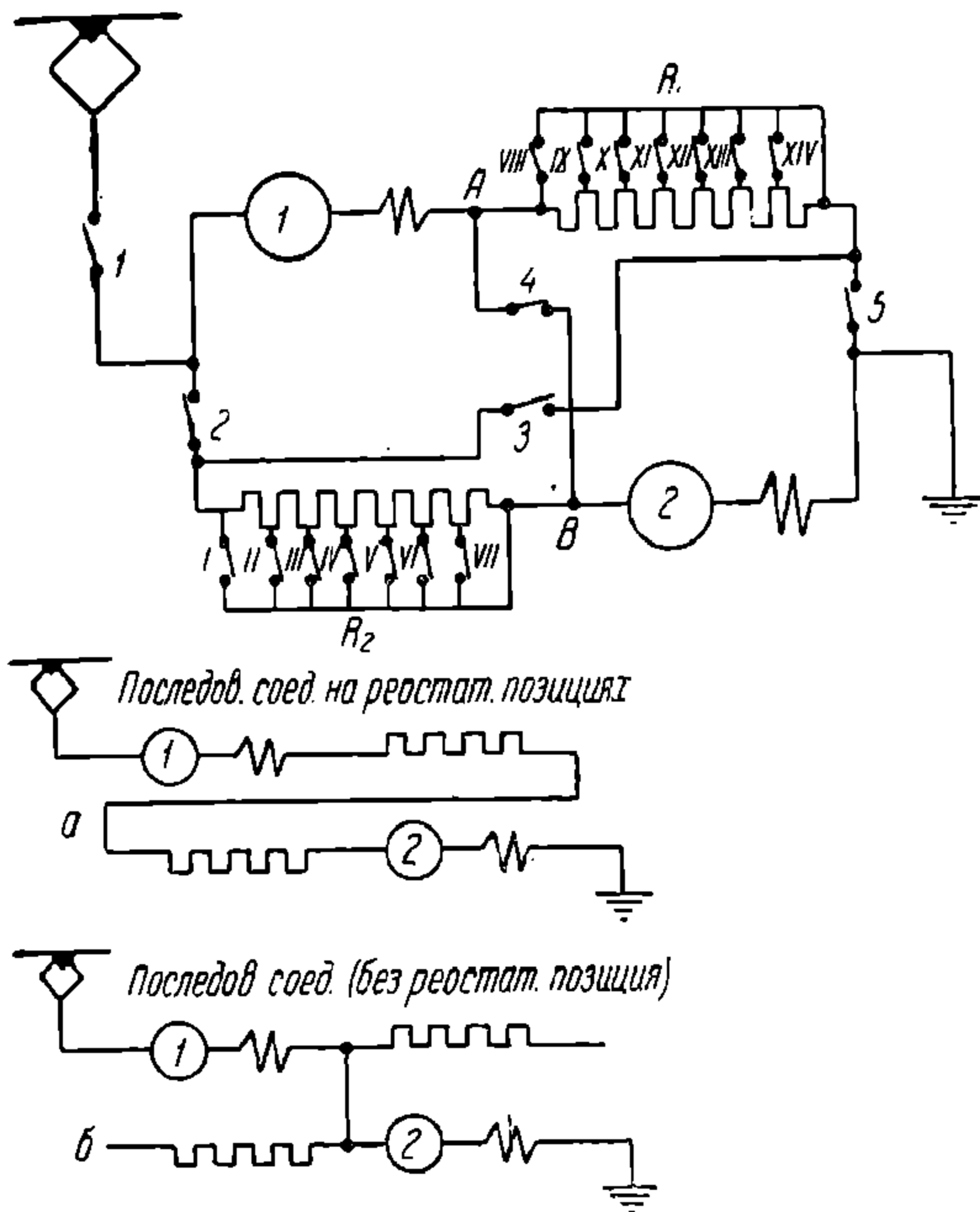
Подобная схема м. б. выполнена несколько проще в отношении числа к-ров, если не предусматривается на всех соединениях включение обмоток возбуждения всегда за якорями дв-лей около «земли». Однако практически применяется обычно вышеприведенный вариант.

Приведенную на фиг. 86 принципиальную схему переходов имеют наши эл/в «ВЛ 19» и «ПБ 21» (для напряжения сети 3000 V). Эл/в «С 10» и «Си» имеют схему с теми же ступенями включения дв-лей, но переход осуществляется по методу шунтировки на сопротивление.

4) Переход мостиком. В тяговом отношении методы перехода с КЗ и шунтировкой сопротивлением дают значительно лучшие результаты, чем метод с полным отключением тока, т. к. дв-ль 1 (фиг. 82) или соответствующая группа дв-лей за пер. перехода не отключается от сети и частично сохраняет тяговое усилие. Однако все же в пер. перехода усилие тяги, хотя и кратковременно, но значительно падает. Совершенно плавный переход, т. е. без уменьшения тягового усилия, м. б. получен только в схемах с переходом методом мостика (фиг. 87). На последовательном соединении ток от токоприемника проходит через ЛК 1, дв-ль или группу дв-лей 1, пусковой реостат R_1 ,

к-р 3, пусковой реостат R_2 , и далее через дв-ль или группу дв-лей 2 в землю. Кр-ы 2, 4 и 5 разомкнуты. Пусковые сопротивления R_1 и R_2 по мере увеличения скорости посекционно замыкаются к-рами I—XIV. После выключения всех секций пускового сопротивления замыкается к-р 4 (фиг. 87, б), и получается промежуточная экономическая ступень с последовательным соединением 2 дв-лей или 2 групп дв-лей. Для перехода на параллельное соединение замыкаются к-ры 4 и 5 и дв-ли соединяются с сопротивлениями R_1 и R_2 в схему, напоминающую мост Уитстона (фиг. 87, в). Режим

работы дв-лей при этом не нарушится, т. к. они остаются включенными последовательно на напряжение сети, и при равных сопротивлениях реостатов R_1 и R_2 потенциал средней точки, т. е. между дв-лями, останется равным половине напряжения сети. Ток от пантографа будет проходить через линейный к-р и далее 2 цепями: 1) через дв-ль 1 и далее по проводу АВ через к-р 4 и через дв-ль 2 в землю и 2) через к-р 2, сопротивление R_2 в обратном направ-



Фиг. 87

лении по проводу ВА через к-р 4 и далее через сопротивление R_1 и к-р 5 в землю. Т. о. по проводу АВ и через к-р 4 будут протекать как бы 2 тока в противоположных направлениях: в одном направлении ток дв-лей I , а в др.— ток сопротивлений

$$I_1 = \frac{E_c}{2r} ,$$

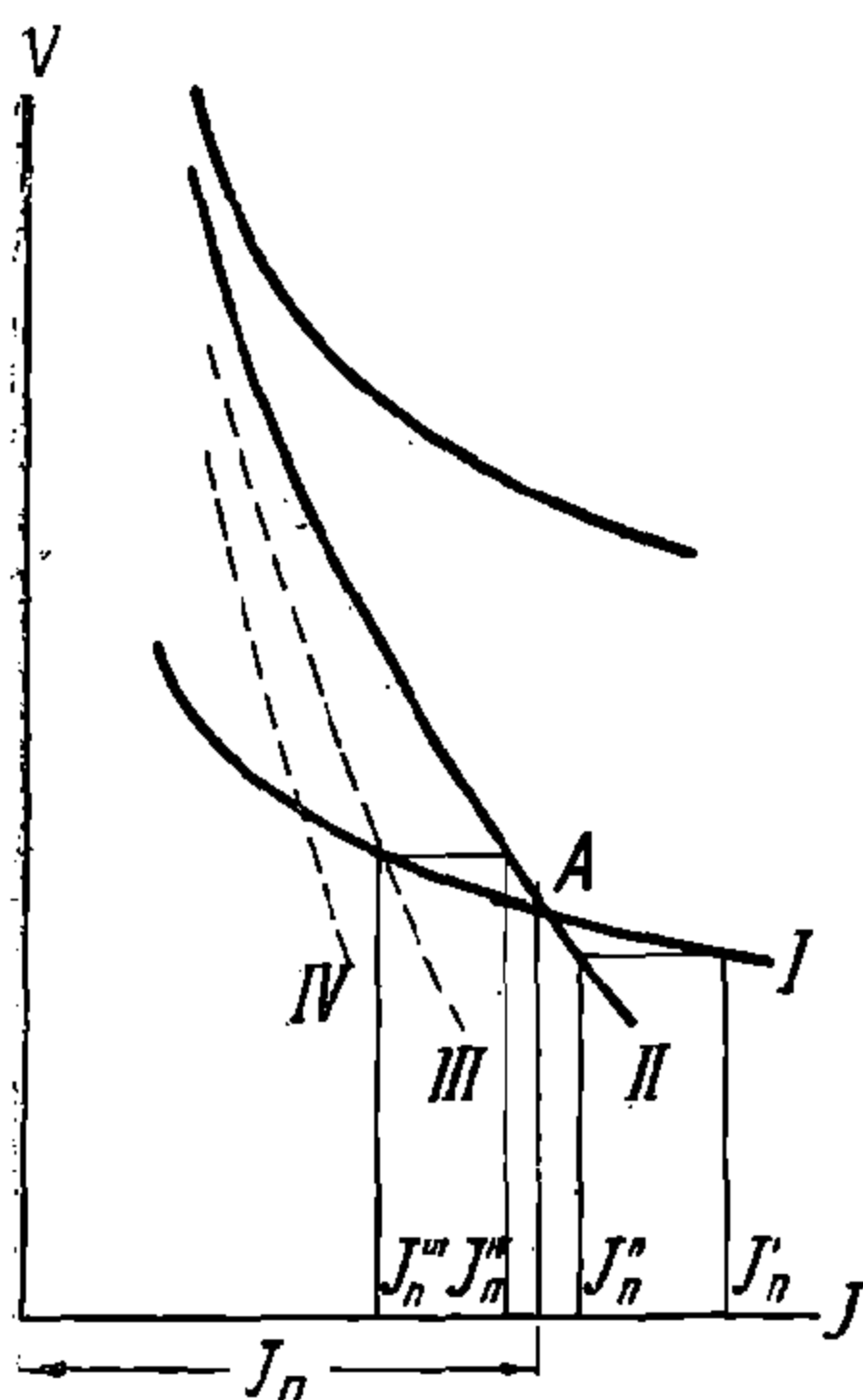
где r — сопротивление каждого реостата R_1 и R_2 . Др. словами, в проводе АВ будет протекать ток в направлении большего тока I или I_1 , равный разности этих токов. При определенной величине сопротивления $2r$, а именно, когда:

$$2r = \frac{E_c}{I}$$

ток I будет равен I_1 , а разность токов — нулю. В этом случае переходное положение в сущности является уже параллельным соединением дв-лей с включением в цепь каждого из них самостоятельного реостата R_1 и R_2 . Далее без тока размыкается к-р 4, и получается 1-я реостатная ступень параллельного соединения. Дальнейший пуск будет происходить посекционным выключением сопротивлений R_1 и R_2 ; при этом необходимо, чтобы ступени обоих реостатов были идентичными и переход со ступени на ступень происходил одновременно, в противном случае дв-ли будут нагружаться неравномерно. Ток в уравнительном проводе АВ будет равен нулю только при одном каком-либо определенном пусковом токе дв-лей I_n , для которого рассчитано сопротивление реостатов R_1 и R_2 . Если пусковой ток I'_{n1} больше или меньше I_n , то по проводу АВ пойдет уравнильный ток $i = I'_{n1} - I_n$, к-рый будет разрываться к-ром 4.

ДНЕ
ДУЗТ

Для эл/в это является одним из недостатков схемы мостика, т. к. в условиях работы эл/в приходится в широких пределах варьировать силу пускового тока. Вторым недостатком заключается в том, что в пер. пуска на параллельном соединении возможна неравномерная нагрузка дв-лей вследствие нек-рого, практически неизбежного, неравенства сопротивлений реостатов R_1 и R_2 . Наконец, наиболее существенным недостатком является то, что в этой схеме пусковые сопротивления эл/в разделены на 2 самостоятельные группы. Такое разделение уменьшает число возможных комбинаций включения секций сопротивлений, благодаря к-рым достигается лучшее использование отдельных секций и тем самым уменьшаются вес и габариты пускового реостата.



Фиг. 88

К числу существенных достоинств схемы следует отнести отсутствие потери усилия тяги во время переходного процесса. Однако совершенно неизменным усилие тяги будет оставаться только при одном совершенно определенном пусковом токе, что, впрочем, не присуще одному только методу перехода мостиком, а зависит от скоростных свойств дв-ля на промежуточной экономической ступени и на 1-й реостатной позиции след. ступени соединения дв-лей. На фиг. 88 кривая I изображает скоростную характеристику дв-ля на промежуточной экономической ступени и кривая II — скоростную характеристику для 1-й реостатной ступени след. соединения дв-лей. Кривые эти пересекаются в точке A , т. е. при силе тока I_n скорости для обеих характеристик равны, и, следовательно, процесс перехода при этой силе тока произойдет плавно, без толчка или спадания силы тока и усилия тяги. Если переход происходит при силе тока $I_n^I > I_n$, то после перехода сила тока упадет до I_n^{II} ; наоборот, если сила тока до перехода $I_n^{III} > I_n$, то после перехода сила тока возрастет до I_n^{IV} . При малых силах тока толчок м. б. очень велик, поэтому кроме реостатной ступени II приходится

вводить дополнительно 1 или 2 ступени с большими сопротивлениями пускового реостата (кривые III и IV), к-рые предназначаются для перехода с малыми пусковыми токами. При переходе же с нормальным пусковым током I_n эти ступени вызывают спадание тока. Это обстоятельство несколько умалит преимущество схемы мостика, что в совокупности с нек-рыми вышеописанными специфическими недостатками делает ее для эл/в примерно равноценной схеме перехода с КЗ.

Потеря усилия тяги при переходе на параллельное соединение вследствие наличия дополнительных ступеней III и IV (фиг. 88) м. б. устранена применением особого дифференциального реле, к-рое, реагируя на ток в уравнительном проводе, так воздействует на цепь управления эл/в, что процесс перехода (размыкание мостика) происходит только на надлежащей для данного пускового режима ступени включения реостатов R_1 и R_2 . На м/в с автоматическим пуском этот недостаток не сказывается, т. к. для определенного пускового режима переход м. б. осуществлен совершенно без потери усилия тяги.

5) Двойной мостик. В схеме по фиг. 87 переход мостиком применяется лишь для 2 соединений дв-лей. Принципиально возможна схема с переходом мостиком и для схемы с 3 соединениями дв-лей. Такая схема приведена на фиг. 89. Пусковой реостат эл/в разбит здесь на 4 группы сопротивлений R_1, R_2, R_3 и R_4 , так, что:

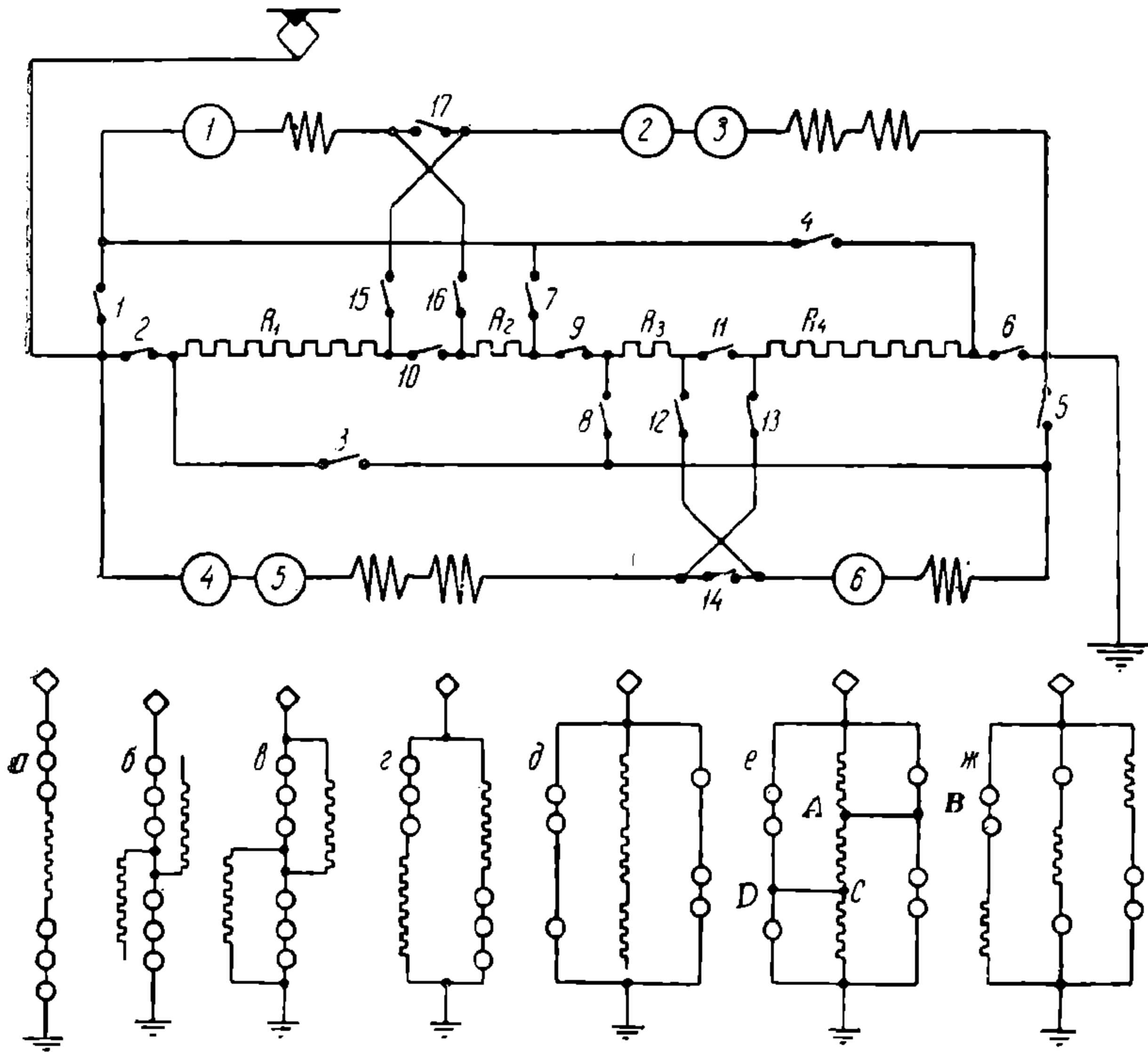
$$R_1 = R_2 + R_3 = R_4$$

и

$$R_1 + R_2 = R_3 + R_4.$$

На последовательном соединении замкнуты к-ры $14, 3, 10, 9, 11, 4$ и 17 . Развертка схемы на этой ступени приведена на фиг. 89, *а*. Реостатный пуск на этом соединении осуществляется посекционным выключением сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4 . После выключения всего пускового сопротивления замыкаются к-ры 7 и 8 и размыкаются $3, 4$ и кроме того к-ры пусковых сопротивлений. Такое включение соответствует безреостатной позиции на последовательном соединении дв-лей (фиг. 89, *б*). Далее включаются к-ры 2 и 6 , и получается схема мостика, аналогичная рассмотренной выше (фиг. 89, *в*). Размыканием к-ра 9 получается 1-я реостатная ступень последовательно-параллельного соединения (фиг. 89, *г*). После выключения пусковых сопротивлений

замыкаются к-ры 1 и 5 и размыкаются к-ры 7 и 8, а также к-ры секций пусковых сопротивлений. Теперь дв-ли включены в последовательно-параллельное соединение без пусковых сопротивлений. Для перехода на параллельное соединение замыкается к-р 9 и кроме того к-ры 15, 16, 12 и 13 (фиг. 89, е). Для дв-лей это включение ничем не отличается от предыдущего, т. к. провода АВ и CD образуют мостики между экви-



Ступени включения		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I	Послед. соед. на реостатн. ступенях			•	•					•	•	•				•		•
II	" " (эконом. ступень)							•	•	•	•					•		•
III	Переходная позиция (мостик)		•				•	•	•	•	•					•		•
IV	Послед. -паралл. соед. на реост. ступ.		•				•	•	•	•	•					•		•
V	" " (эконом. ступень)	•				•				•	•					•		•
VI	Переходная позиция (мостик)	•	•			•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•
VII	Параллельн соед на реост. ступ.	•	•			•	•			•	•					•		•

Фиг. 89

потенциальными точками параллельных цепей дв-лей и сопротивлений ($R_1 = R_2 + R_3 = R_4$), и, следовательно, режим их работы таким включением не нарушается. Переход на параллельное соединение осуществляется отключением к-ров 10, 17, 11 и 14.

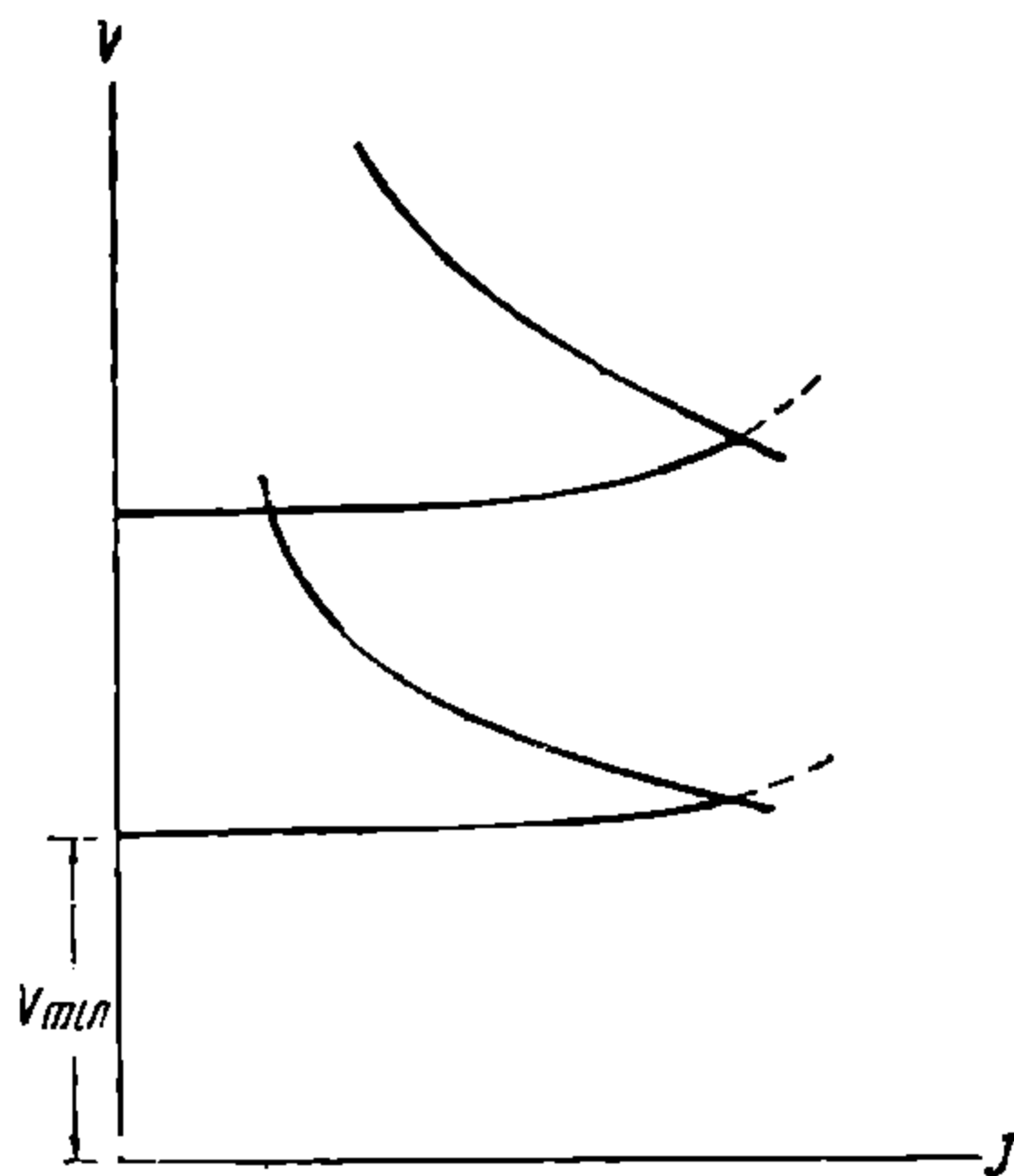
Развертка схемы для 1-й реостатной ступени параллельного соединения изображена на фиг. 89, ж. Так же, как и в предыдущей схеме, плавный переход здесь как с последовательного на последовательно-параллельное соединение, так и с последовательно-параллельного на параллельное возможен только при одном определенном пусковом токе. Большим недостатком схемы является то, что на параллельном соединении пусковое сопротивление разбивается на 3 самостоятельные группы в разных цепях дв-лей, что еще более усугубляет отмеченный уже выше недостаток метода перехода мостиком в отношении использования секций и пускового реостата. По этой причине схема перехода мостиком, с числом комбинаций включения дв-лей больше 2 практического применения не нашла. Однако такая схема будет представлять интерес

ДРУЗТ

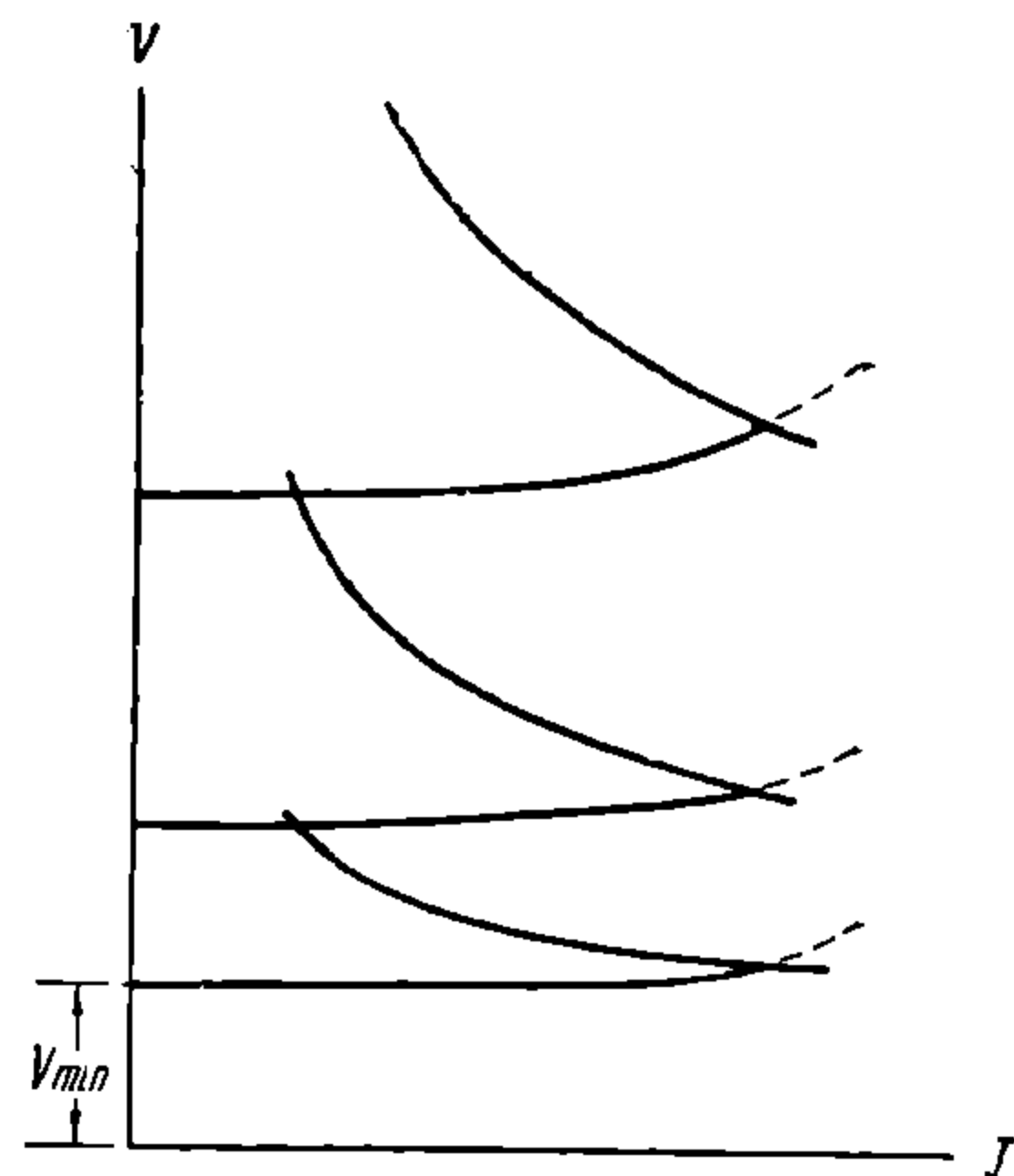
в случае проникновения в область эл/в постоянного тока компаундных дв-лей, переключение к-рых КЗ недопустимо.

б) **Силовые схемы с эл. торможением.** Эл. торможение (рекуперативное и реостатное) вносит в силовую схему дополнительную аппаратуру и накладывает нек-рые дополнительные требования, влияющие на выбор числа соединений и способ перехода с одного соединения дв-лей на др.

Для схемы с рекуперативным торможением удобнее переходы методом шунтировки дв-лей на сопротивление и КЗ, при к-рых обмотки возбуждения ТД всегда включены к земле за якорями. При таком включении обмоток возможно возбуждение всех дв-лей от одного возбудителя при минимальном количестве дополнительных аппаратов, необходимых для включения возбудителя и стабилизирующих сопротивлений (исключения представляют компаундные дв-ли, к-рые не допускают КЗ). В схемах перехода мостом для питания обмоток возбуждения от одного возбудителя требуется значительное количество дополнительных переключений в схеме, не оправдываемых преимуществами перехода мостиком.



Фиг. 90



Фиг. 91

Число соединений дв-лей для эл/в с рекуперацией имеет весьма важное значение. Если для моторного режима число соединений дв-лей лишь несколько влияет на пусковые потери и вес сопротивлений, то на тормозном режиме оно влияет на диапазон скоростей, при к-рых вообще возможно применение рекуперации. При 2 соединениях дв-лей минимальная скорость для рекуперации довольно значительна (фиг. 90), и что особенно неудобно для эксплуатации, — имеет место разрыв между тормозными характеристиками 1-го и 2-го соединений дв-лей, так что при средних скоростях рекуперация не дает тормозного эффекта, и для перехода с одного соединения дв-лей на др. неизбежно применение пневматических тормозов. 4-и 8-моторные схемы с 3 соединениями дв-лей и с соотношением экономических скоростей $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ и 1 понижают минимальную скорость рекуперации, но совершенно не уменьшают разрыва тормозных характеристик в области средних скоростей (фиг. 91).

Лучше в этом отношении 6-моторная схема с $E_k = \frac{1}{2}E_c$ и соотношением безреостатных скоростей $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ и 1 (фиг. 92).

Для переключения силовой цепи на режим рекуперации применяются аппараты: 1) для включения возбудителя — тормозной переключатель, к-рый представляет аппарат барабанного типа, действующий без тока и не приспособленный для искрогашения, и 2) для включения стабилизирующих сопротивлений — эл-пневматические к-ры. В последнем случае необходимы к-ры для разрыва цепи возбуждения при КЗ, т. к. одного отключения дв-лей от сети в этом случае недостаточно.

Для схем с реостатным торможением число возможных соединений дв-лей не имеет значения, и тормозная схема получается достаточно простыми переключениями при любых схемах перехода. Однако предпочтительнее переход КЗ, при к-ром, напр., в 6-моторной схеме возможно переключение обмоток возбуждения в двойную циклическую схему.

КРАЙ
ДНУЗТ

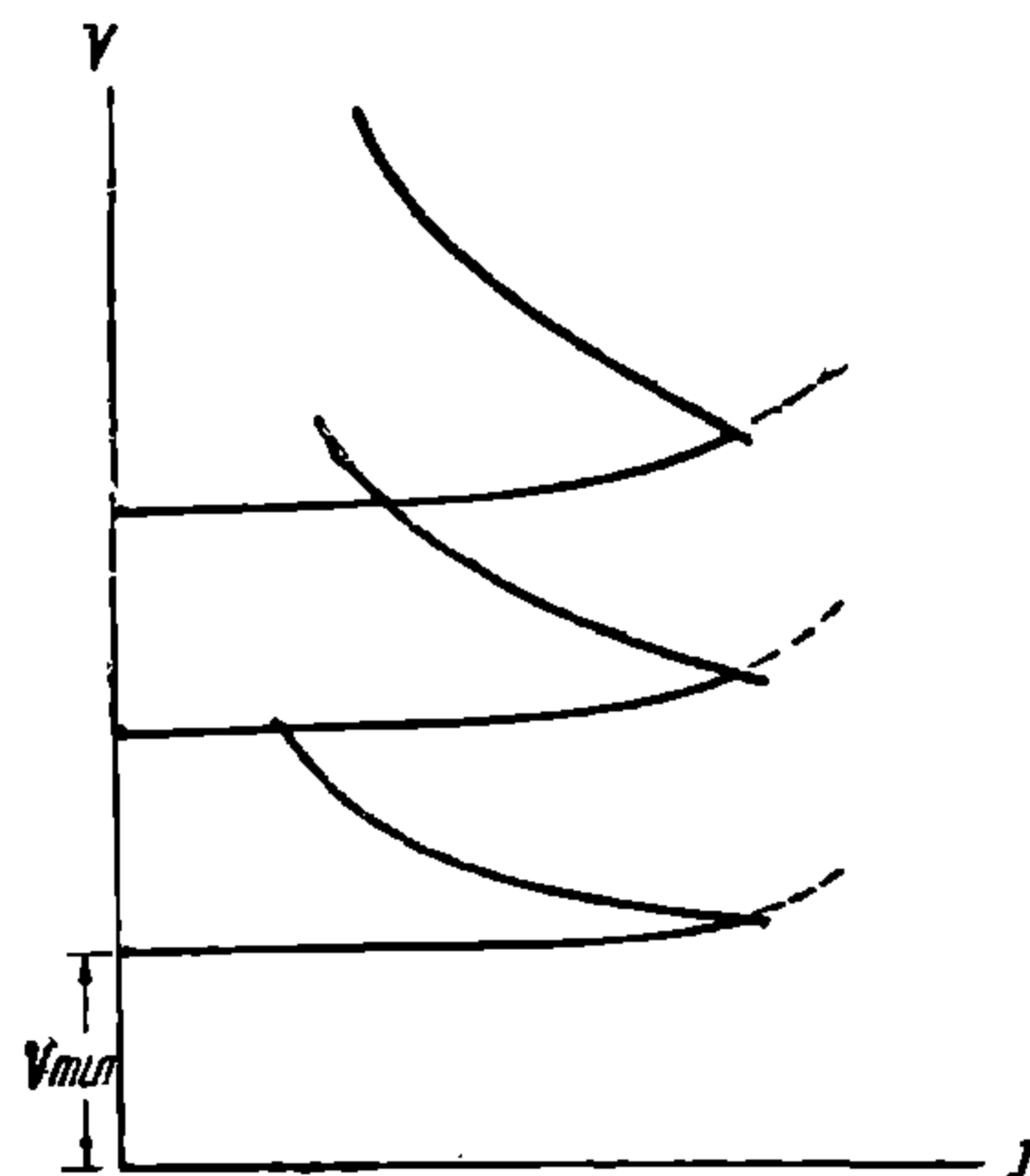
Переключение схемы на тормозной режим производится тормозным переключением барабанного типа, к-рым переключаются обмотки возбуждения в перекрестную или циклическую схему, и к-рами, к-рыми дв-ли замыкаются на реостат.

в) Защита силовой цепи ТД. Силовая цепь ТД д. б. снабжена минимальным, но достаточным числом аппаратов защиты, к-рые должны возможно быстрее ликвидировать все ненормальные режимы (перегрузки ТД, длительное повышение напряжения, перенапряжения и КЗ), могущие повлечь к аварии ТД и пр. аппаратов или предотвратить усугубление начавшейся аварии.

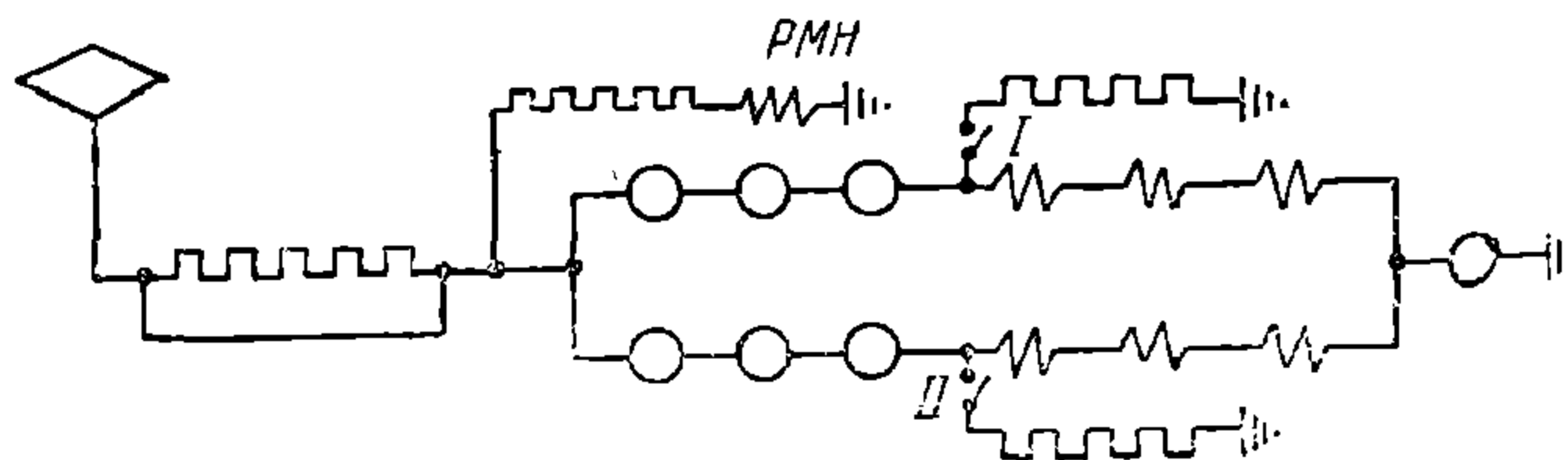
Почти во всех случаях аппаратом, ликвидирующим аварийное состояние, является ЛВ, отключающий силовую цепь эл/в или м/в от токоприемника. В качестве ЛВ на эл/в применяются БВ, к-рые непосредственно реагируют на ТКЗ или срабатывают под действием реле, размещенных в др. точках силовой цепи. На м/в и редко на эл/в (старой постройки) ф-ии ЛВ выполняются эл-пневматическими «линейными» к-рами, к-рые включаются по 2 и 3 последовательно для более надежного разрыва дуги при в/н сети. ЛК срабатывают только под действием соответствующих реле.

Для защиты от перегрузок ТД применяются «реле перегрузок», к-рые включаются в схему так, чтобы на всех соединениях дв-лей в каждой параллельной цепи было включено 1 реле перед всеми последовательно включенными дв-лями. В схемах с линейными к-рами кроме того должно иметься 1 реле перегрузки, реагирующее на перегрузку всей цепи в целом.

РМН необходимо лишь на подвижном составе, оборудованном для рекуперации или реостатного торможения. В схемах с рекуперативным торможением РМН включается через дополнительное сопротивление между пусковым реостатом и ТД (фиг. 93). Такое включение РМН обеспечивает его действие как от повышения напряжения в



Фиг. 92



Фиг. 93

к-тном проводе при рекуперации на обесточенном уч-ке или на большом расстоянии от действующей п/ст, так и от повышения напряжения на дв-лях при рекуперации с неполностью выведенными сопротивлениями.

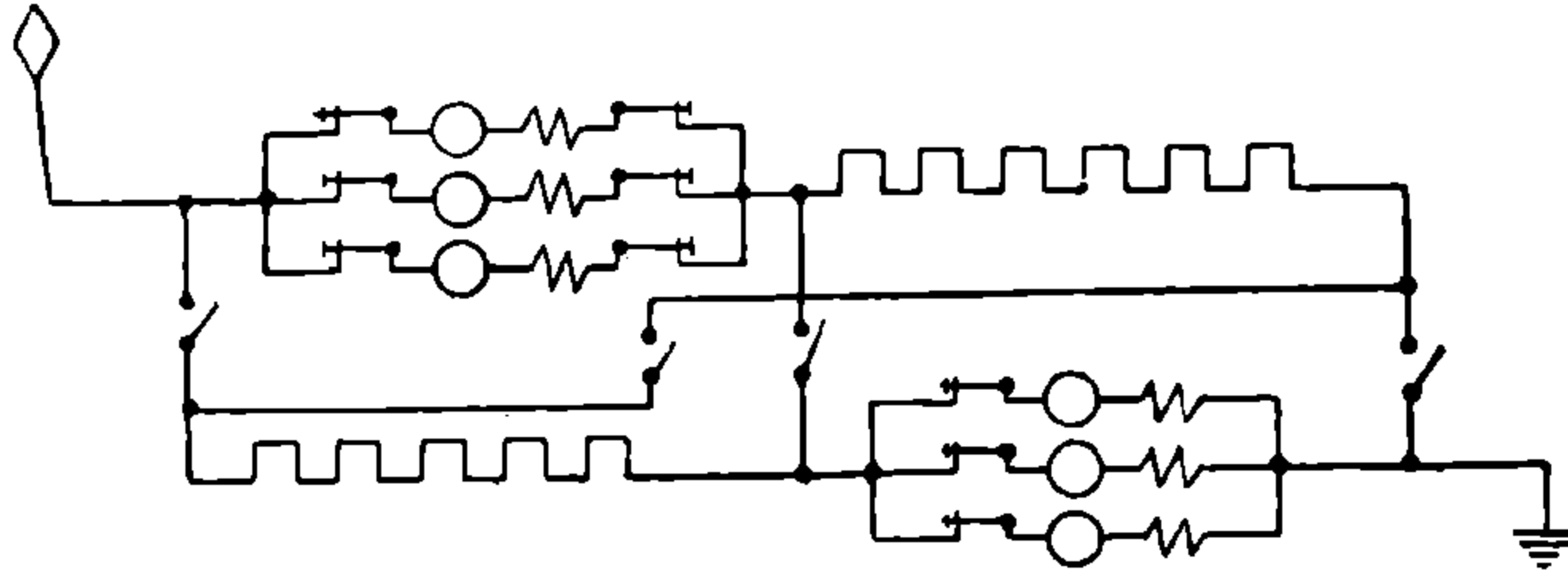
В схемах с реостатным торможением РМН включается на точку цепи, имеющую наибольший потенциал по отношению к земле.

Для ликвидации КЗ и повышенного напряжения в цепи отключения ЛВ при рекуперации недостаточно, т. к. КЗ за ЛВ сохранится для ТД, работающих генераторами. Снятие нагрузки при повышенном напряжении только приведет к еще большему повышению напряжения ТД, работающих противокомпаундными генераторами. Поэтому для полной гарантии ликвидации аварийного состояния на режиме рекуперации необходимо одновременное снятие возбуждения с ТД, к-рое в схеме рекуперации со стабилизирующими сопротивлениями (фиг. 54) производится выключением к-ров стабилизирующих сопротивлений I и II (фиг. 93). Выключение возбуждения возбуждателя действует недостаточно быстро.

В схемах с реостатным торможением ф-ии ЛВ выполняются эл-пневматическими к-рами, к-рыми ТД замыкаются на реостат. Однако этих к-ров недостаточно для ликвидации нек-рых случаев КЗ, напр., если КЗ произошло непосредственно у одного из ТД в виде переброса со щеткодержателя на корпус или кругового огня. Для ликвида-

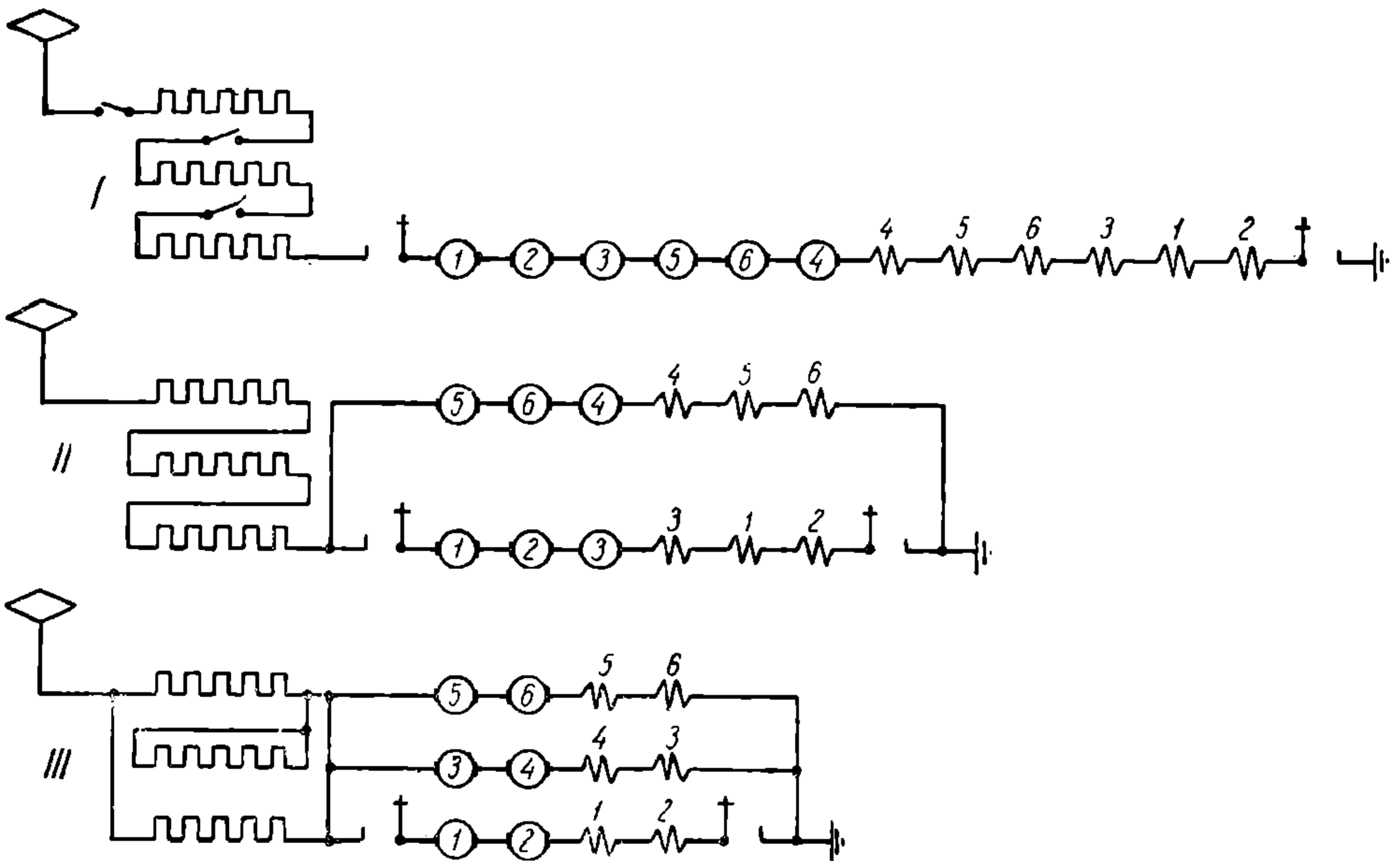
ции такого рода аварий необходимы дополнительные к-ры, размыкающие параллельные цепи между якорями и обмотками возбуждения ТД.

г) **Отключение аварийных дв-лей.** Силовая схема должна предусматривать аварийный режим работы с отключением поврежденных дв-лей. Для выключения аварийных дв-лей применяются 2-полюсные отключатели ножового типа, выключаемые вручную. Ножи отключателя д. б. размещены в силовой цепи так, чтобы поврежденные дв-ли при всех переключениях силовой цепи оставались полностью отключенными, т. е. не имели хотя бы однополюсного включения под напряжением.



Фиг. 94

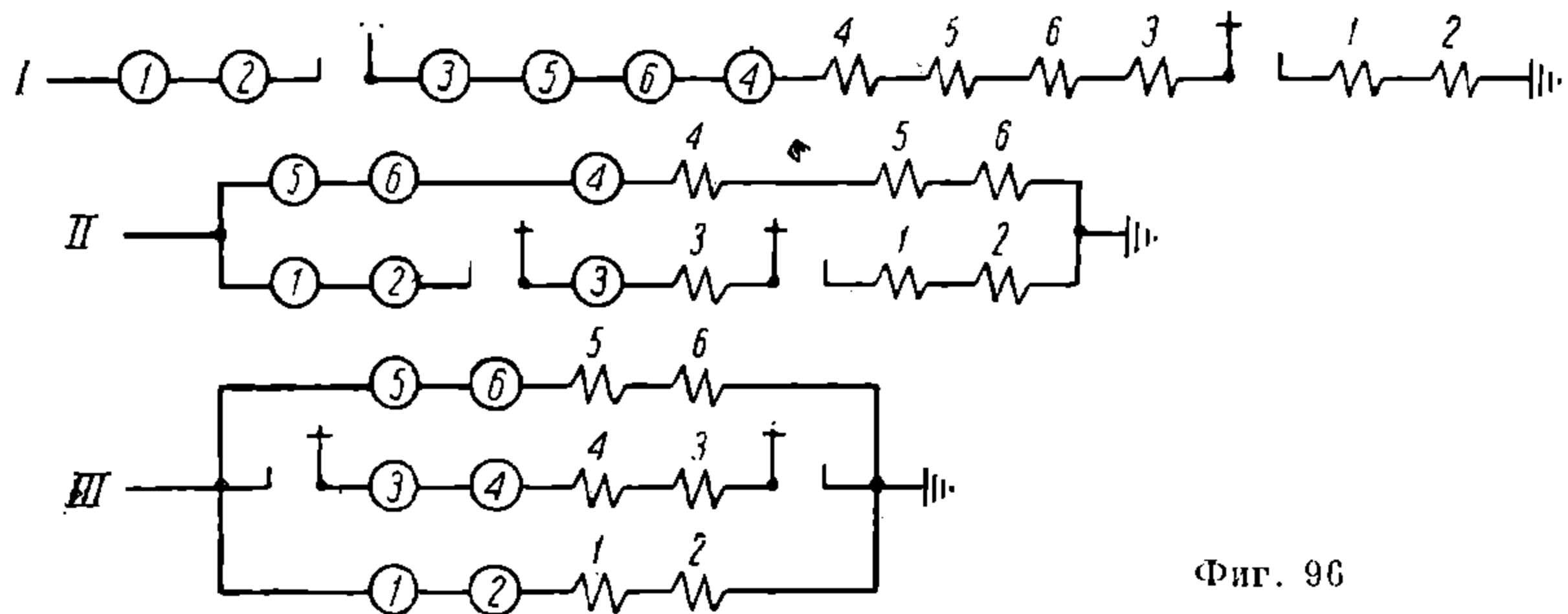
В схемах с переходом по методу моста (фиг. 87) отключатель моторов выключает дв-ли и замыкает накоротко разомкнутый уч-к цепи, что дает возможность использовать для пуска оставшихся дв-лей обе группы сопротивлений в последовательном включении. Схема работает на аварийном режиме только в пределах первых ступеней включения, соответствующих последовательному соединению дв-лей при нормальном режиме. Исключение представляет схема с переходом по методу моста для 6-моторного эл/в (фиг. 94), где для применения рассмотренной выше аварийной схемы при аварии одного дв-ля потребовалось бы выключение 3 дв-лей данной группы. Для этой схемы



Фиг. 95

удобнее попарное выключение поврежденного дв-ля и одного из дв-лей др. группы. Последнее необходимо, чтобы на последовательном соединении групп дв-лей нагрузки отдельных дв-лей были равны. Для гарантии такого отключения ножи отключаемых совместно дв-лей м. б. механически объединены в общий многополюсный отключатель. Выключения более 2 дв-лей, т. е. 4, схема не допускает из-за чрезмерной перегрузки оставшихся дв-лей при трогании с места.

На фиг. 95 и 96 приведены 2 случая аварийной работы по 6-моторной схеме с переходом КЗ. В схеме имеются четыре 2-полюсных отключателя моторов, ножи каждого из к-рых включены со стороны в/н перед якорями отключаемой группы дв-лей и со стороны земли за обмотками возбуждения тех же дв-лей. Дв-ли, всегда соединенные попарно последовательно, отключаются совместно (дв-ли 1, 2 и 5, 6, см. фиг. 85) одним отключателем; дв-ли же (3 и 4, фиг. 85), к-рые на 2-м соединении включены в разные параллельные цепи, а на 3-м соединены между собой последовательно, отключаются каждый самостоятельным отключателем. Фиг. 95 изображает включение схем соответственно 3 соединениям дв-лей нормального (неаварийного) режима при отключении дв-лей 1 и 2, т. е. попарно отключаемых дв-лей, и фиг. 96—то же при отключении дв-ля 3, т. е. одиночного дв-ля. В обоих случаях цепь замыкается со 2-го соединения, при чем работают 3 последовательно соединенных дв-ля. На 3-м соединении работают 4 дв-ля, соединенные в 2 параллельные цепи.



Фиг. 96

Пусковой реостат на 2-м, т. е. 1-м рабочем, соединении д. б. включен по схеме, соответствующей 1-му соединению дв-лей для неаварийного режима. В противном случае нагрузка дв-лей при трогании эл/в с места была бы чрезмерно велика. На 3-м соединении пусковой реостат имеет 2 параллельные цепи вместо 3 для нормального режима, т. е. сопротивление его также увеличено.

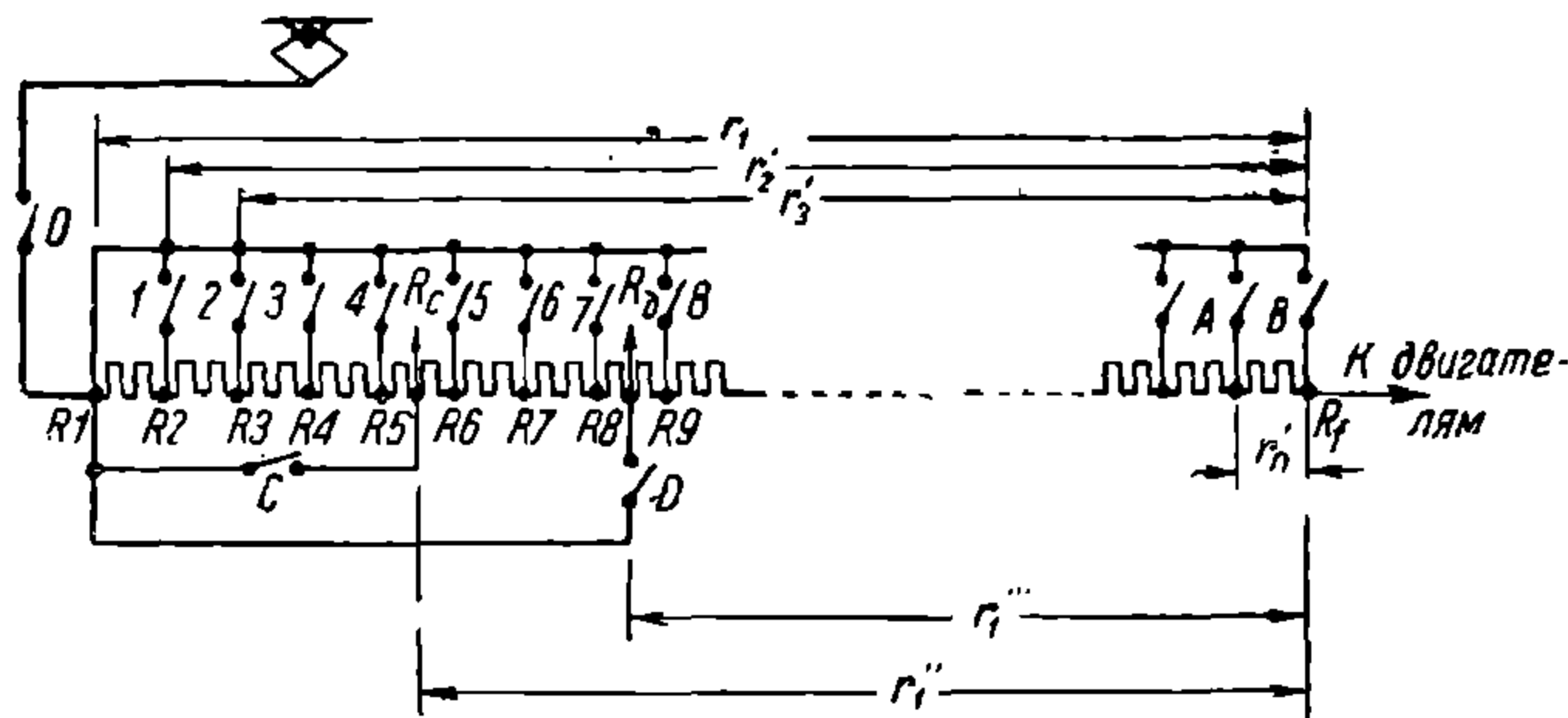
Изменение последовательности действия к-ров, необходимое для осуществления аварийного режима, достигается путем переключений в цепи управления блокировками отключателей моторов.

д) **Схемы пусковых сопротивлений.** Допустим, что из расчета определены ступени реостата $r_1', r_2', r_3', \dots, r_n'$ — для 1-го соединения дв-лей, $r_1'', r_2'', r_3'', \dots, r_m''$ — для 2-го соединения и $r_1''', r_2''', r_3''', \dots, r_p'''$ — для 3-го соединения. Схема реостата, дающего такие ступени, м. б. выполнена так, как это изображено на фиг. 97. В цепь дв-лей включено сопротивление, равное 1-й ступени на 1-м соединении дв-лей r_1' , которое подразделено на ряд секций, равных разности сопротивлений соседних ступеней для пуска на 1-м соединении дв-лей и снабженных рядом к-ров 1, 2, 3... А и В, к-рыми они поочередно замыкаются накоротко.

Для реостатного пуска на 2-м соединении дв-лей м. б. использован тот же реостат, при чем 1-я ступень для нового соединения r_1'' получится отключением к-ров 1, 2... А и В и включением к-ра С. К-р С должен замыкать накоротко такую часть полного сопротивления реостата, чтобы оставшаяся часть была равна r_1'' . Для дальнейшего ступенчатого пуска эта часть сопротивления д. б. подразделена на новый ряд секций с самостоятельной системой к-ров, не показанной на фиг. 97.

Для ступеней 3-го соединения потребуется 3-я система к-ров. Однако такая схема пускового сопротивления весьма плохо использует значительную часть секций реостата, и число к-ров получается здесь весьма большим, — приблизительно равным числу пусковых ступеней. Плохое использование реостата видно хотя бы из того, что часть его, замыкаемая накоротко к-ром С, совершенно не принимает участия в работе на 2-м соединении дв-лей, и все пусковые потери в пер. разгона на этом соединении ложатся исключительно на часть реостата r_1'' . На 3-м соединении не обтекается током еще большая часть реостата, замыкаемая к-ром D, и пусковые потери на 3-м соединении реализуются в части пускового реостата r_1''' . Если изображенный на фиг. 97 реостат предназначен, напр., для 6-моторной схемы согласно фиг. 85, то, очевидно, часть его $R_{\partial} - R_f$ т. е. r_1''' д. б. рассчитана на ток 3 параллельных цепей, в то время как на 1-м

соединении через нее будет проходить ток только одной цепи и на 2-м соединении—двух. Часть реостата $K_C — K_D$ д. б. рассчитана на ток 2 параллельных цепей и будет недоиспользована на 1-м соединении. Не говоря уже о чрезмерно большом количестве



Фиг. 97

к-ров, такая схема в результате плохого использования значительной части сопротивлений приводит к практически недопустимо большим габаритам и весам пускового реостата.

Выясним приближенно соотношение между величинами сопротивлений первых реостатных ступеней, напр. для 6-моторной схемы по фиг. 85, т. е. соотношение между сопротивлениями r_1', r_1'' и r_1''' , предположив, что маневровые и дополнительные переходные ступени отсутствуют. Тогда, пренебрегая сопротивлением дв-лей, получим:

$$r_1' = \frac{E_c}{I_{max}}$$

где E_c — напряжение сети.

После выхода на автоматическую характеристику 1-го соединения (6 дв-лей последовательно) эдс каждого дв-ля будет равна приблизительно $1/6 E_c$.

В момент перехода на 2-е соединение (2 параллельные цепи по 3 дв-ля последовательно) при том же токе эдс каждого дв-ля не изменится и эдс 3 последовательно включенных дв-лей будет равна $1/2 E_c$ и, следовательно:

$$r_1'' = \frac{E_c - \frac{1}{2} E_c}{2I_{max}} = \frac{1}{4} \frac{E_c}{I_{max}} = \frac{1}{4} r_1',$$

т. е. сопротивление 1-й ступени 2-го соединения равно $1/4$ сопротивления 1-й ступени 1-го соединения дв-лей. Такую величину сопротивления можно получить, если сопротивление r_1' разделить на 2 равные части и включить их параллельно, при этом по каждой параллельной цепи будет протекать ток I_{max} .

После выхода на автоматическую характеристику 2-го соединения эдс каждого дв-ля будет равна $1/3 E_c$, и в момент перехода на 3-е соединение (3 параллельные цепи по 2 дв-ля последовательно) эдс 2 последовательно включенных дв-лей будет равна $2/3 E_c$, откуда:

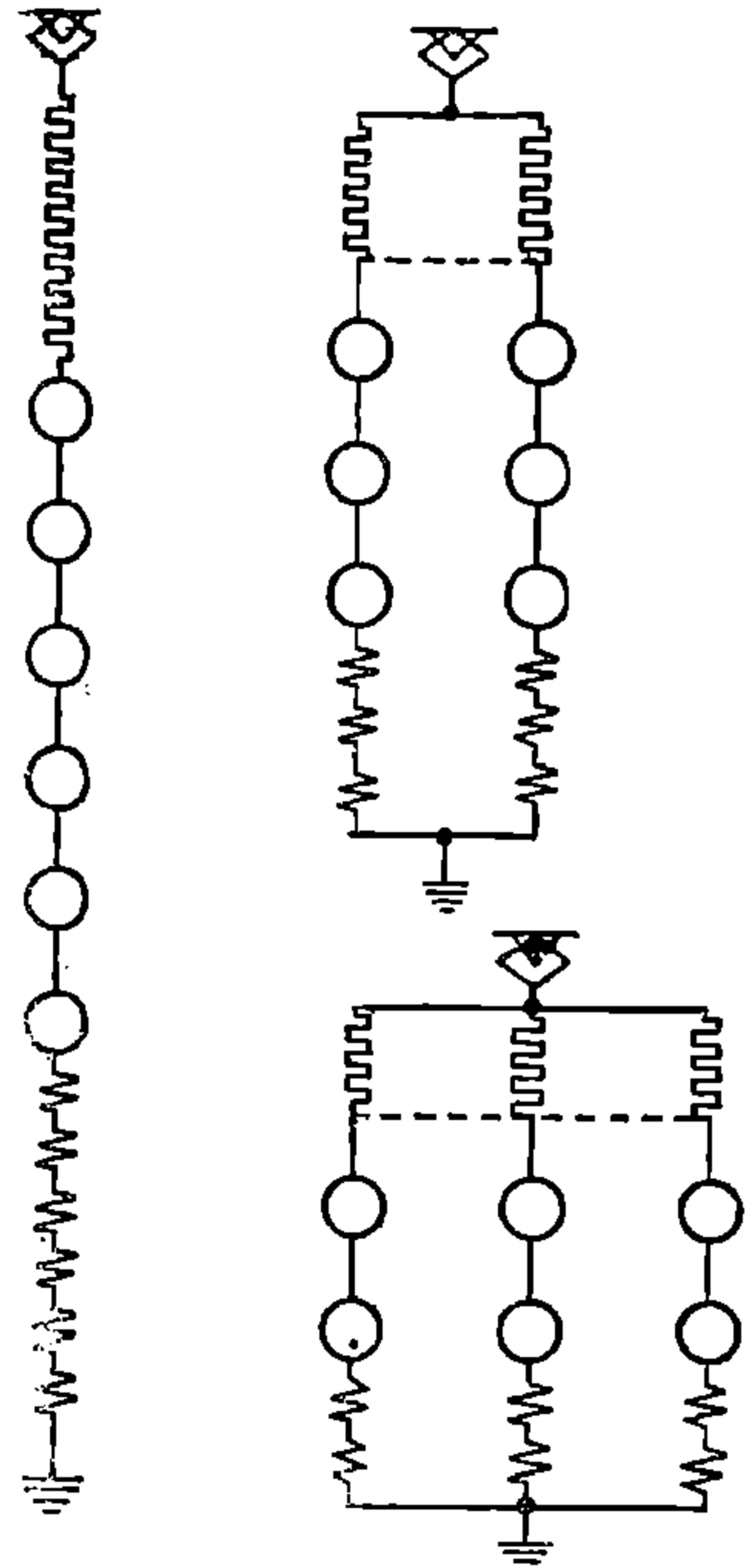
$$r_1''' = \frac{E_c - \frac{2}{3} E_c}{3I_{max}} = \frac{1}{9} \frac{E_c}{I_{max}} = \frac{1}{9} r_1',$$

т. е. сопротивление 1-й ступени 3-го соединения равно $1/9$ сопротивления 1-й ступени 1-го соединения. Эта величина сопротивления м. б. получена подразделением r_1' на три равные части и включением их параллельно. По каждой параллельной цепи сопротивлений будет протекать ток I_{max} .

На фиг. 98 приведены схемы включения сопротивлений и дв-лей для 1-х реостатных ступеней при таком переключении пускового реостата. Не трудно видеть, что теперь пусковой реостат, рассчитанный по пусковому току на 1-м соединении, благодаря

переключению его в параллельные цепи будет пригоден и для остальных 2 соединений, и на всех соединениях 1-я ступень получается с полным использованием всего реостата.

На фиг. 98 пунктиром изображены т. н. уравнивательные соединения, к-рыми соединены эквипотенциальные точки между сопротивлениями и дв-лями параллельных цепей. Такие уравнивательные соединения, очевидно, могут иметь место только в схемах с переходом КЗ и шунтированием дв-лей на сопротивление. Для схем с переходом мостиком, где, м. пр., по самой схеме перехода происходила разбивка пускового реостата на параллельные цепи, уравнивательные соединения не м. б. введены. Возможность соединения параллельных цепей сопротивлений в схемах с переходом КЗ и шунтировкой дв-лей на сопротивление является большим преимуществом этих схем перехода, т. к. при наличии уравнивательных соединений устраняется необходимость равенства сопротивлений параллельных цепей реостата. Это обстоятельство используется след. обр. На фиг. 99 изображено параллельное соединение для 4-моторной схемы с 2 соединениями дв-лей. Пусковой реостат включен в 2 параллельные цепи по 3 секции в каждой. Если уравнивательное соединение отсутствует, то посредством такого числа секций и к-ров можно получить всего 3 реостатных ступени. Первая получится замыканием к-ра ЛК (остальные выключены); при этом, чтобы токи в параллельных цепях дв-лей были равны, д. б. равны сопротивления параллельных цепей реостата, т. е. $r_1 + r_2 + r_3 = r_4 + r_5 + r_6$. Дальнейшие ступени м. б. получены только одновременным замыканием накоротко равных секций в параллельных цепях. Если $r_1 = r_4$, $r_2 = r_5$ и $r_3 = r_6$, то 2-я ступень получится замыканием к-ров 1 и 4 и 3-я — к-ров 2 и 5, т. е. число реостатных ступеней равно 3.



Фиг. 98

При наличии уравнивательного соединения указанное выше условие равенства сопротивлений параллельных цепей становится необязательным, благодаря чему включение секций может производиться в след. порядке.

Первая ступень — замкнут к-р ЛК — сопротивление реостата равно:

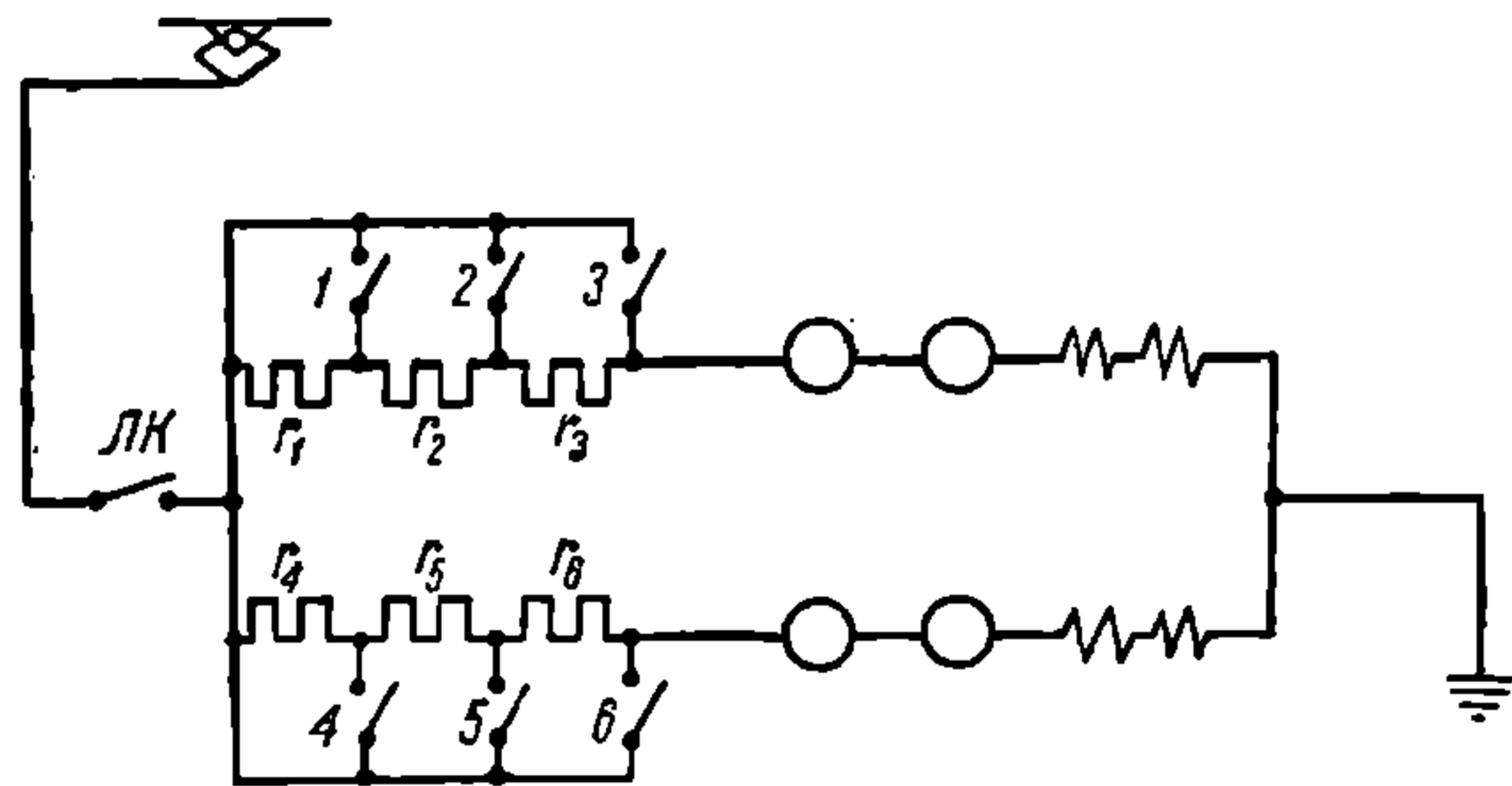
$$r_1'' = \frac{1}{\frac{1}{r_1 + r_2 + r_3} + \frac{1}{r_4 + r_5 + r_6}}$$

Далее м. б. выключена любая одна секция. Допустим, будет выключена секция r_1 , т. е. замкнут к-р 1; тогда сопротивление реостата уменьшится и будет равно:

$$r_2'' = \frac{1}{\frac{1}{r_2 + r_3} + \frac{1}{r_4 + r_5 + r_6}}$$

Замыканием к-ра 4 сопротивление реостата еще уменьшится и будет равно:

$$r_3'' = \frac{1}{\frac{1}{r_2 + r_3} + \frac{1}{r_5 + r_6}}$$



Фиг. 99

Последовательным замыканием к-ров 2 и 5 получатся еще 2 реостатные ступени — 4-я и 5-я, сопротивления к-рых будут:

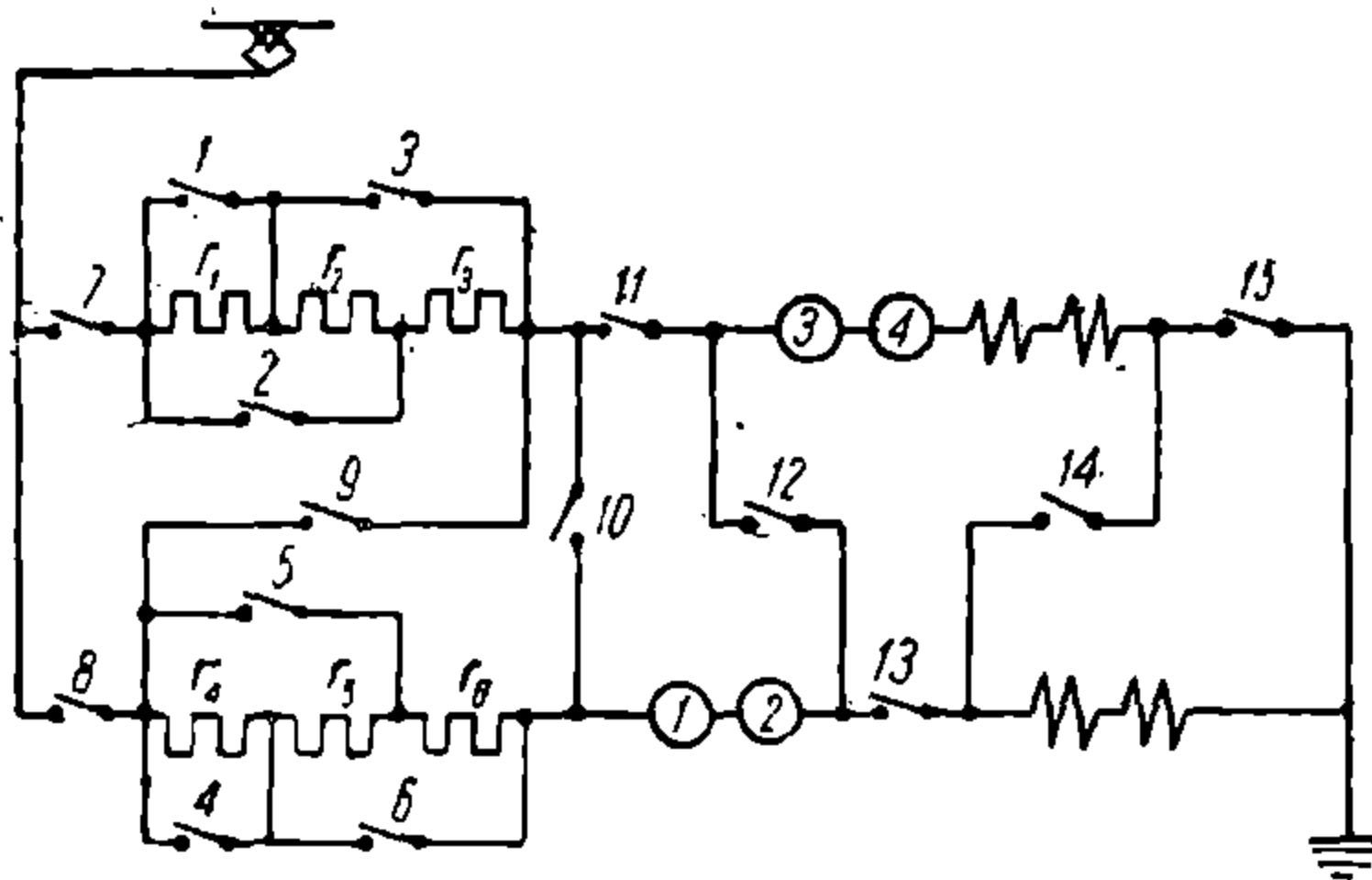
$$r_4'' = \frac{1}{\frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_5 + r_6}}$$

НТБ
ДНУЗТ

$$r_5'' = \frac{1}{\frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_6}},$$

после чего замыканием любого из к-ров 3 или 6 сопротивление будет полностью выключено. На последовательном соединении дв-лей обе группы сопротивлений включаются последовательно, и число возможных реостатных позиций равно 6. Т. о., благодаря наличию уравнивающего соединения при том же количестве к-ров и секций реостата можно получить большее число ступеней, в данном случае 5 ступеней вместо 3. Кроме того здесь не является обязательным равенство сопротивлений параллельных цепей, все секции могут иметь разные величины сопротивлений, и вполне допустимо даже различное число секций в параллельных цепях. Это обычно дает возможность получить необходимые ступени реостата на параллельном соединении, используя секции, рассчитанные для пуска на последовательном соединении дв-лей.

Нек-рым недостатком такого приема следует признать то, что распределение тока между параллельными цепями реостата происходит неравномерно, при чем различно для каждой ступени.



Фиг. 100

К	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Послед. соединение	1	•					•		•			•		•	
	2	•					•		•			•		•	
	3	•	•				•		•			•		•	
	4	•	•	•			•		•			•		•	
	5	•	•	•	•		•		•			•		•	
	6	•	•	•	•	•	•		•			•		•	
	7	•	•	•	•	•	•	•	•			•		•	
	8	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•		•	
	9	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	
Перегор	1														
	11														
	111														
	1111														
Паралл. соединение	10														
	11														
	12														
	13														
	14														
	15														
	16														
17															

Фиг. 100-а

Помимо переключений пускового реостата в параллельные цепи в соответствии с переключением дв-лей для дополнительного улучшения использования секций на ступенях с малыми величинами сопротивления пускового реостата применяют параллельное включение отдельных секций в каждой параллельной цепи. Такое параллельное включение секций кроме улучшения использования секций реостата дает еще дополнительное увеличение числа возможных реостатных ступеней при том же числе секций и к-ров.

На фиг. 100 приведена видоизмененная схема фиг. 99. Число реостатных к-ров и секций здесь оставлено без изменения, однако число реостатных ступеней, как это видно из табл. замыкания к-ров, приведенной на фиг. 100-а, на параллельном соединении увеличилось с 5 до 7.

Увеличение числа возможных ступеней при данном числе секций реостата или сокращение числа секций и к-ров для заданного, определенного расчетом, числа ступеней путем образования параллельных цепей применяются и на 1-м последовательном соединении дв-лей (см. схему и табл. замыкания на фиг. 100 и 100-а) и м. б. применено также в схемах переходом мостиком для каждой группы сопротивлений, при чем в последнем случае, очевидно, схемы реостатов для каждой параллельной цепи д. б. идентичными и переключения в них должны производиться одновременно, чтобы обеспечить равенство сопротивлений параллельных цепей и, следовательно, распределения нагрузок.

В действительных схемах (фиг. 97) эл/в переходы с одной ступени на след. путем простого замыкания накоротко секции, сопротивление к-рой равно разности сопротивлений данной ступени и след., применяются только для нескольких ступеней на 1-м соединении дв-лей. Все дальнейшее выключение пускового реостата производится путем

различных комбинаций параллельного включения отдельных частей реостата, при чем выключенные на 1-х ступенях пуска секции вновь участвуют в работе в параллельном включении с др. секциями. Очевидно, что при таком способе получения ступеней реостата величины сопротивлений секций не представляют уже простой разности сопротивлений соседних ступеней. Разбивка реостата на секции в этом случае не поддается определенному математическому решению, и необходимое решение находится путем попыток и постепенного приближения, при чем исходными данными служат: 1) величина суммарного сопротивления всех секций, к-рая должна равняться сопротивлению 1-й маневровой ступени, т. к. эта ступень, имея наибольшую величину сопротивления, получается последовательным включением всех секций, и 2) предположительная схема реостата, к-рая составляется т. о., чтобы ею обеспечивалось необходимое число ступеней на всех соединениях дв-лей при наименьшем количестве к-ров. Т. к. задача эта не имеет определенного решения и решается лишь постепенным приближением, то, очевидно, что самое решение не м. б. точным. Др. словами, не удастся добиться совершенно точного совпадения сопротивлений для всех ступеней с расчетными (по пусковой диаграмме) величинами, и приходится допускать некоторые отступления.

Важно отметить, что все переключения в пусковом реостате д. б. таковы, чтобы при переходе с одной ступени на след., с меньшим сопротивлением, не происходило кратковременного увеличения сопротивления. Из табл. замыкания к-ров для схемы по фиг. 100-а видно, что в процессе переключений имеют место выключения нек-рых к-ров, однако это допускается только тогда, когда соответствующая секция шунтируется др. к-ром. Др. словами, не допускается изменение сопротивления реостата путем предварительного включения секции одного сопротивления и затем выключения секции др. сопротивления. При несоблюдении этого условия можно было бы получить еще большее число комбинаций включения секций при данном числе секций и к-ров, что однако было бы связано с кратковременной потерей усилия тяги в моменты перехода с позиции на позицию, и в то время, как при правильно спроектированной схеме к-ры пускового реостата разрывают ток только в процессе отключения или перехода с высших ступеней на низшие, в этом случае разрыв тока к-рами будет происходить и при нормальном пуске. Кроме того переходы с позиции на позицию здесь требуют вполне определенной очередности действия замыкающихся и размыкающихся к-ров с тем, чтобы не было толчков усилия тяги в сторону увеличения и нарушения этим сцепления колес с рельсами. Это последнее обстоятельство требует блокировки реостатных к-ров между собой и вызывает значительное усложнение цепи управления.

На фиг. 86 изображены стадии включения дв-лей и пусковых сопротивлений в процессе переходов, откуда видно, что существует момент, когда дв-ли уже переключены, но нет еще уравнивающего соединения параллельных цепей (фиг. 86, *e*, *m*). В этот момент нужно иметь более или менее равные величины сопротивлений параллельных цепей реостата.

Включение секций реостата по ступеням пуска м. б. представлено или в виде разверток схемы пускового реостата для каждой ступени, или в буквенном выражении. В последнем случае каждой секции придается свое буквенное обозначение: *a*, *b*, *c* и т. д. Обозначение *a* + *b* означает последовательное включение секций *a* и *b*, обозначение *a* || *b* — параллельное соединение тех же секций. Более сложные обозначения, напр., *e* + [*g* || (*f* + *h*) || *i*] + (*j* || *k* || *l*) означают, что последовательно с секцией *e* включены 2 группы секций, при чем обе эти группы состоят из 3 параллельных цепей: одна группа образуется включением параллельно с секцией *g* секции *i* и двух последовательно включенных секций *f* и *h*, другая—параллельным включением секций *j*, *k* и *l*. Сопротивление пускового реостата на этой ступени будет равно:

$$r = \frac{1}{\lambda_e} + \frac{1}{\lambda_g + \frac{1}{\frac{1}{r_f} + \frac{1}{r_h}} + \lambda_i} + \frac{1}{\lambda_j + \lambda_k + \lambda_l}$$

где: λ_e , λ_g , λ_l и т. д.—проводимости соответствующих секций.

2. ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ

Схемы цепей управления разделяются на схемы неавтоматического управления и схемы автоматического управления.

Цепи управления имеют различный вид, в зависимости от системы аппаратуры управления силовой цепи, т. е. ИК, ГК или комбинации тех и др.

Схема управления во всех случаях должна удовлетворять след. требованиям: 1) все операции переключений в силовой цепи должны сводиться к простейшим манипуляциям минимального числа рукояток КМ; 2) если при перемещении с одной позиции на след. действует несколько аппаратов, то взаимной блокировкой д. б. обеспечена необходимая очередность их действия, исключающая возможность разрыва цепи или КЗ как при прямом, так и при обратном перемещении рукояток контроллера; 3) правильное включение к-ров, соответствующее данной позиции КМ, должно получаться как при медленной, так и при быстрой постановке рукоятки контроллера на любую позицию, минуя ряд промежуточных; 4) д. б. обеспечена возможность действия аппаратов, не приспособленных к искрогашению, только при обесточенной силовой цепи; 5) нарушение питания цепи управления должно приводить к отключению силовой цепи; 6) восстановление аппаратов защиты д. б. возможно только в нулевом положении КМ или ГК; 7) цепь управления должна предусматривать аварийный режим работы, т. е. с отключением части дв-лей, при чем переключение цепи управления на аварийный режим должно происходить автоматически и при постановке отключателей моторов в выключенное положение; 8) д. б. обеспечена возможность параллельной работы цепей управления 2 идентичных эл/в или м/в, т. е. работа по системе многих единиц, при чем более быстрое или более замедленное действие аппаратов одной схемы не должно нарушать правильной очередности действия аппаратов др. схемы, и через цепь управления одного эл/в не должно получаться «вредных контуров» для вентилей аппаратов другого эл/в, т. е. неправильных сложных цепей тока через цепи управления обоих эл/в, к-рые могут вызвать неправильную работу аппаратуры управления эл/в.

а) **Условные обозначения, применяемые в схемах цепей управления 3-дом «Динамо» им. Кирова.** БК в схемах изображаются соответственно положению аппаратов при обесточенной цепи управления (см. табл. 2). Для аппаратов, к-рые не занимают определенного положения при обесточенной цепи управления, одно из положений условно принимается нормальным, и БК их изображаются соответственно этому нормальному положению. За нормальное положение принимается: для реверсоров—положение «вперед», для тормозных переключателей—«моторный режим», для отключателей моторов—включенное положение ножей.

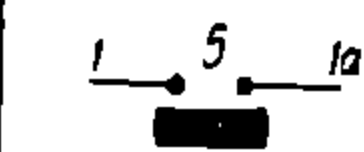

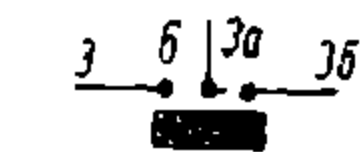



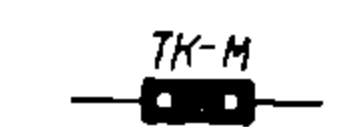
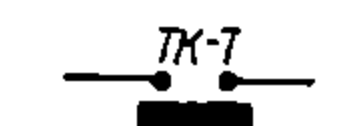
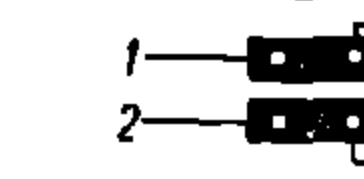





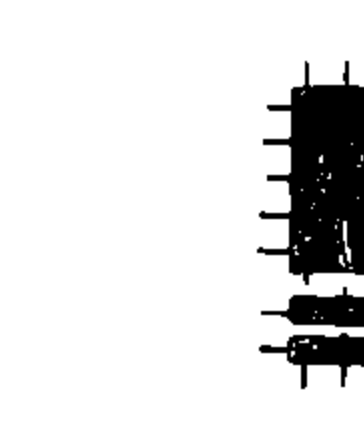
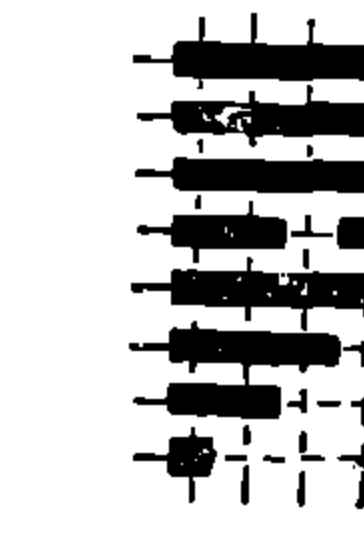
б) **Управление по «системе многих единиц».** Для управления 2 или несколькими эл/в или м/в по «системе многих единиц» цепи управления их соединяются посредством т. н. линейных или поездных проводов. Линейные провода соединяют обе схемы т. о., что при управлении с одного из постов управления ток от генератора управления или АБ по линейным проводам подводится к соответствующим аппаратам всех эл/в или м/в. Питание всех цепей управления, действующих по «системе многих единиц», происходит от генератора управления или АБ эл/в, на к-ром находится действующий пост управления. Обычно провода управления, выведенные в межвагонные соединения, т. е. линейные, на схемах обозначаются каждый своим номером и в отличие от линейных, провода управления, соединяющие аппараты только в пределах схемы данного эл/в или м/в, т. е. не выведенные в межвагонные соединения, обозначаются цифрой с буквенным индексом.

в) **Схемы неавтоматического управления с ИК.** В схемах управления с ИК включение к-ров пускового реостата осуществляется посредством соответствующей ступенчатой развертки сегментов барабана КМ. Взаимной блокировки этим к-рам при правильно спроектированной схеме сопротивлений не требуется. ИК, ф-ией к-рых является переключение дв-лей с одного соединения на др., требуют для обеспечения необходимой последовательности операций при переключении дв-лей как взаимной блокировки, так и блокировки с ИК реостатными. Система этих блокировок различна для различных способов перехода.

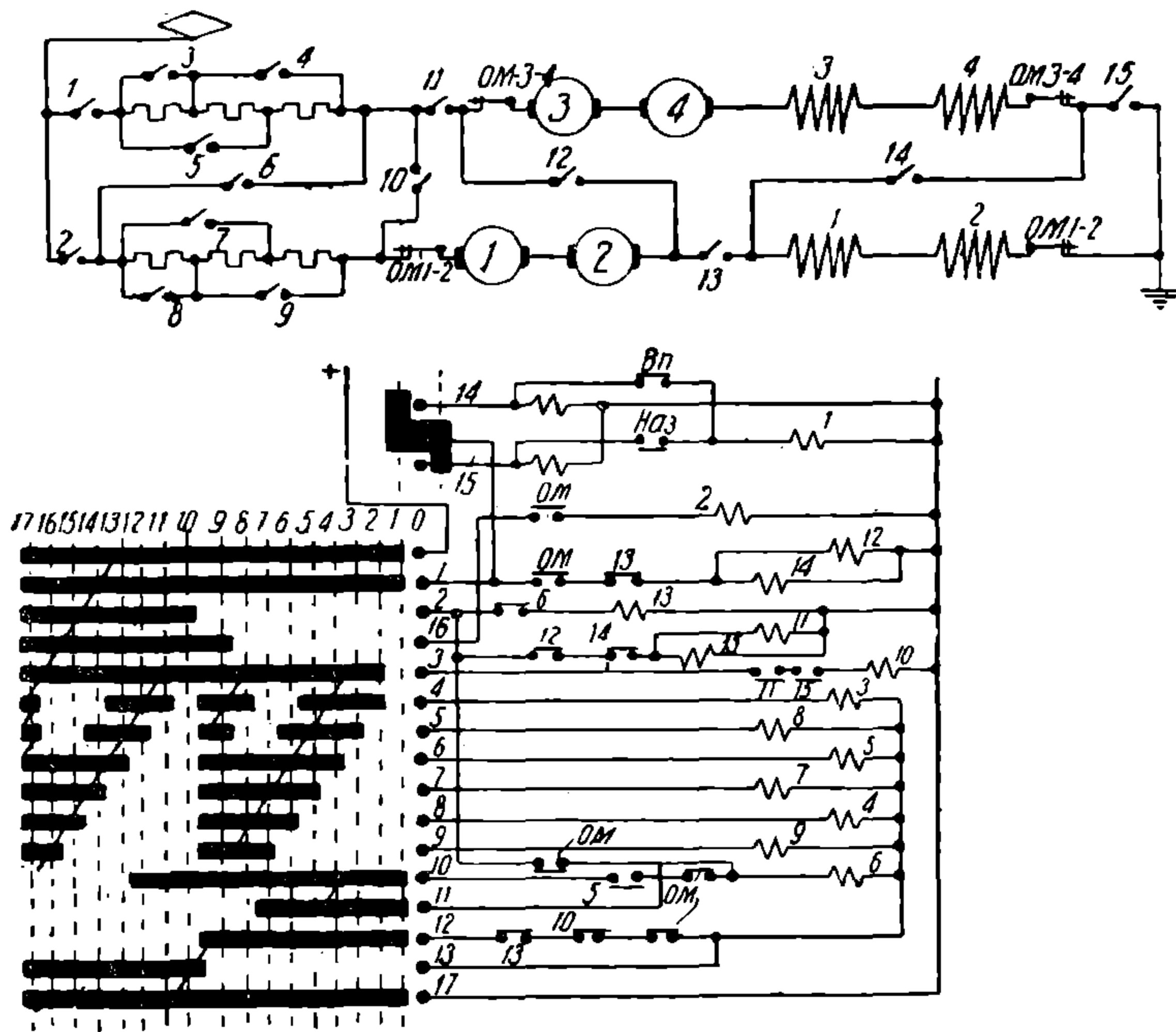
1) **Цепь управления для перехода КЗ при 2 соединениях дв-лей** приведена на фиг. 101. Реостатные к-ры 3—9 включаются от ступенчатой развертки сегментов КМ по проводам 4—9. На позициях 5, 6, 14 и 15 имеют место одновременные включение и выключение к-ров, но схема сопротивлений выполнена так, что очередность по времени действия этих к-ров не имеет значения.

Переключение дв-лей осуществляется ИК 11—15, к-р 10 служит уравнивающим. Последовательное соединение получается включением к-ров 12 и 14 по проводу 1 через блокировку «выкл. 13». Переход начинается (позиция 10) с включения к-ра 13, но его включению должно предшествовать выключение реостатных к-ров. Эта последовательность не обеспечивается разверткой барабана КМ, а м. б. получена только блокировкой к-ра 13 реостатными к-рами. Включение в цепь катушки к-ра 13 блокировок всех реостатных к-ров, подлежащих выключению, при большом их количестве чрезмерно загромождает цепь управления БК; поэтому ограничиваются частичной блокировкой, задерживающей по времени включение к-ра 13. В приведенной схеме задержка полу-

Табл. 2

Наименование и действие аппаратов и блокировок	№№	Обозначения в схемах
Блокировки к-ров	Блокировка включающего типа: провода 1 и 1а замкнуты при включенном контакторе 5	1 
	Блокировка выключающего типа: провода 2 и 2а замкнуты при выключенном контакторе 4	2 
	Двойная включающая блокировка	3 
	Комбинированная блокировка включ. и выключ. типа	4 
Блокировки реверсора	Блокировка замкнута в положении реверсора «вперед»	5 
	Блокировка замкнута в положении реверсора «назад»	6 
Блокировки тормозного переключателя	Блокировка замкнута в моторном положении переключателя	7 
	Блокировка замкнута в тормозном положении переключателя	8 
Реверсивная блокировка тормозного переключателя или реверсора		9 
Блокировки серийн. параллельн. переключателя (группового к-ра)	Блокировка замкнута только на серийном включении переключателя	10 
	Блокировка замкнута на серийн. параллельн. и параллельн. включении переключателя	11 
Блокировки реле		12 
Блокировки пневматических аппаратов		13 
Катушка эл. магнитного к-ра, вентиля эл.-пневматического к-ра и реле		14 
Развертка контроллера барабанного типа		15 
Развертка контроллера кулачкового типа		16 

НТБ
ДНУЗТ



Фиг. 101

Табл. 3

Позиции КМ	К о т о р ы														
	1	3	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15			
Послед. соедине- ние	1	1		6					12		14				
	2	1		6					12		14				
	3	1	3	6					12		14				
	4	1	3	6					12		14				
	5	1		5	6				12		14				
	6	1		4	6				12		14				
	7	1		4	6				12		14				
	8	1		4	6				12		14				
	9	1	2	3	5	6	7	8	9	12		14			
Переход	I	1	2						12		14				
	II	1	2						12		14				
	III	1	2							13					
	IV	1	2					11		13		15			
Параллельное соединение	10	1	2						10	11	13	15			
	11	1	2						10	11	13	15			
	12	1	2	3					10	11	13	15			
	13	1	2	3					10	11	13	15			
	14	1	2		5	8			10	11	13	15			
	15	1	2		4	8			10	11	13	15			
	16	1	2		4	8	9		10	11	13	15			
	17	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15		

чена блокировками «выкл. 6» в цепи к-ра 13 и «выкл. 5» в цепи к-ра 6. Включение к-ра 13 возможно только после выключения к-ра 6, последний может выключиться только после выключения к-ра 5, т. е. включение к-ра 13 задержано на время последовательного выключения двух к-ров. Для надежности м. б. получена и более длительная задержка каскадной блокировкой большего числа к-ров. Дальнейший

ДНБ 3Т

переход происходит след. порядком: после включения к-ра 13, закорачивающего дв-ли 1 и 2, размыкаются к-ры 12 и 14, цепь тока вентиля к-рых разрывается БК «выкл. 13». К-ры 12 и 13 отключают закороченную группу дв-лей, а БК этих к-ров замыкают цепь вентиля к-ров 11 и 15, к-рые включают дв-ли 1 и 2 в параллель с дв-лями 3, 4 и наконец БК к-ров 11 и 15 замыкают цепь вентиля уравнительного к-ра 10.

При 2 соединениях дв-лей цепь управления для перехода с ИК достаточно проста, но недостатком ее является обратный переход с параллельного соединения на последовательное, при к-ром происходит хотя и кратковременный, но полный разрыв силовой цепи. Принципиально возможен обратный переход и без разрыва силовой цепи, но цепь управления при этом чрезмерно загромождается БК.

При 3 соединениях дв-лей цепь управления получается сложной даже при допущении обратного перехода с разрывом силовой цепи.

Обратный переход требует блокировки, исключающей возможность включения реостатных к-ров при не переключенных еще дв-лях. В данном случае необязательна гарантия включения реостатных к-ров после полного завершения перехода, — достаточно, чтобы включение реостатных к-ров происходило после размыкания силовой цепи.

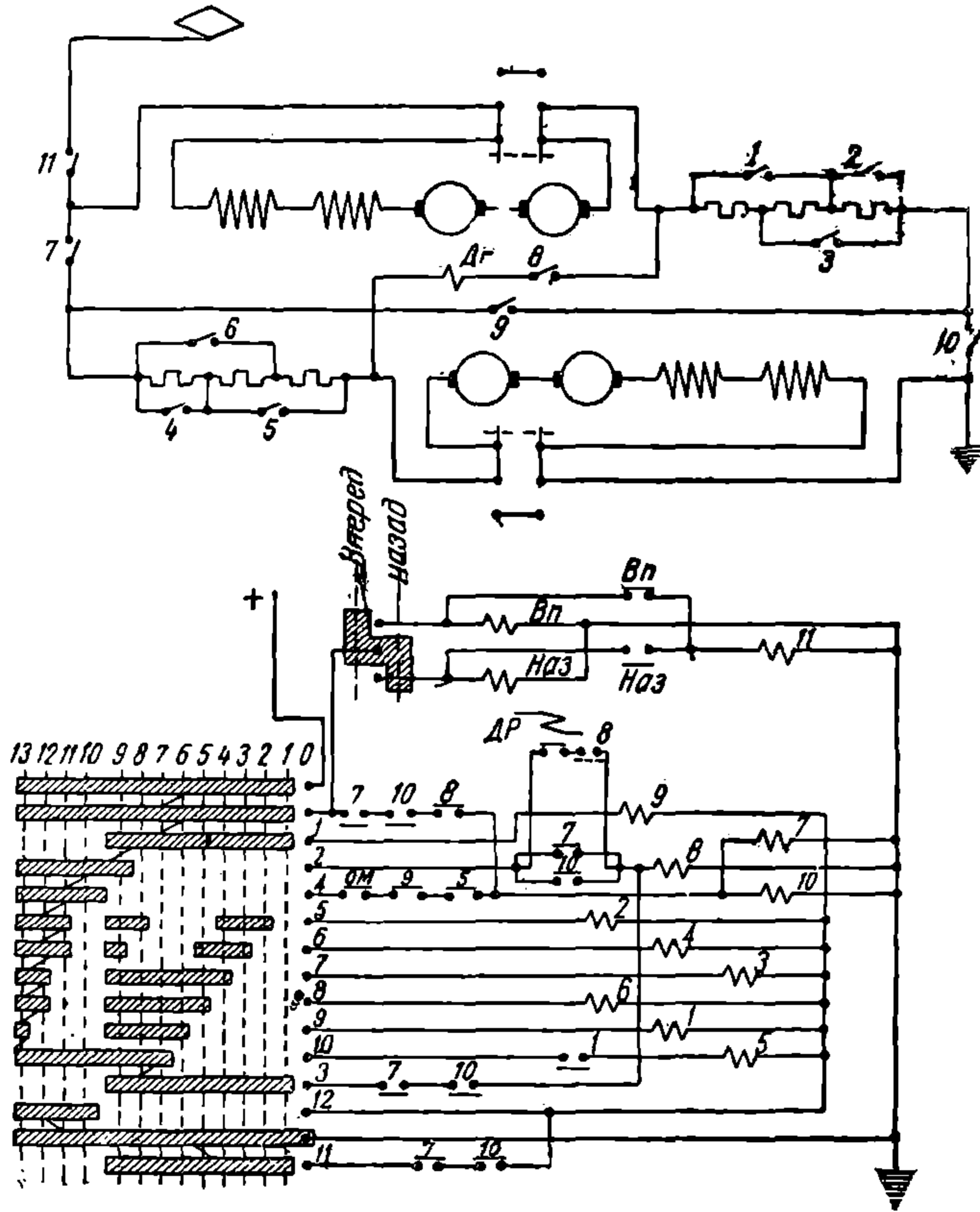
Такая блокировка достигается различными приемами. Наиболее простая для данного случая приведена на схеме фиг. 101. При перемещении рукоятки КМ с 10-й на 9-ю позицию к-ры 3—9 теряют заземление через провод 13, и цепь их заземления восстанавливается только после выключения к-ров 13 и 10. К-р 13 размыкает цепь дв-лей 3 и 4, к-р 10 выключается только после отключения к-ров 11 или 15, т. е. после размыкания цепи дв-лей 1 и 2. Аварийный режим работы силовой цепи, т. е. с отключением поврежденных дв-лей, достигается переключениями в цепи управления посредством БК отключателей моторов. В рассматриваемой схеме при аварийном режиме силовая цепь замыкается с 10-й позиции. Табл. замыкания к-ров претерпевает след. изменения: к-ры 2, 12 и 14 не включаются вообще, к-р 6 включается с 10-й по 17-ю позицию, к-ры 3—9 не включаются с 1-й по 9-ю позицию КМ. Эти изменения осуществлены БК ОМ в цепи управления, к-рые на схеме изображены в нормальном положении и переключаются при выключении любой пары дв-лей.

2) Ц е п ь у п р а в л е н и я д л я п е р е х о д а м о с т о м. Цепь управления для силовой схемы с переходом по методу моста отличается от предыдущей системой блокировок, обеспечивающих надлежащую последовательность замыкания ИК при переходе. Обратный переход обеспечивается полностью, без разрыва силовой цепи, сравнительно простой системой БК. Схема выполнима в различных видоизменениях, но мало отличающихся от примера такой схемы, приведенного на фиг. 102.

Как и в предыдущей схеме, реостатные к-ры 1—6 включаются от развертки КМ по проводам 5—10. Переключение дв-лей производится к-рами 7, 8, 9 и 10 при постановке ручки КМ на 10-ю позицию и начинается с возбуждения по проводу 4 вентиля к-ров 7 и 10. Замыкание цепи вентиля 7 и 10 задерживается БК «выкл. 5», выключение же к-ра 5 задержано БК к-ра 1, т. е. введена искусственная задержка перехода для отключения реостатных к-ров. После включения обоих к-ров 7 и 10 размыкается цепь тока вентиля мостового к-ра 8, и переход на этом заканчивается.

При обратном переходе, т. е. при постановке рукоятки КМ с 10-й позиции на 9-ю, переключение должно начаться с включения к-ра 8. Возбуждение его вентиля на 9-й позиции происходит по проводу 3 через БК «вкл. 7» и «вкл. 10», после чего выключаются к-ры 7 и 10, вентили к-рых остаются возбужденными на 9-й позиции до выключения к-ра 8, получая питание через БК «вкл. 7», «вкл. 10» и «выкл. 8». Далее происходит замыкание реостатных к-ров и к-ра 9, цепь тока вентиля к-рых на 9-й позиции была разомкнута сегментом КМ со стороны земли, после выключения к-ров 7 и 10 цепь восстанавливается по проводу 11 через др. сегмент КМ. Такая блокировка однако недостаточна при работе двух эл/в по системе многих единиц: размыкание к-ров 7 и 10 на одном эл/в вызовет соединение с землей цепей реостатных к-ров и к-ра 9 на обоих эл/в., т. к. провод 12—линейный.

3) Переход с дифференциальным реле требует лишь дополнения схемы управления БК ДР, к-рый тем или иным способом включения в схему должен задерживать замыкание мостового к-ра до срабатывания реле. На схеме фиг. 102 БК ДР шунтирует БК к-ров 7, 10 в цепи вентиля к-ра 8. При наличии в схеме ДР к-р 8 не размыкается на 10-й позиции КМ, если БК реле остается замкнутым, и схема «мостика» сохраняется и при дальнейшем перемещении ручки КМ, пока ток в пусковых сопротивлениях не превысит тока дв-лей. После срабатывания реле д. б. устранена возможность повторного включения к-ра 8 при обратном действии реле. В приведенной схеме это достигнуто включением последовательно с БК ДР БК «вкл. 8».



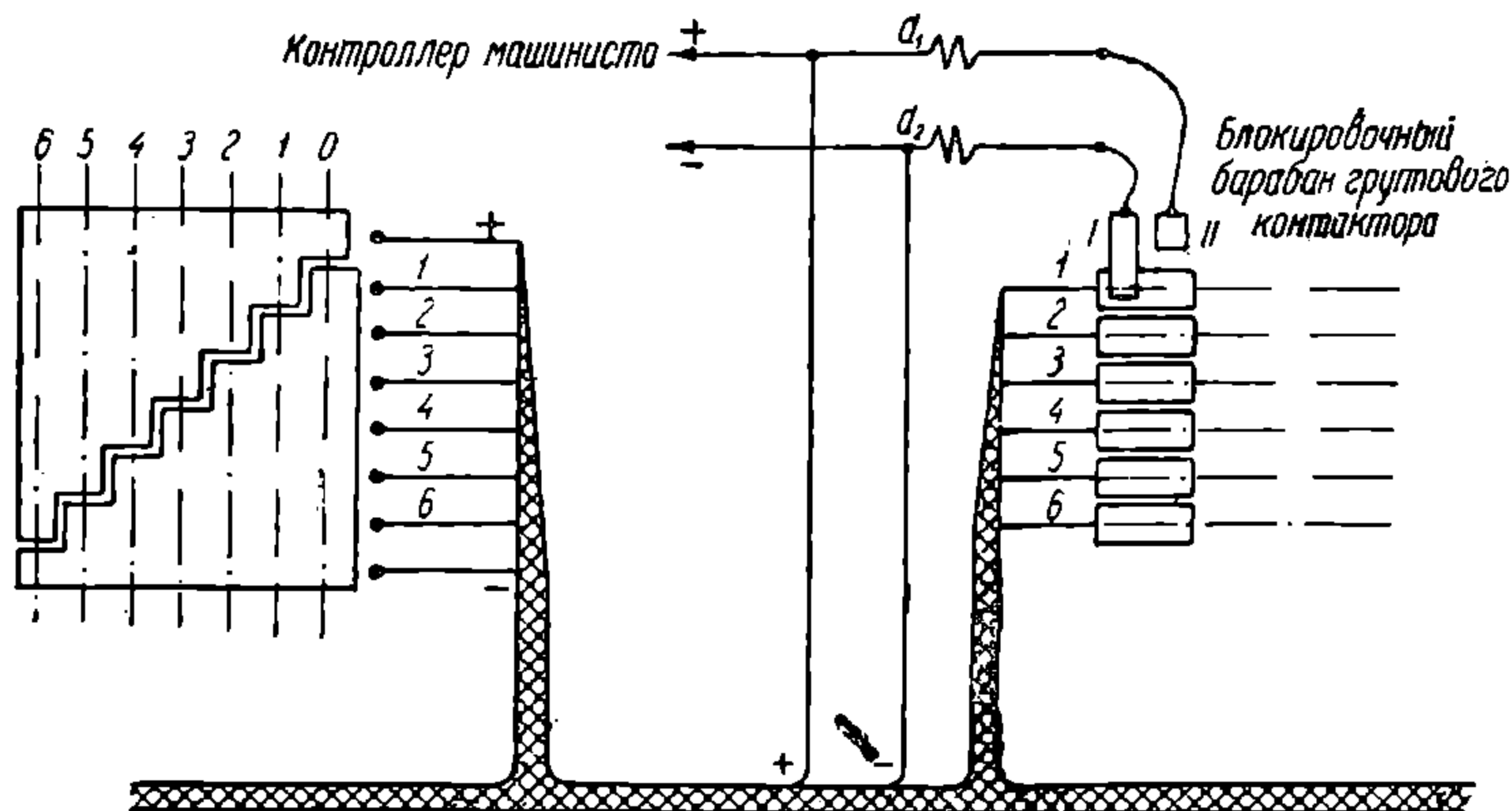
Фиг. 102

Табл. 4

Позиции КМ		К о н т а к т о р ы										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Послед. соединение	1											11
	2	1								9		11
	3	1								9		11
	4	1			4					9		11
	5	1		3	4					9		11
	6			3	4		6			9		11
	7		2	3			6			9		11
	8		2	3		5	6			9	8	11
	9	1	2	3		5	6			9		11
Мостик								7	8		10	11
Паралл. соединение	10											11
	11	1			4			7			10	11
	12	1		3	4		6	7			10	11
	13	1	2	3	4	5	6	7			10	11

НИИ
ДНУЗТ

4) Цепь управления ГК приведена на фиг. 103. Пневматический привод ГК управляется посредством 2 вентилях включающего типа: при возбуждении вентиля d_2 вал ГК вращается в направлении включения и при возбуждении вентиля d_1 —в направлении выключения, когда же оба вентиля не возбуждены, вал ГК остается неподвижным. ГК имеет неподвижный блокировочный барабан с числом к-тных пластин по числу позиций ГК, к-рые соединены с соответствующим числом пальцев КМ. По блокировочному барабану ГК скользят к-тные щетки I и II, к-рые жестко связаны с валом ГК.



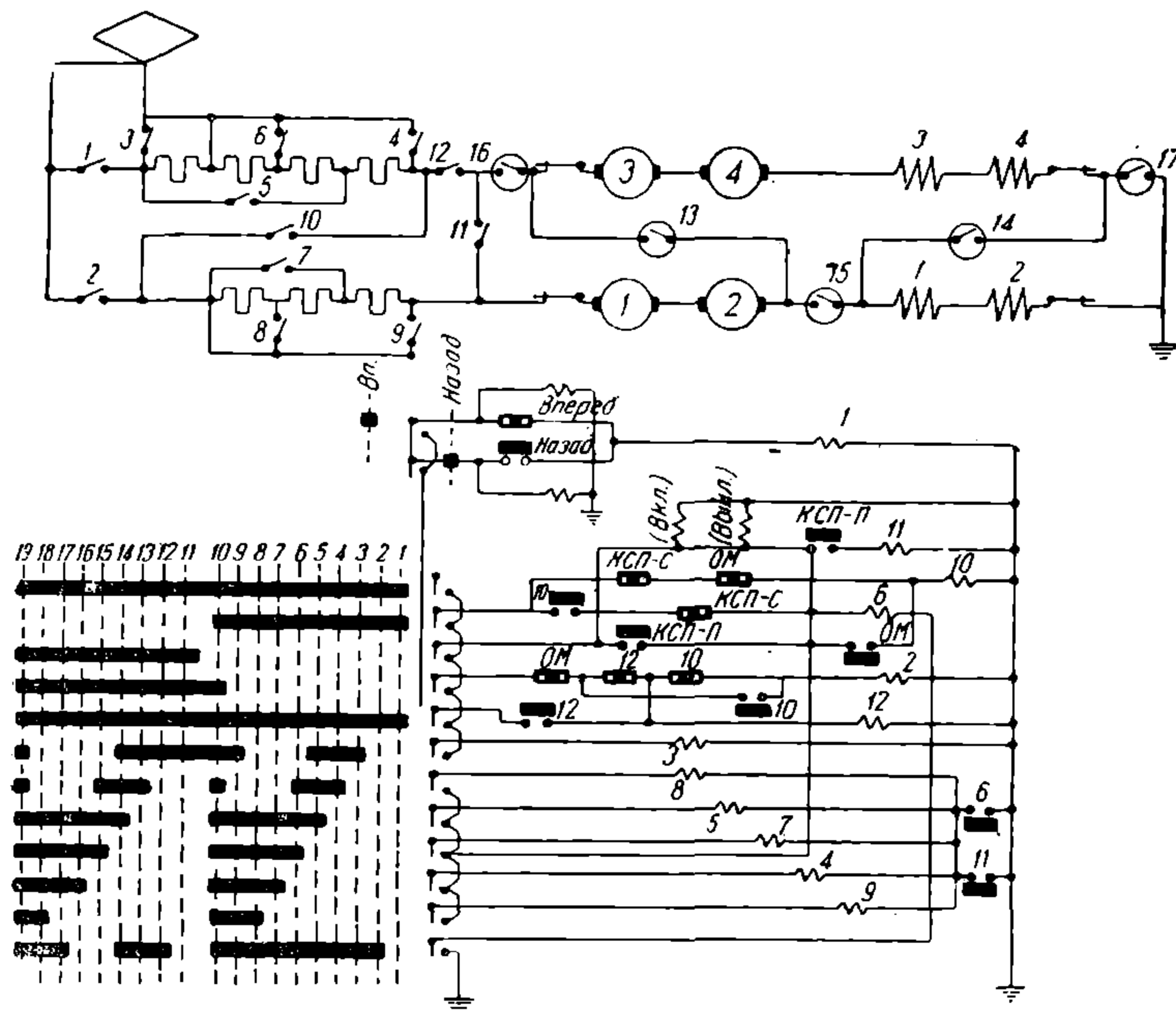
Фиг. 103

Щетка II смещена относительно щетки I так, что они всегда находятся в соприкосновении с различными, но соседними к-тными пластинами барабана. Барабан КМ имеет 2 системы к-тных сегментов, из к-рых одна постоянно соединена с положительным полюсом генератора управления и др.—с отрицательным. На 1-й позиции все пальцы КМ и соответственно все к-тные пластины блокировочного барабана ГК соединены с отрицательным полюсом генератора; при дальнейшем продвижении барабана КМ постепенно, начиная с 1-го, пальцы и соответствующие к-тные пластины барабана ГК сообщаются с положительным полюсом. ГК вращается в том или ином направлении до тех пор, пока щетки I и II не расположатся по линии раздела между положительными и отрицательными пластинами блокировочного барабана ГК, т. е. так, что щетка I находится на 1-й отрицательной пластине, а щетка II—на последней положительной. Если обе щетки находятся на положительных пластинах, то возбуждается вентиль d_2 , и ГК перемещается в направлении включения; наоборот: если обе щетки находятся на отрицательных пластинах, возбуждается вентиль d_1 , и вал ГК вращается в обратном направлении. На 1-й позиции КМ включается ЛК, при чем он может включиться только в том случае, если ГК находится в 1-й позиции, т. к. в цепь его вентиля вводится БК ГК, замкнутый только на 1-й позиции ГК. После включения ЛК этот БК шунтируется собственной блокировкой «вкл. ЛК». Если при постановке ручки КМ на 1-ю позицию ГК не находился в 1-м положении, то включению ЛК предшествует поворот вала ГК в направлении выключения до 1-й позиции. Дальнейшее управление основано на описанном выше свойстве схемы, благодаря к-рому ГК повторяет все переключения КМ с позиции на позицию в прямом и обратном направлениях движения ручки КМ.

5) Цепь управления для силовой схемы с ИК и ГК для переключения дв-лей приведена на фиг. 104. К-ры 13, 14, 15, 16 и 17 в этом случае объединены в ГК, имеющий 2 положения включения соответственно 2 соединениям дв-лей. Пневматический привод ГК или КСП управляется 2 вентилями: одним—включающего и одним—выключающего типа. Когда оба вентиля не возбуждены, то КСП включает дв-ли в последовательное соединение, а когда оба вентиля возбуждены, КСП переключает дв-ли в параллельное соединение. На позициях 1—10, соответствующих 1-му соединению дв-лей, вентили КСП питания не получают, вентиль к-ра 1 возбуждается через одну из блокировок реверсора, к-ры 3—9 включаются от развертки барабана контроллера. К к-там КМ, от к-рых питаются вентили к-ров 4, 5, 7, 8 и 9, напряжение подается через БК «вкл. 10» и КСП-С по проводу 1а. Земление вентили к-ров 4, 5, 7, 8 и 9 получают через БК «вкл. 6». При переходе с 10-й на 11-ю позицию к-ры 4—9 выключаются, а КСП переходит на позицию параллель-

ного соединения. Очередность действия ИК и КСП при прямом ходе обеспечивается искусственным замедлением действия КСП (впуск или выпуск воздуха из цилиндра через малое калиброванное отверстие).

На позициях с 11-й по 19-ю питание к-ров 4—9 происходит по проводу 2 через БК КСП-П, а при обратном переходе КМ с позиций параллельного соединения на позиции серийного соединения провод 12 отключается КМ, и цепь питания к-ров 4—9 восстанавливается через БК КСП-С только после поворота КСП обратно в положение, соответствующее серийному соединению дв-лей. Таким переключением питания реостатных к-ров с провода 2 на провод 1 посредством БК КСП достигается правильность обратного перехода с 11-й на 10-ю позицию, т. е. включение реостатных к-ров после обратного перехода КСП. Этой блокировкой однако недостаточно при работе 2 эл/в по системе многих единиц, т. к. при обратном переходе с 11-й на 10-ю позицию после обратного поворота КСП на эл/в, с к-рого производится



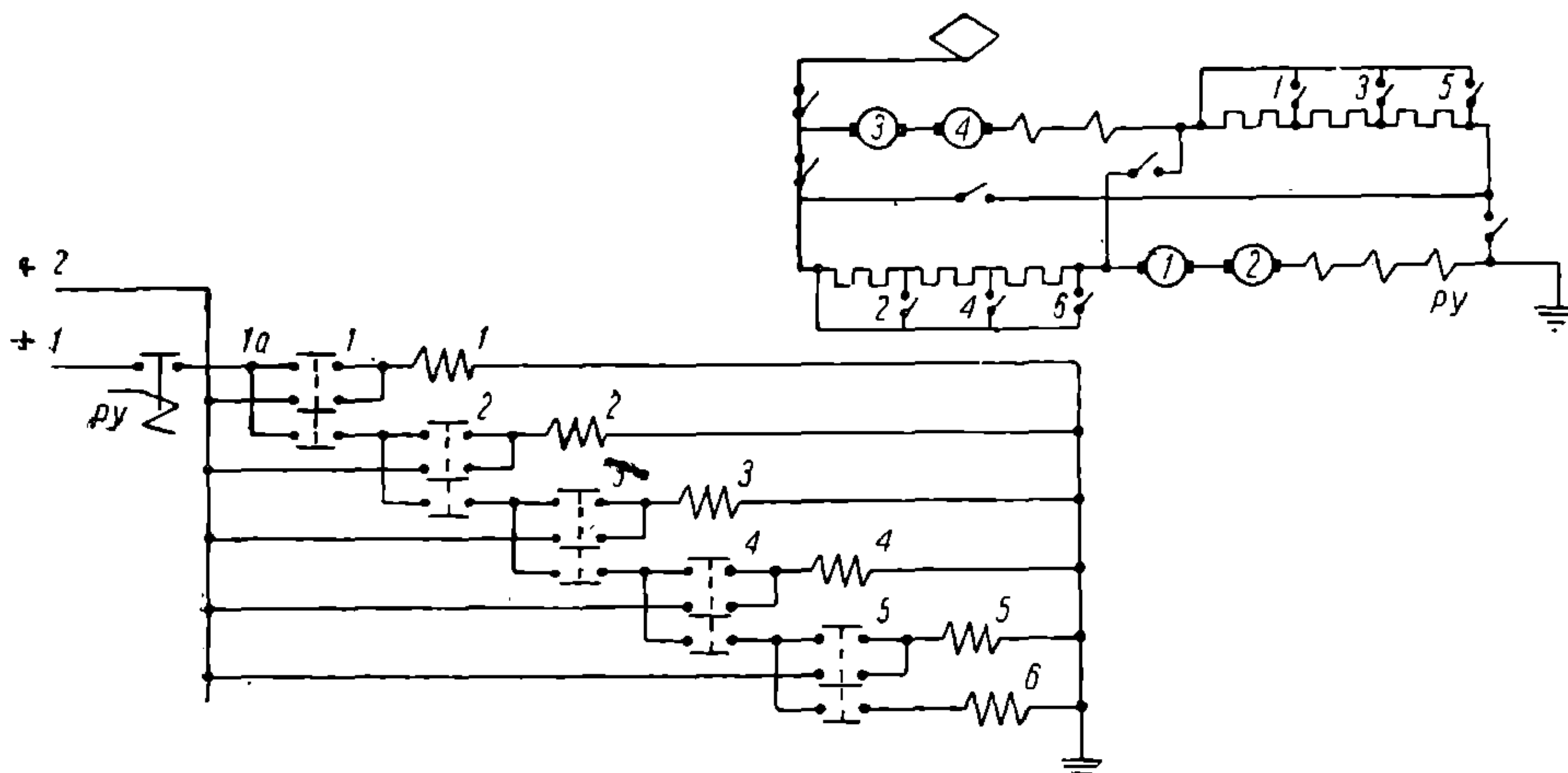
Фиг. 104

управление, восстановится питание вентилей к-ров 4—9 обоих эл/в, поскольку провода 7—10 являются линейными, т. е. соединяют в параллель соответствующие вентили к-ров обоих эл/в. Т. о., если КСП первого эл/в имеет меньшее время действия, чем второго, то на 2-м эл/в может иметь место включение реостатных к-ров до обратного перехода КСП. Такая неправильность действия схемы при работе по системе многих единиц исключается дополнительной блокировкой реостатных к-ров одним из тех же реостатных к-ров. В приведенном примере это выполняется блокировкой к-ров 4, 5, 7, 8, 9 к-ром 6, к-рые получают заземление только при включенном к-ре 6. К-р 6 при обратном переходе включается только после обратного поворота КСП данного эл/в. Чтобы при выключении к-ра 3 на позициях 15—16 к-ры 4, 5, 7, 8, 9 не отключались, блокировка «вкл. 6» на этих позициях шунтируется БК «вкл. 11». Применение обеих этих систем блокировок обратного перехода необязательно: достаточно применения одной из них, при чем, если предусматривается работа по системе многих единиц, то необходима вторая система, т. е. блокировка через средство реостатного ИК.

Чтобы при работе по системе многих единиц в моменты обратных переходов не могли возникнуть вредные контуры для вентилей реостатных к-ров, необходимо ставить отдельную БК к-ра для каждого блокируемого ИК.

Цепь управления подобного типа имеют наши эл/в «ВЛ 19» и «Сс». Ф-ии к-ра 6 в схеме эл/в «ВЛ 19» выполняются к-ром 8.

г) Схемы автоматического пуска с индивидуальными контакторами. Цепь управления для автоматического пуска с ИК осуществляется особой каскадной системой блокировок реостатных к-ров, принципиальная схема к-рых приведена на фиг. 105. Цепь управления получается достаточно простой только при простом ступенчатом замыкании к-ров, т. е. без использования параллельных включений секций. На схеме (фиг. 105) не приведены цепи управления к-ров, переключающих дв-ли с одного соединения на др.; система блокировок этих к-ров зависит от способа перехода и в основном м. б. сходной с описанными выше для случая неавтоматического управления.



Фиг. 105

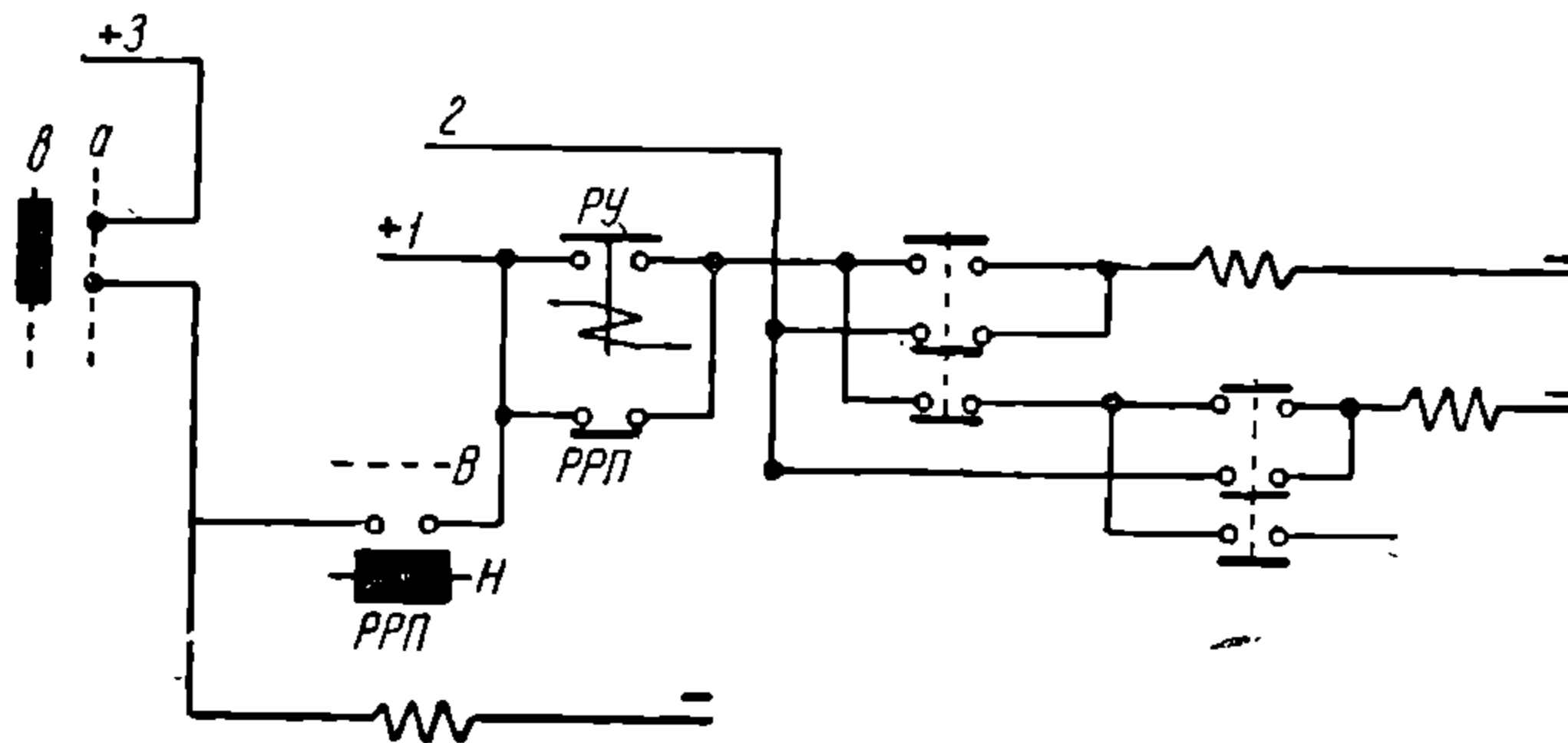
Действие схемы автоматического пуска след. КМ включает под напряжение генератора управления провода 1 и 2; когда пусковой ток упадет до минимального значения, РУ замкнет свой БК. При этом ток пройдет по проводу 1, через к-т РУ, по проводу 1а через БК «выкл. 1» и вентиль реостатного к-ра 1 в землю. К-р 1 включается, замыкая 1-ю секцию пускового сопротивления. Пусковой ток возрастает до максимального значения, и РУ размыкает цепь питания вентиля 1 от провода 1, однако к-р 1 при этом не выключается, т. к. питание его вентиля продолжается от т. н. удерживающего провода 2, через собственную блокировку «зкл. 1». При включении к-ра 1 замыкается БК «зкл. 1» в цепи к-ра 2, к-рый включится однако только тогда, когда пусковой ток вновь упадет до своего минимального значения и РУ вновь замкнет цепь провода 1. После выключения РУ вентиль 2 питается от удерживающего провода через БК «зкл. 2». Дальнейший процесс автоматического выключения пускового реостата продолжается аналогичным путем. Возможность проскакивания позиций, т. е. замыкания нескольких включенных в каскад к-ров исключается относительно большим временем действия эл-пневматического к-ра по сравнению с РУ, так что при включении данного к-ра РУ реагирует быстрее, размыкая провод 1, чем успевает срабатывать след. к-р.

Та же система БК используется и для автоматического пуска на параллельном соединении дв-лей, однако действие ее будет различно при различных силовых схемах.

В схемах с переходом мостиком должно происходить одновременное включение идентичных к-ров в обеих параллельных цепях, т. е. для силовой схемы, приведенной на фиг. 105, одновременно к-ров 1 и 2, затем 3 и 4 и наконец 5 и 6. Такое попарное включение к-ров с одного замыкания РУ достигается включением силовой катушки РУ в ту параллельную цепь, в к-рой находятся реостатные к-ры, действующие вторыми по развертке цепи управления для каждой ступени, т. е. в цепь дв-лей 1 и 2. Если катушка РУ включена в цепь дв-лей 1 и 2, то после замыкания к-ра 1 РУ не срабатывает, поскольку ток при этом возрастает только в цепи дв-лей 3 и 4. После же замыкания к-ра 2 РУ разомкнет цепь провода 1 и прекратит дальнейшее включение к-ров. Тем же порядком попарно включаются к-ры 3 и 4 и к-ры 5 и 6. Очевидно, что для схемы с переходом мостиком необходимо поочередное размещение вентиля к-ров 2 групп пусковых сопротивлений в каскаде цепи управления.

В схемах с переходом КЗ и при наличии уравнивающего соединения на параллельном включении попарное замыкание к-ров необязательно и не имеет места, т. к. если

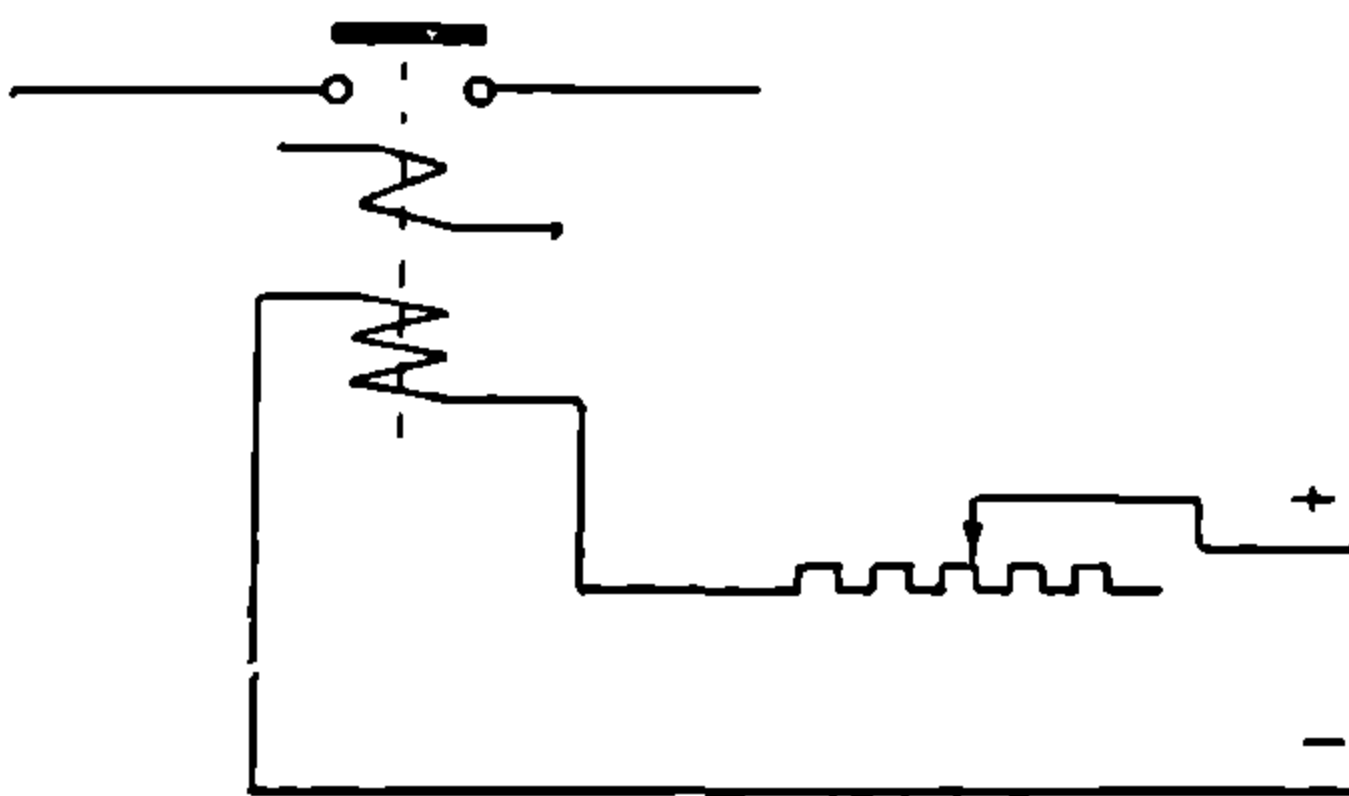
РУ включено в любую из цепей дв-лей, то оно реагирует на включение любого к-ра. Если же РУ включить в одну из цепей сопротивлений, т. е. до уравнительного провода, то цепь управления будет работать так же, как и в случае схемы с переходом мостом. В 1-м случае на параллельном соединении дв-лей получается двойное число пусковых ступеней по сравнению со 2-м случаем.



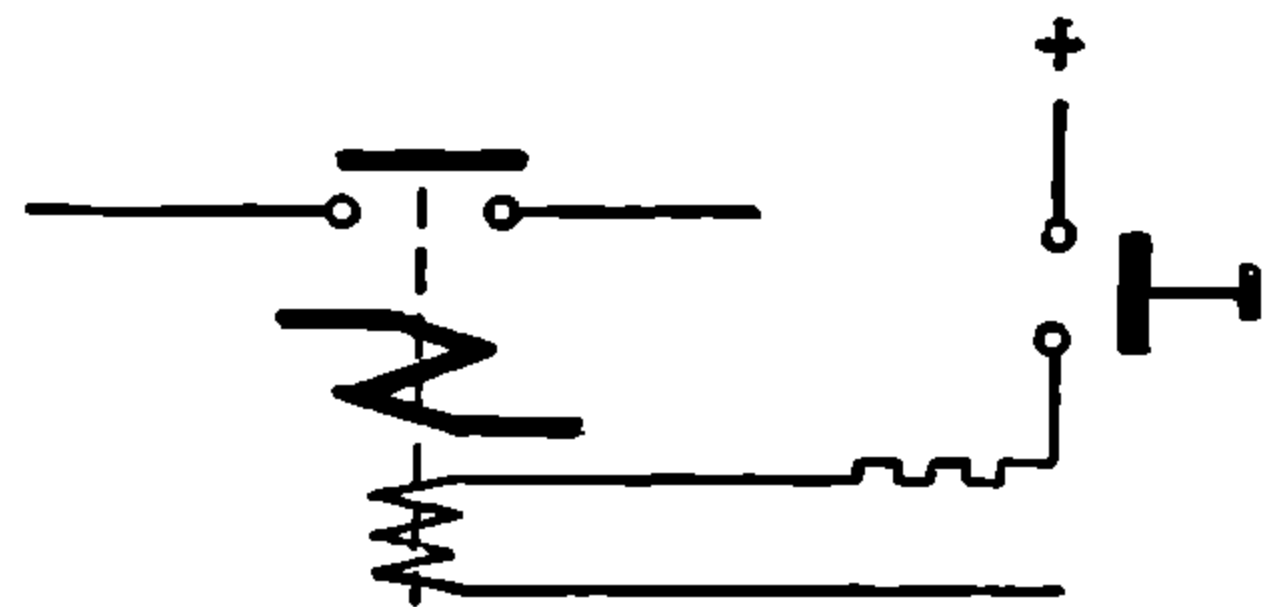
Фиг. 106

д) **Неавтоматический пуск в схемах автоматического управления** предусматривается на случай порчи РУ и на случай прекращения автоматического пуска на тяжелом подъеме, когда ток при равновесном движении превышает минимальный пусковой ток, т. е. ток замыкания РУ. В схемах автоматического управления с ИК для неавтоматического пуска применяется РРП, схема включения к-рого приведена на фиг. 106. Когда катушка РРП возбуждена, то один БК его шунтирует БК РУ, др. БК РРП разомкнут как при включенном реле, так и при выключенном, но замкнут нек-рый промежуток времени при перемещении подвижной системы реле с одного положения в др. Ручной пуск осуществляется многократным перемещением барабана КМ с позиции *a* на позицию *b* и обратно, при чем каждый раз при постановке его в позицию *b* РРП подает помимо РУ импульс тока, достаточный по длительности для замыкания одного к-ра.

е) **Регулирование пускового тока** при автоматическом управлении во время движения поезда с поста управления принципиально возможно в любых пределах и с любым числом ступеней регулировки, напр., введением (рис. 107) в РУ дополнительной катушки, сила



Фиг. 107



Фиг. 108

тока в к-рой может регулироваться посредством переменного сопротивления. Однако дистанционное регулирование пускового тока или вообще не применяется или ограничивается всего 2 ступенями регулировки, т. е. 2 режимами пуска.

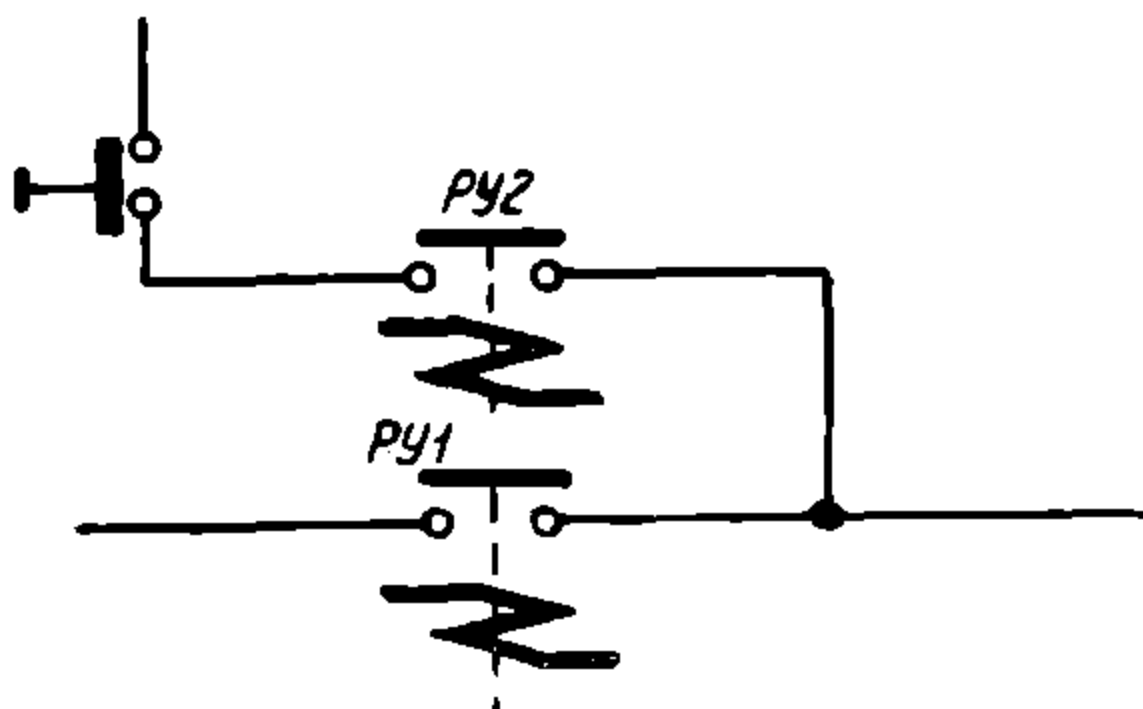
Осуществление 2 режимов пуска возможно посредством РУ с дополнительной катушкой по схеме фиг. 108. При разомкнутой цепи дополнительной катушки получается один пусковой режим и при замкнутой—второй, при чем, если ампер-витки силовой и дополнительной катушек действуют согласно, то в 1-м случае имеет место больший пусковой ток, чем во 2-м, если же ампер-витки катушек противоположно направлены, то в 1-м случае будет меньший ток, чем во 2-м. Недостатком такого способа регулирования является влияние на пусковой ток колебаний напряжения источника тока, питающего дополнительную катушку РУ.

ДНУЗТ

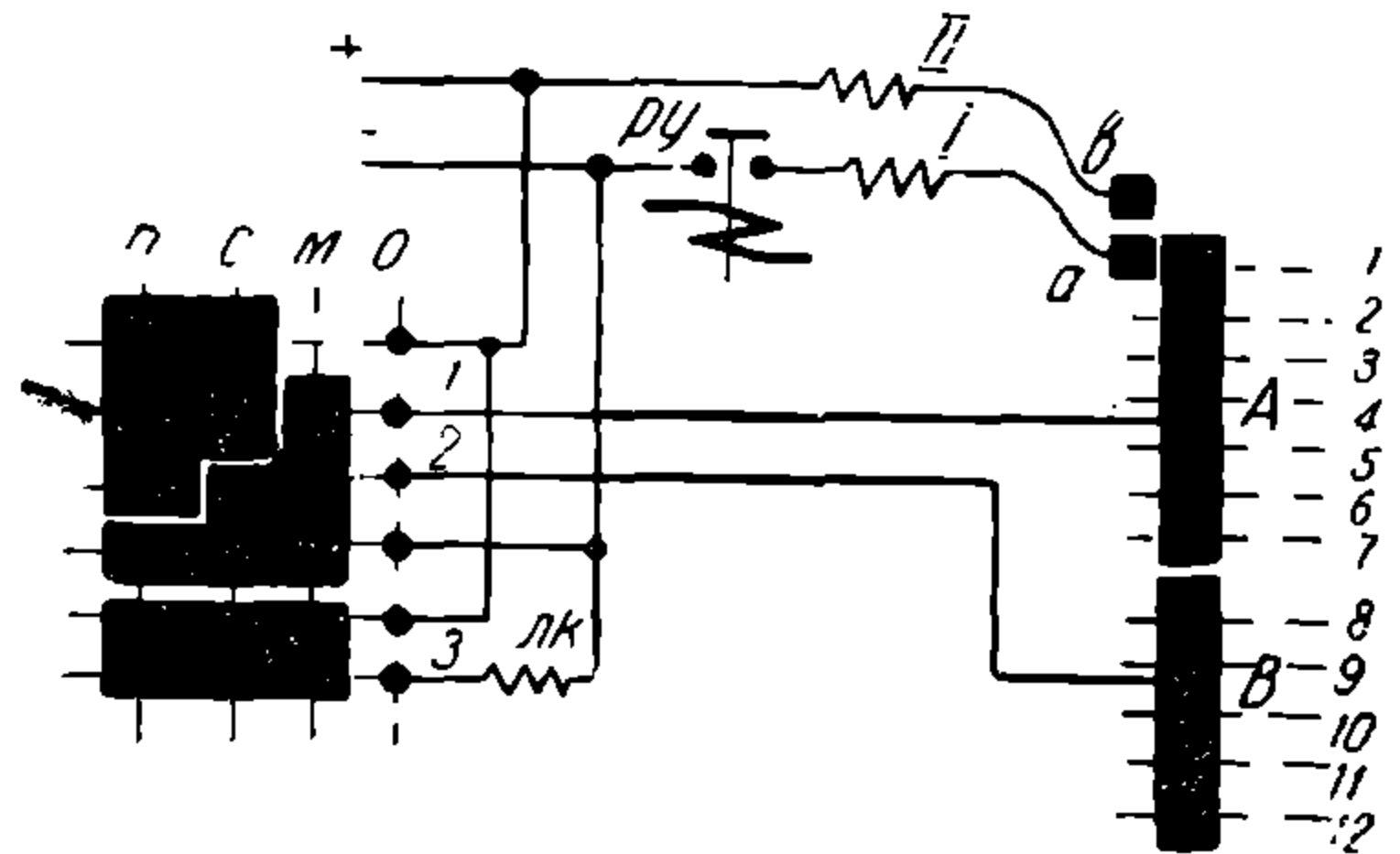
При 2 ступенях регулировки достаточно простое решение дает введение в схему двух РУ с различной регулировкой (фиг. 109). Когда кнопка разомкнута, работает РУ1 с меньшим током замыкания, при включении кнопки работает РУ2 с большим током замыкания, а РУ1 держит свой БК все время разомкнутым.

ж) Схемы для автоматического пуска при групповой системе управления выполняются в целом ряде различных модификаций, в зависимости от конструкции пневматического привода ГК и РУ

На фиг. 110 приведена схема управления с ГК, пневматический привод к-рого снабжен 2 вентилями включающего типа I и II: при возбуждении вентиля I привод перемещает вал ГК в направлении включения, а при возбуждении вентиля II—в направлении выключения. Блокировочный барабан ГК—неподвижный, и при враще-

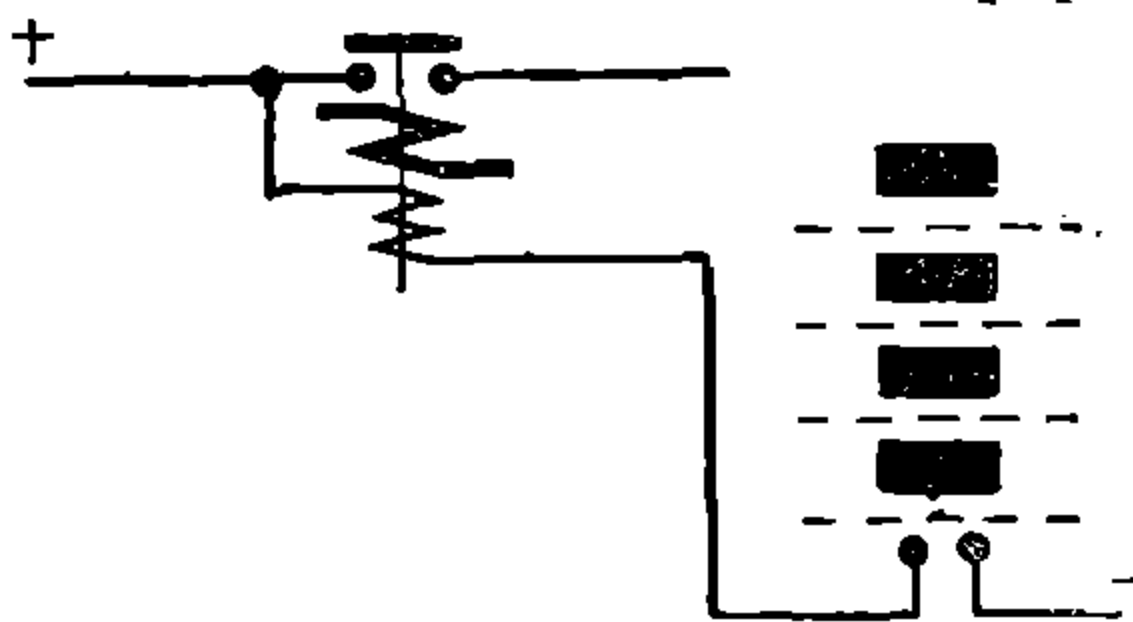


Фиг. 109

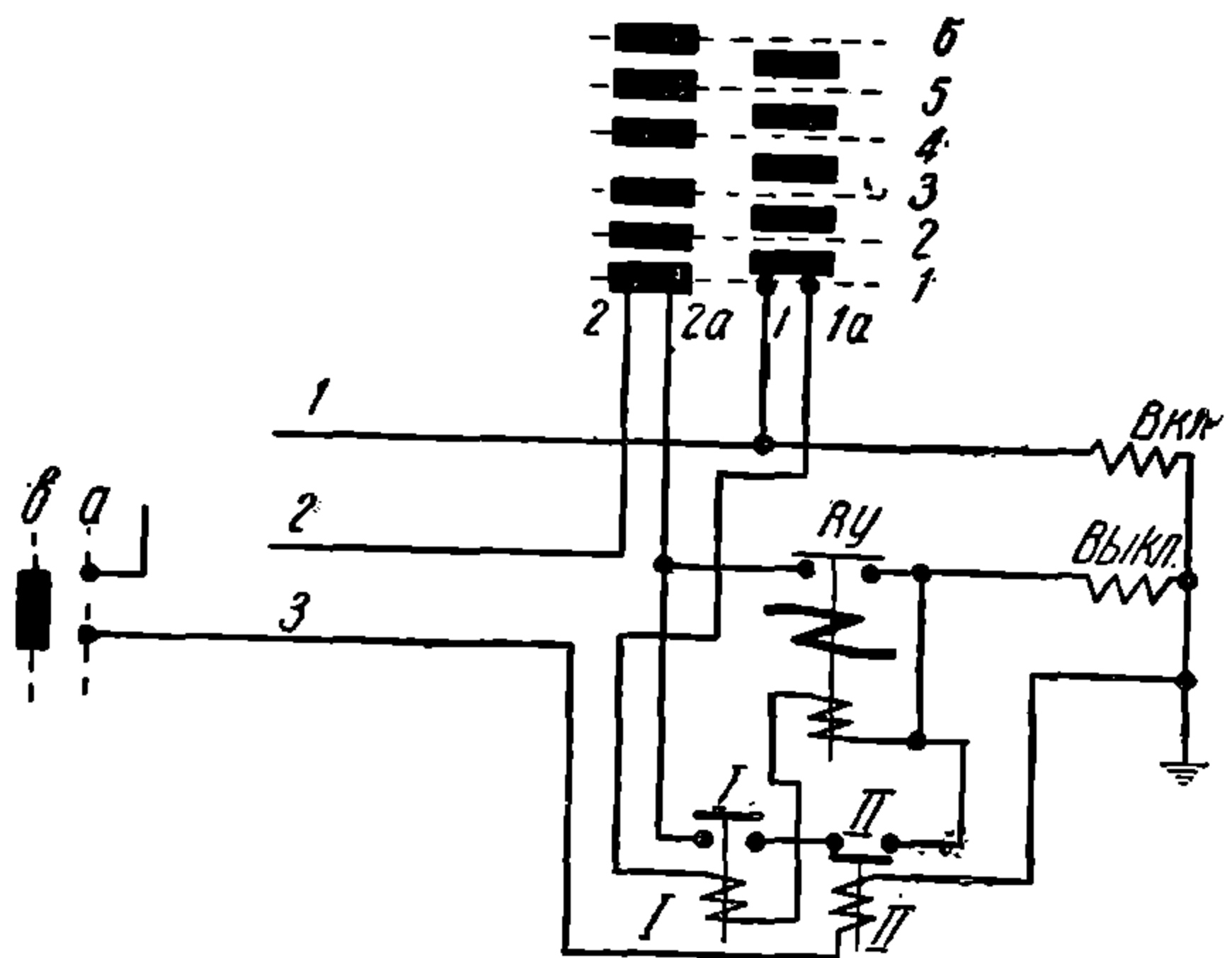


Фиг. 110

нии вала ГК по нему скользят щетки *a* и *b*. На блокировочном барабане имеются 2 к-тные пластины *A* и *B*: пластина *A* перекрывает позиции 1-го соединения дв-лей и пластина *B*—2-го соединения дв-лей. На 1-й позиции КМ (позиция *M*) замыкается ЛК и включает силовую цепь, к-рая ГК, стоящим на 1-й позиции, включена по 1-й маневровой позиции. Автоматический пуск начинается при постановке КМ на позицию *C*, на к-рой ток проходит по проводу *I*, через пластину *A*, щетку *a*, вентиль *I* и к-т РУ. При замкнутом РУ вентиль *I* возбуждается, и ГК переходит на 2-ю позицию, на к-рой вследствие увеличения силового тока к-т РУ размыкается, и прекращается питание вентиля *I*. Дальнейший поворот вала ГК происходит после повторного включения РУ. Таким порядком происходит автоматический пуск до безреостатной ступени 1-го соединения дв-лей—для приведенной схемы—до 8-й позиции. На 8-й позиции ГК щетка *a* попадает на к-тную пластину *B*, и цепь вентиля *I* преры-



Фиг. 111



Фиг. 112

вается. Для дальнейшего пуска КМ перемещается на позицию *СП*, на к-рой цепь питания вентиля *I* вновь восстанавливается, но уже по проводу *2*.

Большую четкость, — гарантию от проскакивания позиций, — дают схемы, в к-рых РУ снабжено дополнительной, т. н. ускоряющей катушкой (фиг. 111). Цепь тока ускоряющей катушки РУ замыкается к-тами блокировочного барабана ГК в промежуточных, между двумя позициями, положениях его кулачкового вала. Такое устройство

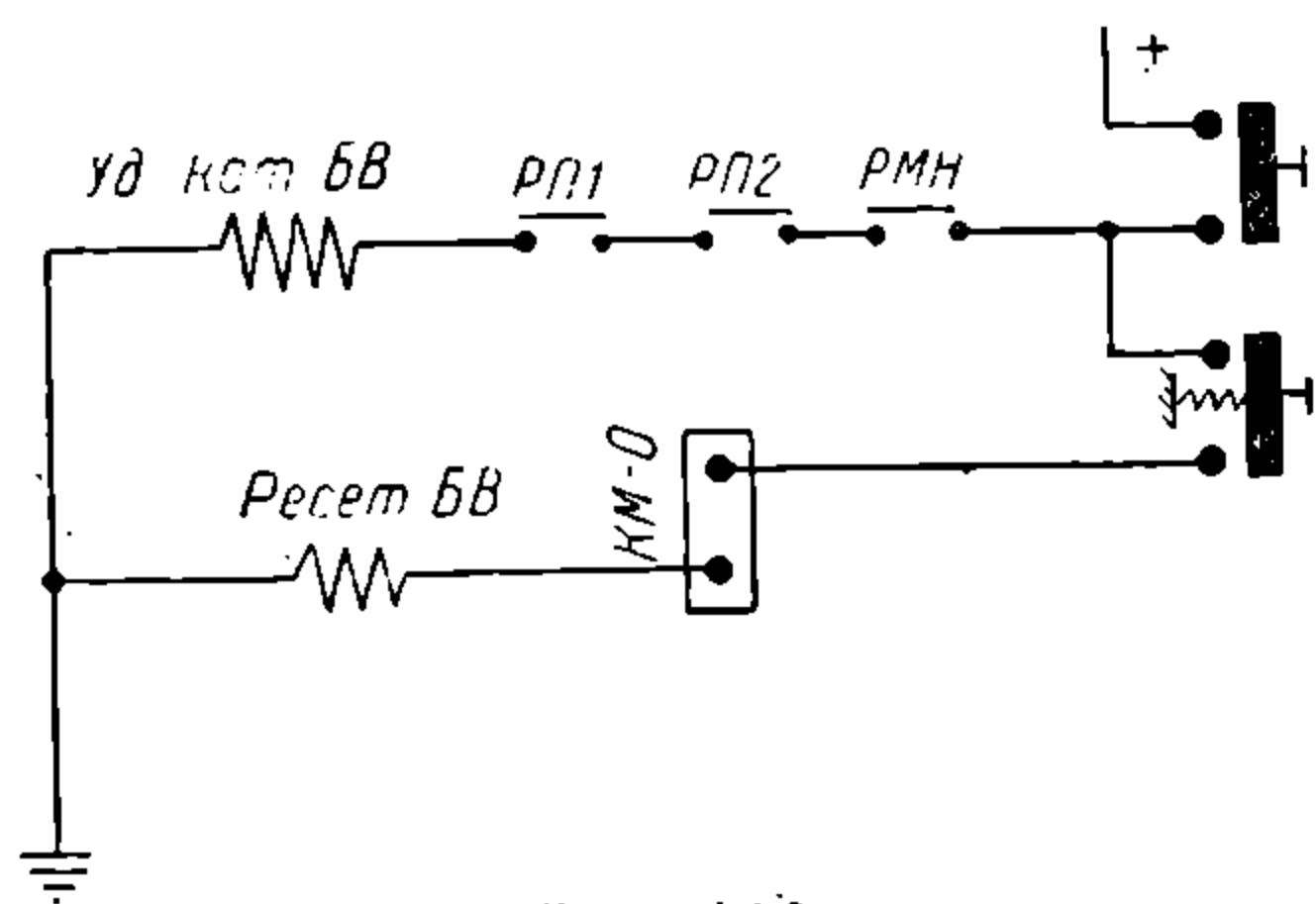
обеспечивает выключение РУ еще до момента замыкания очередного к-ра ГК. Чтобы при размыкании РУ при неполном повороте на 1 позицию вала ГК не прекратилось питание вентиля пневматического привода, ускоряющая катушка включается так, что ток ее протекает по катушке вентиля, возбуждая его при разомкнутом РУ. В нек-рых конструкциях РУ, в к-рых ампер-витки включения значительно превышают ампер-витки отпадания якоря, такая катушка вообще необходима для работы реле, т. к. увеличения тока силовой катушки для поднятия якоря недостаточно.

На фиг. 112 приведена схема автоматического пуска, в к-рой предусмотрена также возможность неавтоматического пуска. В отличие от рассмотренной выше схемы, пневматический привод ГК снабжен 2 вентилями различного типа: один—включающего и др.—выключающего. Вращение кулачкового вала ГК в направлении включения происходит, когда возбуждены оба вентиля; когда возбужден только ventиль включающего типа («вкл.»), кулачковый вал удерживается неподвижным; и наконец, если оба вентиля не возбуждены, то кулачковый вал вращается в направлении выключения и занимает 1-ю позицию. Для автоматического пуска КМ включаются провода 1 и 2. По проводу 1 возбуждается ventиль «вкл.» и по проводу 2 через БК ГК и РУ — ventиль «выкл.». ГК переключается на 2-ю позицию, при чем переход сопровождается действием ускоряющей катушки РУ, цепь к-рой замыкается блокировочным барабаном ГК в промежутке между 1-й и 2-й позициями. Ток протекает по проводу 1, через БК ГК, далее по проводу 1а, через катушку I РРП, ускоряющую катушку РУ и далее через ventиль «выкл.». После полного перехода ГК на 2-ю позицию эта цепь размыкается БК ГК, но РУ остается разомкнутым вследствие увеличения тока в силовой катушке. Дальнейшее переключение ГК происходит при повторном замыкании РУ тем же порядком. Неавтоматический пуск осуществляется посредством РРП, состоящего из 2 катушек и 2 БК. РРП м. б. выполнено как в виде отдельного аппарата, так и в виде конструктивной части РУ. Неавтоматический пуск получается так же, как и в схемах с ИК, многократным перемещением барабана КМ с нек-рой позиции а на позицию б и обратно. На позиции б ток проходит по катушке II РРП и при этом замыкается БК II, к-рый с замкнутым БК I шунтирует БК РУ, замыкая, т. о., цепь вентиля «выкл.». В промежуточном положении кулачкового вала ГК по проводам 1 и 1а возбуждается катушка I РРП, и БК I размыкается, но питание вентиля «выкл.» продолжается тем же путем, что и при автоматическом пуске. После полного перемещения вала ГК на след. позицию возбуждение вентиля «выкл.» и катушки I прекращается, т. к. провода 1 и 1а размыкаются БК барабана ГК. БК I удерживается разомкнутым катушкой II, к-рой создается магнитный поток, недостаточный, чтобы притянуть якорь с БК I, но достаточный, чтобы удержать его. Для переключения ГК на след. позицию необходимо на нек-рое время цепь тока катушки II выключить, чтобы к-т I вновь замкнулся; для этого барабан КМ ставится на позицию а, после чего он вновь возвращается на позицию б, и весь процесс повторяется тем же порядком.

з) Цепь управления аппаратов защиты, т. е. схема включения н/в частей аппаратов защиты между собой и с пр. аппаратами управления, должна удовлетворять след. требованиям: 1) обеспечивать отключение силовой схемы от токоприемника при действии любого из реле перегрузки или РМН, т. е. выключение линейного выключателя; 2) обеспечивать размыкание опасных контуров самой силовой цепи, при наличии к-рых даже после отключения силовой цепи от напряжения к-тного провода аварийное состояние может сохраниться; 3) исключать возможность повторного включения схемы помимо воли машиниста; 4) восстановление аппаратов защиты д. б. возможным только в нулевой позиции КМ или на 1-й позиции ГК.

На фиг. 113 приведена цепь управления аппаратов защиты при использовании в качестве линейного выключателя БВ. Действие БВ от реле перегрузок и РМН достигается последовательным включением блокировок этих реле в цепь удерживающей катушки БВ. Реле м. б. самовосстанавливающимися, поскольку для повторного включения БВ требуется нажатие кнопки «восстановление БВ», т. е. возбуждение катушки «ресет БВ». Восстановление БВ возможно только в нулевой позиции КМ, т. к. на остальных позициях к-т «КМ-О» барабана контроллера разомкнут.

При групповой системе управления «ресет БВ» д. б. заблокирован 1-й позицией ГК. В схемах с рекуперацией на тормозном режиме помимо выключения БВ необ-



Фиг. 113

ДНТЬ
ДНУЗТ

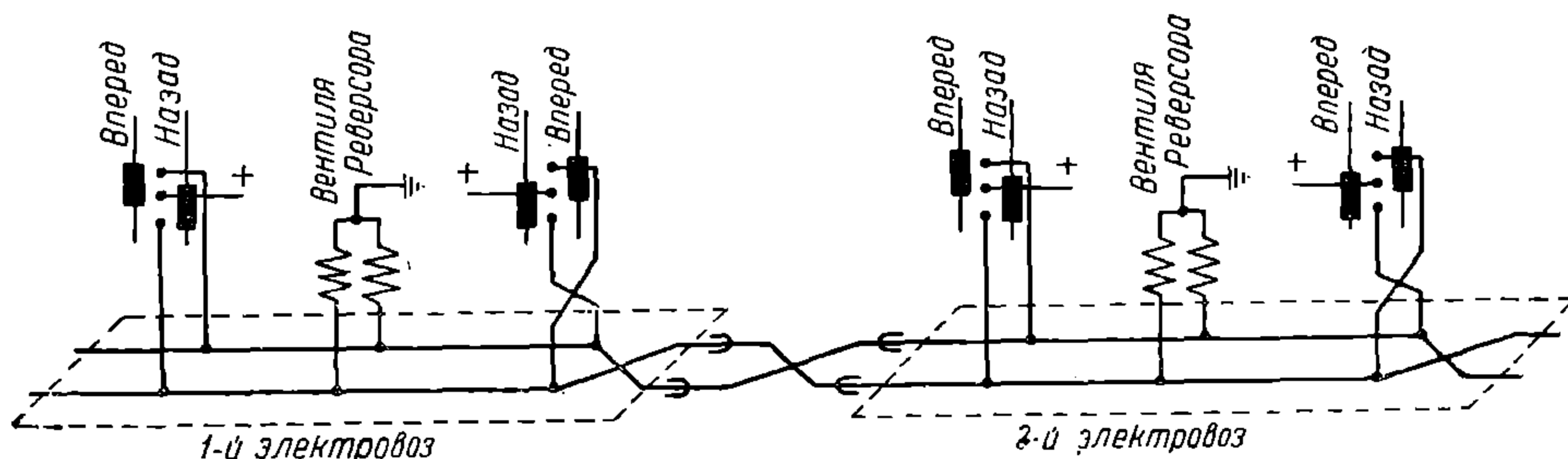
ходимо выключение к-ров стабилизирующих сопротивлений. Это производится обычно блокировкой БВ в цепи этих к-ров.

При использовании в качестве линейного выключателя эл-пневматических к-ров реле д. б. несамовосстанавливающимися. Цепь катушек восстановления реле д. б. блокирована нулевым положением КМ. Возможно применение также самовосстанавливающимися реле, но цепь управления ЛК д. б. выполнена так, чтобы включение их было возможно только в нулевой позиции КМ и чтобы на остальных позициях вентили, ЛК питались через собственную, «удерживающую» блокировку одного из этих к-ров, что будет исключать возможность повторного включения ЛК после действия аппаратов защиты.

и) Блокировка эл. торможения с пневматическими тормозами, исключающая возможность одновременного действия обоих видов торможения на эл/в, достигается возбуждением катушек «вентилей эл. торможения» при включении схемы на тормозной режим.

Кроме того в цепь удерживающей катушки БВ при рекуперации или в цепь вентилей к-ров, замыкающих силовую схему при реостатном торможении, вводятся БК автоматических выключателей срабатывающих: один—при торможении эл/в прямодействующим тормозом и др.—при экстренном торможении поезда и выключающих в обоих этих случаях эл. торможение эл/в.

к) Цепь управления реверсоров. Линейные провода реверсора должны иметь перекрестное включение в межвагонном соединении с одного конца эл/в и у одного из контроллеров, согласно схеме фиг. 114. Такое включение необходимо для получения правиль-



Фиг. 114

ного, согласно направлению, движения при сцепке эл/в любыми концами, а также для получения движения вперед и назад с обоих постов в одних и тех же положениях реверсивной рукоятки.

ЛК должны быть заблокированы БК реверсора так, чтобы ЛК могли включаться только после поворота реверсора в положение, соответствующее позиции реверсивной рукоятки на КМ.

3. СХЕМЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ

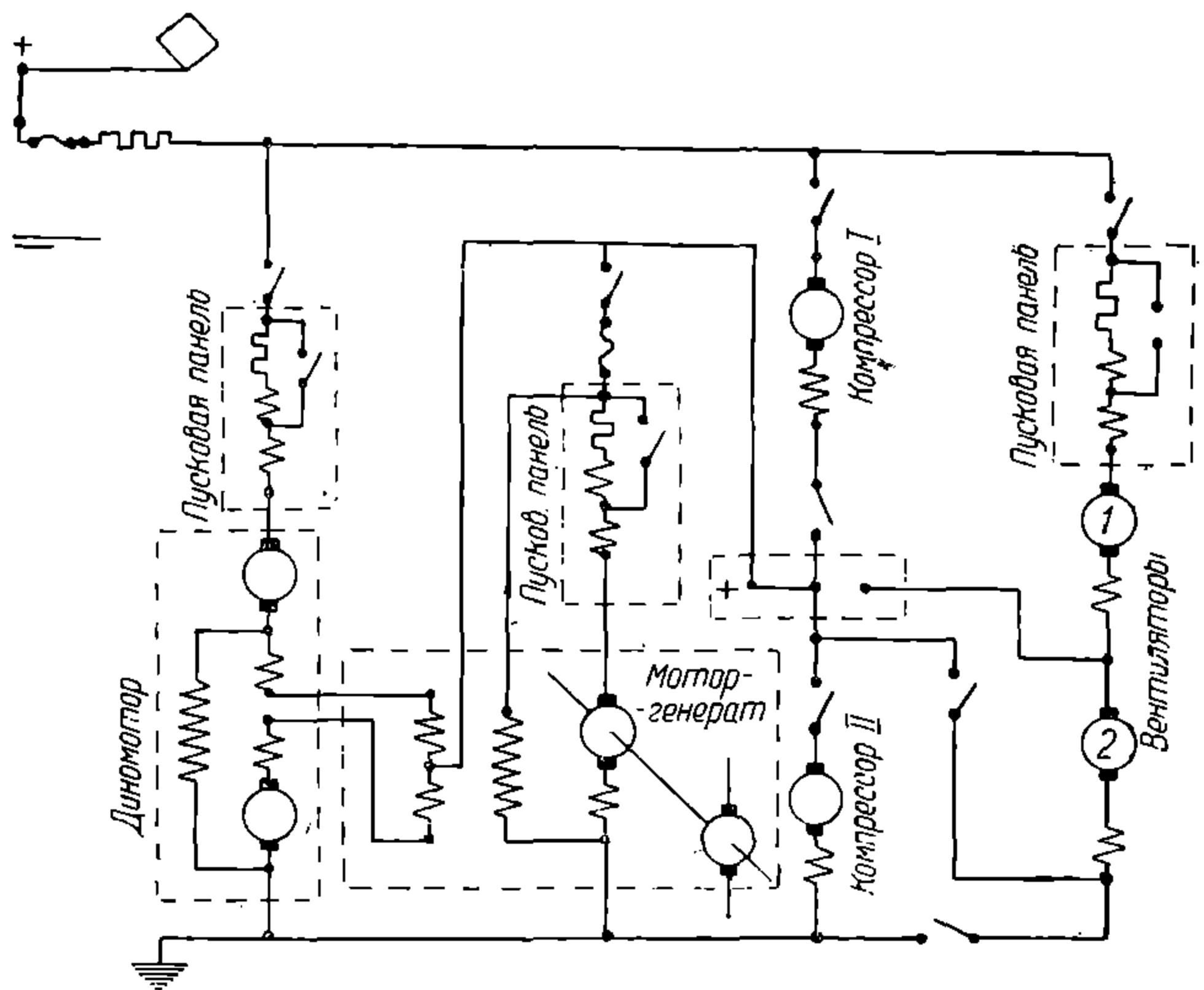
В/в вспомогательные машины и в/в отопление образуют особую силовую цепь, присоединяемую к токоприемникам обычно через отдельный разъединитель.

В схему входят: дв-ли МК и МВ, в/в отопительные приборы, на эл/в с рекуперацией—в/в дв-ль возбудителя, на м/в—МГ для питания цепей управления, освещения и т. п.

При наличии на эл/в 2 идентичных машин (МК, МВ) таковые могут включаться или параллельно, или в постоянное последовательное соединение. МВ в последовательном соединении работают устойчиво благодаря быстрому возрастанию тормозного момента на валу вентилятора с увеличением оборотов. МК в последовательном соединении работают неустойчиво, и для стабилизации их работы требуется соединение средней точки цепи МК с какой-либо точкой, имеющей половинное напряжение по сравнению с напряжением сети.

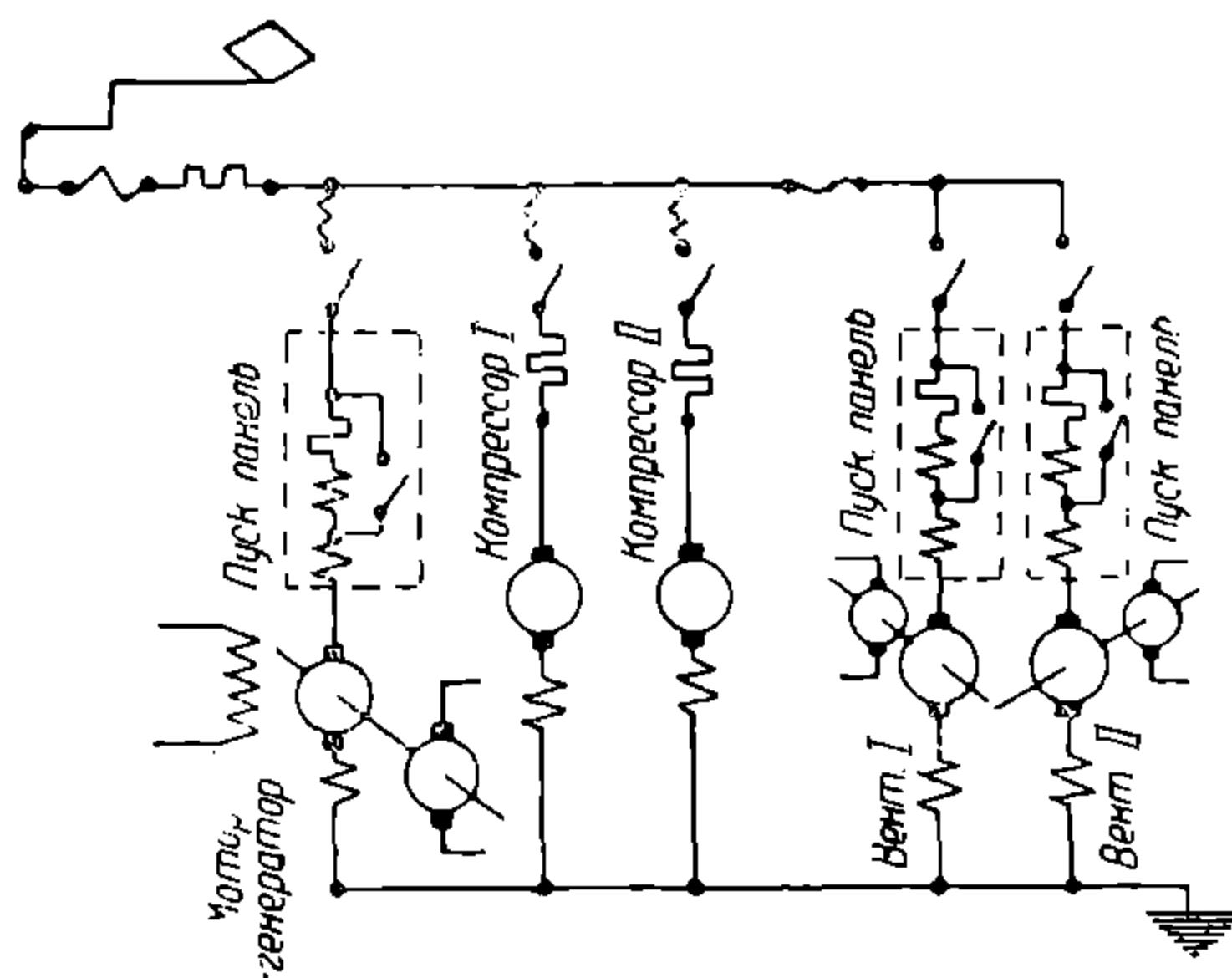
В качестве такой точки можно использовать среднюю точку между последовательно включенными МВ или среднюю точку специальной вольтоделительной машины— «динамотора».

На фиг. 115 приведена цепь вспомогательных машин эл/в «С10» и «Сс». МК в этой схеме работают в последовательном соединении. Средняя точка их соединена со средней точкой динамотора. Мощность динамотора достаточно велика, чтобы обеспечить работу 1 компрессора от половинного напряжения при аварии др. Кроме того от клеммы половинного напряжения динамотора питается мотор возбуждения ТД для режима рекуперации.



Фиг. 115

При аварии динамотора средняя точка компрессоров посредством треншальтера переключается на среднюю точку МВ. Динамотор кроме того используется в качестве приводного мотора для генератора управления.



Фиг. 116

На фиг. 116 приведена схема вспомогательных силовых цепей с машинами, рассчитанными на полное напряжение сети. В таком выполнении достигается полная независимость каждой машины от работы др. машин и устраняется необходимость в динамоторе.

Для получения 2 режимов вентиляции ТД иногда предусматривается возможность включения МВ в последовательное и параллельное соединение.

В качестве приводного мотора для генератора управления используется один из МВ или на валу обоих МВ устанавливается по одному генератору управления.

Включение и выключение вспомогательных машин и отопительных приборов производятся посредством эл-магнитных к-ров, управляемых дистанционно с постов управления.

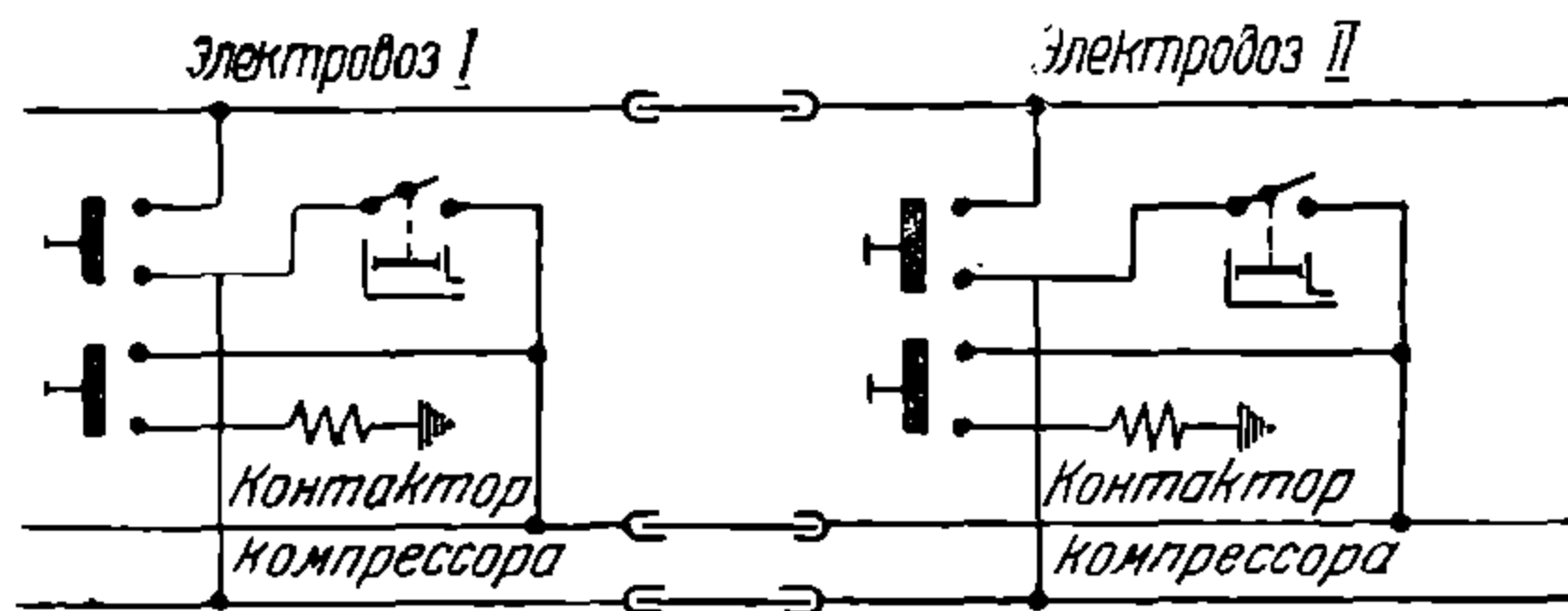
МК пускаются простым включением на сеть; для ограничения толчка тока в начальный момент пуска в цепь вводится демпферное сопротивление. Для пуска МВ и МГ обычно применяются пусковые панели.

От перегрузок и КЗ вспомогательные машины защищаются каждая своим плавким предохранителем и кроме того вся цепь—общим плавким предохранителем. Если размещение МВ не обеспечивает слышимости их работы во время движения поезда и не имеется автоматической сигнализации о прекращении их работы, то МВ не снабжают особым плавким предохранителем и они защищаются только общим плавким предохранителем вспомогательной цепи. Для ограничения ТКЗ при напряжении в 3000 V в цепь вспомогательных машин вводится общее токоограничивающее сопротивление.

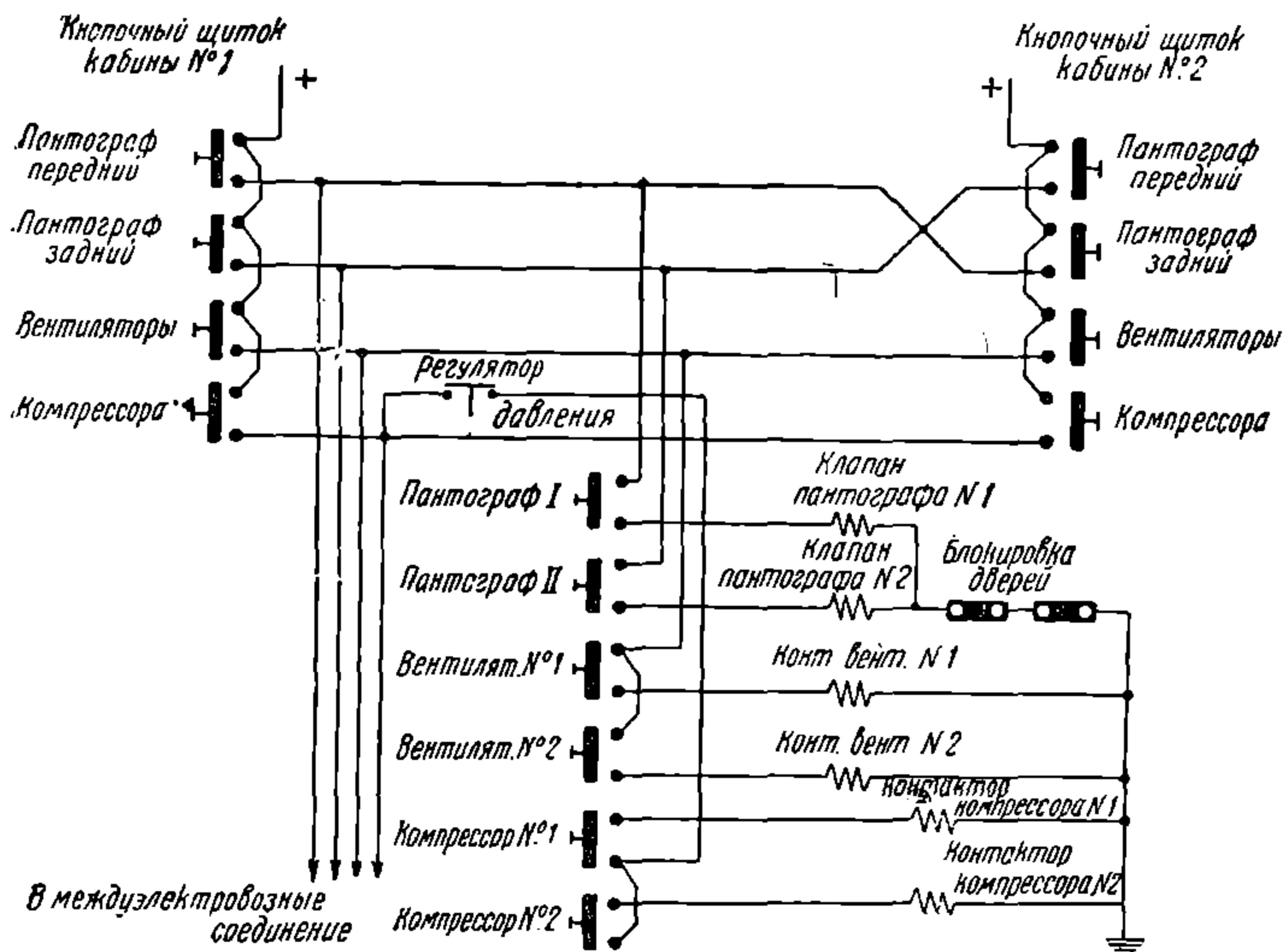
Мотор возбуждателя ТД м. б. защищен или, аналогично пр. машинам, посредством плавкого предохранителя или, как это удачно выполнено на эл/в «Си» (фирмы ВВС), посредством реле перегрузки и БВ цепи ТД.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ

Вспомогательные цепи управления включают: цепи управления вспомогательными машинами, эл-пневматическими клапанами пантографов, песочниц и т. д.



Фиг. 117



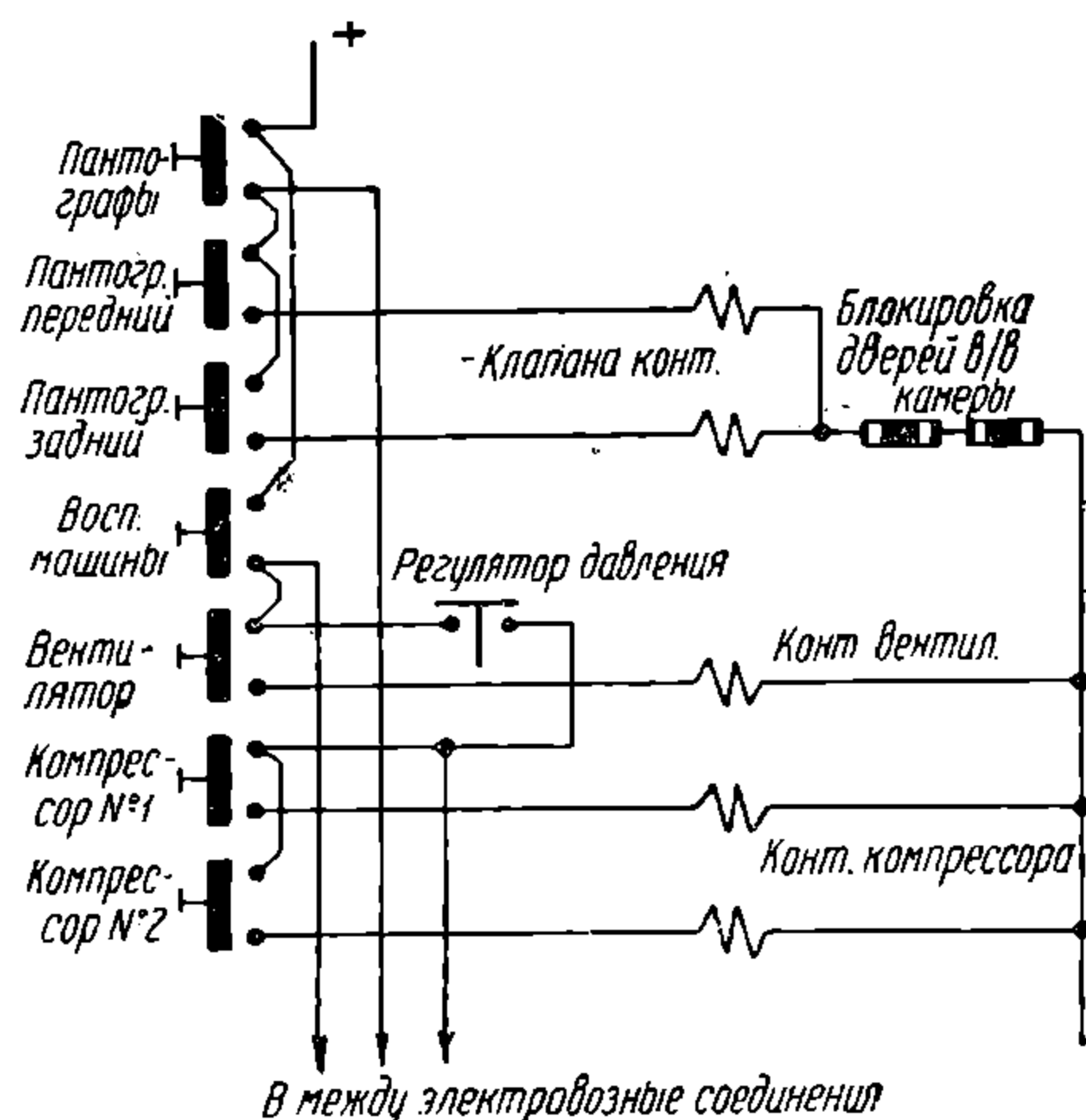
Фиг. 118

Пуск вспомогательных машин и подъем пантографов производятся с поста управления включением кнопок на кнопочном щитке, к-рыми замыкаются цепи питания со-

НТБ
ДУЭТ

ответствующих эл-магнитных к-ров и клапанов. МК после включения соответствующих кнопок на щитке выключаются и включаются вновь автоматически, под действием регулятора давления. При работе по системе многих единиц к-ты регуляторов давления 2 или нескольких эл/в или м/в соединяются параллельно посредством т. н. синхронизирующего провода (фиг. 117), при наличии к-рого компрессоры обоих эл/в включаются одновременно при включении любого из регуляторов давления.

Цепь управления вспомогательных машин и пантографов должна предусматривать возможность выключения любой поврежденной машины или пантографа любого



Фиг. 119

эл/в или м/в при работе по системе многих единиц. С этой целью применяются групповые кнопочные щитки (фиг. 118) или вводятся дополнительные общие кнопки «пантографы» и «всп. машины» (фиг. 119), к-рые соединяются линейными проводами, пр. же кнопки отдельных машин и пантографов соединяются только в пределах данного эл/в или м/в.

В цепь клапанов пантографа вводятся блокировки дверей в/в камер, исключающие возможность попадания обслуживающего персонала в в/в камеры при поднятых пантографах.

ГЛАВА III

ВЫБОР ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ И ПРОВЕРКА
ЕГО МОЩНОСТИI. РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ.
ХАРАКТЕРНЫЕ ТОЧКИ. ЧАСОВАЯ И ДЛИТЕЛЬНАЯ МОЩНОСТИ.
НОРМЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

1. РАБОЧИЕ И ТЯГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Рабочие характеристики строятся для заданного диам. колеса локомотива и принятого передаточного числа и дают графическую зависимость в ф-ии от силы тока I дв-ля след. величин (фиг. 1):

1) тягового усилия Z , развиваемого дв-лем на ободу колес эл/в или м/в; $Z = \varphi(I)$, т. е. с учетом кпд механизма передачи;

2) скорости поезда $v = \psi(I)$ для заданного напряжения на клеммах дв-ля и частоты тока сети.

Эти характеристики согласно нормам ЦЭС даются в пределах тока, соответствующего двойному часовому, и удвоенной величине скорости при часовом режиме (для дв-лей с серийной характеристикой). Правильнее эти пределы заменить соответственно: а) током максимальной мощности I_{max} , допустимым по коммутации (коллекторные дв-ли) или устойчивости работы (асинхронные дв-ли), и б) предельной конструктивной скоростью дв-ля v_{max} .

Т. о. рабочие характеристики дв-ля дают зависимости:

$$Z = \varphi(I) \text{ и } v = \psi(I)$$

в пределах

$$I_{min} < I < I_{max}$$

В дальнейшем мы ориентируемся на серийный и компаундный дв-ли постоянного тока. В этом случае I_{min} — сила тока, соответствующая по характеристике наибольшей скорости дв-ля (конструктивная скорость).

Рабочие характеристики д. б. даны для всех ходовых ступеней скорости. В частности, для эл. дв-лей постоянного тока кривые

$$Z = \varphi(I) \text{ и } v = \psi(I)$$

д. б. приведены для всех группировок дв-лей на всех ходовых ступенях регулировки возбуждения при рабочем напряжении сети. Регулировка возбуждения широко применяется в компаундном дв-ле. В серийном дв-ле под регулировкой напряжения понимаются шунтировка обмотки возбуждения или выключение части ее витков.

Характеристики д. б. отнесены к темп-ре обмоток эл. дв-ля, лежащей на 15°C ниже предельных темп-р, допустимых при испытании на длительную мощность, приведенных ниже.

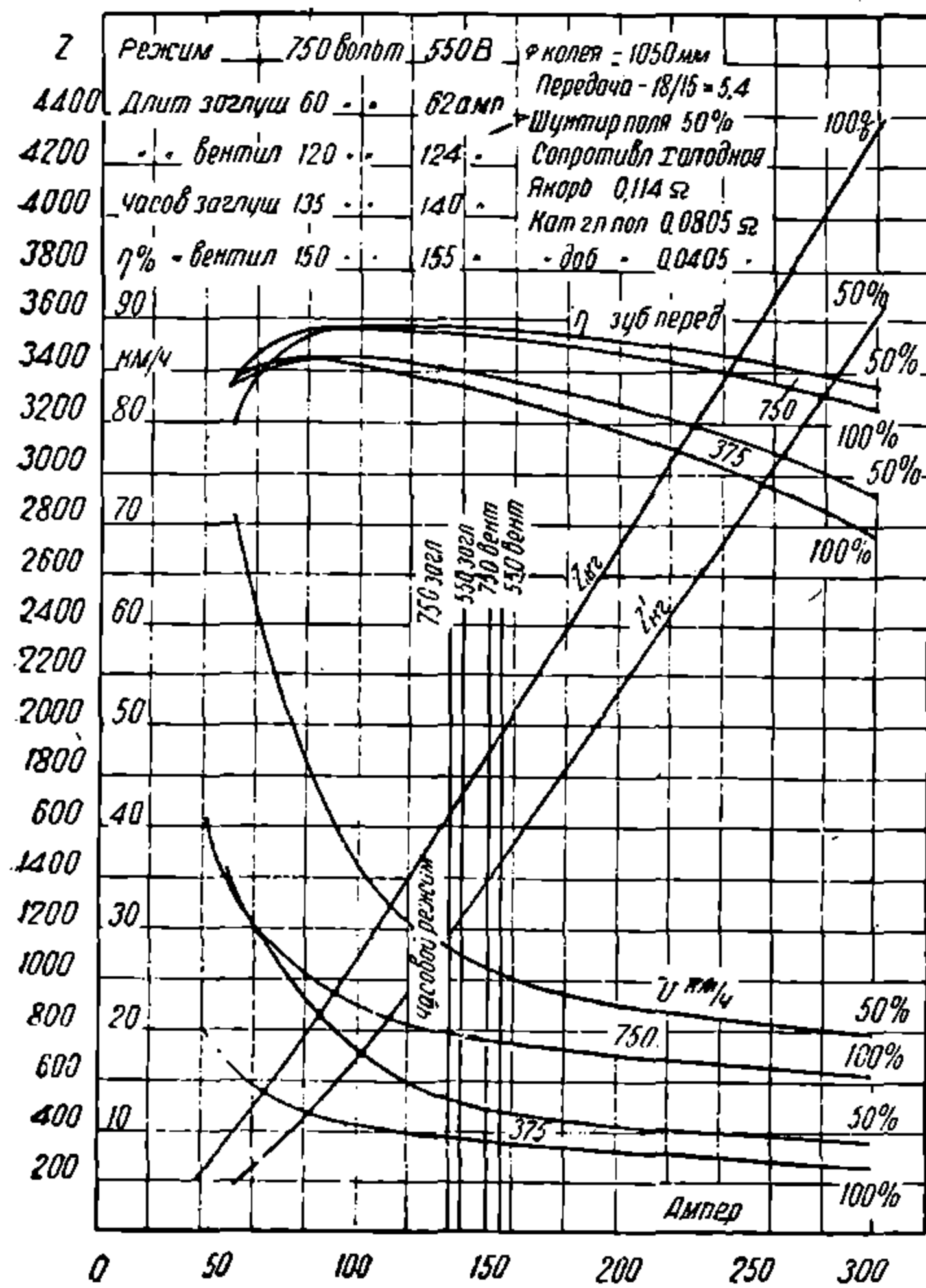
Характеристики даются с нек-рым допуском. Согласно нормам ЦЭС допустимое отклонение скоростной характеристики в пределах часовой и длительной мощностей составляет $\pm 5\%$. Это значит, что если при токе I по гарантийной характеристике скорость равна v км/ч, то на самом деле для отдельных дв-лей сер. она может варьировать от 0,95 до 1,05 v .

В действительности на ободу всех колес локомотива скорость одинакова. Следовательно при параллельном включении дв-ли, имеющие отличающиеся друг от друга характеристики во все время работы, имеют разные силы тока и разные тяговые усилия. При этом вблизи часовой мощности относительное изменение силы тока при одинаковой скорости для серийных дв-лей примерно в 2—3 раза больше, чем относительное изменение скорости при одинаковой силе тока, т. е. могут отличаться на $\pm 15\%$ (фиг. 2).

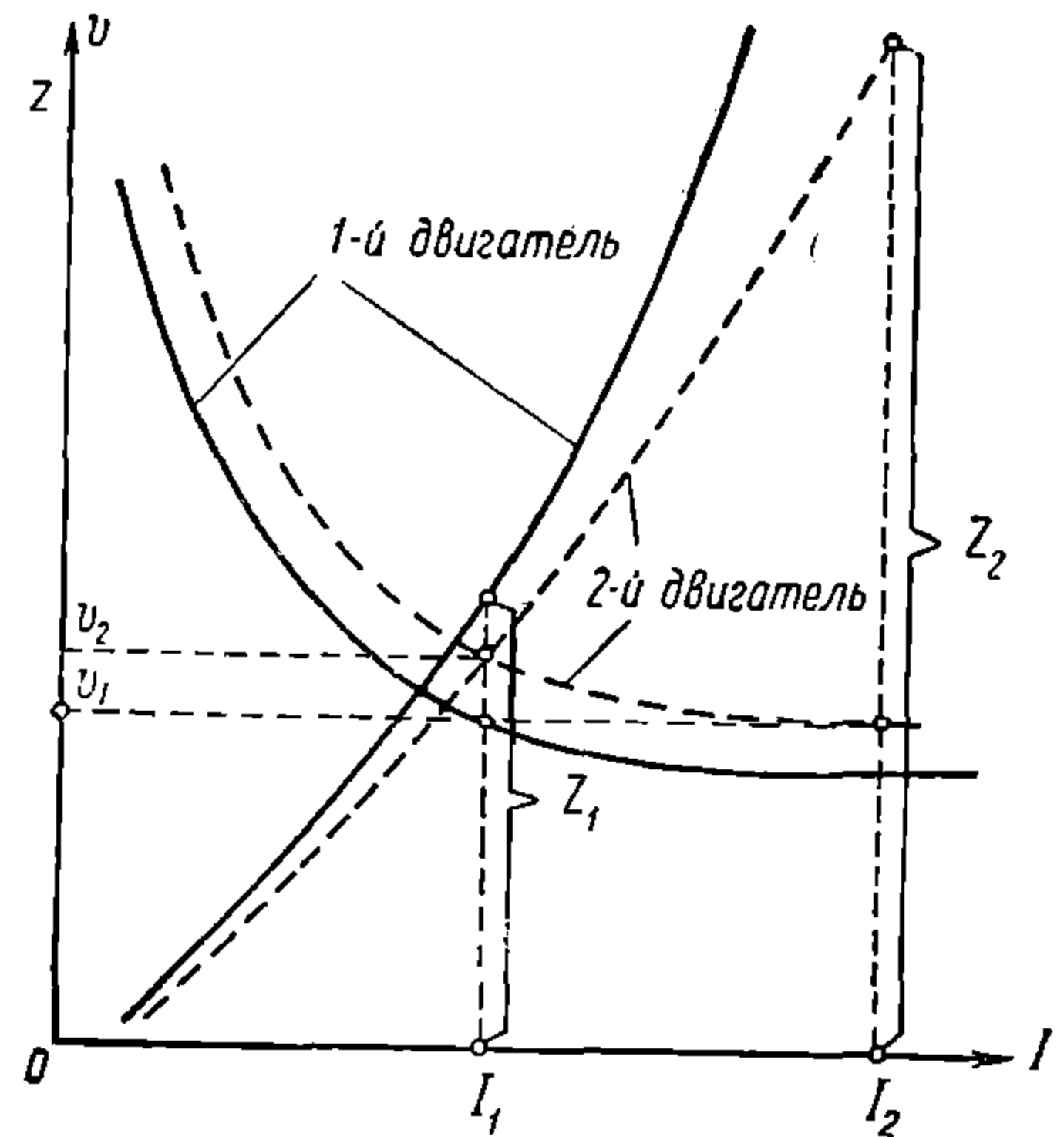
Вследствие расхождения скоростных характеристик происходит неравномерное распределение токов между отдельными параллельно включенными дв-лями, при чем большую нагрузку берет на себя более быстроходный дв-ль. По нагрузке этого дв-ля приходится выбирать мощность всех дв-лей поезда и по тяговому усилию этого дв-ля ограничивать тяговое усилие локомотива.

Расхождение скоростных тяговых характеристик параллельно включенных дв-лей получается также вследствие неодинаковых диам. бандажей для осей локомотива. В этом

случае бóльшую нагрузку берет дв-ль, приводящий ось с бóльшим диам. бандажа, т. к. этот дв-ль при заданной скорости поездов развивает меньшее число оборотов по сравнению с др. дв-лями и следовательно потребляет бóльший ток.



Фиг. 1



Фиг.

Указанное неравномерное распределение токов между дв-лями, имеющими разные характеристики, естественно имеет место лишь при их параллельном включении. При последовательном соединении дв-ль, имеющий более тихоходную характеристику или меньший диам. бандажа приводимой им колесной пары, обеспечивает одинаковую скорость на ободе колеса с др. дв-лями за счет неравномерного распределения напряжения. Тихоходный дв-ль работает под большим напряжением, чем включенный с ним последовательно быстроходный, и вследствие этого, в противоположность параллельному соединению потребляет бóльшую мощность и развивает на ободе колесной пары бóльшее тяговое усилие.

Однако в виду того, что нагрев дв-ля в основном определяется током, мы будем считать, что дв-ли при последовательном соединении работают в одинаковых условиях нагрева, тем более, что отклонение в потребляемой мощности между отдельными дв-лями в этом случае значительно меньше, чем при параллельном соединении.

Т. о. расхождение скоростных тяговых характеристик влечет за собой: 1) недоиспользование мощности группы дв-лей, 2) недоиспользование сц. в.¹

При допусках согласно нормам ЦЭС это недоиспользование может оказаться чрезвычайно высоким и в действительности м. б. значительно снижено.

Согласно практике з-да «Динамо» им. Кирова, несмотря на еще далеко недостаточную точность сборки, отклонение скоростных характеристик моторвагонных дв-лей не превосходит $\pm 3\%$ и в среднем равно $\pm 2,5\%$, т. е. по токам $\pm 7\%$ (без учета разности диам. бандажей). В эксплуатационных условиях разность в диам. колес может достигать $+0 - 3\%$ от номинального (см. разд. IX.)

¹ См. статью автора в журнале «Электрическая тяга», № 4 за 1934.

НТБ
ДНУЗТ

2. ХАРАКТЕРНЫЕ ТОЧКИ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК

1) Предельная конструктивная скорость поезда, т. е. скорость, к-рая м. б. безопасно допущена с точки зрения механической прочности подвижного состава в целом и в частности эл. дв-ля (якорь, моторно-осевые подшипники) и механизма передачи.

2) Ток длительной мощности для всех режимов, предусмотренных рабочими характеристиками

3) Ток часовой мощности.

4) Ток максимальной мощности. При коллекторном ТД, в случае увеличения его нагрузки сверх нек-рого предела, может появиться вредное искрение, являющееся следствием неудовлетворительной коммутации. Вредное искрение проявляется в виде зеленых искр, свидетельствующих об оплавлении и горении ламелей коллектора. Помимо усиленного износа коллектора, вредное искрение может повлечь за собой круговой огонь, т. е. по существу КЗ по поверхности коллектора.

Ток, лежащий на пределе появления вредного искрения, назыв. током искрения.

Величина тока искрения зависит: а) от напряжения между коллекторными пластинами, т. е. от напряжения сети, понижаясь с повышением последнего; б) от величины коммутирующего поля, зависящего в свою очередь от соотношения:

$$\frac{\text{ампер-витки реакции якоря}}{\text{ампер-витки возбуждения}}$$

понижаясь с повышением величины этого отношения, т. е. при увеличении нагрузки или ослаблении возбуждения.

Особенно неблагоприятно отзываются на величине тока искрения одновременные повышения тока нагрузки и снижения возбуждения дв-ля.

Очевидно, что ток максимальной мощности, гарантируемой для коллекторного дв-ля, д. б. ниже тока искрения при максимальном рабочем напряжении (напряжение на п/ст), превышающем в среднем на 10% нормальное рабочее напряжение, для к-рого даются характеристики дв-ля. Обычно

$$I_{max} = 2 I_h,$$

где I_h — ток часовой мощности (см. ниже).

В бесколлекторных асинхронных дв-лях максимальный ток определяется устойчивостью работы, т. е. условием, что повышение скольжения влечет за собой повышение момента дв-ля.

Помимо этого на характеристиках должны иметься след. указания:

1) передаточное число:

$$\rho = \frac{\text{угловая скорость дв-ля}}{\text{угловая скорость ведущего колеса}};$$

2) интенсивность вентиляции:

а) в $\text{м}^3/\text{мин}$ для независимой вентиляции;

б) указание: действующая, заглушенная, частично действующая — для дв-лей с самовентиляцией;

3) напряжение на клеммах ТД и степень возбуждения (в проц. от полного);

4) сопротивление обмоток (желательно).

3. ДЛИТЕЛЬНАЯ И ЧАСОВАЯ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Под длительной или продолжительной мощностью эл. дв-ля понимается та наибольшая мощность, развиваемая на его валу, при к-рой дв-ль может длительно работать на неподвижной установке при закрытых коллекторных и смотровых люках без того, чтобы установившееся превышение темп-ры какой-либо его части превзошло величину, указанную в нормах. Под длительным током эл. дв-ля понимается ток, отвечающий его продолжительной мощности.

¹ Нормы ЦЭС МЭК (Международной электротехнической комиссии: Electrotechnical Commission) предусматривают обязательное указание тока длительной и часовой мощностей лишь для основного режима.

Для совершенно закрытых ТД, помещаемых под кузовом, условия охлаждения при работе на линии значительно лучше, чем при испытании на стенде.

Согласно указаниям норм ЦЭС и американских, повышение темп-ры закрытого дв-ля в действительных условиях работы составляет 75—90% от повышения темп-ры при работе на неподвижной установке при той же величине потерь. Помимо этого благоприятным фактором в смысле уменьшения нагрева явится работа в нек-рые элементы рейса (пуск, пониженная скорость) при напряжении на зажимах дв-ля, меньшем нормального, что повлечет за собой снижение железных, а следовательно и полных нагревающих потерь. Это обстоятельство имеет особое значение для закрытого ТД, работающего обычно на коротких перегонах, т. е. при частых пусках. Поэтому нормы МЭК предусматривают испытание закрытых неветилируемых ТД при пониженном напряжении (от 50 до 75% от полного).

Это напряжение м. б. уточнено при знании графика работы ТД. Оно д. б. эквивалентным по нагреву машины, учитывая меньшие нагревающие потери и лучшее охлаждение на линии по сравнению со стендом. Для вентилируемых дв-лей такой поправки не делается. Опыт показал, что в виду появляющихся завихрений при движении поезда и меньшей темп-ры корпуса вентилируемый дв-ль не получает заметного уменьшения перегревов при работе на линии по сравнению с неподвижной установкой при той же величине нагревающих потерь. При этом, согласно указанию норм ЦЭС и американских, повышение темп-ры на линии составит от 100 до 90% стендового перегрева (см. раздел IV).

Под часовой мощностью эл. дв-ля понимается та наибольшая мощность, развиваемая на его валу, при к-рой дв-ль, начав работу в холодном состоянии, сможет работать на неподвижной установке в течение 1 ч. без того, чтобы превышение темп-ры какой-либо его части превзошло величину, указанную в табл. 3. Под часовым током эл. дв-ля понимается ток, отвечающий его часовой мощности.

При испытании на длительную и часовую мощности вентилятор должен работать в тех же условиях, что и при нормальной работе в поезде.

Предельные допустимые перегревы ТД определяются качеством примененного для изоляции материала.

Измерение мощности ТД по часовому режиму работы вошло в употребление в начальный пер. развития эл. тяги (до 1900 г.), когда приходилось иметь дело исключительно с трамвайным закрытым неветилируемым дв-лем. Режим работы ТД, как известно, определяется непостоянной нагрузкой.

При этом дв-ль выбирался обычно т. о., чтобы его загрузка в пусковой пер. и при движении по предельному подъему соответствовала току часовой мощности.

Т. к. эти режимы являлись наиболее тяжелыми для дв-ля и в остальное время он работал с меньшими нагрузками или был без нагрузки (выбег, торможение, стоянка), то указанный упрощенный способ выбора дв-ля обеспечивал получение темп-р дв-ля в работе на линии меньших, чем принятые при стендовом испытании на часовую мощность.

При дальнейшем развитии эл. тяги, в целях лучшего использования дв-лей, были применены след. меры:

- 1) введение вентиляции дв-лей (принудительной или самовентиляции); эта мера приблизила длительную мощность к часовой;
- 2) повышение перегрузочной способности дв-ля (добавочные полюса) до двойного часового тока.

Вследствие этих мер выбор по часовой мощности ТД стал нецелесообразным, и появилось понятие о длительной его мощности. Часовая мощность осталась однако, как характеристика теплоемкости машины¹.

Отношение между токами длительной и часовой мощностей дв-ля определяется интенсивностью вентиляции:

для дв-лей заглушенных

$$\gamma = \frac{I}{I_h} = 0,4 - 0,5;$$

для дв-лей с самовентиляцией

$$\gamma = 0,6 - 0,8$$

¹ Отметим, что дв-ль может работать в течение 1 ч. при часовом режиме лишь при отсутствии начального перегрева. При наличии последнего допустимая продолжительность работы при этом режиме сокращается и определяется тепловым расчетом.

для дв-лей с независимой вентиляцией

$$\gamma = 0,8—0,9 \text{ (в среднем } \approx 0,8\text{)}.$$

Повышая интенсивность вентиляции, мы сможем значительно повысить длительную мощность ТД, но лишь очень незначительно — его часовую мощность.

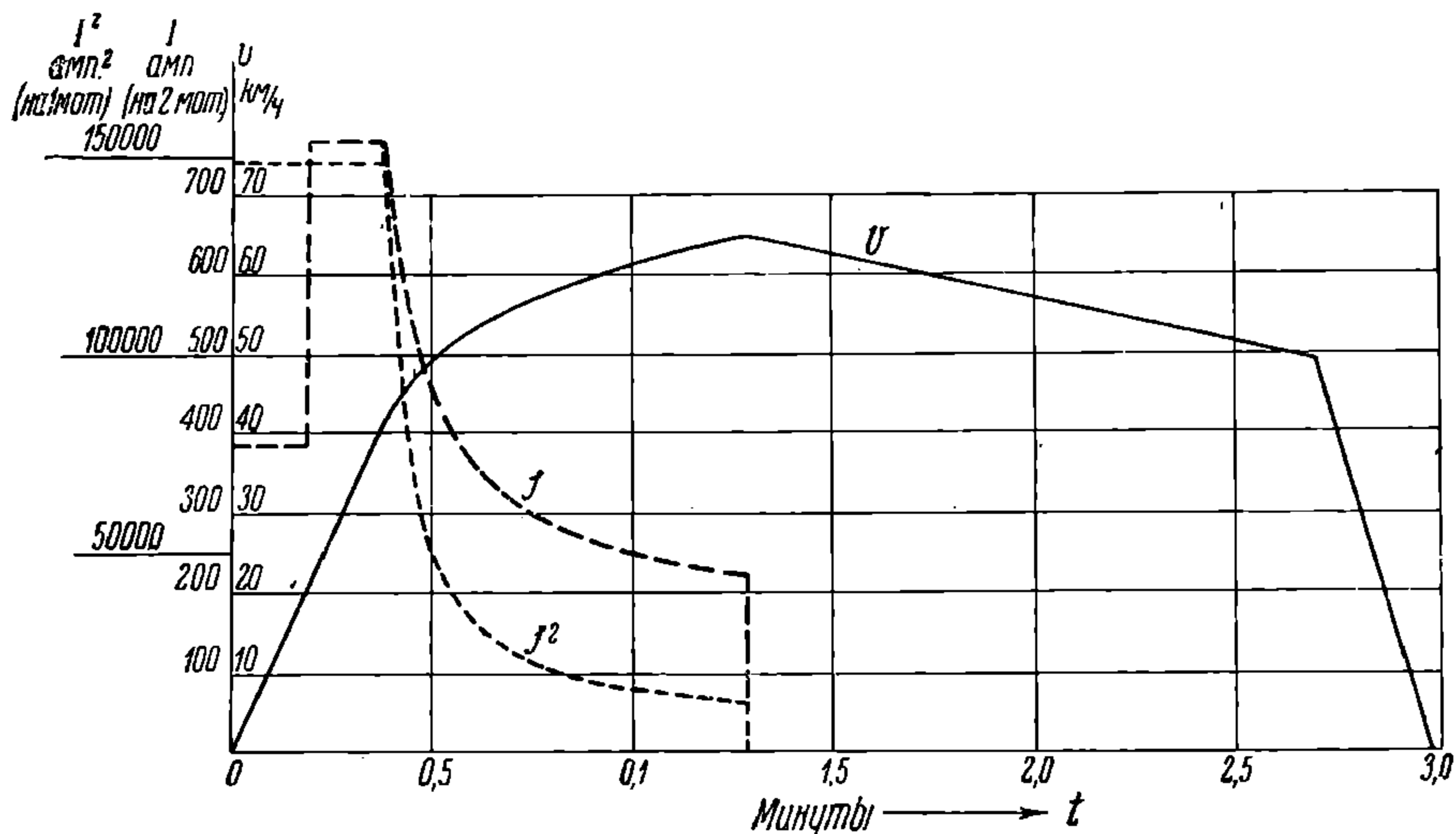
Этим обстоятельством и объясняются различные отношения $\gamma = \frac{I_m}{I_h}$ для заглушенного и вентилируемого дв-лей.

Нормы повышения температуры см. главу I настоящего справочника.

II. УСЛОВИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Обычный ход решения задачи о выборе ТД разделяется на два ц. Сначала производится предварительный выбор мощности и характеристик дв-ля, а затем производится проверка этой мощности на нагревание и безыскровую коммутацию, исходя из данных эксплуатации. Предварительный выбор мощности и характеристик дв-ля будет нами рассмотрен ниже (см. раздел XIII). Сначала мы рассмотрим проверку пригодности уже выбранного дв-ля.

Дв-ль предназначается для определенного режима работы, к-рый характеризуется след. параметрами: 1) весом поезда, приходящимся на 1 эл. дв-ль; 2) количеством параллельных цепей эл. дв-ля в поезде; 3) напряжением на токоприемнике поезда: наибольшее, среднее рабочее, наименьшее; 4) профилем пути с указанием остановочных пп.; 5) сопротивлением движению; 6) средне-технической скоростью и длительностью стоянок; 7) давлением на ось; 8) диам. колеса локомотива.



Фиг. 3

На основании этих данных и характеристик можно построить зависимость $v = \varphi(t)$ (кривые движения). Пользуясь далее опять характеристикой дв-ля, мы на основании кривых движения можем построить диаграмму потребления тока поездом и отдельными дв-лями¹ (фиг. 3). Основные различия этих диаграмм при реостатном пуске можно формулировать след. обр.:

¹ Последняя м. б. заменена $I^2 = \psi(t)$, как на фиг. 3.

НГБ
ДНУЗТ

1) В течение пер. пуска с постоянным (средним) ускорением сила тока одного дв-ля серийного остается постоянной и равной $I_{\text{пуск}}$, в то время как сила тока локомотива $I'_{\text{пуск}}$ изменяется в зависимости от числа параллельных цепей дв-лей N :

$$I'_{\text{пуск}} = NI_{\text{пуск}}.$$

2) Т. о., диаграмма тока для отдельных дв-лей $I = \varphi(t)$ м. б. получена из диаграммы тока всего локомотива [$I' = \varphi(t)$] путем уменьшения ее ординат в N раз, где N — число параллельных цепей дв-лей, работающих в данный момент.

На основании диаграммы $I' = \varphi(t)$ определяется уд. расход энергии. Пользуясь зависимостью $I = \varphi(t)$, можно построить диаграмму квадрата тока, проходящего через дв-ль, и найти его квадратичный ток, как это сделано на фиг. 3.

Эти диаграммы позволяют выяснить: а) техническую пригодность дв-ля для заданного режима работы; б) экономический эффект.

Займемся сначала исключительно первым фактором. Техническая пригодность дв-ля будет установлена при условии, что в процессе его работы на линии соблюдены след. ограничения:

1) наибольшая скорость не превышает конструктивной скорости (v_{max})

$$v < v_{\text{max}};$$

2) наибольший ток не превосходит максимального (I_{max}), гарантированного для дв-ля.

$$I < I_{\text{max}};$$

3) нагрев обмоток с учетом неравномерности нагрузки параллельно работающих эл. дв-лей (разность характеристик и диам. бандажей) не должен превышать нек-рой предельной темп-ры. За таковую следует принимать: а) для часто повторяющихся пик-температур, предусмотренную нормами для испытания на длительную мощность дв-ля и б) для редко встречающихся (напр. в исключительно жаркие дни) — темп-ру испытания на часовую мощность.

Первые два ограничения (по скорости и току) получаются автоматически, поскольку рабочие характеристики дв-ля строятся в пределах $v_{\text{max}} - I_{\text{max}}$.

Т. о., работоспособность дв-ля заданного режима установлена и проверяется путем проверки его на нагрев.

Эта проверка м. б. осуществлена одним из след. двух способов:

а) путем подсчета темп-ры нагрева обмоток дв-ля, к-рые он получит при осуществлении заданного режима нагрузки;

б) путем приведения действительного режима работы дв-ля с переменной нагрузкой к нек-рому эквивалентному по нагреву режиму с постоянной нагрузкой эквивалентным током.

Вначале мы рассмотрим 1-й способ проверки мощности дв-ля, при чем будем вести это рассмотрение применительно к дв-лям постоянного тока.

Заметим, что при неавтоматическом пуске проверка на максимальный ток должна производиться для реально встречающегося в эксплуатации коэф-та сцепления, за к-ковой принимают обычно 0,33.

Опыты доказали возможность получения максимального коэф-та сцепления до 0,4. Однако при давлении на ось до 23 т коэф-т сцепления, больший 0,33, реализуется редко, и защиту от перегрузок в этих исключительных случаях можно возложить на БВ, к-рый выключит через $\sim 0,01$ сек.

В случае такого подхода к выбору дв-ля может случиться, что тяговое усилие при часовом режиме дв-ля не всегда возможно будет реализовать по условиям сцепления; зато дв-ль при этом будет надежно защищен от чрезмерных токов. При этом говорят, что локомотив «перемоторен». Признаки перемоторивания особенно заметны на ряде пассажирских эл/в, к-рые имеют весьма низкий коэф-т сцепления при скорости часового режима, вследствие высокого значения этой скорости. С развитием кривоносовского движения значительно повышаются веса составов и скорости движения, вследствие чего оказалось, что эл/в, к-рые считались «перемоторенными», в данный момент на многих дорогах используются по нагреву ТД на трудных участках полностью.

III. УРАВНЕНИЕ НАГРЕВАНИЯ ОДНОРОДНОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА. ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ

1. УРАВНЕНИЕ НАГРЕВАНИЯ ОДНОРОДНОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

В качестве закона нагревания обмоток ТД можно принять с нек-рыми поправками, к-рые мы установим ниже, закон нагревания однородного твердого тела, в к-ром происходит выделение теплоты. Количество теплоты, выделяющееся в нагреваемом теле в единицу времени, т. е. мощность нагревания, будем выражать в ваттах, а не в кал—обычных единицах для измерения тепловой энергии.

При этом

$$\begin{aligned} 1 \text{ кг-кал} &= 427 \text{ кэм} \\ 1 \text{ кэм} &= 9,81 \text{ W-сек}, \end{aligned}$$

откуда:

$$1 \text{ W} = \frac{1}{9,81 \cdot 427} = 0,000239 \text{ кг-кал/сек} \cong 0,0144 \text{ кг-кал/мин.}$$

Введем след. обозначения и понятия:

1) Количество теплоты, выделяющейся в однородном твердом теле в единицу времени (мощность нагревания) W и выражено в W.

2) Теплоемкость нагреваемого твердого тела c и выражено в W-мин/1° Ц.

Поскольку для измерения мощности нагревания в качестве единицы измерения был принят ватт вместо кал/мин, то теплоемкость тела вместо кал/1° Ц д. б. измерена в W мин/1° Ц. При этом $1 \text{ кг-кал/1}^\circ \text{ Ц} \cong 69,5 \text{ W-мин/1}^\circ \text{ Ц}$.

3) Уд. теплоотдача или, точнее, коэф-т уд. теплоотдачи нагреваемого тела, т. е. количество теплоты, отводимой от тела в единицу времени на каждый град. Ц (разность темп-р между этим телом и окружающим воздухом) a W-1° Ц.

Из определения следует, что коэф-т уд. теплоотдачи представляет собой мощность, отводимую наружу. Поэтому он должен измеряться в ваттах (на 1° Ц). Коэф-т уд. теплоотдачи при колебаниях темп-ры (не особенно значительных) можно считать постоянной величиной для данного тела, не зависящей от темп-ры.

Полная теплоотдача, т. е. полное количество теплоты, отводимое от тела в единицу времени, выражается очевидно в ваттах и равно:

$$A = a\tau W.$$

4) Перегрев тела, т. е. разность между темп-рой на поверхности тела и темп-рой окружающей среды $\tau^\circ \text{ Ц}$.

При этом условно предполагается, что тело имеет одинаковую сверхтем-ру (т. е. перегрев) во всех своих частях как внутренних, так и наружных, т. е.

$$\tau_{нар} = \tau_{вн} = \tau.$$

Последнее однако возможно лишь при бесконечно-большой теплопроводности тела и в действительности

$$\frac{\tau}{\tau_{нар}} = \kappa < 1,$$

т. е. средняя сверхтем-ра (перегрев) тела τ выше сверхтем-ры (перегрева) его наружных частей $\tau_{нар}$.

Принимая за τ среднюю сверхтем-ру (перегрев) тела (измерение темп-ры по эл. сопротивлению), мы тем самым должны подразумевать под a коэф-т уд. теплоотдачи, приведенный к средней сверхтем-ре тела, т. е.

$$a = a_{действ} \frac{\tau_{нар}}{\tau} = \frac{a_{действ}}{\kappa}.$$

Начальный перегрев будем обозначать через $\tau_0^\circ \text{ Ц}$.

Время от момента начала нагревания в мин.—через $t_{мин}$.

Ур-ие теплового баланса получится из след. условий.

В начальный момент рассматриваемого элемента времени dt тело имело перегрев $\tau^\circ\text{Ц}$.

В конце элемента dt темп-ра повысилась на величину $d\tau$. В виду бесконечной малости величин dt и $d\tau$ средняя сверхтем-ра тела в пределах элемента времени dt м. б. принята равной тем-ре τ в начале элемента.

Количество теплоты, потраченное на повышение темп-ры тела на величину $d\tau$, равно $cd\tau$.

Количество теплоты, отведенное наружу за элемент времени dt , $a\tau dt$

Общий расход тепловой энергии за элемент времени dt равен: $cd\tau + a\tau dt$.

С др. стороны, количество выделенной теплоты за элемент времени dt равно Wdt .

В таком случае ур-ие теплового баланса примет след. вид:

$$cd\tau + a\tau dt = Wdt; \quad (1)$$

ра делив переменные, получим:

$$(W - a\tau) dt = cd\tau,$$

откуда:

$$\frac{dt}{T} = \frac{d\tau}{\Theta' - \tau}, \quad (1')$$

где:

$$T = \frac{c}{a} \quad (2)$$

имеет размерность времени и носит название постоянной времени. На физической сущности этой величины мы ниже остановимся подробно.

$$\Theta' = \frac{W}{a} \quad (3)$$

имеет размерность темп-ры. Физическая его сущность ясна из след. равенства, полученного из предыдущего ур-ия (3):

$$\Theta' a = W. \quad (3')$$

Левая часть выражения (3'): $\Theta' a$ представляет собой полную теплоотдачу тела при перегреве его до $\Theta'^\circ\text{Ц}$.

Очевидно, что при соблюдении условия (3') количество теплоты, выделяемое в теле за любой промежуток времени, равно количеству теплоты, отводимому от него наружу, т. е. тело находится в состоянии теплового равновесия. В таком случае Θ' представляет собой установившуюся темп-ру тела при его уд. теплоотдаче $a W/1^\circ\text{Ц}$ и мощности нагревания W .

Очевидно, что при изменении величин W и a меняется соответственно Θ' .

Интегрируя равенство (1'), получим ур-ие нагревания тела:

$$-\frac{t}{T} = \ln \frac{\tau - \Theta'}{\tau_0 - \Theta'},$$

откуда имеем:

$$\tau = \Theta' \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \frac{\tau_0 - \Theta'}{e^{-\frac{t}{T}}}, \quad (4)$$

где e — основание натуральных логарифмов.

При этом $\tau_0 = (\tau)_{t=0}$, т. е. представляет собой перегрев тела в момент, принятый за начало отсчета времени ($t = 0$). В том случае, если $\tau_0 = 0$, имеем:

$$\tau = \Theta' \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (4')$$

Величины Θ' и T определяются согласно ф-лам (2) и (3).

Ур-ия 4 и 4' дают зависимость $\tau = \varphi(t)$ в виде показательной ф-ии, асимптотически

приближающейся к Θ' . При малых значениях $\frac{t}{T}$ перегрев быстро растет с увеличением времени (вначале почти прямолинейно). По мере повышения сверхтемпературы процесс повышения температуры замедляется. При $t = 3T$ имеем:

$$e^{-\frac{t}{T}} = \frac{1}{20} = 0,05$$

и следовательно, если $\tau_0 = 0$, то имеем: $\tau = 0,95 \Theta'$. Т. о. перегрев тела при $t > 3T$ становится достаточно близким к установившемуся перегреву.

Остывание тела произойдет при условии $\Theta' < \tau_0$. Если выделение потерь в теле прекратилось, то $\Theta' = 0$ и уравнение (4) примет вид:

$$= \tau_0 e^{-\frac{t}{T}} \quad (5)$$

Характер кривой остывания можно усмотреть из фиг. 4.

Уравнение (4) выведено в предположении, что мощность нагревания и постоянная времени, характеризующая собой эффективность охлаждения, остаются в процессе нагревания тела неизменными:

$$W = \text{const}; a = \text{const}; T = \text{const}.$$

В том случае, если W или T изменяются при нагревании тела, то сверхтемпературу тела найдем, разбивая процесс нагревания на элементы, в течение которых W и T остаются постоянными. Сверхтемпература в конце n -го элемента явится начальной температурой для $(n + 1)$ -го элемента.

2. ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ

Остановимся теперь на выяснении физической сущности постоянной времени.

Согласно уравнению (2):

$$T = \frac{c}{a}$$

Умножим числителя и знаменателя правой части равенства на Θ' . При этом

$$T = \frac{c \Theta'}{a \Theta'}$$

С др. стороны, согласно равенству (3'): $a \Theta' = W$.
В таком случае:

$$WT = c \Theta' \quad (6)$$

Правая часть представляет собой количество теплоты, идущее на увеличение перегрева тела от $\tau_0 = 0$ до $\tau = \Theta'$, т. е. до установившейся сверхтемпературы при данной мощности нагревания W и данной уд. теплоотдаче тела a .

Левая часть определяет количество теплоты, выделившееся в теле за время, равное постоянной времени T .

Отсюда ясно, что постоянная времени $T = \frac{c}{a}$ измеряется продолжительностью нагревания тела от температуры окружающей среды до температуры установившегося перегрева $\Theta' = \frac{W}{a}$ при отсутствии, в процессе нагревания тела до сверхтемпературы Θ' , отдачи теплоты наружу.

ПЕЧАТЬ
ДНУЗТ

Т. о., для выяснения физического значения величины T нужно себе представить, что до достижения сверхтем-ры Θ' тело нагревается, будучи совершенно изолированным от окружающей среды, и этот нагрев продолжается T мин. По достижении сверхтем-ры Θ' , т. е. через T мин. после начала нагревания, теплоотдача тела восстанавливается, и дальнейшее повышение перегрева прекращается: $\Theta' = \text{const}$.

Постоянная времени $T = \frac{c}{a}$, если принять теплоемкость тела за постоянную ($c = \text{const}$), зависит исключительно от его коэф-та уд. теплоотдачи a , будучи обратно пропорциональной его значению, и совершенно не зависит от мощности нагревания тела. В самом деле, если мы увеличим мощность нагревания в n раз, т. е. будем иметь $W_2 = nW_1$, то в том же отношении повысится и установившийся перегрев $\Theta'_2 = \Theta'_1 n$. Однако процесс повышения темп-ры тела будет происходить в n раз быстрее, что обеспечит $T_2 = T_1$. Наоборот, увеличение коэф-та уд. теплоотдачи в n раз снизит в том же отношении постоянную времени. Действительно производная повышения темп-ры по времени при отсутствии отдачи теплоты наружу равна:

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{W}{c} \text{ } ^\circ\text{C/мин.}$$

т. е. не зависит от a .

С гласно заданию имеем:

$$a_2 = na_1,$$

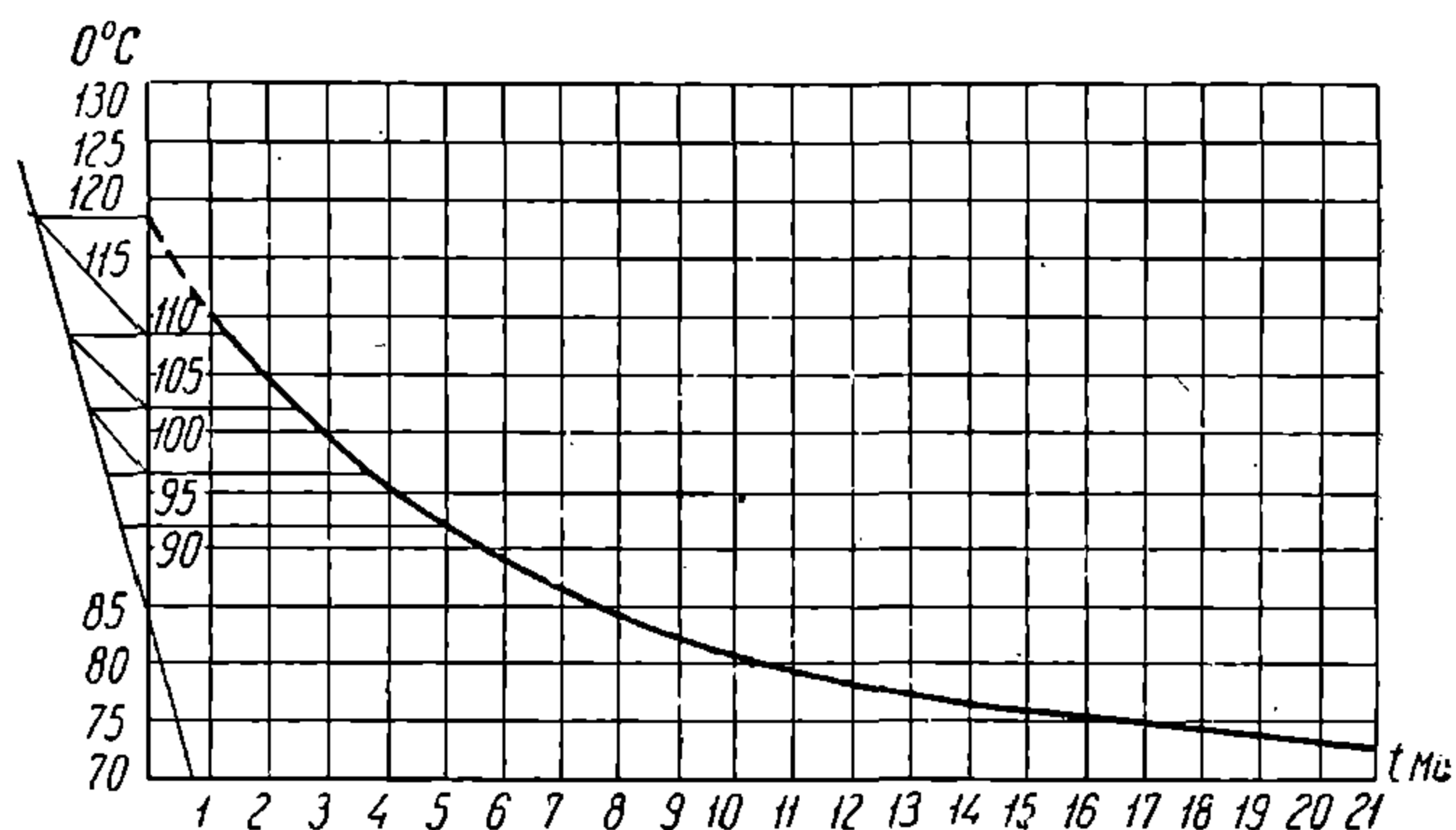
В таком случае:

$$\Theta'_2 = \frac{\Theta'_1}{n},$$

и следовательно:

$$T_2 = \frac{T_1}{n}.$$

Т. о., изменение мощности нагрева W влечет за собой изменение установившегося перегрева Θ' , но не влияет на величину постоянной времени, к-рая изменяется обратно пропорционально коэф-ту уд. теплоотдачи тела ($Ta = \text{const}$).



Фиг. 4

Исследования показывают довольно близкое совпадение между опытной и показательной кривой, позволяющее применить сделанные выводы для учета нагревания обмоток дв-ля.

На фиг. 4 показана опытная кривая остывания якоря дв-ля «ДП-150».

IV. НАГРЕВАНИЕ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

1. ОБМОТКА, ОПАСНАЯ ПО НАГРЕВУ

Проверка нагревания ТД имеет своей целью, на основании кривых движения для заданного режима работы и характеристик дв-ля, определить перегрев наиболее опасной по нагреву обмотки над темп-рой окружающей среды. В таком случае при данной окружающей темп-ре определяется темп-ра обмотки и следовательно темп-ра ее изоляции, имеющей в месте соприкосновения с обмоткой практически одинаковую с ней темп-ру.

Под термином *о б м о т к а, о п а с н а я п о н а г р е в у*, будем понимать обмотку, имеющую наибольшую величину отношения:

$$\xi = \frac{\text{действительная темп-ра}}{\text{допустимая темп-ра}}$$

При пр. равных условиях за опасную обмотку следует принимать *о б м о т к у я к о р я*, изоляция к-рой по сравнению с изоляцией обмоток полюсов легче подвергается механическим повреждениям как в процессе укладки обмотки, так и при работе машины от действия центробежных сил¹. В случае применения дв-ля с обмоткой независимого возбуждения необходимо при окончательном выборе дв-ля проверить также нагрев этой обмотки.

Выведенные законы нагревания однородного твердого тела позволяют определить интересующий нас перегрев. Действительно ТД можно себе представить состоящим из ряда более или менее однородных твердых тел. в к-рых при работе дв-ля происходит выделение теплоты в виде потерь. Совершенно очевидно, что теоретически перегрев опасной обмотки машины можно получить из выведенных нами выше законов нагревания однородного твердого тела. Однако для точности необходимо процесс нагревания этой обмотки рассматривать связано с остальными частями машины.

Методология определения нагрева отдельных частей машины была разработана Luke². Изложение и развитие этого способа можно найти в «Тяговых расчетах» проф. В. А. Шевалина. Следует отметить, что способ комплексного определения сверхтемп-р машины чрезвычайно громоздок и вдобавок надежен лишь для неветилируемого дв-ля. Для вентилируемого дв-ля, обычно применяемого в тяге, правильность результата обеспечивается лишь при знании распределения скоростей потоков воздуха внутри машины, зависящего от ее конструкции. Эти данные м. б. получены путем эксперимента над выпущенной машиной или ей подобной.

В виду сложности и необходимости знания указанных дополнительных данных этот способ применим лишь при расчете самой машины для определения ее часовой и длительной мощностей.

Для проверки нагревания дв-ля в эксплуатации применяются более простые способы, дающие перегрев опасной обмотки более приближенно, без рассмотрения процесса нагревания др. частей машины.

2. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ УЧЕТА ПОТЕРЬ, НАГРЕВАЮЩИХ ОБМОТКУ

а) **Способ общих потерь.** В этом способе дв-ль рассматривается как одно твердое тело, в к-ром выделяются потери:

$$W = UI \left(1 - \frac{\eta'}{100} \right), \quad (7)$$

где: U — рабочее напряжение эл. дв-ля, I — сила тока, η' — кпд дв-ля в проц. для данных U и I без учета потерь: а) в передаче, б) в подшипниках якорных и моторно-осевых и в) на вентиляцию. Потери на вентиляцию имеют место лишь в дв-ле с само-вентиляцией. В виду их незначительности их можно не выделять из полных потерь.

Потери в эл. дв-ле в течение пер. пуска м. б. приняты постоянными и соответствующими ср.-квадратичному за этот пер. напряжению; при 2-ступенчатом пуске — приблизительно 0,58 нормального напряжения и соответствующему кпд.

¹ Если дв-ль имеет независимую обмотку возбуждения, то необходимо проверить также тепловой режим этой обмотки.

² См. JAIEE 1922 г., март Heating of railway motors in service and in test floor-runs.

Если в характеристиках дан кпд η дв-ля, включая зубчатую передачу, то для исключения этих потерь можно воспользоваться средними величинами согласно табл. 1:

Табл. 1

$n\%$	200	150	125	100	75	60	50	40	30	25
$a\%$	3,5	3,0	2,7	2,5	2,5	2,7	3,2	4,4	6,7	8,5

Эти цифры дают в проц. от подведенной мощности потери в моторно-осевых подшипниках и одноступенчатой зубчатой передаче.

В табл. 1 n — отношение тока, реализуемого дв-лем $\left(n = \frac{I}{I_h} 100\%\right)$, к току его часовой мощности при нормальном напряжении, выраженное в проц.

В таком случае, если потери в передаче составляют $a\%$ от подведенной мощности, то нужная для нас величина определится по ф-ле:

$$\eta' = (\eta - a)\%$$

Согласно нормам ЦЭС допустимые отступления от кпд должны заключаться в пределах $\pm \frac{1-\eta}{10}$, где η — кпд дв-ля.

В виду того, что кпд ТД близок к 90% то возможны отступления кпд от данных характеристики на величину ок. $\pm 1\%$. Во избежание преуменьшения величины потерь дв-ля можно рекомендовать взять кпд дв-ля с наибольшим отрицательным допуском.

Способ общих потерь дает приемлемые результаты в том случае, если внутренние части дв-ля получают в работе одинаковую темп-ру. Этому требованию ближе всего удовлетворяет дв-ль с заглушенной вентиляцией.

При вентилируемом дв-ле на нагрев его обмоток наибольшее влияние оказывают джоулевы потери в этих обмотках, пропорциональные квадрату силы тока.

В случае переменной нагрузки, характеризующей работу ТД, средние джоулевы потери всегда больше средних общих потерь. Поэтому при вентилируемом дв-ле метод общих потерь дает всегда преуменьшенный результат, а следовательно является ненадежным.

Вследствие указанного обстоятельства мы этим методом пользоваться не рекомендуем.

б) Способ эквивалентных нагревающих потерь обмотки якоря. В большинстве случаев опасной по нагреву является обмотка якоря дв-ля. На нагрев этой обмотки помимо собственных потерь, выделяющихся в ней («медные потери»), частичное влияние оказывают потери в железе якоря. Т. о., нагревание обмотки якоря наиболее точно можно учесть, если ввести в расчет эквивалентные потери:

$$W_a = W_{Cu} + k W_{Fe}, \quad (8)$$

где: W_{Cu} и W_{Fe} — соответственно медные и железные потери якоря, k — коэф-т, меньший единицы, носящий название «фактора железных потерь».

Потери в меди якоря складываются из двух составляющих: а) джоулевых потерь ($I^2 R$) и б) дополнительных потерь, получающихся вследствие неоднородности поля в пазах якоря.

Дополнительные потери зависят от параметров обмотки и паза и растут для данной машины с увеличением тока нагрузки I , напряжения на ее клеммах и степени ослабления поля.

Железные потери якоря:

$$W_{Fe} = k_1 B_z^2 f + k_2 B_z^2 f^3,$$

где: B_z — индукция в зубцах, f — частота перемещения зубцов, пропорциональная числу оборотов якоря.

Очевидно, что обратная эдс дв-ля:

$$e \equiv f B_z.$$

Принимая $e \approx U$, где U — напряжение сети, имеем:

$$W_{Fe} = k' B U + k'' U^2$$

Опытные кривые $W_{Fe} = f(I)$ для дв-ля «ДПЭ-340» представлены на фиг. 5 при напряжениях 500, 1000 и 1500 V и при полном поле.

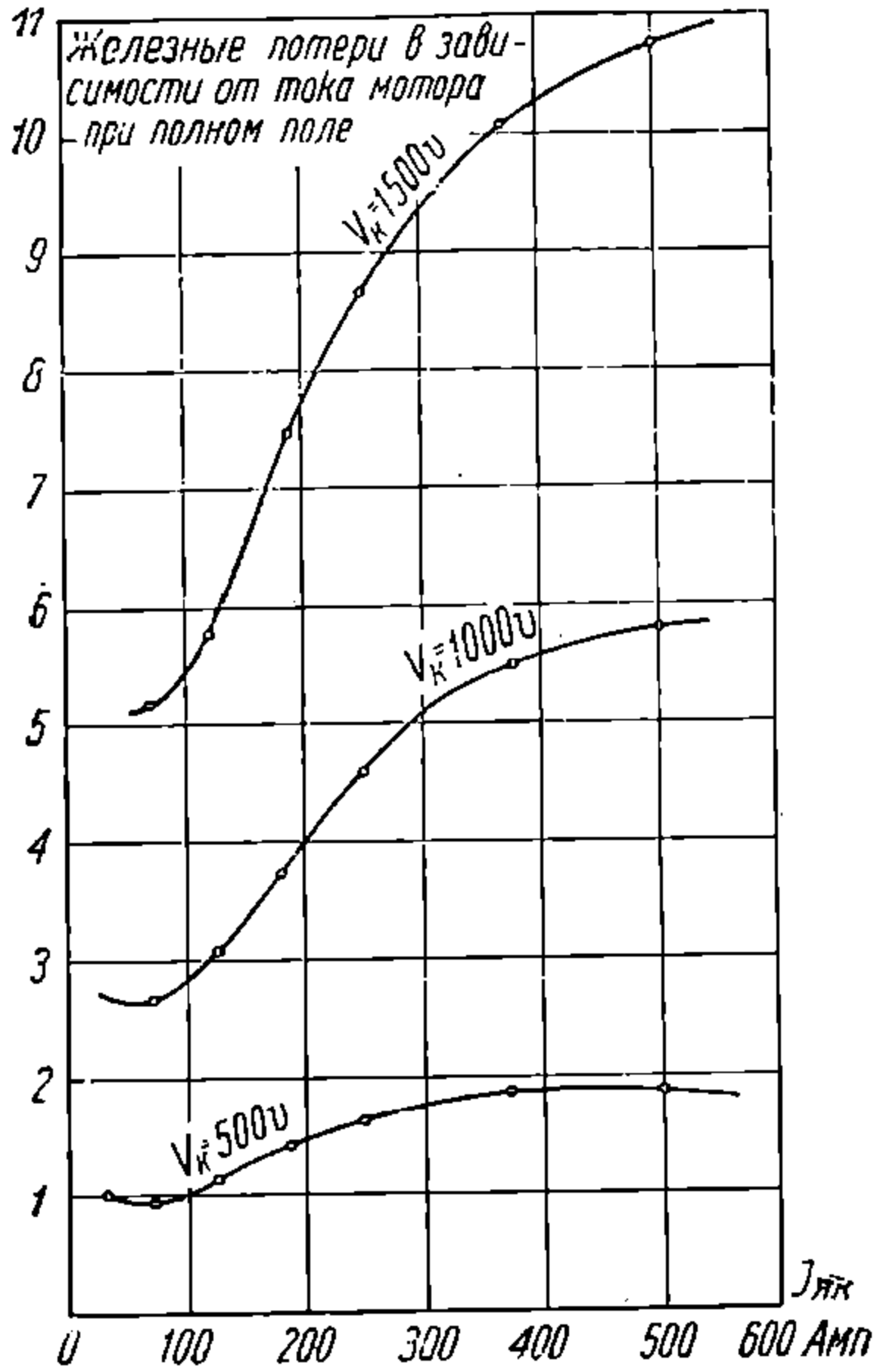
Величина фактора железных потерь определяется опытным путем. Для этого необходимо снять два длительных режима якоря при разных соотношениях между железными и медными потерями, т. е. при разных напряжениях, при условии сохранения перегрева обмоток якоря и интенсивности вентиляции.

В таком случае:

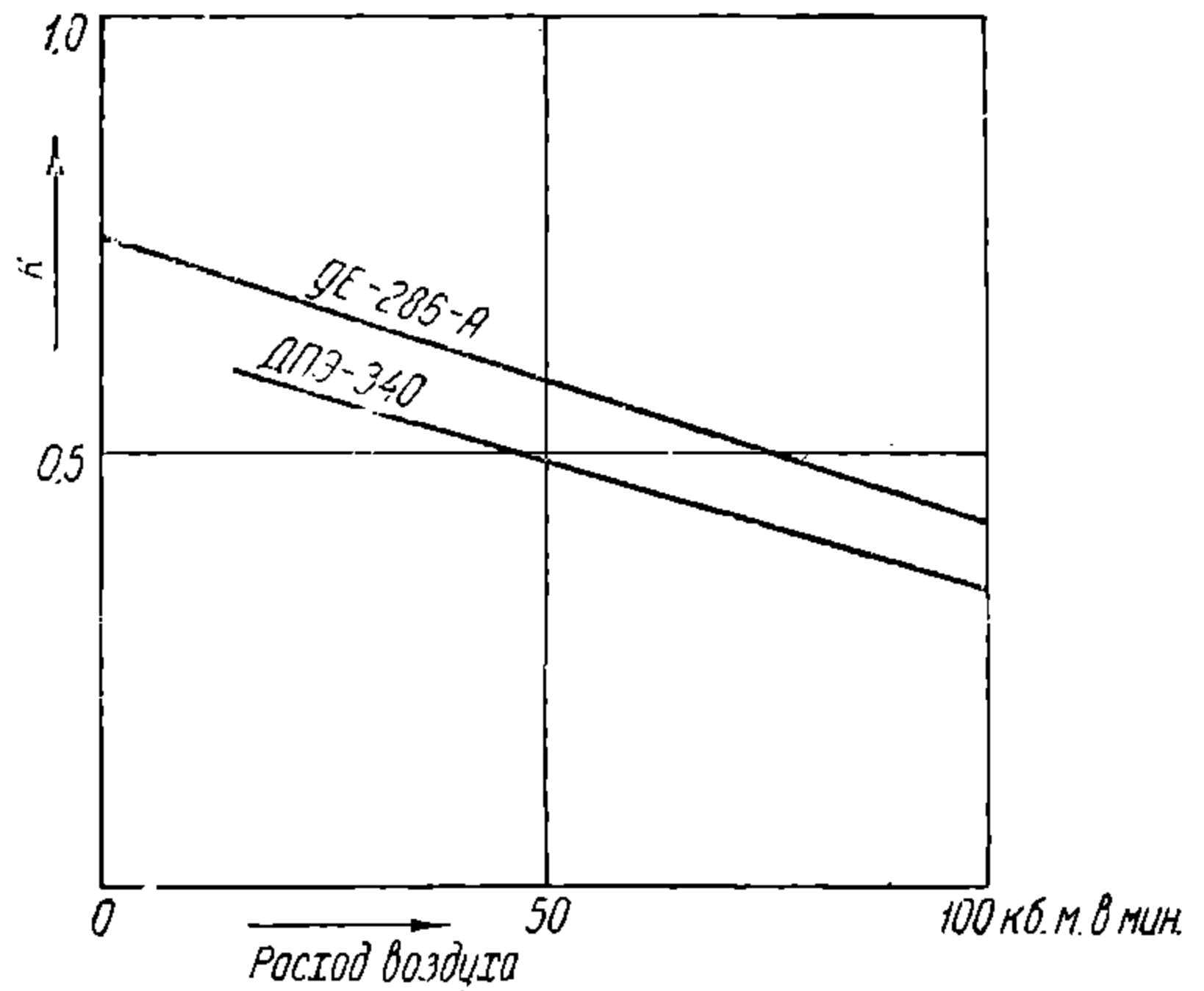
$$W'_{Cu} + k W'_{Fe} = W''_{Cu} + k W''_{Fe}$$

и следовательно:

$$k = \frac{W''_{Cu} - W'_{Cu}}{W'_{Fe} - W''_{Fe}}$$



Фиг. 5.



Фиг. 6.

Индексы (') и (') обозначают величины, относящиеся к 1-му и 2-му режимам длительных мощностей дв-ля.

В качестве примера на фиг. 6 приводим значение фактора железных потерь для дв-лей «ДПЭ 340» и «GE-286», полученные путем подсчета и проверенные экспериментом¹. Данные этих ТД приведены в табл. 2.

Табл. 2. Данные двигателей «ДПЭ-340» и «GE-286 А»

Тип	U	I_{∞}	Θ_{∞}	Расход воздуха м ³ /мин.
«ДПЭ-340» .	1500 v	220 А	120°	78
«GE-286А»	600 v	510 А	120°	57

Зд сь Θ_{∞} — перегрев при испытании на длительную мощность.

Дв-ль с независимой вентиляцией работает с постоянным расходом вентилируемого воздуха. Т. о., для него фактор железных потерь является величиной постоянной, зависящей лишь от конструкции машины. Для самовентилирующегося дв-ля, в к-ром интенсивность вентиляции является ф-ией скорости дв-ля, фактор железных потерь непостоянен. Однако кривые на фиг. 6 показывают, что интенсивность вентиляции не особенно сильно сказывается на величине коэф-та k . Поскольку самовентилирующийся дв-ль применяется обычно в м/в, работающих на коротких перегонах, на к-рых скорость дв-ля периодически меняется от нуля до максимального своего значения в течение малого промежутка времени, то в расчеты можно было бы вводить

¹ См. журн. «Электрическая тяга», 1933 г. № статья инж. Романова М. А.

ДНУЗТ

фактор железных потерь при средне-технической скорости движения поезда и нормальном напряжении.

Метод получения величины фактора железных потерь для самовентилирующегося дв-ля не разработан. Инж. Находкин М. Д. и Каменцев Н. Л.¹ предлагают получать величину k путем снятия первого режима длительной мощности машины, работающей как дв-ль, а для второго режима установить длительный ток якоря при невозбужденной машине, вращая его с той же скоростью, что и в первом режиме. При этом для второго режима $W''_{Fe} = 0$, следовательно:

$$k = \frac{(I'_{\infty})^2 - (I''_{\infty})^2}{I'_{\infty}{}^2} R \quad (10')$$

Такой метод однако страдает неточностью, т. к. в нем не учтено влияние потока реакции якоря на железные потери, а также влияние потерь в главных полюсах на нагрев якоря.

Разобраный метод эквивалентных нагревающих потерь позволяет уточнить величину перегрева обмотки якоря, являющейся наиболее ответственной и обычно наиболее нагруженной частью ТД. Неточности этого метода заключаются в пренебрежении влиянием потерь в др. частях машины (коллектор, обмотки полюсов).

Коэф-т k , носящий название фактора железных потерь, определяется описанным выше опытным путем и должен даваться з-дом поставляющим машину, для нормальной и пониженной эффективности вентиляции. Для самовентилирующегося дв-ля за нормальную эффективность вентиляции следует принимать ее величину, соответствующую длительной мощности, т. к. средне-техническая скорость поезда (скорость сообщения) лежит вблизи скорости длительной мощности дв-ля.

Для пользования этим методом необходимо кроме того знать величину железных и медных потерь для всех режимов работы дв-ля.

Поэтому метод эквивалентных потерь может применяться с целью проверки перегрева якоря в ожидаемых эксплуатационных условиях лишь для выпущенного уже дв-ля, для которого необходимые в этом методе величины потерь получены опытным путем.

При определении теплоемкости машины из данных часового режима необходимо учитывать постепенное увеличение джоулевых потерь в процессе нагрева машины. Этой поправкой кроме того можно воспользоваться для точного построения кривой нагревания эл. дв-ля от холодного состояния². Последнее м. б. получено весьма простым путем, если нагревающие потери отнести к сопротивлению холодной обмотки R_0 и вместо действительной величины коэф-та уд. теплоотдачи a ввести в расчет величину $(a-b)$, где $b = a - I\alpha R_0$, φI — увеличение джоулевых потерь в обмотке при повышении темп-ры ее на 1°C ; $\alpha = 0,00385$ — темп-рный коэф-т сопротивления меди.

При исчислении джоулевых потерь вполне допустимо отнести их к нагретому состоянию обмотки, т. к. в конечном итоге нас интересует максимальная ее темп-ра при установившемся режиме работы.

Метод эквивалентных нагревающих потерь рекомендуется применять для дв-лей тепловозных и моторгенераторных эл/в, работающих примерно при постоянной мощности, но при переменном напряжении, а следовательно при переменном значении железных и дополнительных потерь в якоре. Также рекомендуется применять этот метод в случае частых пусков дв-ля (маневровые эл/в, трамвай при коротких перегонах).

в) Метод квадратов тока. Будем рассматривать основной режим работы дв-ля, соответствующий его работе по автоматической характеристике. Для этого режима потери в меди якоря можно принять приближенно пропорциональными квадрату тока:

$$W_{Cu} = R_1 I^2,$$

где $R_1 = \frac{W_{Cu}}{I^2}$ — приведенное сопротивление обмотки якоря.

В таком случае эквивалентные нагревающие потери обмотки якоря равны:

$$W_a = I^2 R_1 \left(1 + k \frac{W_{Fe}}{I^2 R_1} \right). \quad (8')$$

Эта же зависимость справедлива и для обмоток полюсов, если принять $k = 0$. Как будет показано ниже, см. ф-лу (38), средний установившийся перегрев обмотки можно считать равным:

¹ См. «Электрификация ж.-д. транспорта», 1933 г.

² См. журн. «Электрическая тяга» № 2, 1933 г. статья Н. Ф. Перевозского и А. Б. Иоффе.

$$\Theta_m = \frac{\int_0^{\Gamma} W dt}{\int_0^{\Gamma} a dt} = \frac{\frac{1}{\Gamma} \int_0^{\Gamma} W_a dt}{\frac{1}{\Gamma} \int_0^{\Gamma} a dt}, \quad (11)$$

где W , a и Γ соответственно: нагревающие потери обмотки, ее приведенная уд. теплоотдача и пер. повторения нагрузки.

Знаменатель выражения (11) представляет собой среднюю уд. теплоотдачу обмотки за ц. повторения нагрузки. Очевидно, что величина знаменателя не зависит от величины потерь, выделенных в течение ц. и является ф-ией лишь интенсивности вентиляции. Числитель выражения (11) представляет при этом средние нагревающие потери за тот же ц.

$$\frac{1}{\Gamma} \int_0^{\Gamma} W_a dt = R_1 I_k^2 k \left(1 + k \frac{\int_0^{\Gamma} W_{Fe} dt}{R_1 I_k^2 k \Gamma} \right) \quad (12)$$

$$I_k = \frac{\sqrt{\int_0^{\Gamma} I^2 dt}}{\Gamma} \quad (13)$$

где I_k — ср.-квадратичный ток.

Из выражения (12) ясно, что средние потери в меди следует отнести к ср.-квадратичному току. Что же касается средних железных потерь, то в виду того, что W_{Fe} возрастает пропорционально силе тока в степени меньше первой, их следует отнести к току, меньшему среднего значения его за ц. I_m , в свою очередь меньшему, чем I_k .

Отнеся средние железные потери к ср.-квадратичному току, мы тем самым вводим в расчеты нек-рый определенный запас, тем больший, чем выше отношение:

$$\frac{I_k}{I_m} = \frac{\text{ср.-квадратичный ток}}{\text{средний ток}}$$

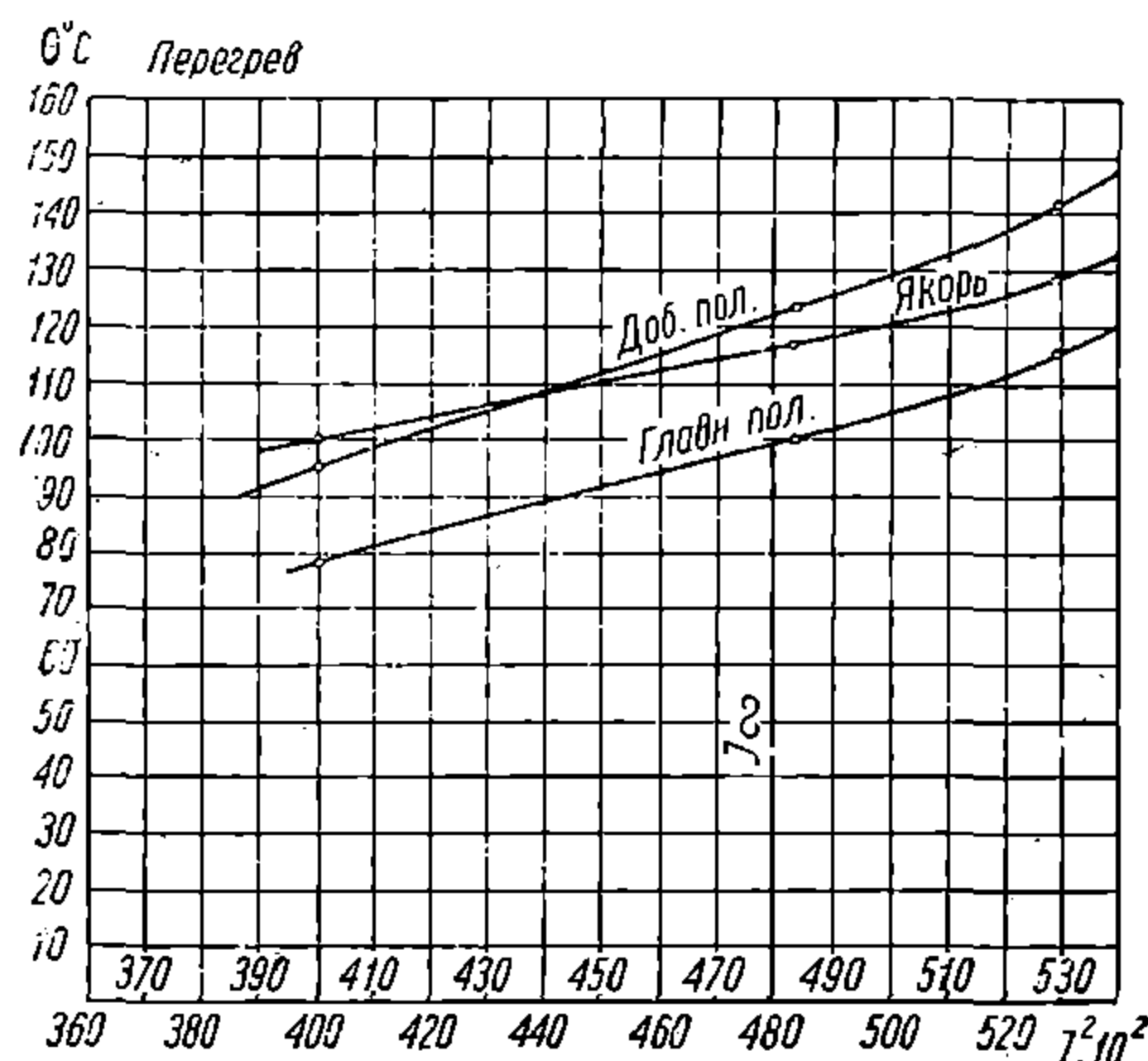
На фиг. 7 представлена зависимость перегрева обмоток дв-ля «ДПЭ-340» в ф-ии от квадрата силы тока якоря [$\Theta = \varphi(I^2)$], носящая примерно прямолинейный характер и подтверждающая этим правильность пользования методом квадратов тока.

При пользовании методом квадратов тока нагревающие потери измеряются в амперах в квадрате и принимаются равными: $W = I^2$.

Метод квадратов тока при его простоте и надежности получил широкое распространение.

Для дв-лей, работающих с переменным напряжением, как-то; дв-ли т/в, и преобразовательных, в частности моторгенераторных, э/в, а также дв-ли, подверженные частым пускам, метод квадратов тока можно уточнить, если отнести режим работы дв-ля к эквивалентному напряжению по железным и дополнительным потерям. Введение в рассмотрение среднего эквивалентного напряжения удобно сделать в методе эквивалентного тока (см. разд. X). До настоящего времени способ определения эквивалентного напряжения мало разработан. Приблизительно эквивалентное напряжение можно вычислить, согласно ф-ле (9), приняв в ней $\kappa' = 0$. При этом эквивалентное напряжение равно ср.-квадратичному напряжению на клеммах за время работы дв-ля под током (см. ф-лу 64).

Введение в рассмотрение пониженного эквивалентного напряжения ($U_э < U$) для оценки нагревания ТД удобно лишь в том случае, если снижение напряжения не отзывается на уд. теплоотдаче дв-ля (об этом см. подробнее в след. разд.). Такое явление мы имеем в 2 случаях: а) в невентилируемых дв-лях (с заглушенной вентиляцией) и б) в дв-лях с независимой вентиляцией.



Фиг. 7

ДНУЗТ

В этих 2 случаях ср.-квадратичный ток при эквивалентном напряжении вполне определяет нам средний установившийся перегрев дв-ля.

Этим обстоятельством, помимо лучших условий охлаждения при работе на линии, объясняются пониженные напряжения (от $0,5U$ до $0,75U$), предписанные нормами ЦЭС для испытания на длительную мощность закрытых эл. дв-лей (см. выше разд. I, 3).

В дв-лях с самовентиляцией интенсивность охлаждения дв-ля характеризуется его скоростью, т. е. рабочим напряжением. В этом случае вместо ср.-квадратичного тока удобнее вводить ср.-нагревающий ток I_0 , приведенный к полному напряжению U , несколько меньший ср.-квадратичного I_k .

$$I_0 < I_k$$

V КОЭФИЦИЕНТ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТДАЧИ ДВИГАТЕЛЯ

Для определения перегревов опасной (по нагреву) обмотки дв-ля необходимо знать для нее закон изменения коэф-та уд. теплоотдачи a .

Под приведенным коэф-том уд. теплоотдачи дв-ля будем понимать величину потерь, отводимых от его опасной по нагреву обмотки, на каждый град. Ц разности темп-р этой обмотки и внешнего воздуха. В зависимости от метода учета нагревающих потерь меняется и величина коэф-та a . Уд. теплоотдача a м. б. определена аналитическим путем. Надежнее однако брать величину a из данных опыта.

Коэф-т уд. теплоотдачи зависит от интенсивности вентиляции и скорости вращения якоря и поэтому дается всегда как ф-ия скорости поезда с указанием режима вентиляции, а именно: а) для дв-лей с независимой вентиляцией указывается расход воздуха; б) для дв-лей с самовентиляцией — действующая или заглушенная вентиляция.

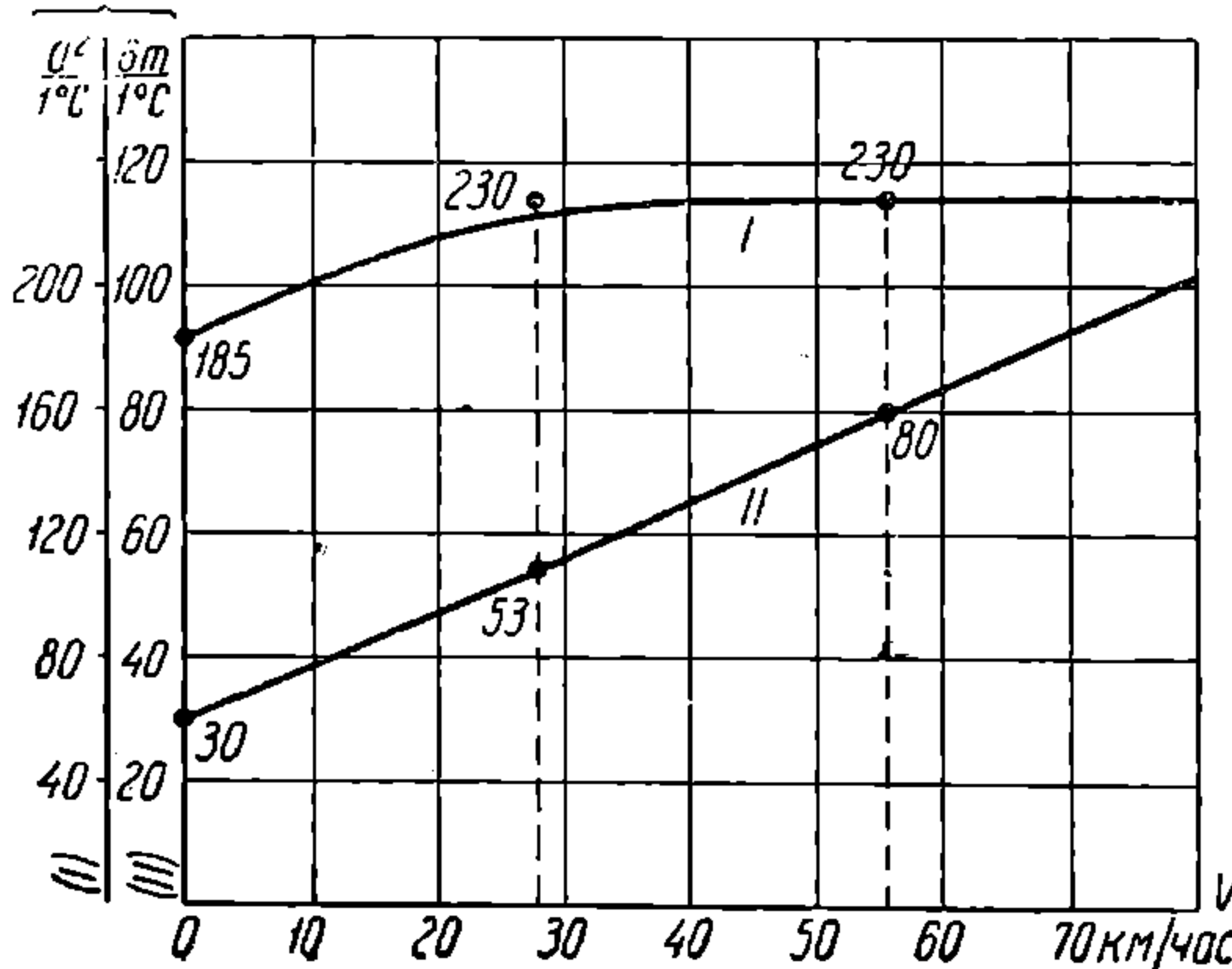
Обычно довольствуются зависимостью: $a = \varphi(v)$ для нормального режима вентиляции.

Зависимость $a = \varphi(v)$ согласно данным опытов Luke и Carter носит приблизительно прямолинейный характер, при чем уд. теплоотдача возрастает с увеличением скорости:

$$a = a_0 + Ev,$$

где a_0 — теплоотдача дв-ля при скорости $v = 0$.

В самовентилирующемся дв-ле коэф-т B весьма значителен, так что отношение $\frac{a_\infty}{a_0}$ доходит до 3.



Фиг. 8

Примерный характер изменения коэф-та теплоотдачи в этом случае приведен на фиг. 8, где кривая I дает зависимость $a = \varphi(v)$ в случае применения метода квадрата тока и кривая II — по методу общих потерь.

В дв-ле с независимой вентиляцией влияние скорости вращения якоря на уд. теплоотдачу его частей весьма незначительно. Поэтому здесь $B \rightarrow 0$.

В заглушенном дв-ле, помещенном под кузовом, скорость поезда весьма сильно увеличивает интенсивность охлаждения его корпуса, увеличивая теплоотдачу до 35%. Вопрос об учете этого влияния до сих пор слабо разработан.

Зависимость $a = \varphi(v)$ — уд. теплоотдачи в ф-ии от скорости поезда, м. б. построена с достаточной степенью точности, если известны данные о

перегревах и нагревающих потерях опасной по нагреву обмотки по крайней мере для 3 длительных режимов. В таком случае для каждого режима известны:

- установившийся перегрев Θ_∞ ,
- нагревающие потери в принятом методе их измерений (полные, эквивалентные или Джоулевы) W_∞ ,

НТБ
ДНУЗТ

в) скорость поезда v , соответствующая угловой скорости якоря при снятии режима. В таком случае для каждого режима снятой длительной мощности имеем согласно ф-ле (8') при $v = v_i$:

$$a_i = \frac{(W_\infty)_i}{(\Theta_\infty)_i} \quad (14)$$

Нанося точки на диаграмму и соединяя на главной кривой, получаем искомую зависимость $a = \varphi(v)$.

В крайнем случае можно ограничиться данными только 2 длительных мощностей (при различных напряжениях) и принять зависимость $a = \varphi(v)$ по Luke¹ за прямолинейную. Обычно пользуются данными при полном и половинном напряжении. При отсутствии указания на величину перегрева, наблюдавшегося при испытании на длительную мощность, приходится приравнивать его перегреву, допускаемому по нормам ЦЭС при испытании на длительную мощность. Этот последний метод при 2 точках может дать для самовентилируемого дв-ля очень искаженный характер изменения $a = \varphi(v)$, если в-дом для гарантийных точек был предусмотрен запас в темп-рах, при этом различный для обеих точек, как это часто бывает в действительности.

В этом случае можно попытаться прокорректировать зависимость $a = \varphi(v)$ по 3-й точке a_0 , соответствующей скорости $v = 0$.

Согласно Luke для скорости вращения $v = 0$ самовентилирующегося дв-ля уд. теплоотдача всего дв-ля равна:

$$a_0 = 0,0009 S W/1^\circ\text{Ц}, \quad (15)$$

где S — поверхность корпуса дв-ля в см^2 .

Наружная поверхность при этом принимается равной поверхности цилиндра той же длины и диам., что корпус дв-ля.

Величину a_0 согласно ф-ле (15) следует брать лишь в методе полных потерь.

В методе эквивалентных нагревающих потерь необходимо учесть, что расчетные потери, нагревающие опасную обмотку, составляют лишь часть общих потерь, отводимых от дв-ля. Между тем все потери в самовентилирующемся (и не вентилируемом. вовсе) дв-ле при $v = 0$ отводятся исключительно внешней поверхностью корпуса.

Поскольку средние потери за время работы дв-ля близки к потерям при его длительном режиме, примем:

$$a_0 = 0,0009 S \frac{W_3}{W_\infty}, \quad (15')$$

где W_3 — расчетные потери при режиме длительной мощности, W_∞ — полные потери, нагревающие дв-ль при этом же режиме и R — сопротивление опасной обмотки

$$a_0 = \frac{0,0009 S}{R} \cdot \frac{W_3}{W_\infty}.$$

В методе квадратичного тока нагревающие потери измеряются в амперах в квадрате и следовательно уд. теплоотдача a — в амперах в квадрате на 1°Ц .

При этом ф-ла (14) принимает вид:

$$a_i = \frac{(I_\infty^2)_i}{\Theta_\infty} \quad (16)$$

и ф-ла (15') соответственно:

$$a_0 = \frac{0,0009 S}{R} \frac{W_3}{W_\infty} \text{ А}^2/1^\circ\text{Ц}. \quad (15\text{-a})$$

П р и м е р.

Дв-ль имеет внешние размеры корпуса $D = 69 \text{ см}$ и длину $L = 123 \text{ см}$; $\frac{W_3}{W_\infty} = 0,62$.

При этом $S = \pi \cdot 69 \cdot 123 + \frac{\pi \cdot 69^2}{4} \cdot 2 = 26500 + 6600 = 33100 \text{ см}^2$.

Для всего дв-ля:

$$a_0 = 0,0009 \cdot 33100 \cong 30 \text{ W}/1^\circ\text{Ц}.$$

Сопротивление нагретой обмотки (якоря) равно: $R = 0,1 \Omega$. Т. о., в методе квадратичного тока получаем:

$$a_0 = \frac{30 \cdot 0,62}{0,1} = 185 \text{ А}^2/1^\circ\text{Ц}.$$

¹ J A I E E, 1922, март.

Это дает 1-ю точку кривой теплоотдачи. Остальные 2 точки получаем из условия, что при полном и половинном напряжении $I_{\infty} = 155 a$, отсюда

$$a = \frac{155^2}{105} = 230 \text{ A}^2/\text{1}^\circ \text{Ц.}$$

При этом скорость равна соответственно 55,5 и 28 км/ч.

Пользуясь полученными данными, мы можем построить $a = \varphi(v)$. Это построение в размерности для a : $\text{A}^2/\text{1}^\circ \text{Ц}$ (см. кривая I) произведено на фиг. 8.

Для сравнения приведена зависимость $a = \varphi(v)$ для метода полных потерь (кривая II), дающая прямолинейную зависимость: $a = \varphi(v)$.

Для того чтобы учесть различные условия нагревания дв-ля в рабочем состоянии при разных режимах регулировки поля, автором предложено было¹ умножить нагревающие потери при неосновных режимах на нек-рый коэф-т, равный отношению уд. теплоотдач при рассматриваемом и основном режимах регулировки. Подробнее этот метод будет рассмотрен ниже в разд. IX (фиг. 18в).

VI. РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ПРОВЕРЯЕМОГО ДВИГАТЕЛЯ

Для установления закона повышения темп-ры в опасной по нагреву обмотке и учета пик темп-ры необходимо знать приведенную теплоемкость опасной по нагреву обмотки. Под приведенной теплоемкостью условимся понимать мощность нагревающих потерь, вызывающих повышение темп-ры опасной по нагреву обмотки дв-ля на 1°Ц . Приведенная теплоемкость опасной по нагреву обмотки в методе общих потерь, а также в методе квадратичного тока, как связывающая общие потери машины W с повышением темп-ры одной лишь ее обмотки, вообще является величиной переменной. За постоянную величину она м. б. принята в этих методах с достаточной степенью точности в тех сравнительно узких колебаниях темп-ры, к-рые имеют место при установившейся работе эл. дв-ля.

В методе эквивалентных нагревающих потерь допущение о постоянстве величины теплоемкости справедливо в более широких пределах колебания темп-ры. Однако правильно оценить расчетную величину теплоемкости весьма затруднительно. Поэтому при нахождении теплоемкости выберем метод, обеспечивающий от преувеличения ее значения.

Теплоемкость эл. дв-ля м. б. определена из условия его нагревания при часовом режиме из общего ур-ния нагревания тела. При этом, чтобы правильно оценить величину теплоемкости, и следовательно перегрев эл. дв-ля, нельзя считать нагревающие потери постоянными (соответствующими нагретым обмоткам), как это делается во всех обычных тяговых расчетах.

Пусть две машины при испытании на одинаковую продолжительность (1 ч.) дали одинаковый перегрев ($\Theta_h = 120^\circ$). При этом, очевидно, что большую теплоемкость мы признаем в машине, имеющей большие потери. Итак, преувеличивая сопротивление опасной по нагреву обмотки вследствие отнесения его не к средней, а к конечной темп-ре, мы преувеличиваем теплоемкость.

Ур-ие теплового баланса при часовом режиме:

$$W_h dt = a_h \tau dt = cd\tau. \quad (17)$$

Здесь: a_h — коэф-т уд. теплоотдачи при скорости поезда и интенсивности вентиляции часового режима; W_h — нагревающие потери при этом режиме, в свою очередь зависящие от темп-ры; τ и t — мгновенные значения сверхтемп-ры и времени.

При этом, ориентируясь на метод эквивалентных потерь, для обмотки якоря имеем:

$$W_h = R_0 (1 + \alpha\tau) I_h^2 + kW_{Fe} = \varphi(\tau), \quad (18)$$

где R_0 — приведенное сопротивление опасной по нагреву обмотки в холодном состоянии, т. е. при окружающей темп-ре 25°Ц ; $\alpha = 0,00385$ — темп-рный коэф-т сопротивления меди.

¹ См. журн: „Электрификация жел.-дор. транспорта“, 1932 г. № 5—6.

В таком случае ф-ла (17) представится в след. виде:

$$[(R_0 I^2 h + kW_{Fe})_h - (a_h - b_h) \tau] dt = cd\tau, \quad (19')$$

при чем

$$(R_0 I^2 + kW_{Fe})_h = (W')_h \quad (20)$$

это — нагревающие потери холодной обмотки якоря при часовом режиме;

$$R_0 I^2 h = b_h \quad (21)$$

это — увеличение потерь в обмотке якоря при повышении темп-ры ее на 1°Ц при токе часовой мощности.

Иными словами, в процессе неустановившегося теплового режима при часовой работе можно считать нагревающие потери постоянными и равными начальным потерям при холодной обмотке W' , но вместо действительной уд. теплоотдачи a_h можно ввести уменьшенную величину $(a_h - b_h)$, при чем член b_h учитывает увеличение джоулевых потерь вследствие повышения темп-ры на каждый град. Ц. При этом, согласно ф-лам (19'), (20) и (21), искомая величина приведенной теплоемкости равна:

$$c = \frac{-60 (a_h - b_h)}{2,3 \lg \left[1 - \frac{(a_h - b_h) \Theta_h}{(W')_h} \right]} \text{А}^2 \cdot \text{min.} / 1^\circ \text{Ц.} \quad (22)$$

Входящие в эту ф-лу величины $(W')_h$ и b_h определяются ф-ми (20) и (21).

Величина a_h берется из кривой уд. теплоотдачи для скорости v_h часового режима,

Ф-ла (22) пригодна для определения приведенной теплоемкости дв-ля по методу общих и эквивалентных нагревающих потерь.

Однако, в этом случае при построении кривых нагревания дв-ля необходимо учитывать изменение джоулевых потерь в зависимости от температуры обмотки, т. е. принимать потери для холодной обмотки; расчетный коэффициент уд. теплоотдачи:

$$a_{\text{расч}} = a \left(1 - \frac{I^2 \alpha R_0}{a} \right) = a \left[1 - \frac{I^2 \alpha R_0 \Theta'}{kW_{Fe} + I^2 R} \right] \quad (23)$$

Здесь Θ' — установившийся перегрев при токе I .

В действительности нас интересует не теплоемкость, а производная от нее величина: постоянная времени. Из формулы (19) ясно, что последняя для часового режима равна:

$$T_h = \frac{60}{2,3 \lg \left(1 - \frac{\Theta_{h'}}{\Theta_{h^1}} \right)} \quad (24a)$$

В методе квадратов тока остановившийся перегрев при часовом токе равен:

$$\Theta'_{h'} = \Theta_{\infty} \left(\frac{I_{h'}}{I_{\infty}} \right)^2$$

В таком случае:

$$T_h = \frac{60}{2,3 \lg \left(1 - \gamma^2 \frac{\Theta_h}{\Theta_{\infty}} \right)} \quad (24)$$

Если изменение джоулевых потерь от температуры не учитывается, то, приняв в методе квадратов тока

$$a_h = a_{\infty} = \frac{I_{\infty}^2}{\Theta_{\infty}}, \quad (16a)$$

получим следующие выражения для расчетной теплоемкости:

НТБ
ДНУЗТ

Полученная т. о. величина $T_{\infty} = 63$ мин. близко соответствует теоретическому подсчету по ф-ле (25'), согласно к-рому мы получили для соответствующего значения

$$\gamma = \frac{I_{\infty}}{I_h} = 0,7 \text{ значение } T_{\infty} = 68 \text{ мин.}$$

VII. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕГРЕВОВ ДВИГАТЕЛЯ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

При определении перегрева дв-ля τ в условиях эксплуатации следует считаться с тем обстоятельством, что ТД нормально работает с перемежающейся нагрузкой и следовательно с переменными W и a , зависящими от профиля, регулировки поля и ускорения при пуске. При этом W является ф-ией силы тока I , напряжения U и регулировки поля. При постоянной регулировке поля и напряжении имеем $W = \varphi(I)$. Коэф-т уд. теплоотдачи a является ф-ией скорости поезда: $a = \varphi(v)$.

Кривую изменения перегрева дв-ля в эксплуатационных условиях можно получить наиболее точно, имея опытные кривые нагревания и охлаждения машины при различных режимах нагрузки. Если таких кривых нет, то для учета нагревания опасной по нагреву обмотки эл. дв-ля можно воспользоваться ур-ием нагрева однородного твердого тела, введя в расчеты потери, нагревающие эту обмотку, по одному из трех методов их учета (полные потери, эквивалентные или, наконец, джоулевы) и соответственные значения приведенной уд. теплоотдачи и теплоемкости (или постоянной времени). В таком случае для режима работы дв-ля с постоянными потерями и с постоянной интенсивностью вентиляции мы можем для определения перегрева применить ур-ие (4):

$$\Theta' \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}$$

Разбивая весь путь на уч-ки с приблизительно постоянными нагревающими потерями и уд. теплоотдачей, т. е. с приблизительно постоянными I , v и U , находим по построенным ранее кривым соответствующие значения Θ' и T и подставляем их в ф-лу (4).

При этом переход на новую регулировку поля всегда явится началом нового элемента, т. к. в этом случае изменяются нагревающие потери.

Перегрев в конце каждого участка определится след. выражениями (табл. 3):

Табл. 3. Перегрев в конце каждого участка

№ участка	Продолжительность пребывания	Перегрев в конце участка
1	t_1	$\tau_1 = \Theta_1' \left(1 - e^{-\frac{t_1}{T_1}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t_1}{T_1}}$
2	t_2	$\tau_2 = \Theta_2' \left(1 - e^{-\frac{t_2}{T_2}} \right) + \tau_1 e^{-\frac{t_2}{T_2}}$
n	t_n	$\tau_n = \Theta_n' \left(1 - e^{-\frac{t_n}{T_n}} \right) + \tau_{n-1} e^{-\frac{t_n}{T_n}}$

(26)

НТБ
ДНУЗТ

Вычисления удобнее всего вести согласно табл. 4:

Табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
№ элемента пути	Расстояние от ст. (конца элемента)	Продолжительность пребывания на элементе пути: t_i	Напряжение на дв-ль, регулировка поля	I_i	Потери W_i или $I^2 i$	Скорость v_i	Коэф-т уд. теплоотдачи a_i	Установившийся перегрев $\Theta'_i = \frac{W_i}{a_i}$	Постоянная времени $T_i = \frac{c}{a_i}$	t_i 2,3 T_i	$e^{-\left(\frac{t}{T}\right)_i}$	$1 - e^{-\left(\frac{t}{T}\right)_i}$	$\Theta'_i \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{T}\right)_i}\right)$	$\tau_i - 1 e^{-\left(\frac{t}{T}\right)_i}$	Перегрев в конце элемента Θ_i

Входящая в графу 11 величина

$$\frac{t_i}{2,3 T_i} = \frac{t_i}{T_i} \lg_{10} e,$$

где e — основание натуральных логарифмов. Выражение графы 12 находим как число, логарифм к-рого при основании 10 равен значению в графе 11.

Если задаваться небольшими приращениями времени t_i то можно применять след. упрощения ф-лы:

Разлагая $e^{-\left(\frac{t}{T}\right)_i}$ в ряд, мы имеем:

$$e^{-\left(\frac{t}{T}\right)_i} = 1 + \frac{1}{1} \left(-\frac{t_i}{T_i}\right) + \frac{1}{1 \cdot 2} \left(-\frac{t_i}{T_i}\right)^2 + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} \left(-\frac{t_i}{T_i}\right)^3 + \dots \quad (27)$$

При малом значении $\left(\frac{t}{T}\right)_i$ (порядка до 0,01) мы можем пренебречь членами высших порядков и принять

$$1 - e^{-\left(\frac{t}{T}\right)_i} \approx \left(\frac{t}{T}\right)_i \quad (27')$$

В таком случае ф-лы (26) примут след. вид:

$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= \Theta'_1 \frac{t_1}{T_1} + \tau_0 \left(1 - \frac{t_1}{T_1}\right) \\ \tau_2 &= \Theta'_2 \frac{t_2}{T_2} + \tau_1 \left(1 - \frac{t_2}{T_2}\right) \\ \tau_n &= \Theta'_n \frac{t_n}{T_n} + \tau_{n-1} \left(1 - \frac{t_n}{T_n}\right) \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Вычисления рекомендуется вести по приведенной выше табл., при чем при упрощенных ф-лах в графе 11 должно стоять $\left(\frac{t}{T}\right)_i$; в графе 14 соответственно: $\Theta' \left(\frac{t}{T}\right)_i$, а в гра-

фе 15: $\tau_n - 1 \left(1 - \frac{t_i}{T_i}\right)$ Графы 13 и 12 уничтожаются.

НТБ
ДНУЗТ

т. е. согласно ф-ле дает нам в принятом масштабе повышение перегрева $\Delta \tau_i$ за элемент времени t_i .

При повторных пробегах поезда в течение дня перегрев будет расти до установившейся темп-ры, т. е. до момента, когда теплота, получаемая дв-лем от потерь, будет равняться теплоте, отводимой наружу. Темп-ру дв-ля можно считать установившейся, если она изменяется в течение часа не более чем на 2°Ц , в работе при неизменных потерях и интенсивности вентиляции.

Мелкие ТД достигают обыкновенно установившейся темп-ры не позднее 9—10 ч. работы, а крупные — после 4—5 ч. В виду того, что дв-ль обычно уходит на линию не успевшим остыть от предшествующей работы, установившийся перегрев наступает значительно ранее, а именно через 2—5 ч.

Вычисления постепенного нагрева дв-ля за каждый рейс в аналитическом способе (1) не требуется. Достаточно найти перегрев дв-ля во время последнего рейса и его установившуюся сверхтемп-ру.

Пусть начальная сверхтемп-ра при первом рейсе равна нулю: $\Theta_0 = 0$. Полагаем, что изменение перегрева в течение первого рейса происходит по плавной кривой, соответствующей нек-рым средним нагревающим потерям и средней постоянной времени, величина к-рой равна:

$$T = \frac{c\Gamma}{\int_0^\Gamma \Gamma dt} \quad (29)$$

Пусть далее известно, что продолжительность рейса равна Γ и перегрев, полученный дв-лем, равен τ_1 . Введем далее для простоты след. обозначение:

$$B = e^{-\int_0^\Gamma \frac{dt}{T}} = e^{-\sum_{t=0}^{t=\Gamma} \left(\frac{t}{T}\right)_i} \quad (30)$$

В таком случае, если в конце и в начале рейса с порядковым номером $l = \infty$ дв-ль получит перегрев τ_0 , величина к-рого еще нам неизвестна, то, применяя равенство (4) последовательно к 1-му, 2-му, 3-му... рейсам и принимая в этой ф-ле $\Theta' = \Theta_0$, имеем:

$$\begin{aligned} \text{1-й рейс} & \quad \tau_1 = \tau_0 (1 - B) \\ \text{2-й рейс} & \quad \tau_2 = \tau_0 (1 - B) + \tau_1 B = \tau_1 (1 + B) \\ \text{3-й рейс} & \quad \tau_3 = \tau_0 (1 - B) + \tau_2 B = \tau_1 (1 + B + B^2) \\ \text{n-й рейс} & \quad \tau_n = \tau_0 (1 - B) + \tau_{n-1} B = \tau_1 (1 + B + B^{n-1} + B^n) \end{aligned}$$

Отсюда ясно, что перегрев в конце n -го рейса равен сумме $(n+1)$ членов убывающей геометрической прогрессии со знаменателем B .

В таком случае перегрев в конце n -го рейса равен:

$$\tau_n = \tau_1 \frac{1 - B^n}{1 - B} \quad (31)$$

Перегрев в конце рейса при установившейся работе дв-ля найдем, полагая $n = \infty$. При этом, т. к. $B < 1$, то $B^n = 0$ и следовательно:

$$\tau_\infty = \Theta_0 = \frac{\tau_1}{1 - B} \quad (32)$$

Перегрев в какой-либо точке q n -го рейса, согласно ф-ле (4), определится след. обр.:

$$\tau_{qn} = \tau_{q_1} + \tau_{n-1} e^{-\int_0^q \frac{dt}{T}} = \tau_{q_1} + \tau_{n-1} e^{-\sum_{t=0}^q \left(\frac{t}{T}\right)_i} \quad (33)$$

где τ_{n-1} — сверхтемп-ра в конце $(n-1)$ -го или в начале n -го рейса, τ_{q_1} — сверхтемп-ра в момент t_q 1-го рейса, τ_{qn} — сверхтемп-ра в момент t_q при n -ом рейсе.

Если перед n -ым рейсом темп-ра установилась, имеем:

$$\tau_{q\infty} = \tau_q + \Theta_0' e^{-\sum_{t=0}^q \left(\frac{t}{T}\right)_i} \quad (34)$$

Ч и с л е н н ы й п р и м е р. Для примера взята часть маршрута киевского трамвая от улицы Воровского до улицы Гершуни. Значения для I , v и t взяты из неприводимого здесь тягового расчета. Число перегонов в обе стороны — 8. Продолжительность остановки — 12 сек. Стоянка на одном конечном пункте — 30 сек., а на другом — 150 сек. Длина рейса — 4 км. Время пробега — 18 мин. Число рейсов в день — 60.

Табл. 5. Данные двигателя «ДР-3 К»

	U V	I A	v км/ч	η %
Продолжительная мощность	550	50	23	0,89
Часовая мощность	550	77	19,5	0,90
Продолжительная мощность	275	48	11,1	0,86

Перегрев при испытании на длительную мощность (класс А):

$$\theta_{\infty} = \theta_h = 85^{\circ}$$

Пользуемся методом общих потерь.

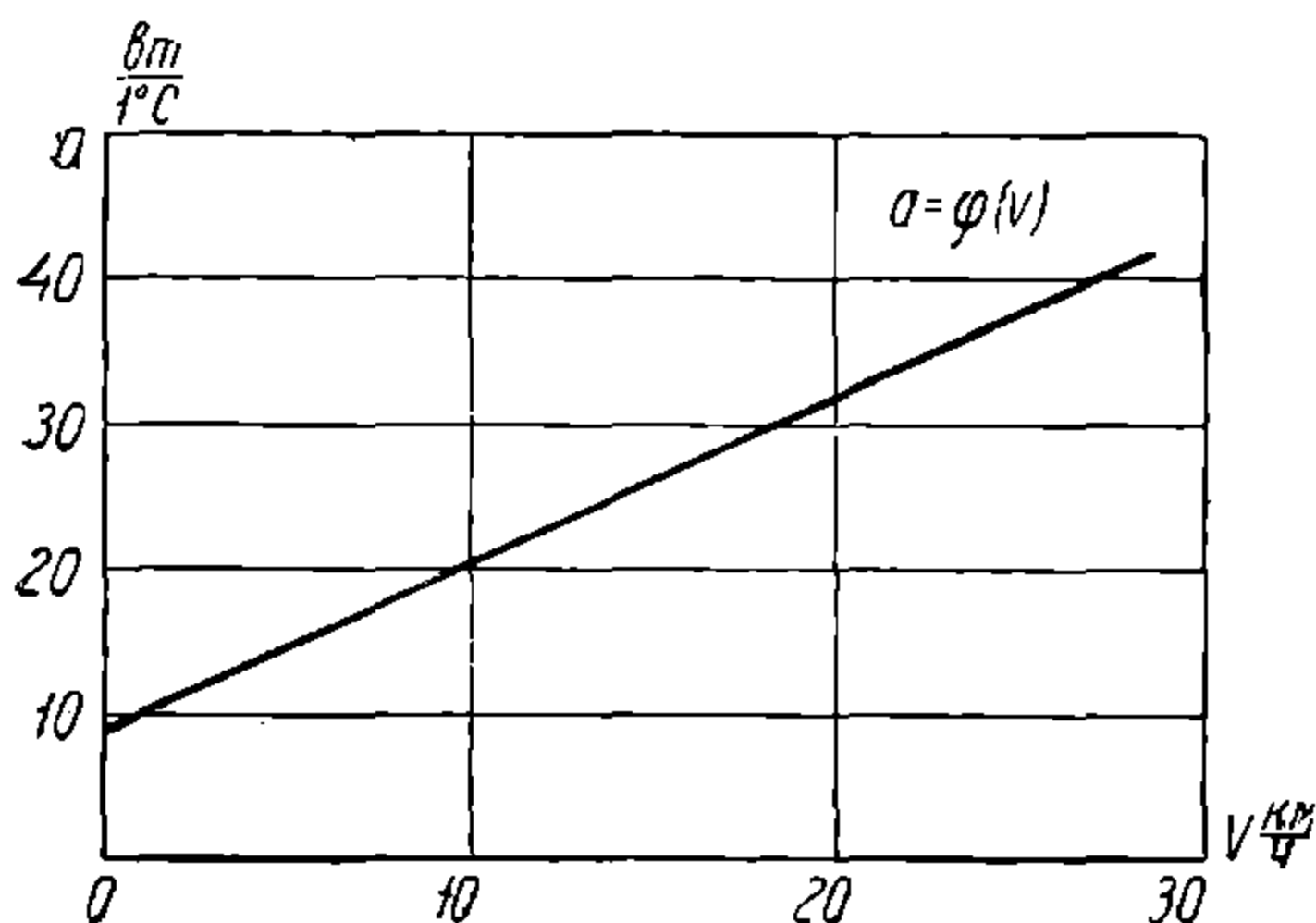
Определяем уд. теплоотдачу a .

а) Для $U = 550$ V, 770 об/мин. $v = 23$ км/ч.

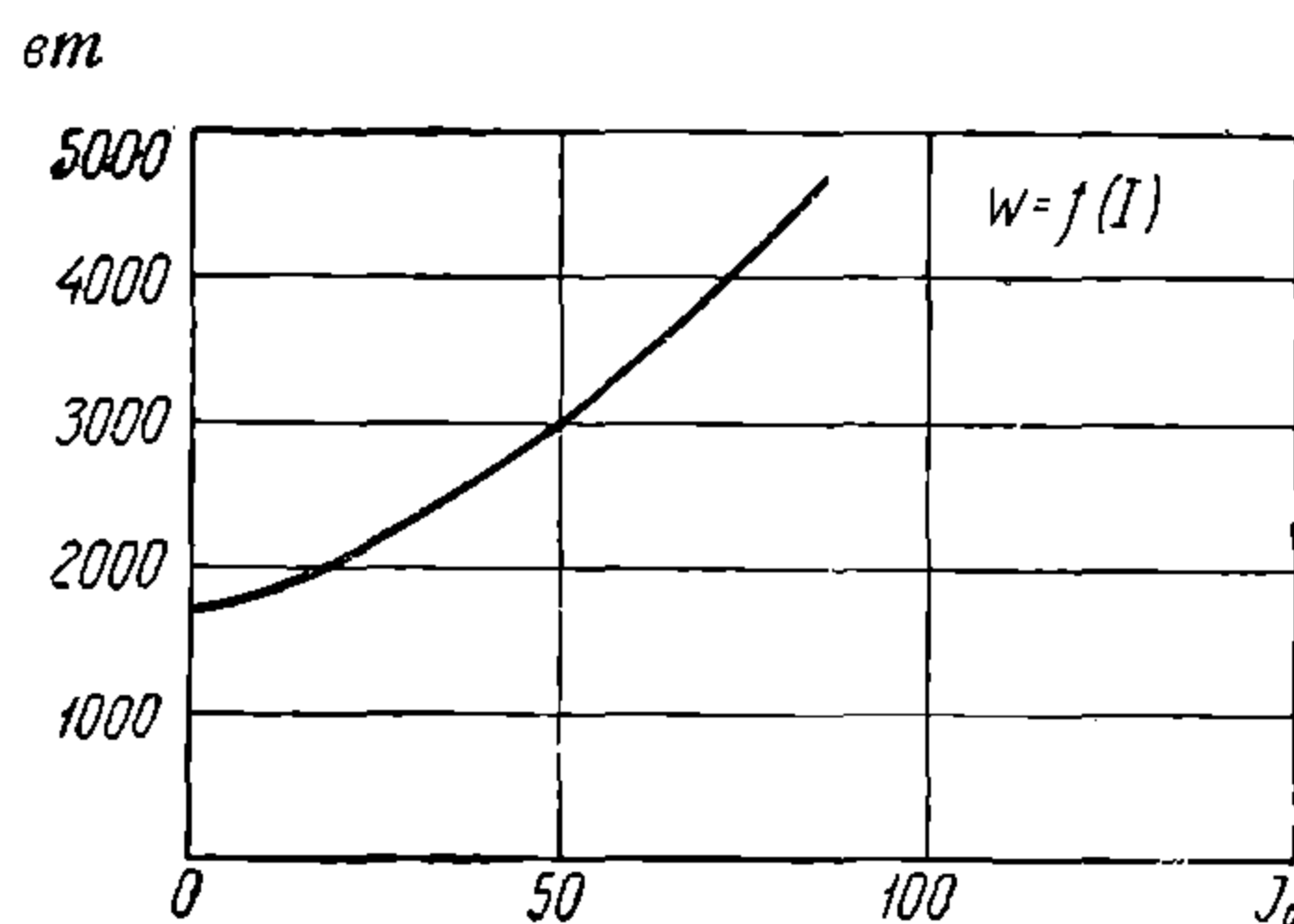
$$W_{\infty} = 3025 \text{ W}; a = \frac{3025}{85} = 35,6 \text{ W/1}^{\circ}$$

б) При $U = 275$ V, 370 об/мин. $v = 11,1$ км/ч.

$$W_{\infty} = 1850 \text{ W}; a = \frac{1850}{85} = 21,75 \text{ W/1}^{\circ}$$



Фиг. 11



Фиг. 12

Соединяя прямой точки для $v = 23$ км/ч и $v = 11,1$ км/ч, получаем прямую зависимости a W/1° от n или v для вентилируемого дв-ля (фиг. 11). На фиг. 12 изображена зависимость $W = f(I)$.

T_h определяем обычным способом по ф-ле (25-а).

a — для часовой мощности будет 31,4 W/1° Ц.

Потери при часовом режиме при $I_h = 77$ а согласно диаграмме фиг. 12 равны bW ;

$$W_h = 4325 \text{ W.}$$

НТБ
ДНУЗТ

Отсюда постоянная времени часового режима равна:

$$T_h = \frac{60}{2,3 \lg \frac{4325 - 31,4}{4325}} = 60 \text{ мин.}$$

и следовательно теплоемкость

$$c = 31,4 \cdot 60 = 1900 \text{ W-мин/1}^\circ \text{ Ц.}$$

Зная теплоемкость c и коэф-т уд. теплоотдачи $a = \varphi(v)$, можем получить зависимость $T = \varphi(v)$.

Остальные вычисления, к-рые произведены по упрощенной ф-ле (28), сведены в табл. 6. В виду того, что время t выражено в сек., а постоянная времени — в мин., то в ф-лах вместо $\frac{t}{T}$ входит: $\frac{t}{60 T}$.

Перегрев в конце последнего 57-го рейса допустимо считать установившимся и следовательно равным:

$$\Theta_0 = \tau_{l = \infty} = \frac{\tau_1}{1 - B}$$

$$B = e^{-\sum_{t=0}^{t=\Gamma} \left(\frac{t}{60 T} \right)} = 10^{-0,099396} = \frac{1}{1,2574}$$

где $0,099396 = \frac{2286}{2,3 \cdot 10^4}$.

По приближенной формуле:

$$\tau_{l = \infty} = \frac{8,862}{1 - \frac{1}{1,2574}} = 43,25^\circ \text{ Ц.}$$

Определим теперь перегревы в наиболее характерных 14-й и 48-й точках последнего рейса, считая $n = \infty$.

Точка 14: согласно табл. 6 имеем

$$\frac{1}{2,3} \sum_{t=0}^{14} \frac{t}{60 T} = \frac{460,7}{2,3 \cdot 10^4} = 0,020023;$$

откуда:

$$e^{-\sum_{t=0}^{14} \frac{t}{60 T}} = \frac{1}{1,04718};$$

$$\tau_{14 \infty} = 4,193 + \frac{43,25}{1,04718} = 45,5^\circ \text{ Ц.}$$

Точка 48:

$$\frac{1}{2,3} \sum_{t=0}^{48} \frac{t}{60 T} = \frac{1662,9}{23 \cdot 10^4} = 0,0723;$$

$$e^{-\sum_{t=0}^{48} \frac{t}{60 T}} = 1,181;$$

$$\tau_{48 \infty} = 9,207 + \frac{43,25}{1,181} = 45,83^\circ \text{ Ц.}$$

Приближенная формула дает несколько завышенный результат.

Полученные перегревы относятся к средней характеристике дв-лей поезда и для нормального ц. Полученные результаты д. б. прокорректированы согласно указаниям разд. IX.

Полученные цифры показывают, что дв-ль сильно недоиспользован.

РАБ
ДНУЗТ

Табл. 6. Вычисления перегревов двигателя «ДР-3-К»

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
№ по порядку	Расстояние от остановки l м	t сек.	Напряжение и регулиров. поля	I А	W Вт	v км/ч	a $W/1^{\circ}C$	θ' $^{\circ}C$	T мин.	$\frac{t \cdot 10^4}{60T}$	τ_i (Ф-ла 28) $^{\circ}C$	
1	20	5	Л	77	4235	10	20,6	206	92	12,7	0,262	
2	100	13		58	3350	21,5	38,9	99	56	38,8	0,645	
3	200	17,5		65	3700	20,5	32,6	113,5	58	50,4	1,215	
4	260	10,5		62	3500	21	33,2	105,5	57	30,8	1,536	
5	320	10,5		65	3700	20,5	32,6	113,5	58	30	1,872	
6	535	36,5		62	3500	21	33,2	105,5	57	107	2,982	
7	555	4		0	0	16	27,5	0	68,5	9,8	2,979	
8	565	5		0	0	6	16	0	108	7	2,977	
9	—	12		0	0	0	9	0	209	9,7	2,974	
10	35	13		77	4235	10	20,6	206	92	23,6	3,454	
11	135	15		55	3220	22,5	34,8	92,6	54,5	46	3,864	
12	195	9		37	2525	26,5	39,4	64	48	31,3	4,057	
13	285	14		0	0	23,5	36	0	52,5	44,6	4,039	
14	325	6		51	3060	23,5	36	85	52,5	19	4,193	
15	450	0	0	0	22	34,3	0	55	$\sum \frac{t \cdot 10^4}{60T} = 460,7$		4,168	
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
46	107,5	15	Л	45	2820	23,5	36	78,3	52,5	47,7	9,160	
47	160	7		0	0	26	38,9	0	49	23,85	9,138	
48	180	3		40	2640	25,5	38,3	69	49,5	10,2	9,207	
49	430	37	V	0	0	24	36,6	0	52	$\sum \frac{t \cdot 10^4}{60T} = 1662,9$		9,097
50	565	24		0	0	20	32	0	59	119	9,035	
51	590	9		0	0	10	20,6	0	92	67,9	9,020	
52	—	12		0	0	0	9	0	209	16,55	9,011	
53	17,5	6		77	4235	10	20,6	206	92	9,7	9,227	
54	279	47		0	0	20	32	0	59	10,9	9,104	
55	540	47		0	0	20	32	0	59	133,2	8,982	
56	565	8,5		0	0	10	20,6	0	92	133,2	8,968	
57	—	148,5		0	0	0	9	0	209	15,45	8,862	
										$\sum \frac{t \cdot 10^4}{60T} = 2286,1$		

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕГРЕВОВ ДВИГАТЕЛЯ

НТБ
ДНУЗТ

VIII. ПРИБЛИЖЕННАЯ ПРОВЕРКА ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА НАГРЕВ ПО СПОСОБУ АВТОРА¹

1. ОБЩЕЕ

Способ определения перегрева дв-ля в эксплуатации, изложенный в предыдущем разд., является весьма громоздким. Кроме того способ этот недостаточно физически нагляден и потому трудно поддается контролю, т. к. в случае ошибки в каком-либо звене необходим пересчет всех последующих звеньев. Ниже излагается приближенный способ проф. Д. К. Минова, обеспечивающий достаточную точность при большей простоте и наглядности. Способ этот графо-аналитический. В основу настоящего способа положены след. предпосылки.

1) Предполагается, что работа эл. дв-ля заключается в периодическом повторении одного и того же ц. нагрузок (напр. рейсы по одному и тому же маршруту) с небольшим пер. чередования².

Такой режим работы является характерным для всех м/в (трамвай, метрополитен, пригородное движение), а также для промышленных и маневровых эл/в. Для магистрального эл/в ц. нагрузок имеет довольно большую продолжительность. Поэтому для магистральных эл/в излагаемый метод менее точен и дает преувеличенные перегревы по сравнению с методом, изложенным в предыдущем разд.

2) Первоначально определяется кривая перегрева эл. дв-ля при установившейся работе, т. е. для пер. с порядковым номером: $n = \infty$. В большинстве случаев достаточно ограничиться нахождением этих перегревов, к-рые только по существу нас и должны интересовать в смысле пригодности дв-ля.

3) Знание перегревов при установившейся работе дает возможность легко перейти к перегревам для любого момента заданного пер.

При этом нахождение перегрева эл. дв-ля для любого момента его работы сводится к простым вычислениям и графическим построениям величин, имеющих наглядное физическое значение, что дает возможность постоянного контроля над их правильностью.

2. ОБОЗНАЧЕНИЯ

Введем след. обозначения:

Продолжительность пер. повторения нагрузки	Γ мин.
Время от начала пер.	t мин.
Мгновенное значение нагревающих потерь опасной по нагреву обмотки дв-ля	W W
Мгновенное значение коэф-та уд. теплоотдачи эл. дв-ля	a W/1° Ц
Теплоемкость эл. дв-ля	c W-мин. /1° Ц
Мгновенное значение перегрева при n -ом ц. в точке q профиля	$\tau q n^\circ$ Ц
Перегрев дв-ля в конце n -го ц. и в начале $(n + 1)$ -го ц.	τn° Ц
Мгновенное значение установившегося перегрева	Θ° Ц
Средний установившийся перегрев	Θ_m° Ц
Мгновенное значение установившегося перегрева в начале и конце пер.	Θ_0° Ц
Допущенный перегрев для эл. дв-ля при длительной нагрузке	Θ_∞° Ц
То же при часовой нагрузке	Θ_h° Ц
Мгновенное значение тока эл. дв-ля	I А
Ток длительной мощности эл. дв-ля	I_∞ А
Величины Θ и τ отмечаются индексом n , указывающим порядковый номер ц.	

3. ПЕРЕГРЕВ ПРИ УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Ур-ие теплового баланса эл. дв-ля для любого момента времени напишется согласно ф-ле (1) в след. виде:

$$W dt = a \tau dt \quad c dt. \quad (1)$$

Предположим теперь, что эл. дв-ль, подвергаясь периодически повторяющейся нагрузке с пер. Γ , достиг наконец установившегося режима работы. Это значит, что поскольку значения потерь в эл. дв-ле и его теплоотдачи периодически повторяются

¹ Об этом см. также разд. IX.

² См. эл-во 1931 г. № 15.

НТБ
ДНУЗТ

через определенный промежуток времени Γ , то в той же последовательности повторяются значения перегревов его обмоток.

Мгновенное значение установившегося перегрева Θ , т. е. перегрева при установившейся работе эл. дв-ля, найдем из ур-ия (1), приняв, что в начале пер. эл. дв-ль имеет установившийся перегрев Θ_0 :

$$\int_0^t W dt - \int_0^t \Theta a dt = c (\Theta - \Theta_0). \quad (35)$$

Второй член левой части этого равенства представляет собой количество теплоты, отданное эл. дв-лем наружу за время от начала рассматриваемого пер. до данного момента t . Как ясно из структуры этого члена, он является ф-ией от двух переменных: теплоотдачи a и мгновенного значения перегрева Θ . Последняя из них претерпевает сравнительно небольшие изменения при установившейся работе, колеблясь ок. своего среднего значения: среднего установившегося перегрева эл. дв-ля Θ_m (фиг. 13). Исходя из этого, мы заменим мгновенное значение перегрева его средней величиной, т. е. примем

$$\int_0^t \Theta a dt = \Theta_m \int_0^t a dt \quad (36)$$

В таком случае из ур-ия (35) получаем след. выражение для величины мгновенного значения установившегося перегрева в момент t от начала пер.:

$$\Theta = \Theta_0 + \frac{1}{c} \int_0^t (W - \Theta_m a) dt. \quad (37)$$

Отметим здесь, что в действительности количество тепловой энергии, отдаваемое эл. дв-лем в единицу времени наружу при пиках темп-ры, выше ее величины, принятой в ф-лах (36) и (37), т. к. в этом случае $\Theta a > \Theta_m a$ в виду того, что $\Theta_m < \Theta$.

Наоборот, при темп-рах ниже средней имеем $\Theta a < \Theta_m a$. Т. о., ф-ла (37), в к-рой под знаком интеграла величина Θ заменена ее средним значением, дает более резкое изменение перегревов, чем это имеет место в действительности, при чем при пиках перегрева результат искажается всегда в сторону преувеличения, т. е. в запас прочности.

Ур-ие (37) позволяет найти перегрев для любого момента t от начала рейса при режиме установившейся сверхтемп-ры $t = \infty$, если известны Θ_m и Θ_0 .

Последние величины находятся очень просто след. обр.:

Нахождение среднего установившегося перегрева Θ_m .

Примем в ур-ии (37) $t = \Gamma$

В таком случае для установившегося режима при $t = \Gamma$ имеем: $\Theta = \Theta_0$, и следовательно:

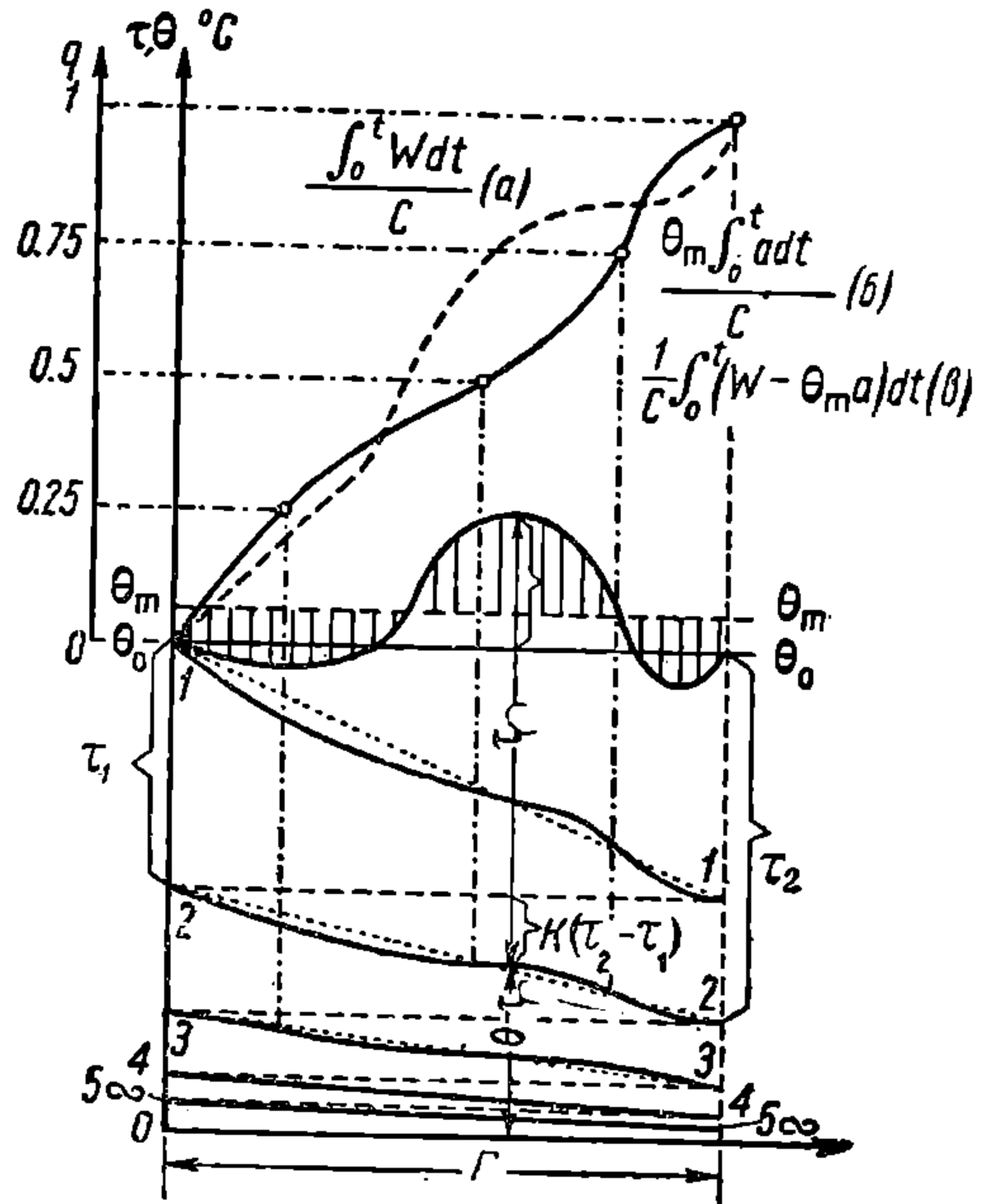
$$\Theta_m = \frac{\int_0^\Gamma W dt}{\int_0^\Gamma a dt}. \quad (38)$$

Т. о., установившийся перегрев равен численно отношению интеграла нагревающих потерь к интегралу уд. теплоотдачи, взятый по времени за продолжительность 1 ц.

4. ЧИСЛЕННЫЙ ПРИМЕР

Режим работы мотора определяется след. условиями:

- 1) Число перегонов, входящих в 1 рейс 10
- 2) Длина среднего перегона 2,5 км



Фиг. 13

НТБ
ДНУЗТ

- 3) Время пробега среднего перегона 2,98 мин.
 4) Промежуточная стоянка 0,5 мин.
 5) Добавочная стоянка в конце рейса 10 мин.
 6) Кривые движения на среднем перегоне согласно фиг. 3.

Табл. 7. Электрические характерные данные мотора

Напряжение V	Сила тока A	Скорость поезда км/ч	Нагревающие потери W	Наибольший перегрев °C	Режим работы
750	160	55,5	6800	85	Длительн.
375	140	28,0	4500	85	
375	230	22,4	9500	85	Часовой

Зависимость: $a = \varphi(v)$, т. е. уд. теплоотдачи от скорости, получим из данных приведенной выше табл., воспользовавшись ф-лой (14):

а) при $v = 55,5$ км/ч

$$a = \frac{6800}{85} = 80 \text{ W/1}^\circ;$$

б) при $v = 28,0$ км/ч

$$a = \frac{4500}{85} = 53 \text{ W/1}^\circ$$

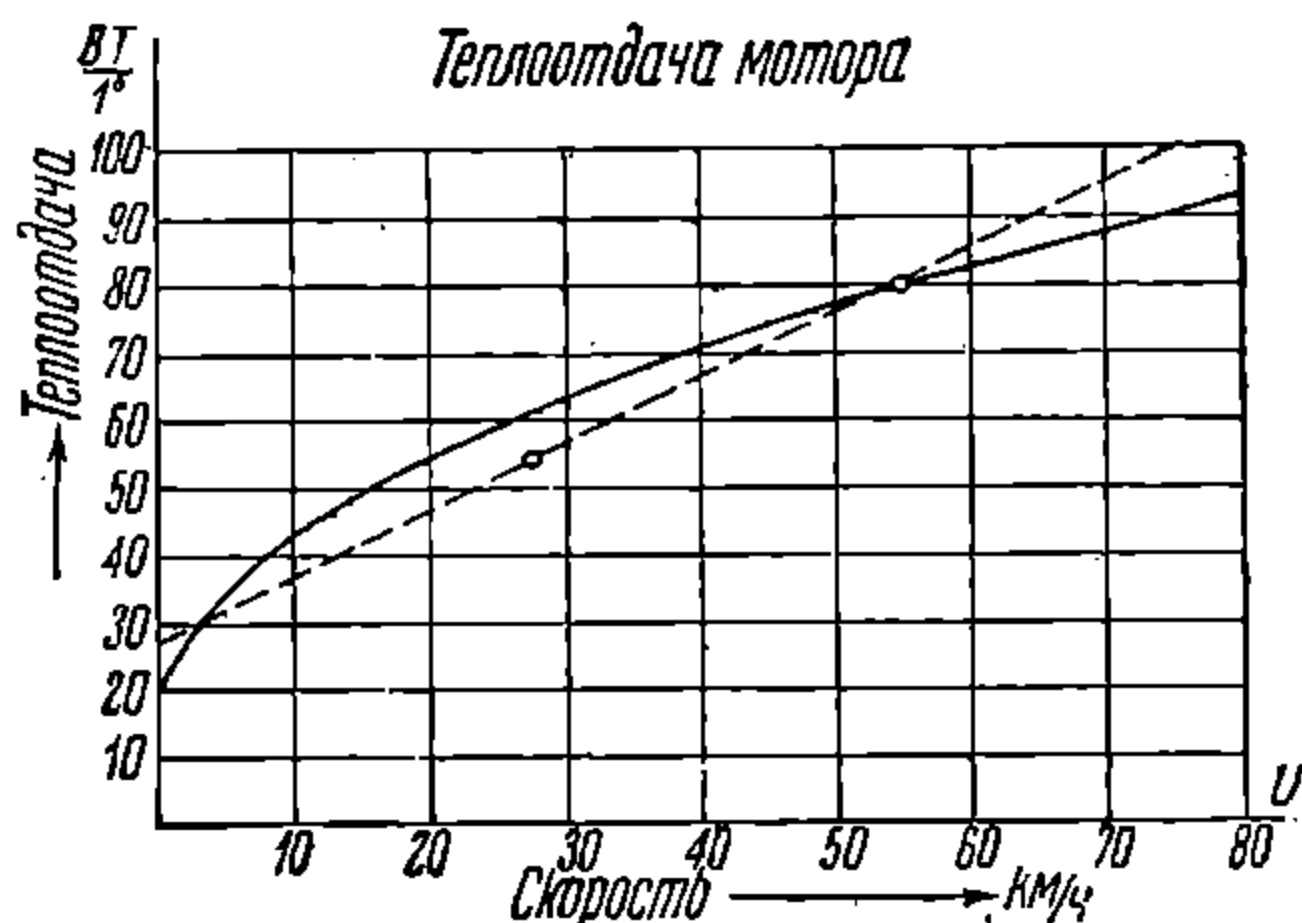
Нанеся эти точки и соединив их прямой, получим (фиг. 14) приближенную зависимость $a = \varphi(v)$, изображенную пунктирной линией. На этой же фиг. изображена сплошной линией более точная зависимость $a = \varphi(v)$, построенная на основании испытательных данных над подобными машинами. При расчете мы будем пользоваться этой последней кривой.

Нагревающие потери принимаем, согласно кривым фиг. 15.

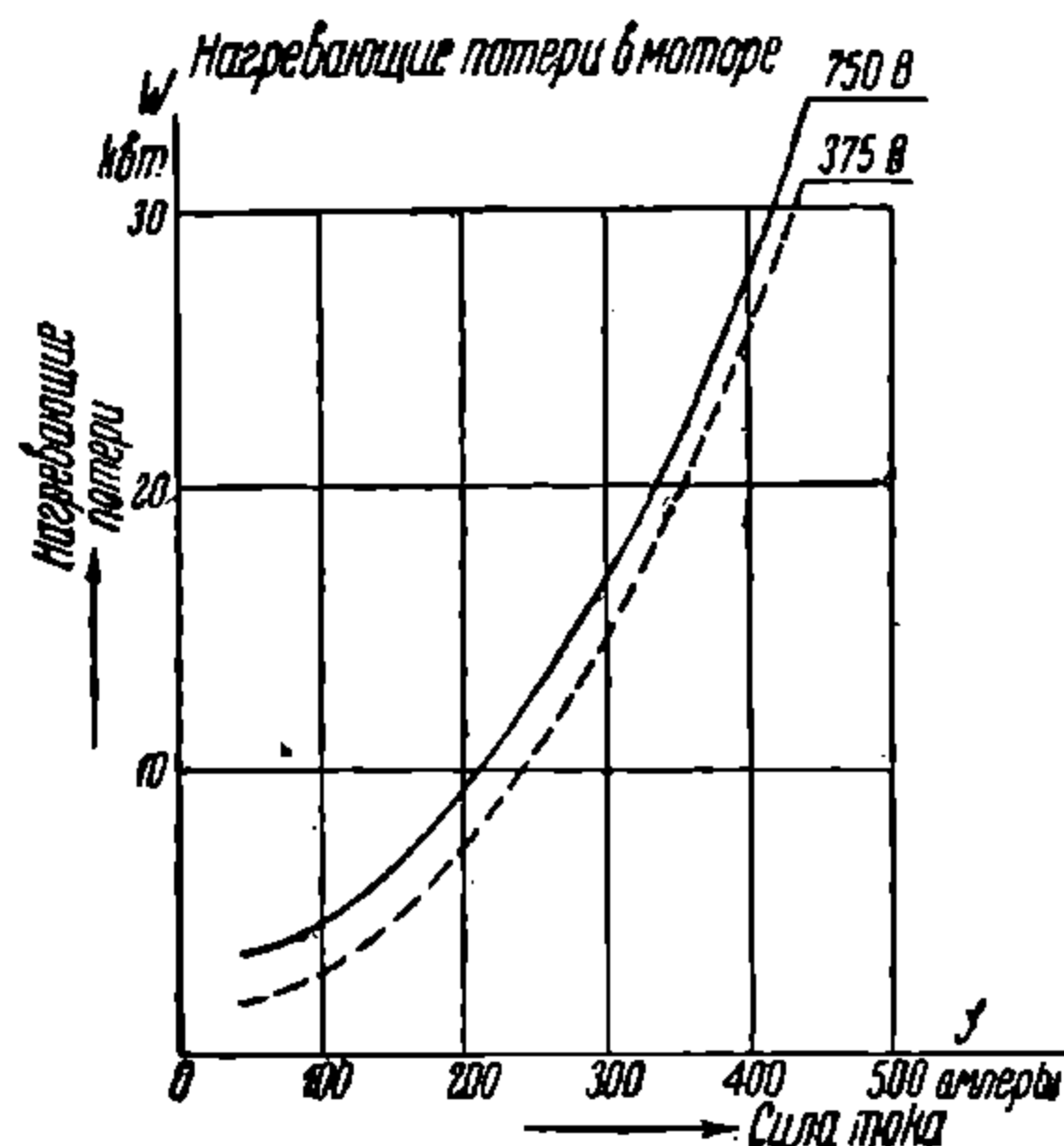
Эквивалентное напряжение по нагревающим потерям за пусковой пер. согласно разд. IV примем равным ср.-квадратичному за пер. пуска.

Полагаем, что пуск производится при постоянном ускорении.

При этом условии



Фиг. 14



Фиг. 15

в течение пуска напряжение на клеммах дв-ля возрастает пропорционально времени:

$$U = \frac{U}{t_0} t,$$

где: U — нормальное напряжение, t_0 — продолжительность пуска.

В таком случае

$$(U_{\text{э}})_{\text{пуск}} = U \sqrt{\frac{\int_0^t t^2 dt}{t_0^2}} = U \sqrt{\frac{1}{3}} = 0,58 U,$$

что дает

$$(U_{\text{э}})_{\text{пуск}} = 0,58 \cdot 750 = 435 \text{ V.}$$

Теперь, пользуясь кривыми движения, подсчитаем след. величины за время пребывания поезда на среднем перегоне:

$$\int_0^{\Gamma} W dt \approx \sum_{i=1}^n W \Delta t$$

и

$$\int_0^{\Gamma} a dt \approx \sum_{i=1}^n \Theta \Delta t,$$

где Δt — элемент времени, за к-рый W и a можно принять постоянными, равными их среднему значению.

Табл. 8

Δt мин.	v_{cp} км/ч	I_{cp} А	a W/1°	$a \cdot t$ W-мин. 1°Ц	W W	$W \Delta t$ W-мин.	Примечание
0,19	10,2	385	42	8,0	23500	4460	Пуск
0,19	30,5	385	63	12,0	23500	4460	
0,12	45,5	278	75	9,0	14800	1780	
0,20	53	182	78	15,6	7600	1520	Движение по характеристике
0,20	58	142	82	16,4	5800	1160	
0,39	63	120	85	33,2	5000	1950	
1,41	57,5	0	81	114,0	—	—	Выбег
0,10	40	0	70	7,0	—	—	Торможение
0,10	23	0	57	5,7	—	—	
0,08	7	0	37	3,0	—	—	
0,50	0	0	20	10	—	—	Стоянка промежуточная
3,48	$\sum_{i=1}^n a \Delta t = 233,9$			$\sum_{i=1}^n W \Delta t = 15330$			

Табл. 8 м. б. заменена построением диаграмм $a = \varphi(t)$ и $W = \varphi(t)$, по данным из кривых движения и зависимостей: $a = \varphi(v)$ и $W = \varphi(I)$ и нахождением площадей этих диаграмм.

В случае стоянки в конце рейса в 10 мин. и наличия в 1 рейсе 10 перегонов, совершенно идентичных с рассмотренным, средний установившийся перегрев равен:

$$\Theta_m = \frac{10 \cdot 15330}{10 \cdot 233,9 + 20 \cdot 10} \approx 60,4 \text{ } ^\circ\text{Ц.}$$

В случае отсутствия стоянок в конце рейса средний установившийся перегрев составит:

$$\Theta_m = \frac{15330}{233,9} = 65,5 \text{ } ^\circ\text{Ц.}$$

5. НАХОЖДЕНИЕ ПЕРЕГРЕВА В НАЧАЛЕ И В КОНЦЕ РЕЙСА ПРИ УСТАНОВИВШЕЙСЯ РАБОТЕ

Умножим обе части ур-ия (37) на dt , проинтегрируем его от $t = 0$ до $t = \Gamma$ и разделим результат на Γ , т. е. на продолжительность пер. При этом мы получим, очевидно, среднюю установившуюся сверхтемп-ру Θ_m .

$$\frac{\int_0^{\Gamma} \Theta dt}{\Gamma} = \Theta_m = \Theta_0 + \frac{\int_0^{\Gamma} dt \int_0^t (W - \Theta_m a) dt}{c\Gamma} \tag{39}$$

Отсюда получим величину перегрева в начале и в конце рейса при установившемся тепловом режиме:

$$\Theta_0 = \Theta_m - \frac{\int_0^{\Gamma} D dt}{c\Gamma} \tag{40}$$

где

$$D = \int_0^t (W - \Theta_m a) dt, \tag{41}$$

НТБ
ДНУЗТ

это — нек-рая известная нам ϕ -ия от времени, представляющая собой разность между энергией, выделенной в опасной по нагреву обмотке с начала рассматриваемого рейса и энергией, отведенной от нее за тот же промежуток времени.

Т. о. для нахождения перегрева в начале рейса нужно иметь интегральную кривую нарастания потерь и уд. теплоотдачи за ц.

Графический способ нахождения Θ_0 будет нами рассмотрен ниже.

Вышеприведенную ϕ -лу (41) можно упростить, если принять прямолинейный закон изменения теплоотдачи в зависимости от скорости движения поезда.

В этом случае имеем:

$$a = a_0 + \beta v, \quad (42)$$

где v — скорость движения поезда.

Следовательно:

$$\int_0^{\Gamma} a dt = a_3 \Gamma,$$

где a_3 — теплоотдача эл. дв-ля, соответствующая его эксплуатационной скорости. Отсюда:

$$\Theta_m = \frac{\int_0^{\Gamma} W dt}{a_3 \Gamma} \quad (38-a)$$

Наконец, если принять нагревающие потери эл. дв-ля пропорциональными джоулевым потерям при $R = I \Omega$, то

$$\int_0^{\Gamma} W dt \equiv \int_0^{\Gamma} I^2 dt = I^2 k \Gamma.$$

При этом согласно ϕ -ле (38-a) имеем:

$$\Theta_m = \Theta_{\infty} \left(\frac{I k}{I_{\infty}} \right)^2 \frac{a_{\infty}}{a_3} \quad (38-b)$$

где $I k$ — ср.-квадратичный ток эл. дв-ля, I_{∞} — ток продолжительной мощности эл. дв-ля, a_{∞} — коэф-т уд. теплоотдачи эл. дв-ля при режиме продолжительной мощности, Θ_{∞} — перегрев, гарантированный для эл. дв-ля при токе продолжительной мощности. Наконец, приняв: $a_3 = a_{\alpha}$, получаем след. приближенную зависимость:

$$\Theta_m = \Theta_{\infty} \left(\frac{I k}{I_{\infty}} \right)^2 \quad (38 bis)$$

В случае принятия прямолинейной зависимости теплоотдачи от скорости облегчается также построение зависимости:

$$\frac{1}{c} \int_0^t a dt = \frac{a}{c} t + \frac{\beta}{c} l = \phi(t).$$

Это построение при заданном графике движения $l = \phi(t)$ показано на фиг. 16 и не нуждается в дальнейших пояснениях.

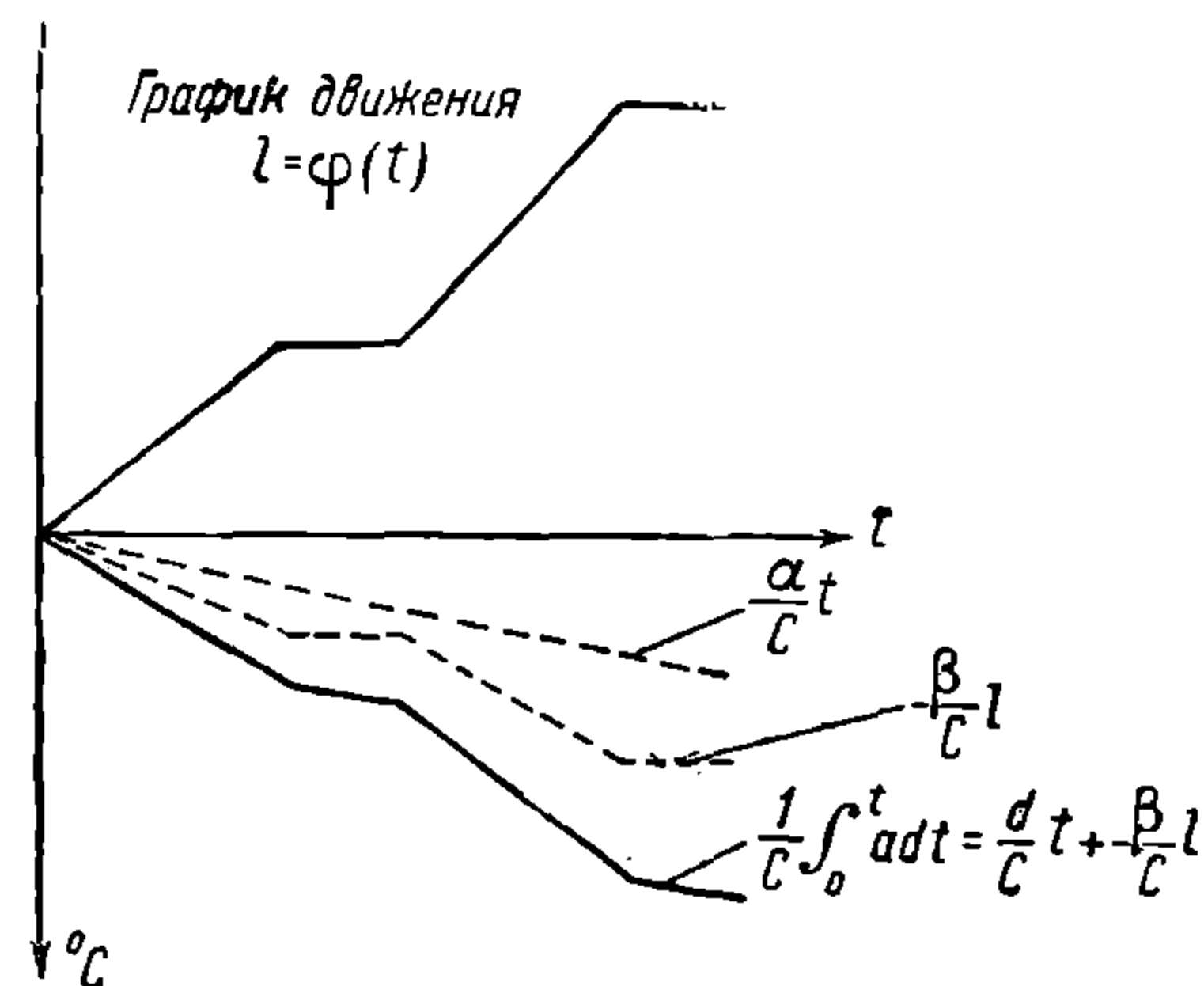
6. ПЕРЕГРЕВ ПРИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЙСАХ¹

Значение закона изменения сверхтемп-ры в ϕ -ии от времени при установившемся режиме позволяет определить сверхтемп-ру для любого момента времени и любого ц. согласно выведенным выше ϕ -лам (31), (32), (33) и (34), идя обратным порядком. Положим сначала, что перегрев в начале 1-го рейса равен 0:

$$\tau_0 = 0.$$

Воспользуемся указанными ур-иями.

¹ Знание перегревов в промежуточные рейсы требуется лишь в исключительных случаях и обычно не определяется.



Фиг. 16

1) Согласно равенству (32) перегрев в конце 1-го рейса τ_1 связан с перегревом в конце рейса при установившейся работе ($t = \infty$) зависимостью:

$$\tau_1 = \Theta_0 (1 - B), \quad (32 \text{ bis})$$

где B определится из ф-лы (30).

2) Перегрев в конце n -го рейса связан с перегревом в конце 1-го рейса равенством (31), которое перепишем еще раз:

$$\tau_n = \tau_1 \frac{1 - B^n}{1 - B}, \quad (31)$$

или, воспользовавшись равенством (32 bis), получаем:

$$\tau_n = \Theta_0 (1 - B^n). \quad (43)$$

3) Наконец, легко связать между собой перегревы дв-ля τ_{q_1} и τ_{qn} , получающиеся в одних и тех же точках (q) профиля соответственно при 1-ом и n -ом рейсах.

В таком случае получается след. зависимость, вытекающая из равенства (33):

$$\tau_{qn} = \tau_{q_1} + \tau_{n-1} B^q, \quad (33-a)$$

При этом показатель степени q равен:

$$q = \frac{\int_0^{t_q} \frac{dt}{T}}{\int_0^{t_q} \frac{dt}{\Gamma}} = \frac{\int_0^{t_q} a dt}{\int_0^{t_q} a dt}, \quad (43-a)$$

где Γ — пер. повторной нагрузки (ц.), T — постоянная времени.

Исключим из выражения (33-a) перегрев τ_{q_1} .

Для этого воспользуемся тем же равенством (33-a) в частном случае при $n = \infty$, когда имеем $\tau_{n-1} = \Theta_0$ и $\tau_{qn} = \Theta_q$.

При этом

$$\tau_{q_1} = \Theta_q - \Theta_0 B^q \quad (33-b)$$

и следовательно равенство (33-a) принимает след. вид:

$$\tau_{qn} = \Theta_q + (\tau_{n-1} - \Theta_0) B^q. \quad (45)$$

Преобразуем последний член выражения (45) т. о.:

а) Из равенства (31) имеем

$$\tau_n - \tau_{n-1} = \tau_1 \frac{B^{n-1} - B^n}{1 - B} = \tau_1 B^{n-1}. \quad (31-a)$$

б) Согласно равенству (32), имеем:

$$\tau_1 = \Theta_0 (1 - B) \text{ и следовательно: } \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{1 - B} = \Theta_0 B^{n-1} \quad (46)$$

в) Наконец, из равенства (43) при порядковом номере ц. ($n - 1$) имеем:

$$\Theta_0 - \tau_{n-1} = \Theta_0 B^{n-1}. \quad (44-a)$$

г) В равенствах (46) и (43-a) правые части тождественны. Следовательно

$$\frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{1 - B} + \tau_{n-1} - \Theta_0 = 0. \quad (47)$$

д) Из равенства (47) имеем:

$$(\tau_{n-1} - \Theta_0) B^q = - \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{1 - B} B^q, \quad (48)$$

где q определится ф-лой (44).

е) Складываем равенства (47) и (48) почленно. В таком случае:

$$(\tau_{n-1} - \Theta_0) B^q = \tau_{n-1} - \Theta_0 + \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{1 - B} (1 - B^q) \quad (49)$$

НТБ
ДРУЗТ

ж) Обозначим через

$$k_q = \frac{1 - B^q}{1 - B}. \quad (50)$$

При этом ф-ла (45) примет след. удобный для пользования вид:

$$\tau_{qn} = (\Theta_q - \Theta_0) + \tau_{n-1} + (\tau_n - \tau_{n-1}) k, \quad (51)$$

где k_q определится из ф-лы (50).

В этой ф-ле $(\Theta_q - \Theta_0)$ — превышение сверхтемпы в точке q над сверхтемпом в начале рейса при установившейся работе; τ_{n-1} — перегрев в конце $(n-1)$ -го рейса, т. е. в начале n -го; $\tau_n - \tau_{n-1}$ — увеличение перегрева в течение полного n -го рейса

$$k_q = \frac{1 - B^q}{1 - B} = \frac{1 - e^{-\frac{q}{c} \int_0^{\Gamma} a dt}}{1 - e^{-\frac{1}{c} \int_0^{\Gamma} a dt}} \quad (50-a)$$

это — показательная ф-ия, зависящая от положения поезда на перегоне, но не зависящая от номера рейса.

Т. о., перегрев в любой точке n -го рейса равен перегреву в начале этого рейса плюс повышение перегрева для этой точки над перегревом в начале рейса при установившейся работе плюс повышение перегрева в течение n -го рейса, умноженное на коэф-т $0 < k < 1$, зависящий лишь от положения поезда на перегоне.

Все выводы сделаны в предположении, что в начале первого пер. перегрев дв-ля $\tau_0 = 0$.

Если этот перегрев равен нек-рой величине $\tau_0 \neq 0$, то мы можем условно считать первый пер. за нек-рый m -ый пер., при чем величина m определится из ф-лы (43), принимая $n = m$ и $\tau_n = \tau_0$. Это дает выражение:

$$m = \frac{\lg \frac{\Theta_0 - \tau_0}{\Theta_0}}{\lg B} \quad (52)$$

Воспользовавшись ф-лами (30) и (29), представим выражение (52) в след. виде:

$$m = c \frac{\lg \Theta_0 - \lg (\Theta_0 - \tau_0)}{2,3 \int_0^{\Gamma} a dt}, \quad (52')$$

где c — приведенная теплоемкость дв-ля.

В таком случае n -ый пер. при начальном перегреве дв-ля τ_0 эквивалентен $(n + m)$ -му пер. при отсутствии начального перегрева.

Следует отметить, что в этом случае номера пер. могут оказаться дробными числами.

7. ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕГРЕВОВ

Выведенные ф-лы позволяют применить весьма простой и наглядный способ исследования нагревания эл. дв-ля. Это исследование надо вести в след. последовательности.

1. Весь пер. (напр. рейс) разделяется на γ элементов. Для каждого из этих элементов определяем для опасной по нагреву обмотки след. величины:

а) величину тепловой энергии нагревающих потерь опасной по нагреву обмотки, выделенных за рассматриваемый элемент времени $\Delta t_\gamma = t_\gamma - t_{\gamma-1}$

$$\int_{t_{\gamma-1}}^{t_\gamma} W dt;$$

б) величину тепловой энергии, отведенной от этой обмотки наружу, при разности темп-р опасной по нагреву обмотки и окружающей среды в 1°Ц

$$\int_{t_{\gamma-1}}^{t_\gamma} a dt.$$

НТБ
ДНУЗТ

Пользуясь этими величинами, можем найти законы нарастания интеграла потерь $\int_0^t W dt$ и интеграла уд. теплоотдачи $\int_0^t a dt$ и т. о., имея значения этих интегралов за весь пер. ц., согласно ф-ле (38) определить средний установившийся перегрев Θ_m (фиг. 13).

2. Пользуясь данными, полученными в п. 1, строим интегральные кривые:

а) потерь $\frac{1}{c} \int_0^t W dt = \varphi(t)$;

б) $\frac{\Theta_m}{c} \int_0^t a dt = \varphi(t)$ полной теплоотдачи, как это показано на фиг. 13.

За ось абсцис принята при этом прямая $\Theta_0 - \Theta_0$.

3. Вычитая из ординат кривой a соответствующие ординаты кривой δ , получим интегральную кривую:

в) $D = \frac{1}{c} \int_0^t (W - \Theta_m a) dt = \varphi(t)$. (53)

Очевидно что, если мы примем прямую $\Theta_0 - \Theta_0$ за линию установившейся темп-ры в начале пер., то согласно ф-ле (37) линия среднего установившегося перегрева $\Theta_m - \Theta_m$ расположится параллельно ей, будучи сдвинута относительно ее на величину средней ординаты интегральной кривой (53)

$$\Theta_m - \Theta_0 = \frac{\int_0^\Gamma D dt}{\Gamma c} \tag{54}$$

Отсюда вытекает простой способ нахождения величины отрезка $(\Theta_m - \Theta_0)$ как средней ординаты разности площадей потерянной и отведенной энергии.

Проведем прямую, параллельную $\Theta_m - \Theta_m$, на расстоянии, равном величине Θ_m , вычисленном в п. 1 и отложенном вниз, и примем ее за ось абсцис. В таком случае согласно ф-ле (37) кривая δ дает нам закон изменения темп-ры при установившейся работе эл. дв-ля. Вычисление по п. 1, 2, 3 удобнее всего производить согласно след. табл. 9.

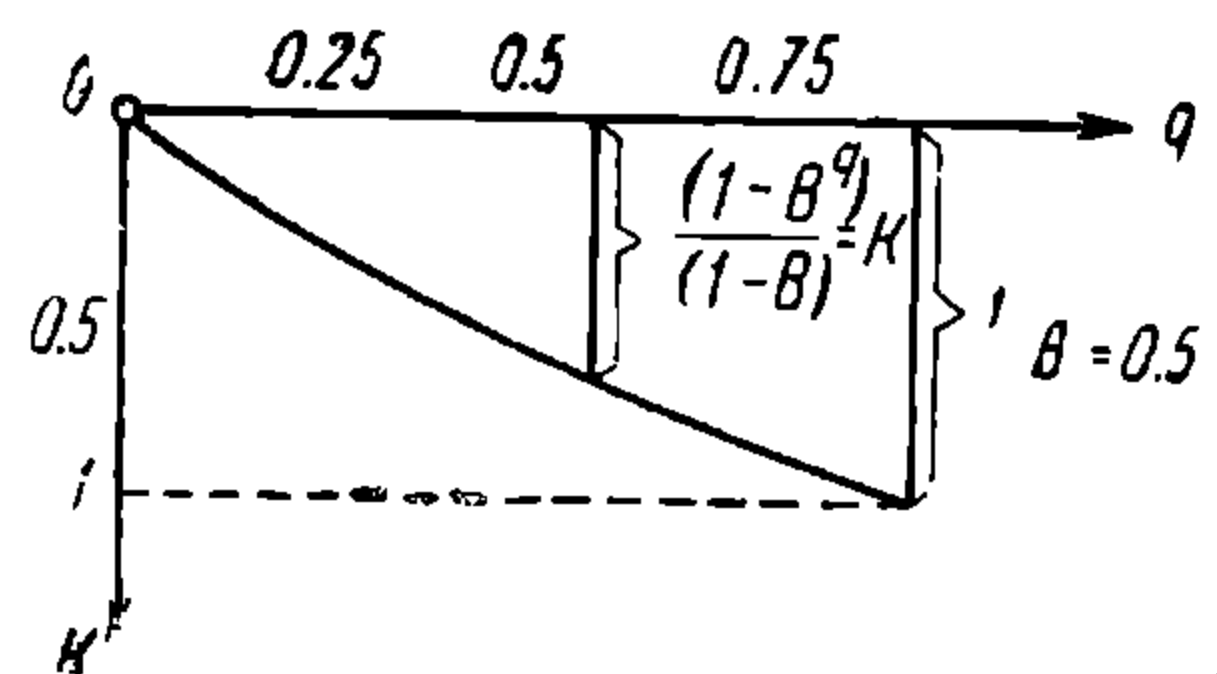
Табл. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№ по порядку	t	Δt	W	a	$W \Delta t$	$a \Delta t$	$S_1 = \sum a \Delta t$	$S_2 = \sum W \Delta t$	$\frac{S_1}{c}$	$\frac{\Theta_m S_1}{c}$	$\frac{D}{c}$ (ф-ла 53)

Как было отмечено выше, при выводе ф-лы (37), получаемая т. о. зависимость $\Theta = \varphi(t)$, изображенная на фиг. 13 в виде кривой δ , дает более резкое изменение темп-ры, чем это имеет место в действительности, при чем при пиках нагрузки получаются преувеличенные значения перегрева.

Полученные зависимости обычно являются вполне достаточными для суждения о пригодности дв-ля. Если требуется знать перегревы в промежуточные рейсы (см. п. 6), то дополнительно получаем след. данные.

4. Согласно ф-ле (30) и табл. 9 находим величину B и строим отдельно кривую $K = \varphi(t)$ согласно ф-ле (50). Кривая эта для случая $B = 0,5$ построена на фиг. 17.



Фиг. 17

По оси ординат (фиг. 13) разобьем шкалу для q , приняв за начало отсчета $q = 0$ при $t = 0$ и $q = 1$ (соответствующей ординате кривой δ фиг. 13) при $t = \Gamma$.

НТБ ДНУЗТ

Пользуясь этой шкалой и кривой фиг. 17, дающей $K = \varphi(t)$, принимаем за начало отсчета ось $\theta_0 - O_0$ и откладываем от нее вниз для каждого периода значения:

$$\tau_n - 1 + (\tau_n - \tau_{n-1}) K = \varphi(t)$$

(кривые 11, 22 на фиг. 13), дающие два последних члена правой части равенства (51).

Для облегчения построений отложим предварительно по оси ординат вниз от точки O_0 заранее вычисленные величины

$$\tau_3 \quad \tau_n.$$

В таком случае согласно ф-ле (51) отрезок ординаты, заключенной между кривой ϵ и соответствующей линией (nn), дает нам перегрев τ_{qn} эл. дв-ля в момент t_q от начала n -го пер. На фиг. 13 показано это построение для 2-го пер., при чем мгновенный перегрев обозначен через τ . Полученные из диаграммы фиг. 13 величины перегрева для различных пер. перестроены на фиг. 18-а в прямоугольной системе координат.

Как ясно из структуры ф-лы (53) и диаграммы фиг. 13, по мере увеличения порядкового номера n пер. величина $\tau_n - \tau_{n-1}$ уменьшается. Это дает возможность при заданной точности результата допускать по мере увеличения n меньшую точность в определении величины K .

В таком случае при достаточно большой величине возможно кривые nn заменить прямыми, соединяющими точки, отложенные вниз от оси $\theta_0 - O_0$ при $T = 0$ на величину τ_{n-1} и при $t = T$ на величину θ .

Полученные перегревы следует корректировать, согласно указаниям разд. IX.

IX. РАСЧЕТНЫЙ ПЕРЕГРЕВ ДВИГАТЕЛЯ

Перегревы, полученные способом, описанным в предыдущих разд., могут в эксплуатации повыситься под влиянием след. обстоятельств.

а) В течение кратковременных пик нагрузки (напр. пуск) будет происходить некоторое запаздывание в отведении от обмоток выделенных в них потерь, что вызовет дополнительное повышение их темп-ры $\Delta\tau_0$.

б) Нагрузки неравномерно распределяются между параллельно работающими дв-лями, вследствие отмеченной в разд. I расхождения их тяговых характеристик.

1. НАХОЖДЕНИЕ ПОПРАВКИ

Нахождение поправки $\Delta\tau$ произведем для метода квадратов тока.

Пусть за пер. пуска мы имеем ср.-квадратичный ток, равный I_n , а за весь ц. работы дв-ля его значение равно I_k .

В таком случае при сопротивлении обмоток, равном 1Ω , за пер. пуска выделится излишек тепловой энергии над средним его значением, равный:

$$D_n = t_n (I_n^2 - I_k^2),$$

где индексы n отмечают принадлежность к пусковому пер.

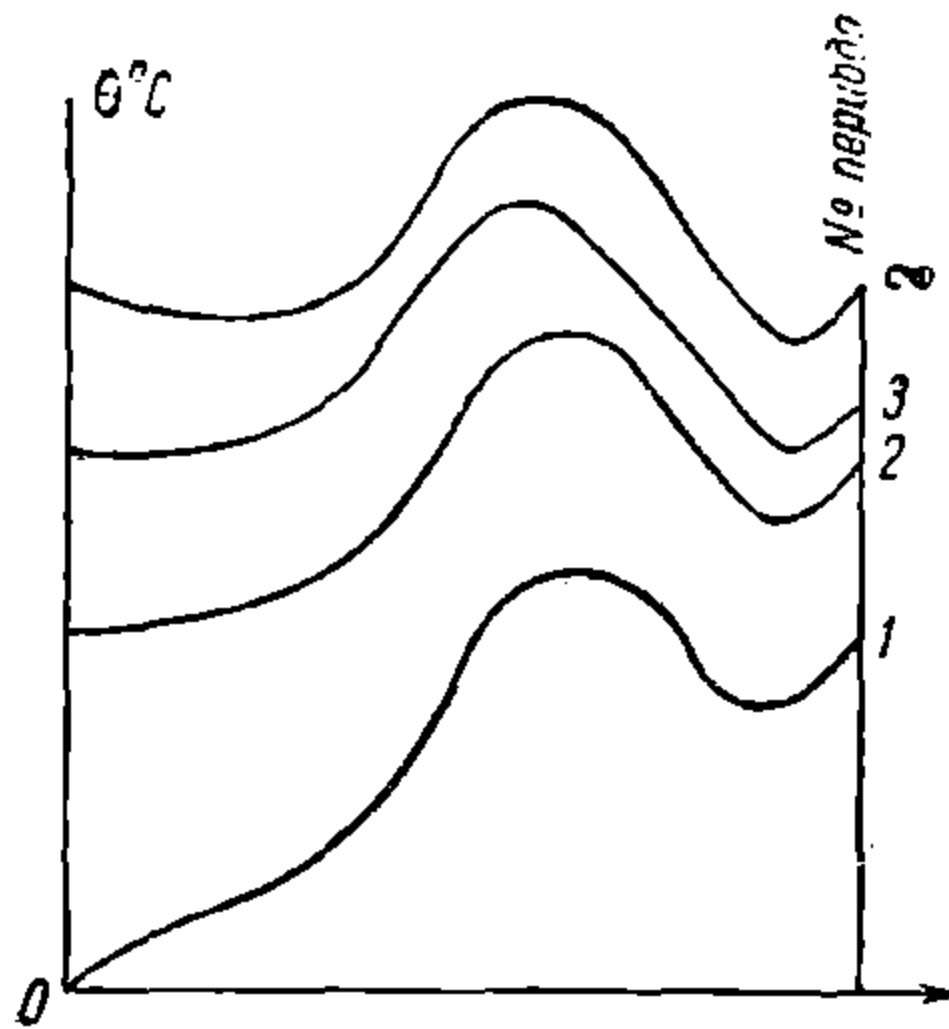
Уд. теплоемкость самих обмоток можно принять равной: $0,11 \text{ W/kg } 1^\circ \text{ Ц}$, что при весе i -той обмотки $g_i \text{ кг}$ дает теплоемкость этой обмотки:

$$(C_0)_i = 6,6 g_i \text{ W-мин. / } 1^\circ \text{ Ц.}$$

В таком случае, если предположить, что в течение пика нагрузки весь указанный излишек тепловой энергии D_n остался не отведенным от обмоток, то для каждой i -той обмотки, имеющей сопротивление R_i , дополнительное повышение темп-ры равно:

$$\tau = \frac{D_n R_i}{(C_0)_i} = \frac{t_n (I_n^2 - I_k^2)}{6,6 \left(\frac{g}{R}\right)_i}$$

НТБ
ДНУЗТ



Фиг. 18-а

Очевидно, что максимум значения τ соответствует минимуму отношения $\left(\frac{g}{R}\right)t$.

Вводя в расчеты приведенную теплоемкость дв-ля $C > C_0$, мы оцениваем величину τ равной

$$= \frac{t_n (I_n^2 - I_k^2)}{C}$$

Т. о., поправка на дополнительное повышение темп-ры при пуске равна:

$$\Delta\tau = \tau_{max} - \tau' = \frac{t_n (I_n^2 - I_k^2)}{6,6 C \left(\frac{g}{R}\right)_{min}} \left[C - 6,6 \left(\frac{g}{R}\right)_{min} \right] \quad (55)$$

Пример:

$$I_k = 150 \text{ А}$$

$$I_n = 300 \text{ А}$$

$$t_n = 0,3 \text{ мин.}$$

$$C = 16.000 \text{ А}^2\text{мин } 1^\circ \text{ Ц.}$$

Обмотка	R	g(кг)	$\frac{g}{R}$
Якоря	0,065	100	1540
Главных полюсов	0,0294	167	5700
Дополнительных полюсов	0,0474	96	2040

Минимум отношения $\left(\frac{g}{R}\right)_{min} = 1540 \text{ кг}/\Omega$ (якорь).

В таком случае:

$$\Delta\tau = \frac{0,3 (300^2 - 150^2)}{6,6 \cdot 16\,000 \cdot 1540} (16\,000 - 6,6 \cdot 1540) = 7^\circ \text{ Ц.}$$

В среднем можно принять $\Delta\tau_0 = 5-10^\circ$

Подсчет был произведен применительно к дв-лю «ДПИ-150». Сопротивление обмоток R взято для их нагретого состояния.

2. ПОПРАВКА НА РАЗНОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК

Сущность вопроса была освещена выше в разд. I. Для того чтобы получить перегрев дв-ля, работающего в наиболее неблагоприятных условиях, проще всего поступить след. обр.

а) Построить диаграмму скорость — время $v = \varphi(t)$ для средней характеристики дв-лей поезда, отнесенной к среднему диам. бандажа.

б) Пользуясь полученной диаграммой $v = \varphi(t)$ и характеристикой наиболее быстроходного дв-ля при наибольшем (нормальном) диам. бандажа, построить для него диаграмму $I = \varphi(t)$. Определенный согласно этой диаграмме перегрев относится, очевидно, к наиболее загруженному дв-лю поезда.

В том случае, если при определении перегревов мы целиком пользовались средней характеристикой дв-ля, необходимо в полученный результат внести поправку. Найдем выражение для этой поправки.

Пусть согласно фиг. 2 дв-ли, работающие при параллельном включении, имеют по своим тяговым характеристикам при силе тока I отклонение в скоростных характеристиках $\Delta v = v_2 - v_1$. Создавая в действительности одинаковую скорость на обode колес, дв-ли будут потреблять различные токи, при чем в пределах небольшого расхождения характеристик имеем (фиг. 3), что отклонение токов пропорционально отклонению скоростных характеристик, т. е.

$$\frac{v_2 - v_1}{v'_2 - v'_1} = \frac{I_2 - I_1}{I'_2 - I'_1}$$

Обозначим:

$$v_2 - v_1 = \Delta v = p v, \quad I_2 - I_1 = \Delta I,$$

при чем p — относительное отклонение скоростных тяговых характеристик дв-лей.

Без большой погрешности можно принять, что скоростная характеристика быстроходного двигателя параллельна нормальной характеристике.

КАТЕ
ДНУЗТ

В таком случае относительное отклонение токов тихоходного и быстроходного дв-лей равно:

$$\frac{\Delta I}{I} = p \frac{I'_2 - I'_1}{v'_1 - v'_2}$$

где I — среднее значение токов тихоходного и быстроходного дв-лей при скорости

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2};$$

v'_1, v'_2 и I'_1, I'_2 — значения тока и скорости для двух точек нормальной характеристики. В таком случае для тока, потребляемого быстроходным дв-лем, получаем след. выражение:

$$I_{\text{быстр}} = I \left(1 + p \frac{I'_2 - I'_1}{v'_1 - v'_2} \frac{v}{I} \right).$$

Примем выражение в скобках постоянным для всех значений токов и равным:

$$\lambda = 1 + p \frac{I_h - I_\infty}{v_\infty - v_h} \frac{v_h + v_\infty}{I_h + I_\infty}, \quad (56)$$

где индексы h и ∞ указывают на значение силы тона и скорости при часовом и длительном режимах по нормальной характеристике.

В таком случае для получения теплового режима быстроходного дв-ля силу тока по средней характеристике следует увеличить

$$I_{\text{быстр}} = \lambda I. \quad (57)$$

При этом, ориентируясь на метод квадратов тока, имеем, что перегревы, подсчитанные для средних характеристик, увеличатся в λ^2 раз, т. е. станут равными

$$\Theta_{\text{быстр}} = \lambda^2 \Theta. \quad (57a)$$

Эту ф-лу (57) можно считать применимой для всех рассмотренных нами методов учета нагревающих потерь.

Пример:

Дв-ль «ДПЭ-340» имеет след. данные при полном поле:

$$I_\infty = 220 \text{ А}; v_\infty = 32,2 \text{ км/ч. } I_h = 250 \text{ А}; v_h = 31,1 \text{ км/ч.}$$

При этом имеем:

$$\lambda = 1 + p \frac{250 - 220}{32,2 - 31,1} \frac{32,2 + 32,1}{250 + 220} = 1 + 2,5 p.$$

При $p = 0,03$ имеем:

$$\lambda \cong 1,08.$$

Разность скоростных тяговых характеристик, как указывалось выше, складывается из 2 компонентов: разности характеристик самих дв-лей p_x и отклонений, вызываемых неодинаковыми диам. бандажей p_0

$$p = p_x + p_0.$$

Возможная разность скоростных характеристик была оценена выше. Переходим к оценке возможного отклонения в диам. бандажей.

Пусть мы имеем n параллельно включенных дв-лей, имеющих диам. бандажей: $\Phi_1 > \Phi_2 > \Phi_3 > \dots > \Phi_n$.

В таком случае средняя характеристика относится к диам. бандажа.

$$\Phi = \frac{\sum_{i=1}^n \Phi_i}{n}$$

и следовательно дополнительное отклонение скоростных тяговых характеристик для i -го дв-ля от средних характеристик поезда, вызванное отклонением в диам. бандажей, равно:

$$p_{0i} = \frac{n \Phi_i}{\sum \Phi_i} - 1. \quad (59)$$

В том случае, если в каждой цепи включено несколько дв-лей последовательно, под Φ_i следует понимать средний диам. бандажей для i -ой группы.

Наибольшая возможная разность диам. бандажей на магистральных ж.д. составляет: $2 \cdot 35 = 70$ мм (допускаемый износ бандажа 35 мм).

При 2 параллельных цепях и 2 вед. осях при этом имеем:

$$(p_0)_{max} = \pm \frac{2 \Phi}{2 \Phi - 0,07} - 1 \approx \pm \frac{0,035}{\Phi}.$$

При $\Phi = 1,05 \div 1,2$ м соответственно имеем:

$$(p_0)_{max} \approx \pm 0,033 \div \pm 0,03.$$

Составляющая p_0 естественно имеет место лишь в том случае, если колеса, приводимые параллельно включенными дв-лями, не имеют спарников. В последнем случае $p_0 = 0$.

Отклонения тяговых скоростных характеристик дв-лей поезда можно уменьшить след. мерами.

1) При включении дв-лей последовательно в группы можно подобрать дв-ли с взаимно противоположными отклонениями характеристик. В таком случае за счет перераспределения напряжения между ними дв-ли в каждой цепи будут работать по нек-рым средним характеристикам, приближающимся к нормальной и следовательно имеющим между собой небольшие отклонения. 2) Следить за тем, чтобы диам. бандажей колес одного локомотива имели приблизительно одинаковую степень износа. 3) Сцеплять между собой для работы по системе многих единиц лишь локомотивы с одинаковыми износами бандажей.

При этих условиях можно добиться, что результирующее отклонение характеристик не превысит $p_{max} = 3-4\%$, что дает $\lambda \approx 1,1 \div 1,15$.

3. РАБОТА НА РАЗЛИЧНЫХ СТУПЕНЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Как было выяснено выше, при подсчетах ожидаемого перегрева дв-ля в эксплуатационных условиях нами принимается зависимость коэф-та уд. теплоотдачи от скорости поезда, исходя из данных о длительной мощности при основном режиме регулировки поля (см. табл. 6). При изменении ампер-витков возбуждения (езда с ослабленным или усиленным полем) зависимость $a = \varphi(v)$ может измениться вследствие изменения соотношения между потерями в отдельных частях машины (якоре и дополнительных главных полюсах). Для того чтобы учесть это обстоятельство, можно воспользоваться след. способом автора¹.

Сущность этого способа заключается в след.

1. Коэф-т уд. теплоотдачи в ф-ии от скорости принимается тождественным для всех режимов регулировки скорости, а также нахождения без тока (выбег и стоянка). При этом принимается зависимость: $a = \varphi(v)$, полученная из данных основного режима.

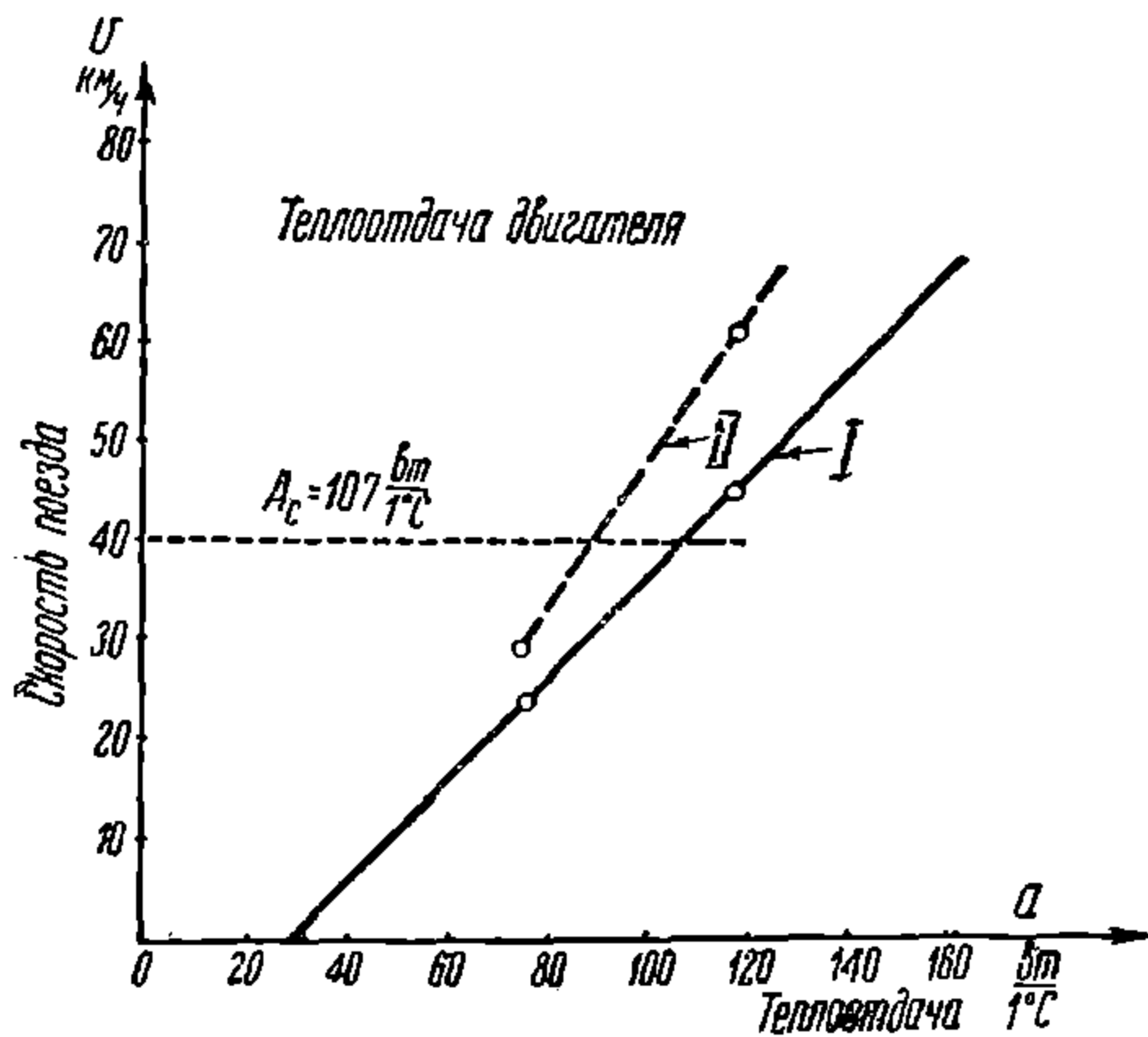
За основной режим принимается режим регулировки поля, в течение к-рого выделяется большая часть энергии нагревающих потерь. За такой режим при пригородном движении рекомендуется принимать режим с ослабленным полем, если при этом опасной по нагреву обмоткой является якорная.

2) Потери, нагревающие спасную по нагреву обмотку, при неосновных режимах умножаются на коэф-т

$$\xi = \left(\frac{a_{осн}}{a_i} \right),$$

¹ «Электрификация жел.-дор. транспорта», 1932 г. № 5/6.

т. е. на отношение коэф-та уд. теплоотдачи основного режима к его значению при той же скорости для неосновного режима регулировки поля.



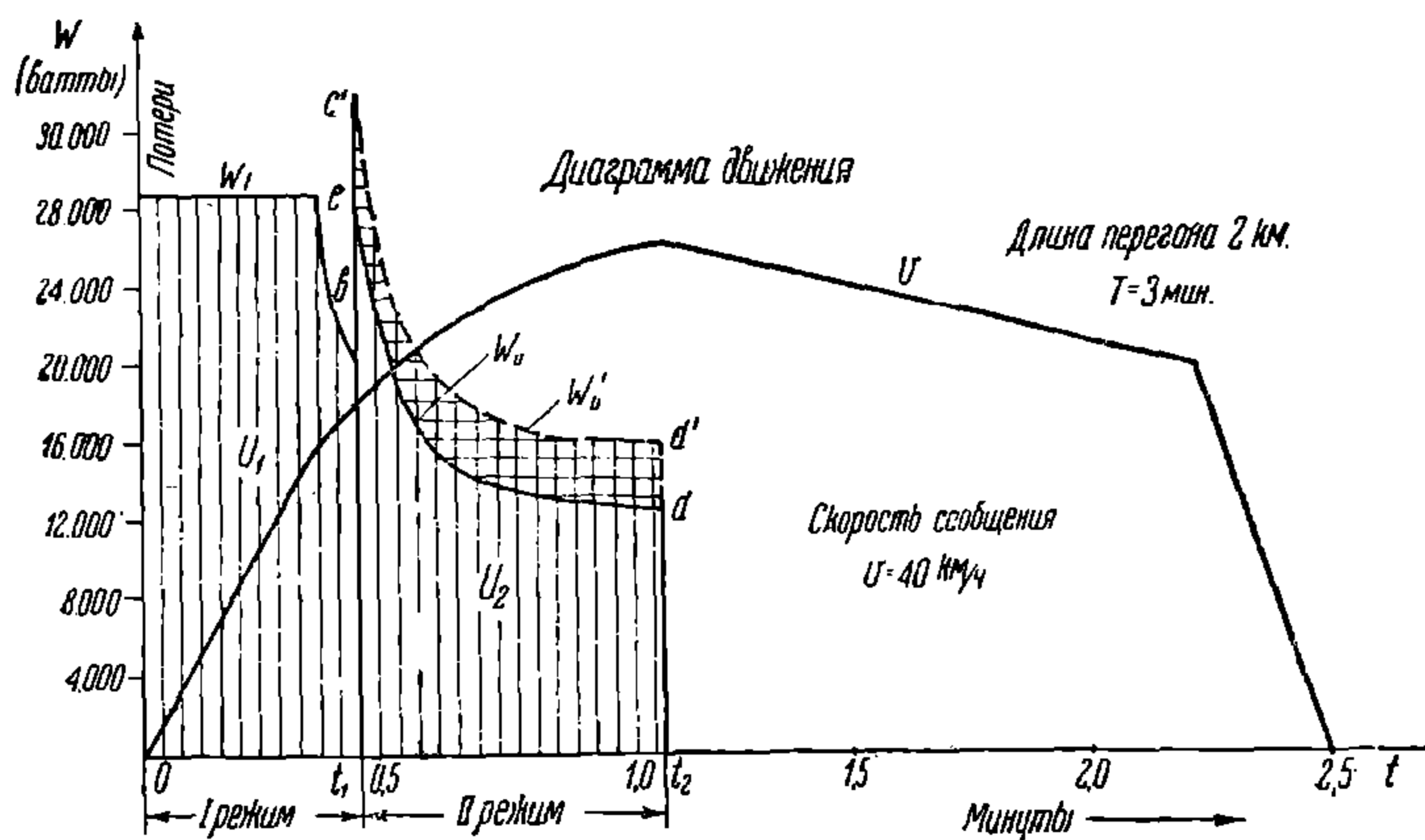
Фиг. 18-б

Построение для подобного случая произведено на фиг. 18-б, при чем в данном случае за основной режим принят режим при полном поле. Пуск дв-ля происходит при полном поле. При этом энергия нагревающих потерь равна U_1 и выражается на диаграмме (фиг. 18-в) площадью, ограниченной кривой потерь в пределах времени от 0 до t_1 .

После выхода на характеристику происходит ослабление поля. За время работы с ослабленным полем количество выделенных потерь равно U_2 . Как видно из диаграммы $a = \varphi(v)$ (фиг. 18-б), коэф-т уд. теплоотдачи при полном поле (I) выше, чем при ослабленном (II) ($a_I > a_{II}$ при одинаковых v). Умножая ординаты потерь при ослабленном поле на коэф-т $\xi = \frac{a_I}{a_{II}}$, по-

лучим, вместо кривой потерь cd кривую $c'd'$

Расчетное количество тепловой энергии, выделенное на рассматриваемом этапе движения в опасной по нагреву обмотке, измеряется при этом площадью $t_1c'd't_2$.



Фиг. 18-в

4. НОРМАЛЬНЫЙ ЦИКЛ ПРИ МОТОРЗАГОННОЙ ТЯГЕ

Рассматривая случай моторвагонной тяги, мы имеем обычно периодическое повторение одного и того же режима нагрузки. Этот ц. может заключаться в повторении одного и того же рейса (напр. между ст. А и Б тихоходом, т. е. с частыми остановками) или же в совершении комбинированных рейсов, напр.:

- ст. А — ст. Б — тихоходом,
- ст. Б — ст. В — скороходом, т. е. с редкими остановками,
- ст. В — ст. Б — скороходом,
- ст. Б — ст. А — тихоходом,
- ст. А — ст. Г и обра — тихоходом и т. д.

Такой ц., если дв-ль совершает его в течение времени, за к-рое он может принять установившийся тепловой режим, будем называть нормальным ц. работы дв-ля.

Среди рейсов, входящих в состав нормального ц., всегда можно выделить режим максимальной нагрузки, под к-рым следует понимать рейс или несколько рейсов с наибольшей нагрузкой дв-лей, что соответствует максимальному наполнению поезда пассажирами при коротких перегонах и тяжелом профиле пути.

Нормальный ц. определяет ср.-квадратичный ток I_k и следовательно средний установившийся перегрев Θ_m . Режим максимальной нагрузки определит при этом максимальный перегрев дв-лей.

Помимо нормального ц. работы дв-ль может подвергнуться в эксплуатации аварийному режиму в случае выхода из строя одной из групп дв-лей. Поездная секция при этом должна выводиться из эксплуатации на ближайшей зонной станции. В случае соблюдения этого условия дополнительное превышение темп-ры при аварийном режиме будет не более 20—25°. Поэтому, если при нормальном ц. работы эл. дв-ля максимальная темп-ра его опасной обмотки по нагреву не превышает темп-ры, указанной в нормах для испытания на длительную мощность, то при аварийном режиме их темп-ра не превысит предусмотренной для часового режима, вполне допустимой вследствие своей непродолжительности и редкой повторяемости.

В случае больших расстояний между зонными ст. и тяжелого профиля пути (напр. на горных ж. д.) необходимо сделать проверку на аварийный режим и убедиться, что темп-ра обмоток дв-лей не превысит допускаемой для часового режима. В противном случае следует принять меры, исключаяющие получение опасных темп-р повышением уд. мощности дв-лей в поезде или др. какими-либо способами.

Приведенные рассуждения справедливы также для дв-лей магистральных ж. д., где под нормальным ц. следует понимать прохождение в обе стороны наиболее трудного тягового уч-ка, а под максимальным режимом — прохождение наиболее трудного перегона (или нескольких перегонов) на этом уч-ке.

5. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАЗДЕЛУ

Руководствуясь указаниями настоящего разд., свяжем расчетный перегрев дв-ля при наиболее неблагоприятных условиях с теоретическим его значением, полученным из данных тягового расчета, след. ф-лой:

$$\Theta_{расч} = \lambda^2 \Theta_{max} + \Delta\tau_0, \quad (60)$$

где λ и $\Delta\tau_0$ определяются ф-лами (54) и (55).

При этом обычно получаем:

$$\Theta_{расч} = 1,25 \div 1,2 \Theta_{max}. \quad (60')$$

Для установления пригодности дв-ля необходимо соблюдение след. условий:

а) при нормальном ц.:

$$\Theta'_{расч} \leq \Theta_{\infty} - (\vartheta_0 - 25^\circ);$$

б) при окружающей температуре в исключительно жаркие дни года, а также при аварийном режиме:

$$\Theta''_{расч} \leq \Theta_h - (\vartheta_0 - 25^\circ); \quad (61)$$

где ϑ_0 — окружающая темп-ра (нормально $\vartheta_0 = 25^\circ$).

Предусматривать совпадение аварийного режима с исключительно жаркими днями не следует.

Х. МЕТОД ПРОВЕРКИ НАГРЕВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ МОТОРНОГО ВАГОНА ПО ЭКВИВАЛЕНТНОМУ ТОКУ¹

1. ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ТОК

З-д, изготовляющий эл. дв-ль, гарантирует для него ток длительной мощности, т. е. ток, под нагрузкой к-рого эл. дв-ль может работать (при соответствующем напряжении и окружающей темп-ре) в продолжение любого времени, не получая вредного на-

¹ См. журн. «Электрическая тяга», 1933 г. № 1. Метод пригоден и для электровозной тяги, но дает менее точные результаты (см. разд. X).

НГБ
ДНУЗТ

грева своих обмоток. В действительности ТД работает при переменной нагрузке, к-рая определяется режимом работы эл. дв-ля (среднее эксплуатационное напряжение сети, вес поезда, число эл. дв-лей, средне-техническая скорость, ускорение, длительность стоянок и т. д.). Задача эксплуатирующей дорожную организацию заключается в установлении для выбираемого эл. дв-ля вполне безопасного эксплуатационного режима работы, гарантирующего дв-ль от вредных темп-р. Для этой цели удобно сравнивать с длительным током дв-ля эквивалентный ток, характеризующий рассматриваемый режим, вложив в это уже существующее понятие новое содержание.

Введем определение:

Эквивалентным током эл. дв-ля данного эл/в назовем ток $I_{\text{э}}$, вызывающий при темп-ре окружающего воздуха $\vartheta_0 = 25^\circ \text{Ц}$ и эквивалентном напряжении $U_{\text{э}}$, длительный нагрев его опасной (по нагреву) обмотки, равный максимальной темп-ре этой обмотки в эксплуатационных условиях при действительной окружающей темп-ре. При нескольких дв-лях в эл/в эквивалентный ток определяется для того из них, который имеет наиболее неблагоприятное отклонение от нормальных характеристик в отношении перегрузки его.

Под эквивалентным напряжением мы понимаем, согласно разд. IV, напряжение, соответствующее средней величине железных и дополнительных потерь при заданном ц. работы дв-ля.

Т. о. согласно данной выше формулировке, эквивалентный ток определяется: а) заданным режимом работы; б) данными рассматриваемого эл. дв-ля и в) допустимым отклонением характеристик от расчетных (включая разность диам. бандажей).

В таком случае, если при испытании на длительную мощность для опасной обмотки (по нагреву) предусматривается по нормам темп-ра $\vartheta_{\infty} = \Theta + 25^\circ \text{Ц}$, а в эксплуатационных условиях мы ограничиваем максимальную темп-ру этой обмотки величиной $\vartheta_{\text{дон}} = \Theta + \vartheta_0$, то длительный ток дв-ля д. б. выбран равным

$$I_{\infty} = I_{\text{э}} \sqrt{\frac{\vartheta_{\infty} - 25^\circ}{\vartheta_{\text{дон}} - 25^\circ}} \quad (62)$$

Надежная работа эл. дв-ля будет обеспечена, если $\vartheta_{\text{дон}} = \vartheta_{\infty}$.

Для пик темп-р, редко повторяющихся в течение года, как-то: в исключительно жаркие дни года, а также при аварийном режиме,—возможно принять $\vartheta_{\text{дон}} = \vartheta_{\text{н}}$.

При этих условиях эл. дв-ль при нормальной работе не будет получать опасных перегревов.

Согласно данным норм Американского института инж.-электриков на ТД¹ при работе на линии под ваг. теплоотдача эл. дв-ля повышается вследствие действия потока воздуха на корпус эл. дв-ля. Для дв-ля с вентилятором это повышение бывает от 0 до 10%.

Для заглушенного эл. дв-ля по тем же данным повышение темп-ры составляет всего 75—90% от повышения темп-ры на стенде, что может дать повышение теплоотдачи до 35%. Столь большим увеличением теплоотдачи пренебречь нельзя. Поэтому для заглушенного эл. дв-ля желательно вводить данные продолжительной мощности не стендового испытания, а испытания на линии, при соблюдении заданной скорости сообщения. Эти данные об увеличении теплоотдачи под ваг. качественно подтверждаются наблюдениями над работой эл. дв-лей «ДП-150» на Северной ж. д. при их заглушке зимой.

2. НАГРЕВАЮЩИЕ ПОТЕРИ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Остановимся для учета потерь, нагревающих опасную по нагреву обмотку, на методе квадратичного тока, т. е. будем считать согласно разд. IV нагревающие потери

$$W \equiv I^2. \quad (63)$$

В том случае, если опасной по нагреву обмоткой является обмотка якоря, то для правильного учета влияния железных потерь на нагрев обмотки якоря мы будем считать, что работа дв-ля происходит при эквивалентном напряжении, определяемом согласно указаниям разд. IV, как ср.-квадратичное напряжение за время нахождения дв-ля под током:

¹ См. 5502 Изд. 1922 г.

НТБ
ДНУЗТ

$$U_{\text{э}} = \sqrt{\int_0^{\Gamma} \frac{U^2 dt}{\Gamma}} \quad (64)$$

где: U — нормальное напряжение дв-ля Γ — время нахождения дв-ля под током.

Как указывалось в разд. IV, эквивалентное напряжение следует вводить в рассмотрение для дв-лей, работающих при переменном напряжении. К этому классу дв-лей относятся дв-ли т/в и преобразовательных эл/в, а также дв-ли, работающие с частыми пусками, в частности дв-ли маневровых локомотивов.

Особенно необходимо в этих случаях учитывать эквивалентное напряжение для заглушенных дв-лей, для к-рых нормы ЦЭС предусматривают испытание при пониженном напряжении, а также дв-лей с независимой вентиляцией.

В случае дв-ля с самовентиляцией уменьшение напряжения снижает интенсивность вентиляции и следовательно уд. теплоотдачу дв-ля. Поэтому уменьшение средних железных потерь при работе при пониженном напряжении можно приближенно считать скомпенсированным его уменьшенной при этих условиях уд. теплоотдачей и вследствие этого принимать:

$$U_{\text{э}} = U,$$

где U — нормальное напряжение дв-ля.

3. ТЕПЛОТДАЧА И ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ

При учете условий охлаждения дв-ля м/в при работе на линии будем исходить из след. положений:

1) Дв-ль м/в работает обычно с мало изменяющейся по длине уч-ка коммерческой скоростью.

С др. стороны, как было установлено выше, в разд. V, коэф-т уд. теплоотдачи a дв-ля (т. е. количество теплоты, отводимое от эл- дв-ля на 1°Ц разности темп-р его наиболее нагретой обмотки над окружающей темп-рой) допустимо принять как прямолинейную ф-ию от скорости.

Отсюда ясно, что при условии малоизменяющейся коммерческой скорости среднюю величину уд. теплоотдачи дв-ля для каждого из перегонов можно считать постоянной, соответствующей средней коммерческой скорости¹.

Т. к. в один рейс обычно входит значительное количество перегонов и пребывание на каждом из них непродолжительно², то вполне уместно считать коэф-т уд. теплоотдачи моторвагонного дв-ля как постоянную величину для данного ц. Последнее справедливо при условии отсутствия отстоев на конечных пп.

2) Предыдущее заключение, как отмечено выше, относится к случаю отсутствия отстоев на конечных пп. Влиянием последних на дополнительное охлаждение моторвагонного дв-ля мы считаем целесообразным пренебречь по след. соображениям:

а) при очень напряженном графике движения эти отстои сокращаются до минимума, определяемого необходимыми маневрами;

б) уд. теплоотдача обычного для пригородного движения самовентилирующегося эл. дв-ля в состоянии покоя незначительна;

в) на конечных пп. обычно производятся маневры, вызывающие дополнительный нагрев дв-ля. Неучтенное дополнительное охлаждение эл. дв-ля при кратковременном отстое на конечном п. мы рекомендуем принимать как компенсацию дополнительного нагрева при этих маневрах.

3) Перегрев обмоток дв-ля при установившемся режиме мало меняется, колеблясь ок. среднего своего значения, определяемого средними потерями. Последние при заданном ц. работы эл. дв-ля определяются ср.-квадратичным током $I = I_{\text{э}}$ и эквивалентным напряжением.

4) Полная теплоотдача $A_{\text{э}}$ эл. дв-ля равна коэф-ту его уд. теплоотдачи $a_{\text{э}}$, умноженному на перегрев: $A_{\text{э}} = a_{\text{э}}\theta$.

¹ Точнее — скорости сообщения (расстояние между конечными пунктами, деленное на время хода между этими пунктами с учетом промежуточных стоянок).

² Рассматриваем рейс тихоходного поезда, идущего со всеми остановками, как наиболее тяжелый режим.

НТБ
ДНУЗТ

В таком случае на основании вышеприведенных пп. 1 и 3, согласно к-рым для м/в движение при установившемся режиме работы возможно считать

$$a = a_m = a_э$$

и

$$\Theta \cong \Theta_m,$$

откуда:

$$A_э = a_э \Theta_m = \text{const}, \quad (65)$$

т. е. полная теплоотдача эл. дв-ля, работающего на м/в при установившемся режиме, м. б. принята постоянной. В ф-лах индексом m отмечено среднее значение соответствующих величин. Символы без индексов означают мгновенные значения.

Отметим, что это заключение, выведенное для самовентилирующегося эл. дв-ля, тем более справедливо для дв-ля с независимой вентиляцией, а также и заглушенного.

5) Средняя величина полной теплоотдачи дв-ля $A_э$ определится из условия равенства между энергией, выделяемой в опасной по нагреву обмотке, и отводимой от нее при установившейся работе. В таком случае полная расчетная теплоотдача эл. дв-ля для моторвагонного движения м. б. принята равной:

$$A_э = \frac{I_k^2}{\Theta_m} \quad \Theta_m = I_k^2, \quad (66)$$

где I_k — ср.-квадратичный ток, определяемый ф-лой (13).

Расчетная величина коэф-та уд. теплоотдачи дв-ля определится согласно выведенной выше ф-ле (16):

$$a_m = a_\infty = \frac{I_\infty^2}{\Theta_\infty}.$$

При этом расчетная постоянная времени

$$T = \frac{c}{a}$$

будет сохранять свое значение независимо от изменения скорости и м. б. определена согласно ф-ле (24).

4. ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ТОКА

Как было выяснено выше, при установившейся работе эл. дв-ля перегрев его опасной (по нагреву) обмотки колеблется около среднего своего значения Θ_m . Предположим, что при осуществлении своего нормального ц. дв-ль, работающий по средней характеристике, в момент времени $t = t_1$ достиг перегрева Θ_m и после этого до момента $t = t_2$ продолжает находиться при повышенной нагрузке, т. е. имеем $I_1 > I_k$. Очевидно, что будет наблюдаться дальнейшее повышение его темп-ры. В том случае, если в течение промежутка времени $(t_2 - t_1)$ нагревающие потери постоянны, то повышение темп-ры определится зависимостью, легко получаемой из ф-лы (4):

$$\Delta\Theta_1 = \frac{W_1 - W_m}{a} \left(1 - e^{-\frac{t_2 - t_1}{T}} \right). \quad (67)$$

С др. стороны, в методе квадратов тока имеем:

$$(W_1 - W_m) = I_1^2 - I_k^2. \quad (68)$$

Введя обозначение:

$$D_1 = \int_{t_1}^{t_2} I_1 dt - I_k^2 (t_2 - t_1), \quad (69)$$

НТБ
ДНУЗТ

имеем для случая $I_1 = \text{const}$:

$$\Delta\Theta_1 = \frac{D_1}{a(t_2 - t_1)} \left(1 - e^{-\frac{t_2 - t_1}{T}} \right), \quad (70)$$

В том случае, если после момента t_2 начнется снижение нагрузки, то в момент t_2 мы имеем максимальный перегрев дв-ля, т. е. $\Delta\Theta_1 = \Delta\Theta_{\text{max}}$. Этот перегрев, приведенный к окружающей темп-ре 25° , выразится ф-лой:

$$\Theta_{\text{max}} = \Theta_m + \Delta\Theta_{\text{max}} + \Delta\tau + \Delta\vartheta_0; \quad (71)$$

здесь добавочные слагаемые $\Delta\tau$ и $\Delta\vartheta_0$ учитывают:

1) $\Delta\tau$ — дополнительный перегрев во время пуска, к-рый обусловлен след. обстоятельствами (см. разд. X):

а) рассматривая приведенную теплоемкость машины c , мы учитываем, что выделяемые в виде тепловой энергии джоулевы потери дв-ля вызывают нагрев не только меди, но и железа дв-ля;

б) вследствие плохой теплопроводности изоляции обмоток передача тепла от меди к железу запаздывает;

в) поэтому при кратковременных пиковых нагрузках (напр. пуск), когда в обмотках эл. дв-ля в течение доли мин. выделяется большое количество джоулева тепла, значительная часть этого тепла отводится от обмотки уже после снятия пика, вызывая указанный перегрев.

Величина $\Delta\tau$ определяется ф-лой (53).

2) $\Delta\vartheta_0 = \vartheta_0 - 25^\circ$ — разность между окружающей темп-рой эл. дв-ля в эксплуатационных условиях и окружающей темп-рой, для к-рой гарантирован длительный ток эл. дв-ля (25°Ц).

Обычно: $\vartheta_0 = 25^\circ \text{Ц}$, следовательно $\Delta\vartheta_0 = 0$.

При полном использовании мощности дв-ля, работающего по средней характеристике, имеем:

$$\Theta_{\text{max}} = \Theta_h$$

В таком случае ф-ла (71) переписется в след. виде:

$$Z \Theta_{\text{max}} = \Theta_m + \frac{D_{\text{max}}}{a(t_2 - t_1)} \left(1 - e^{-\frac{t_2 - t_1}{T}} \right), \quad (72)$$

В этой ф-ле коэф-т

$$Z = 1 - \frac{\Delta\tau + (\vartheta_0 - 25)}{\Theta_{\text{max}}} \quad (68')$$

При ограничении максимальной темп-ры в нормальной эксплуатации стендовой темп-рой при испытании на длительную мощность ($\vartheta_{\text{max}} = \vartheta_\infty = \Theta_\infty + 25^\circ$) ф-ла примет вид:

$$Z = 1 - \frac{\Delta\tau + (\vartheta_0 - 25)}{\Theta_\infty - (\vartheta_0 - 25)} \quad (73)$$

Входящие в ф-лу (73) перегревы Θ_{max} и Θ_m соответствуют токам нагрузки: эквивалентному I_3' и ср.-квадратичному I_κ . Индекс ($'$), к-рым отмечено I_3' , показывает, что он относится к дв-лю со средней характеристикой.

В таком случае согласно ф-ле (38) имеем:

$$\Theta_{\text{max}} = \frac{(I_3')^2}{a}$$

$$\Theta_m = \frac{I_\kappa^2}{a}$$

Подставляя полученные значения в ф-лу (72), получаем:

$$Z (I_3')^2 = I_\kappa^2 + \frac{D_{\text{max}}}{t_2 - t_1} \left(1 - e^{-\frac{t_2 - t_1}{T}} \right).$$

Воспользовавшись ф-лой (56), получим для быстроходного дв-ля:

$$I_3 = \lambda I_3'$$

НТБ
ДНУЗТ

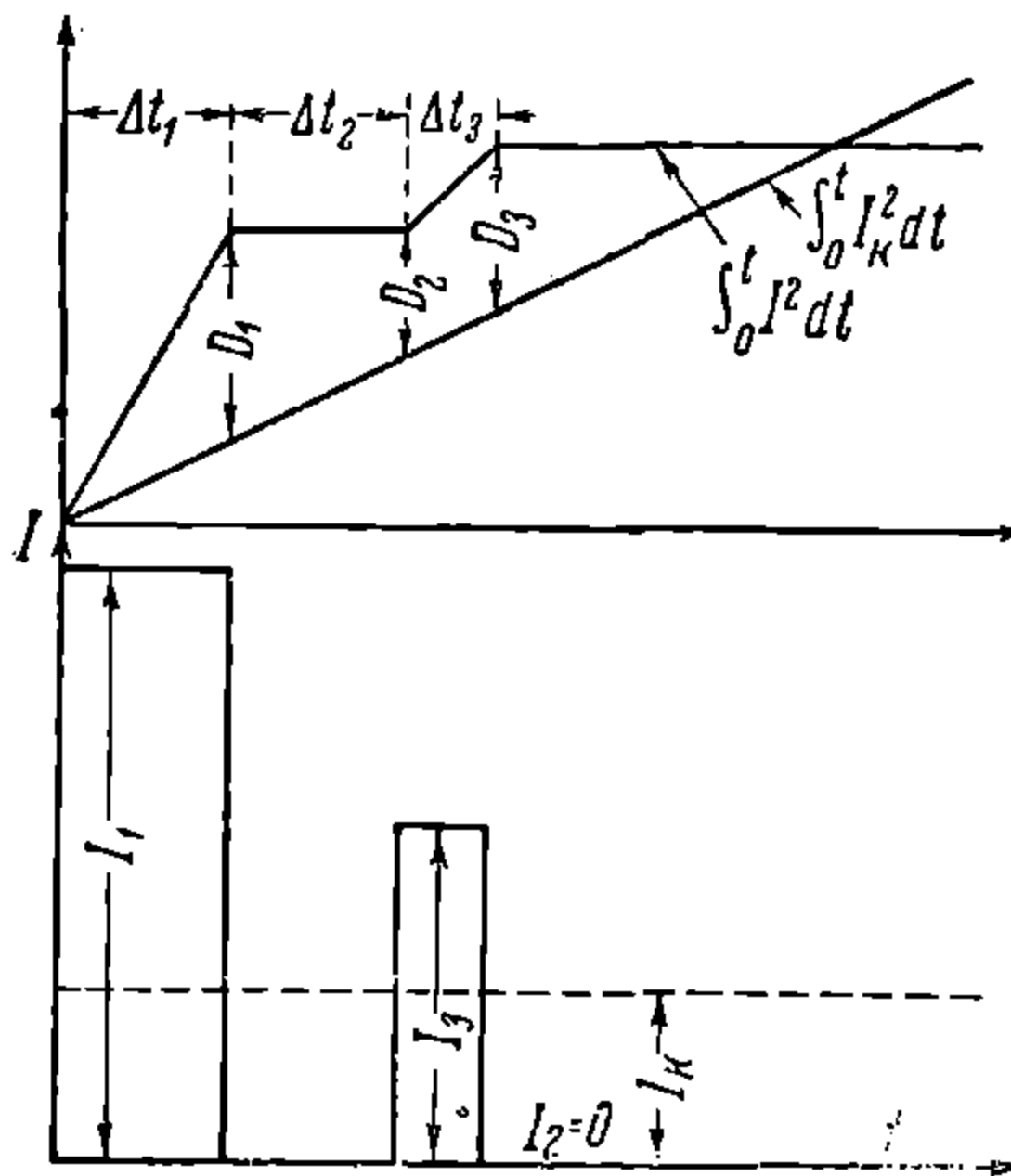
В таком случае получим след. выражение для эквивалентного тока:

$$I_{\text{э}} = \lambda I_{\text{к}} \sqrt{\frac{1 + \frac{D_{\text{max}}}{I_{\text{к}}^2 (t_2 - t_1)} \left(1 - e^{-\frac{t_2 - t_1}{T}}\right)}{Z}} \quad (74)$$

При малом значении показателя $\frac{t_2 - t_1}{T}$ за счет преувеличения значения $I_{\text{э}}$ можно принять:

$$1 - e^{-\frac{t_2 - t_1}{T}} \approx \frac{t_1}{T} \frac{t_2}{T}$$

В таком случае для эквивалентного тока получим след. предложенное автором выражение:



$$I_{\text{э}} = \lambda I_{\text{к}} \sqrt{\frac{1 + \frac{D_{\text{max}}}{I_{\text{к}}^2 T}}{Z}} \quad (75)$$

Точность ф-лы (75) выяснена в конце настоящего разд. (см. фиг. 20). Ф-ла выведена в предположении, что при пике нагрузки сила тока постоянна и равна I_1 . На самом деле режим пика нагрузки может состоять из нескольких этапов с различными I . С достаточной степенью точности в обычных случаях режим пика нагрузки можно свести к 3 этапам продолжительностью $\Delta t_1, \Delta t_2$ и Δt_3 с соответствующими средними квадратами тока нагрузки I_1^2, I_2^2 и I_3^2 (фиг. 19).

Обозначим соответственно:

а) через D_1, D_2 и D_3 — превышение энергии нагревающих потерь на рассматриваемом этапе над их значением при $I = I_{\text{к}}$, полученное за время от момента достижения дв-лем средней установившейся темп-ры до конца соответствующего этапа пика нагрузки;

б) через $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ — продолжительность этапов пика нагрузки;

в) через:

$$\left. \begin{aligned} I_1^2 &= I_{\text{к}}^2 + \frac{D_1}{\Delta t_1} \\ I_2^2 &= I_{\text{к}}^2 + \frac{D_2}{\Delta t_2} \\ I_3^2 &= I_{\text{к}}^2 + \frac{D_3}{\Delta t_3} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{средние квадраты токов для} \\ \text{каждого из этапов} \end{array}$$

г) через:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{I_1^2 - I_{\text{к}}^2}{I_{\text{к}}^2} \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_1}{T}}\right) \\ M_2 &= \frac{I_2^2 - (I'_{1\text{э}})^2}{(I'_{1\text{э}})^2} \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_2}{T}}\right) \\ M_3 &= \frac{I_3^2 - (I'_{2\text{э}})^2}{(I'_{2\text{э}})^2} \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_3}{T}}\right) \end{aligned} \right\} \quad (76)$$

НТБ
ДНУЗТ

где $I'_{1э}$ и $I'_{2э}$ — эквивалентные токи 1-го и 2-го этапов для средней характеристики дв-ля, определяемых ф-лой (74) при $\lambda = 1$.

В таком случае согласно ф-ле (74) имеем след. значение определенных эквивалентных токов, исходя из перегревов в конце отдельных этапов:

1-й этап:

$$I'_{1э} = I_{\kappa} \sqrt{1 + M_1}; \tag{77}$$

2-й этап:

$$I'_{2э} = I'_{1э} \sqrt{1 + M_2};$$

3-й этап:

$$I'_{3э} = (I'_{2э}) \sqrt{1 + M_3}. \tag{73'}$$

Т. к. 3-й этап соответствует максимальной темп-ре дв-ля, то $I_{э} = \lambda I'_{3э} \sqrt{\frac{1}{Z}}$.

В таком случае, имеем:

$$I_{э} = \lambda I_{\kappa} \sqrt{\frac{(1 + M_1)(1 + M_2)(1 + M_3)}{Z}} \tag{78}$$

Последняя ф-ла (78) позволяет определить эквивалентный ток дв-ля при любых практически встречающихся режимах нагрузки дв-ля.

Пределы применимости приближенной ф-лы (71) ясны из диаграммы фиг. 20.

Здесь принято:

$$\frac{I_1}{I_{\kappa}} = 1,4.$$

Эти цифры можно считать характерными для обычных условий пригородного движения. На фиг. 20 нанесено значение ф-ии $x = 1 - e^{-a}$ при различных значениях показателя $a = \frac{t_2 - t_1}{T}$ в пределах от 0 до 1 и подсчитана разница в значениях $I_{э}$ по обеим ф-лам:

$$\eta = \frac{I_{э \text{ прибл.}} - I_{э}}{I_{э}} \cdot 100\%.$$

Если принять допустимую точность приближенной ф-лы 5%, то

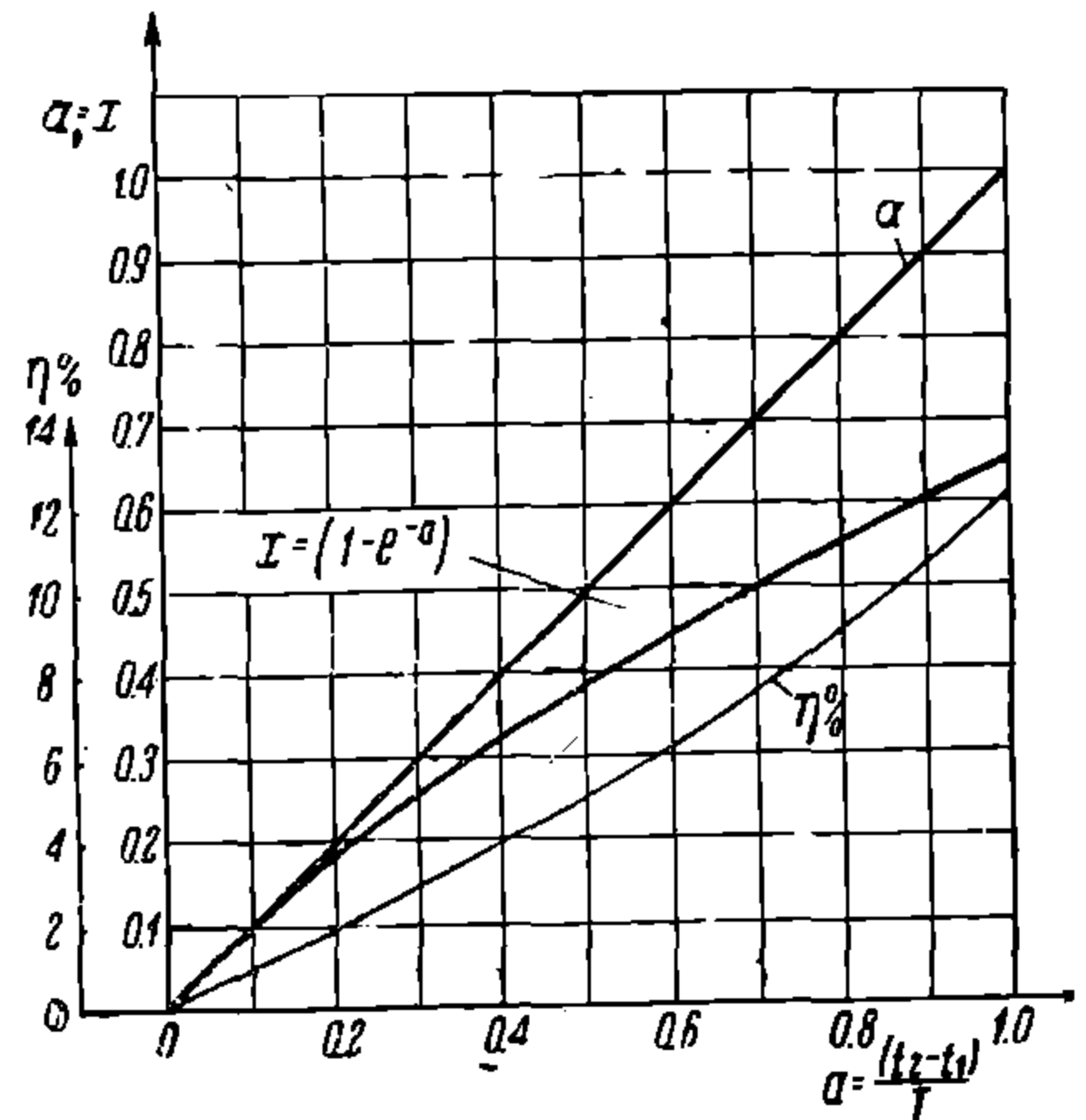
$$a = \frac{t_2 - t_1}{T} = \frac{\text{продолжительность пика}}{\text{постоянная времени при длительном режиме}}$$

д. б. менее 0,5. При точности 10% имеем $a \leq 0,8$. Заметим, что приближенная ф-ла (75) дает всегда преувеличенный результат по сравнению с точной и является более универсальной, т. к. не требует знания закона изменения D в течение пика нагрузки (достаточно знать D_{max}). Поэтому мы будем считать ф-лу (75) основной.

Согласно данным диаграммы фиг. 20 ошибку при определении эквивалентного тока по ф-ле (75) можно оценить след. приближенной ф-лой автора:

$$\eta = 5,5 \frac{D_{max}}{I_{\kappa}^2 T} \% \tag{79}$$

Определение величины D_{max} рассмотрено в п. 5.



Фиг. 20

НБ
ДНУЗТ

5. НАХОЖДЕНИЕ D_{max}

D_{max} представляет собой величину, пропорциональную количеству тепловой энергии, оставшейся в дв-ле в рассматриваемый момент сверх среднего количества, определяемого установившейся темп-рой при длительном повторении нормального ц.

Выше выяснено, что величину D можно найти, как разность:

$$D = \int_{t_1}^{t_2} I dt - I_{\kappa}^2 (t_2 - t_1).$$

Назвав для краткости первую зависимость $\int_{t_1}^t I^2 dt = \varphi(t)$ кривой потерь, а вторую $I_{\kappa}^2 t = \varphi(t)$ кривой (прямой) теплоотдачи, будем иметь D , как разность между ординатами кривой (прямой) потерь и кривой теплоотдачи. D_{max} представляет собой максимум этой разности.

Размерность ординат кривых потерь и теплоотдачи, а также величины D — амперы в квадрате, умноженные на время.

Пусть на фиг. 21 кривая ACB — кривая потерь, построенная на основании тягового расчета для нормального ц.

При установившейся работе машины приращение энергии, потерянной в эл. дв-ле за ц., равно количеству тепловой энергии, отведенной от него за тот же пер. времени.

В таком случае закон изменения количества тепловой энергии, отведенной от эл. дв-ля при установившемся режиме работы (размерность ампер в квадрате, умноженных на время) представится прямой, параллельной прямой AB , соединяющей начальную и конечную точки кривой потерь (кривая ACB на фиг. 21).

Положение прямой теплоотдачи $A'B'$ найдем из след. соображений.

1. Отрезок ординаты AA' , заключенной между кривой потерь ACB и прямой теплоотдачи $A'B'$, дает количество теплоты, оставшейся в данный момент в эл. дв-ле, пропорциональное его дополнительному перегреву.

2. За весь ц. среднее отклонение перегрева от его среднего значения равно нулю.

Следовательно

$$\int_0^{\Gamma} \Delta \theta dt = 0,$$

где Γ — продолжительность ц.

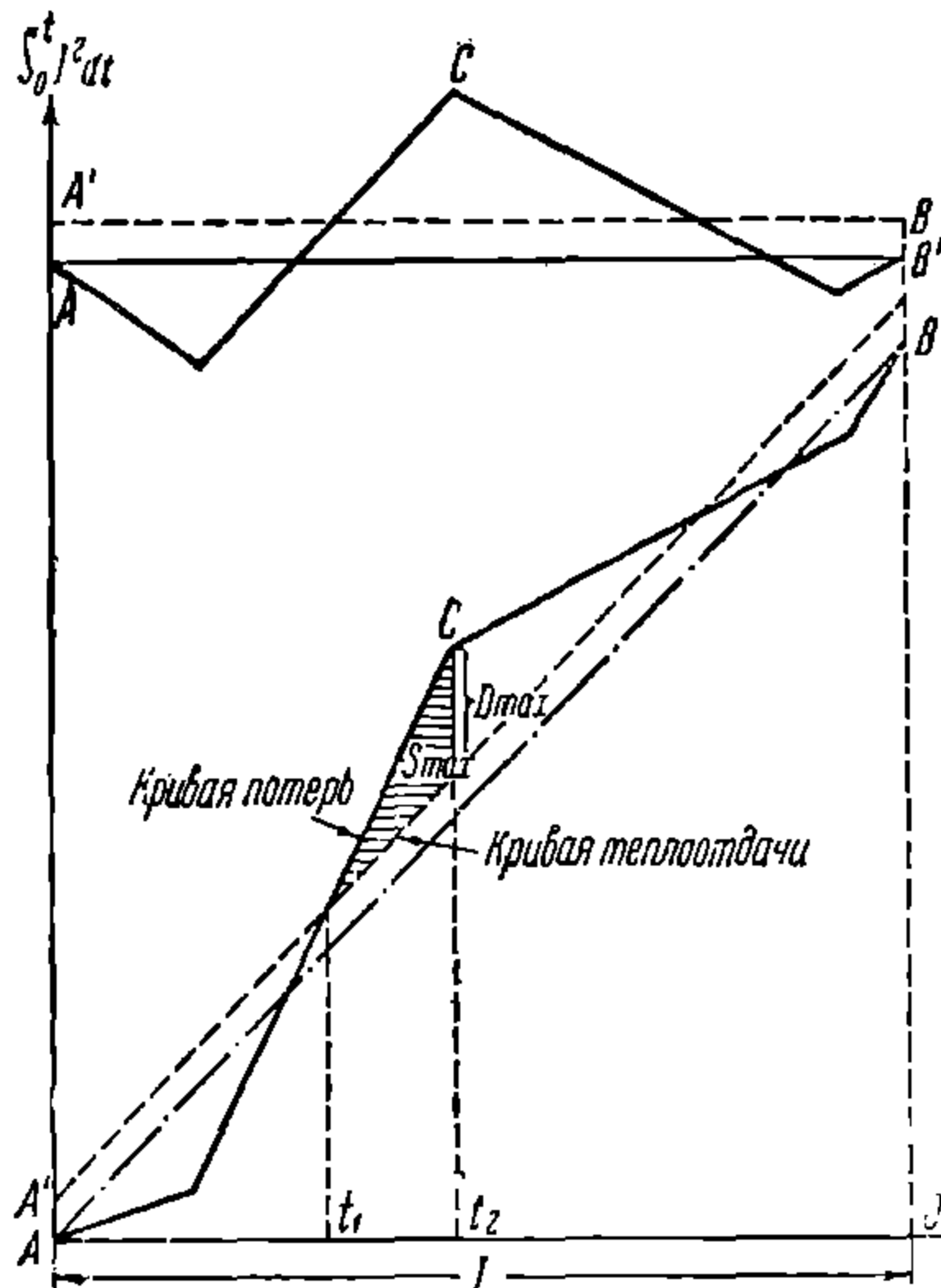
Т. о., прямая теплоотдачи определится как прямая, параллельная прямой AB , соединяющей

начало и конец кривой потерь ACB , при условии, что сумма площадей, ограниченная линиями ACB и $A'B'$, лежащих выше прямой $A'B'$, равна сумме площадей, ограниченных этими же линиями и лежащих ниже прямой $A'B'$. Начальная ордината AA' прямой теплоотдачи найдется, как разность средних ординат кривой ACB и прямой AB в пределах от $t = 0$ до $t = T$, т. е. согласно фиг. 21.

$$AA' = \frac{\text{пл. } ACBO - \text{пл. } ACB}{T}. \quad (A)$$

Положительное значение отрезка AA' надо отложить вверх, и отрицательные — вниз.

Заметим, что описанное нахождение начальной ординаты кривой теплоотдачи является приблизительным. В действительности, в тех местах, где ординаты кривой ACB лежат выше прямой AB , дв-ль будет иметь превышение перегрева над его средним значением и следовательно повышенную общую теплоотдачу. Поэтому разность ординат кривых ACB и AB дает здесь преувеличение превышения перегрева над его средним значением.



Фиг. 21

ДНУЗТ

Отсюда ясно, что величина начальной ординаты AA по ф-ле (А) всегда дает преувеличенное значение и тем большее, чем резче кривая ACB отклоняется от прямой AB .

Установив величину начальной ординаты AA' и проводя через конец ее прямую $A'B'$, параллельную прямой AB , соединяющей концы кривой потерь ACB , получим искомую кривую (прямую) теплоотдачи. Разность ординат, заключенная между кривой ACB и прямой $A'B'$, как выяснено выше, дает величину D — превышение потерь, оставшихся в эл. дв-ле, над средними. Если нам известна средняя установившаяся сверхтем-ра θ_m и приведенная теплоемкость дв-ля c , то перегрев эл. дв-ля θ в данном месте уч-ка, характеризуемом известной величиной D , равен $\theta = \theta_m + \frac{D}{c}$

В том случае, если средняя техническая скорость в течение ц. мало меняется, кривые потерь и теплоотдачи можно строить в зависимости от пути l . В таком случае кривая потерь

$$\int_0^t I^2 dt = \varphi(l)$$

и кривая теплоотдачи

$$I_k^2 t = \varphi(l).$$

Такое построение для конкретного случая сделано на фиг. 29 (см. ниже, стр. 271).

Все рассуждения и построения, описанные выше, при этом сохраняются, с той только разницей, что делаются в ф-ции от пути, а не от времени.

Для лучшего усвоения изложенного метода в п. 6 приводим примерный расчет.

6. ПРИМЕРНЫЙ РАСЧЕТ

Дано:

1) Эл. дв-ль «ДПИ-150». Нормальная езда при напряжении $U = 750$ V, пуск при полном поле, затем езда при ослабленном.

Табл. 10. Данные двигателя «ДПИ-150»

	Поле	U V	I A	n об/мин.	кпд на ободе колеса
Часовой режим	{ 100%	750	250	840	90,0
	{ 57,5%	750	250	1075	90,5
Длительный режим	{ 100%	750	185	936	90,0
	{ 57,5%	750	190	1260	90,0

Вагонная секция имеет 4 эл. дв-ля.

2) Нормальный ц. определяется след. данными:

- а) средняя коммерческая скорость 40 км/ч,
- б) промежуточные стоянки длительностью 0,5 мин.,
- в) средняя длина перегона 2,5 км,
- г) вес поезда и средний подъем периодически изменяются согласно табл. 10-а.

Табл. 10-а

Продолжи- тельность режима (часы)	Вес секции m	Вес секции на 1 эл. дв-ль m	Сопротивле- ние от сред- него подъема кг/т
2	163	41	1
$\frac{1}{3}$	193	48	5

3) Для тяговых расчетов приняты след. данные:

Сопротивление движению подсчитано по ф-лам Davis, опубликованным в G. E. Review за 1936 г., октябрь, стр. 685—757.

НТБ
ДНУЗТ

Учитывая возможность работы поездов в нек-рых случаях при более неблагоприятных условиях, влияющих на сопротивление движению (ветер, состояние ходовых частей и пути), результаты, полученные по этим ф-лам, увеличены на 10%.

В результате подсчетов уд. сопротивление движению определилось ф-лой:

$$W = 1,75 + 0,016 v + 0,0006 v^2 \text{ кг/т,}$$

по к-рой вычисленное уд. сопротивление движению в ф-ии скорости представлено табл. 11:

Табл. 11

0	10	20	30	40	50	60	70	80
1,85	2,07	2,41	2,87	3,45	4,15	4,97	5,91	6,97

Ускорение при пуске при весе секции 163 т принято $a = 0,41 \text{ м/сек}^2$.

Тормозное замедление (независимо от веса) $b = 0,80 \text{ м/сек}^2$.

Результаты расчета см. в табл. 11-а:

Табл. 11-а

Режим, т	Скорость средне-техническая, км/ч	Квадратичный ток, А
$Q = 163$	$v_c = 40$	$I_k = 152$
$Q = 193$	$v_c = 40$	$I_k = 190$

Расчетная постоянная времени $T = 45 \text{ мин.}$
Ср.-квадратичный ток нормального режима:

$$I_k = \sqrt{\frac{152^2 \cdot 2 + 190^2 \cdot 1/3}{2,33}} = 158 \text{ А}$$

Эквивалентный ток вычисляется по ф-ле (75).

Принято:

$$\begin{aligned} \lambda &= 1,1 \\ D_{max} &= (190^2 - 158^2) 20 = 222 \cdot 10^3 \text{ А}^2\text{-мин.} \\ \Theta_{\infty} &= 105^{\circ} \\ Z &= 0,9. \end{aligned}$$

При этом:

$$I_{\text{э}} = \lambda I_k \sqrt{1 + \frac{D_{max}}{T I_k^2}} = 1,1 \cdot 158^2 \sqrt{\frac{1 + \frac{222000}{45 \cdot 158^2}}{0,9}} = 190 \text{ А}$$

В виду того, что дв-ль самовентилирующийся, принимаем с запасом: $U_{\text{э}} = U$.

Т. о., при основном режиме (ослабленное поле) дв-ль должен иметь: $I_{\infty} = 190 \text{ А}$ при 750 В, т. е. является пригодным для заданного режима.

ХІ. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ МАНЕВРОВОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ¹

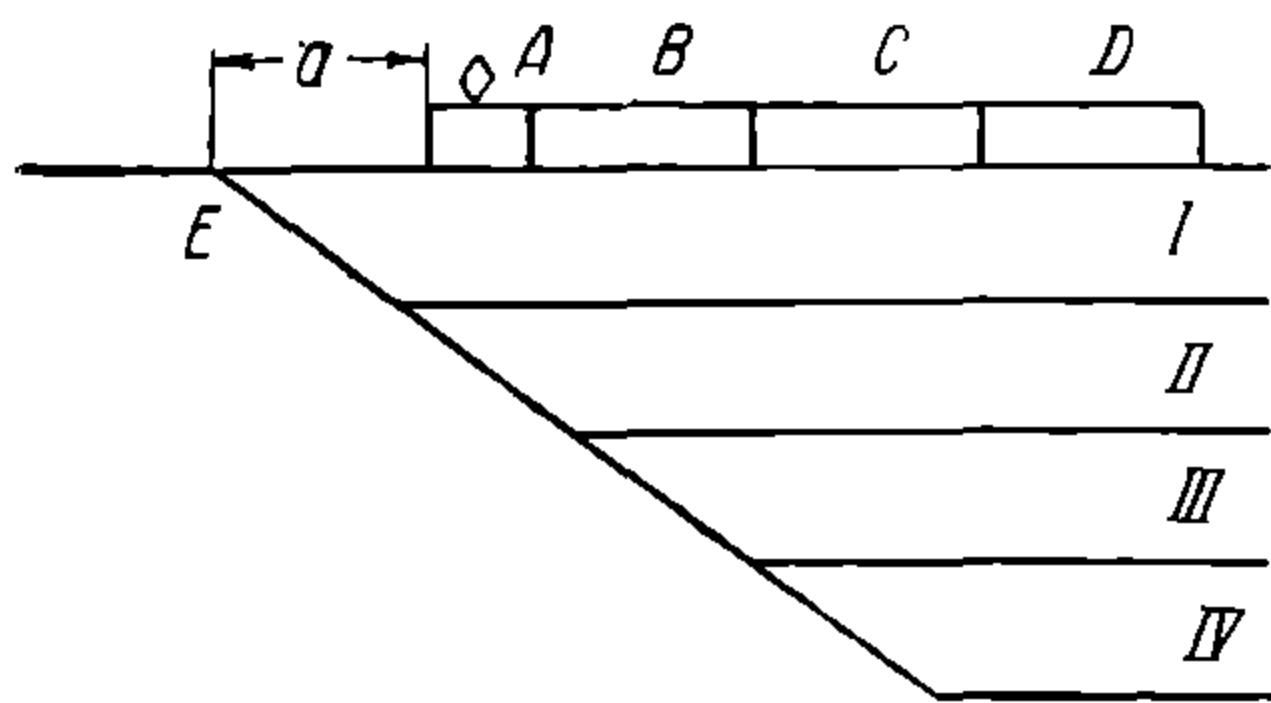
Рассмотрим применение метода эквивалентного тока, изложенного в разд. X, для выбора, а также проверки выбранного дв-ля для маневрового эл/в. Примем наиболее распространенный метод расформирования поездов выталкиванием части состава. Этот способ расформирования кратко можно охарактеризовать след. обр.
Эл/в А берет состав В—С—D... из парка прибытия и подводит его на сортировоч-

¹ См. «Электрификация жел.-дор. транспорта», 1935 г. № 3.

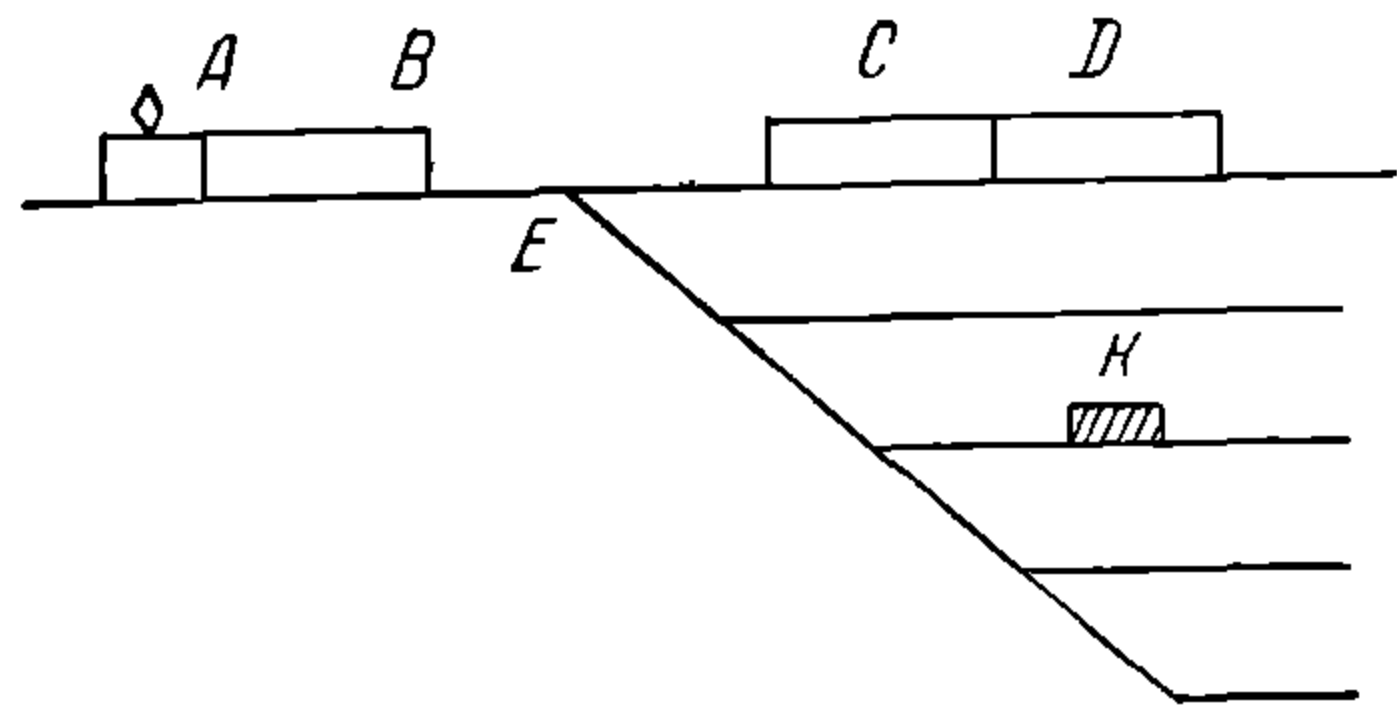
ГЛ. ДНУЗТ

ную ст., останавливаясь в a м от стрелки E стрелочной улицы. Обычно a берется ок. 15 м (фиг. 22). Затем состав делится на части $B, C, D...$, и первая часть B выкатывается перед стрелкой E .

От этой части поочередно отцепляют $\frac{1}{n}$ часть (2—3 ваг.). Эл/в разгоняется в обратном направлении к стрелке E и затем затормаживается. При этом отцепленная часть состава за счет приобретенной живой силы продолжает двигаться, направляясь на один из сортировочных путей I, II, III (фиг. 23) ¹.



Фиг. 22

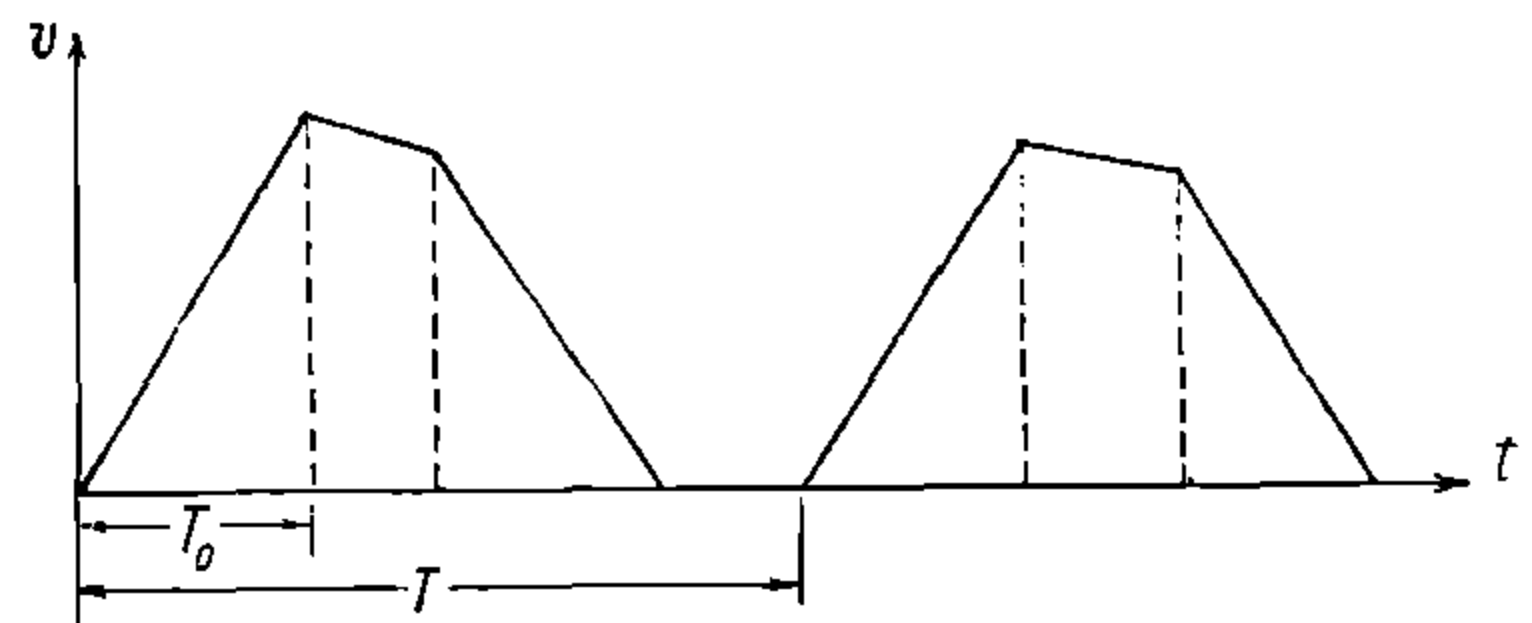


Фиг. 23

Закончив расформирование части B , маневровый эл/в берет след. часть и повторяет с ней те же операции. Работа эл/в по расформированию поезда заключается в чередовании пусков и торможений, после минимального, технически возможного выбега, согласно след. диаграмме скорость — время (фиг. 24).

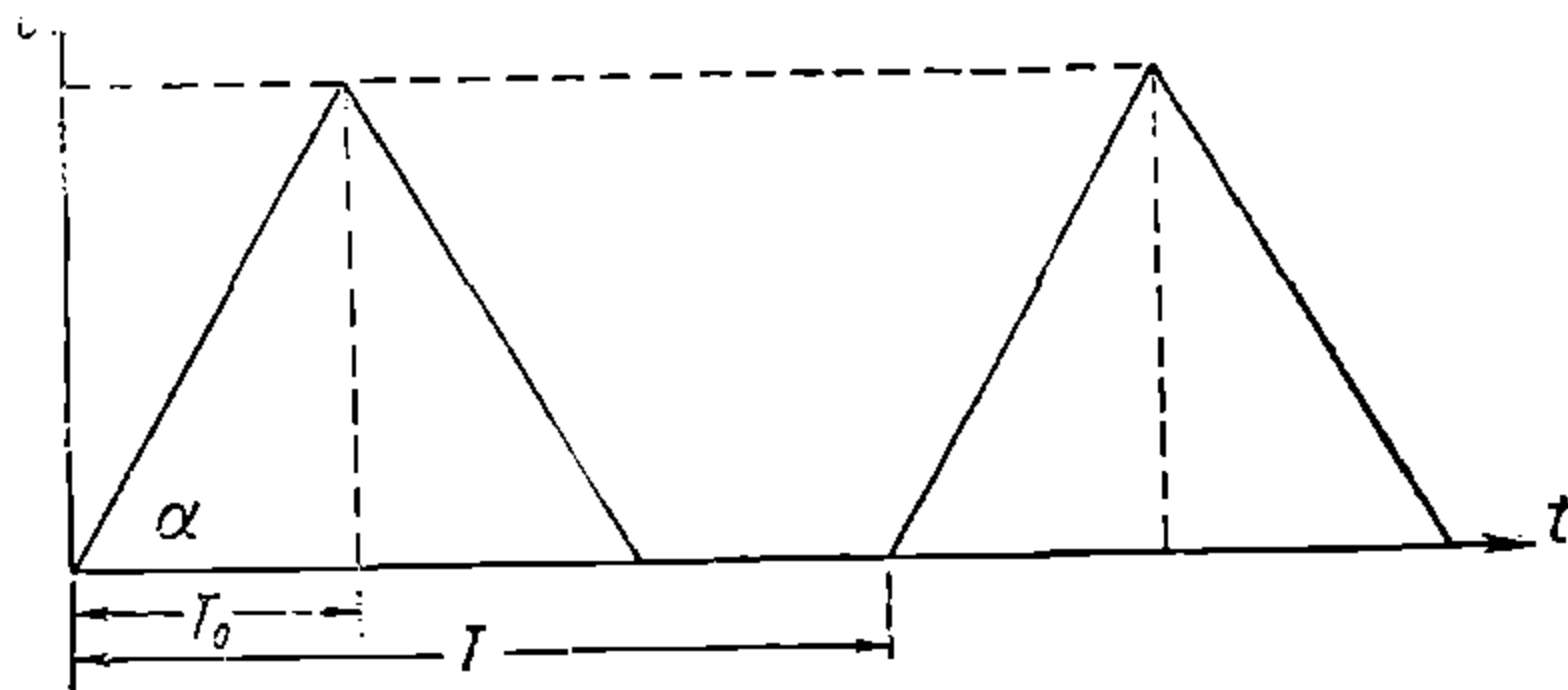
Выбег объясняется тем обстоятельством, что для отключения контроллера и приведения в действие тормозов требуется нек-рое время (3—5 сек.). При дальнейшем рассмотрении примем выбег равным нулю в запас прочности. Пусть ускорение равно a м/сек² и замедление — b м/сек².

Во избежание резких ударов при маневрах и для обеспечения безопасности замедление и ускорение ограничиваются величиной $b_{max} = a_{max} = 0,25—0,3$ м/сек².



Фиг. 24

Зная вес расформировываемой части состава, ускорение при пуске и сопротивление движению, найдем усилие тяги Z_1 при первом маневре. Зададимся далее величиной скорости выхода на автоматическую характеристику ($v = 16—20$ км/ч).



Фиг. 25

В таком случае диаграмма «скорость — время» представится в виде равнобедренного тр-ка (фиг. 25), при чем тангенс угла наклона кривой разгона $v = \varphi(t)$ к оси времени равен a .

$$a = b = \text{arctg } \alpha.$$

Диаграмма ток на 1 дв-ль — время $[I = \varphi(t)]$ при таком способе ведения эл/в представлена на фиг. 26.

Диаграмма эта (фиг. 26) имеет условный характер, т. к. на ней представлено движение лишь в одном направлении.

На самом деле э/лв совершает с током I_i два рейса: вперед и назад.

$$\frac{\Gamma_0}{\Gamma} = \beta < 1,$$

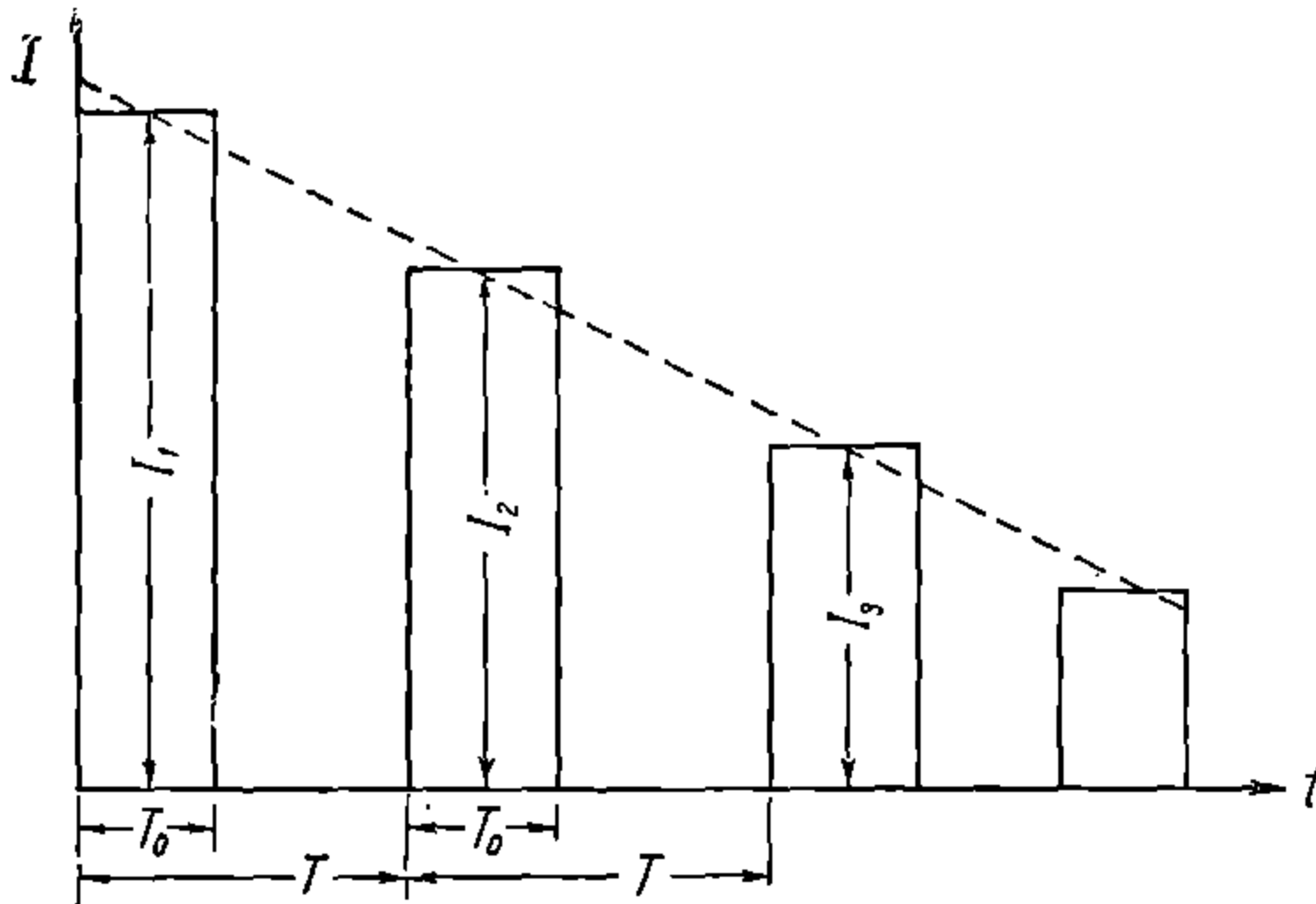
где Γ_0 — время нахождения под током за один маневр, Γ — время полного маневра: разгон, торможение и стоянка (20—30 сек.).

¹ Отцепленная часть K от части B на фиг. 23 заштрихована.

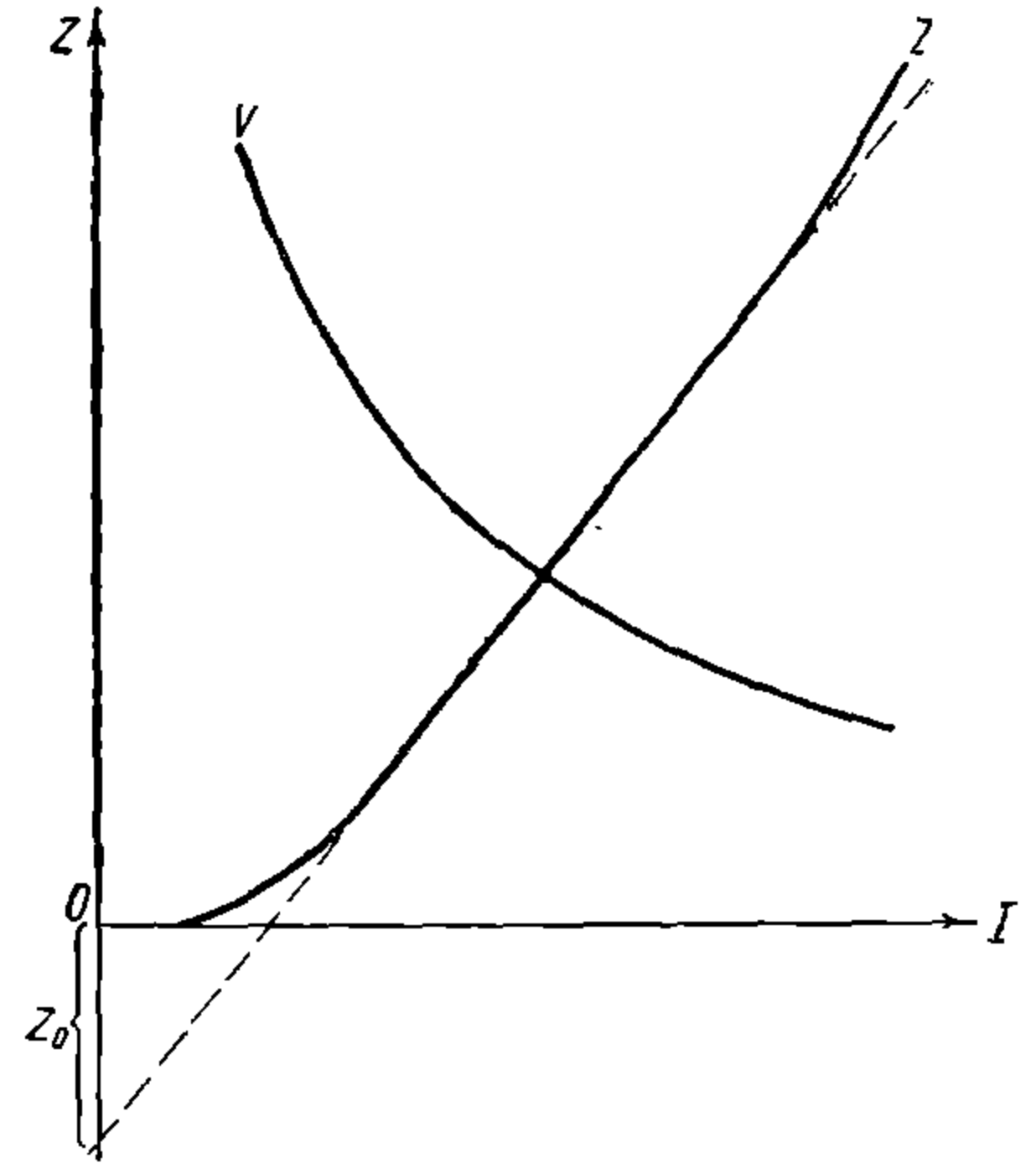
НИИ
ДНУЗТ

Примем этот режим за основной и определим для него ср.-квадратичный ток.

Пусть за каждый маневр отцепляется $\frac{1}{n}$ часть поезда. В таком случае для расформирования всей части A поезда требуется $n + 1$ двойных маневров, при чем единица учитывает холостой пробег эл/в. За один двойной маневр примем выкатывание состава перед стрелкой E и затем осаживание этого же состава (разгон) по направлению к стрелке E .



Фиг. 26



Фиг. 27

В таком случае квадратичный ток равен:

$$I_k = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^{n+1} I_i^2 \Gamma_0}{2(n+1)\Gamma}} = \sqrt{\frac{\beta \sum_{i=1}^{n+1} I_i^2}{n+1}} \quad (80)$$

Тяговое усилие в зависимости от силы тока для насыщенных дв-лей имеет почти прямолинейную зависимость согласно фиг. 27.

Здесь по оси ординат отложено усилие тяги, развиваемое эл/в в целом.

Для дв-ля «ДПЭ-340» имеем $Z_0 = 0,18Z_h$, где Z_h — усилие тяги при часовом токе.

В таком случае имеем:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Z_i + Z_0}{Z_1 + Z_0} &= \frac{I_i}{I_1} \\ I_i &= I_1 \left(1 - \frac{Z_1 - Z_i}{Z_1 + Z_0} \right) \end{aligned} \right\} \quad (81)$$

Здесь индексы относятся: индекс 1 — к первому маневру при максимальном весе расформировываемой части поезда; индекс i — к i -му двойному маневру с этой же частью.

Обозначим:

$$d = \frac{Z_1 + Z_0}{\Delta Z} = \text{const}, \quad (82)$$

где Z_1 — разгонное тяговое усилие при максимальном весе расформировываемой части поезда (часть B); ΔZ — уменьшение разгонного тягового усилия при отцепке части K (фиг. 23).

Величина d определяется:

а) соотношением между весом полной расформировываемой части поезда B с эл/в и весом выбрасываемой части поезда K , а именно величиной: $\frac{Z_1}{\Delta Z}$;

НТБ
ДНУЗТ

б) характеристикой дв-ля $Z = \varphi(I)$, из которой получается величина Z_0 в функции Z_h ;

в) максимальным разгонным усилием Z_1 .

В таком случае для i -го маневра имеем:

$$I_i = I_1 \left(1 - \frac{i-1}{d} \right) \quad (81')$$

и следовательно

при $i = 1$

$$I_1^2 = I_1^2;$$

при $i = 2$

$$I_2^2 = I_1^2 \left(1 - \frac{2}{d} + \frac{1^2}{d^2} \right);$$

при $i = 3$

$$I_3^2 = I_1^2 \left(1 - \frac{4}{d} + \frac{2^2}{d^2} \right);$$

$$i = n + 1 \quad I_{n+1}^2 = I_1^2 \left(1 - \frac{2n}{d} + \frac{n^2}{d^2} \right);$$

$$\sum_{i=1}^{i=n+1} I_i^2 = I_1^2 (n+1) \left[1 - \frac{n}{d} + \frac{n(2n+1)}{6d^2} \right]; \quad (81bis)$$

т. к. ряд: $1^2 + 2^2 + \dots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$, а ряд $2 + 4 + \dots + 2n = n(n+1)$, то ф-ла (80) для ср.-квадратичного тока принимает след. вид:

$$I_K = I_1 \sqrt{\beta \left[\left(1 - \frac{n}{d} \right) + \frac{(2n+1)n}{6d^2} \right]}. \quad (83)$$

Входящая в ф-лу (83) величина d определяется ф-лой (82). Придадим ф-ле (83) более удобное выражение. Приняв вес эл/в равным весу выбрасываемой части поезда K , имеем:

$$\frac{Z_1}{\Delta Z} = (n+1). \quad (84)$$

С др. стороны, имеем:

$$\frac{Z_0}{\Delta Z} = \frac{Z_0}{Z_h} \cdot \frac{Z_h}{Z_1} \cdot \frac{Z_1}{\Delta Z} = \frac{\alpha}{m} (n+1), \quad (84')$$

где $\alpha = \frac{Z_0}{Z_h}$ и берется из характеристики дв-ля действительной (если дв-ль выбран и только проверяется его пригодность) или универсальной (если происходит выбор дв-ля); $m = \frac{Z_1}{Z_h}$ — отношение максимального маневрового тягового усилия (т. е. 1-го маневра) к часовому тяговому усилию дв-ля. Примерной величиной этого отношения приходится задаваться предварительно, уточняя после производства проверки дв-ля.

Для дв-лей с вентиляцией $\frac{Z_1}{Z_h} \approx \frac{I_1}{I_h}$.

В таком случае согласно ф-лам (82), (84) и (84')

$$d = \frac{Z_1}{\Delta Z} + \frac{Z_0}{\Delta Z} = \left(1 + \frac{\alpha}{m} \right) (n+1). \quad (85)$$

При $\alpha = 0,2$ и $m = 1$ имеем: $d = 1,2 (n+1)$. Подставляя полученное выражение для d в ф-лу (83), найдем величину ср.-квадратичного тока дв-ля.

НТБ
ДНУЗТ

Пример 1. Дано: $n = 10$; $\beta = \frac{1}{2,0}$; $m = 1,5$; $\alpha = 0,2$.

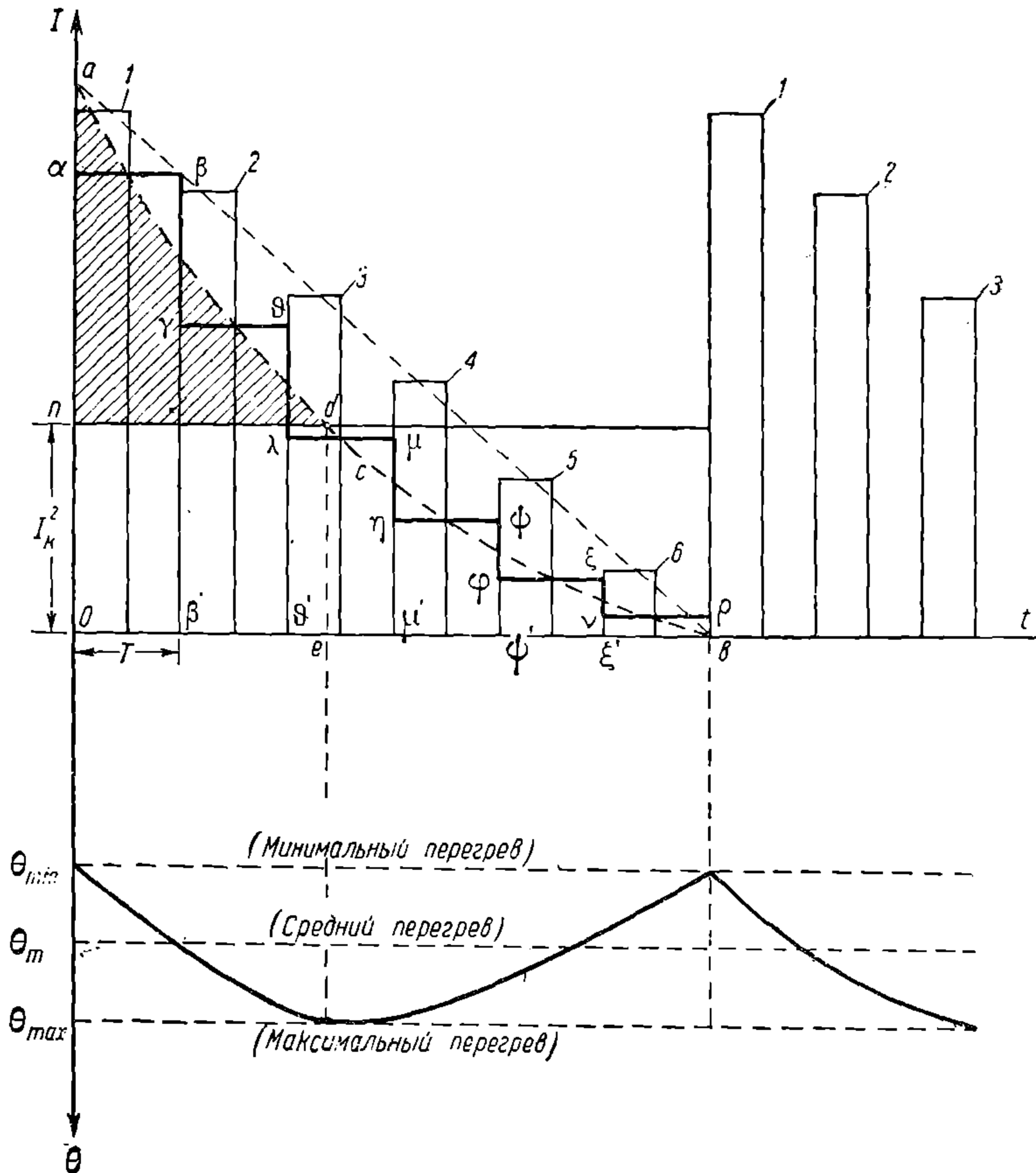
При этом согласно ф-ле (84)

$$d = \left(1 + \frac{0,2}{1,5} \right) 11 = 12,5.$$

Подставляя $d = 12,5$ в ф-лу (83), получаем:

$$I_k = I_1 \sqrt{\frac{1}{2,0} \left(1 - \frac{10}{12,5} + \frac{210}{6 \cdot 12,5^2} \right)} = 0,47 I_1.$$

Для того чтобы определить эквивалентный ток из ф-лы (75), необходимо знать кроме I_k величину D_{max} , т. е. количество джоулевых потерь, оставшихся в дв-ле во время пика темп-ры.



Фиг. 28

Для нахождения выражения для D_{max} обратимся к фиг. 28. На этой фиг. прямоугольники: 1, 2, 3... изображают в нек-ром масштабе зависимость $I = \varphi(t)$. Средние квадраты тока, подсчитанные за каждый рейс, изображены прямоугольниками:

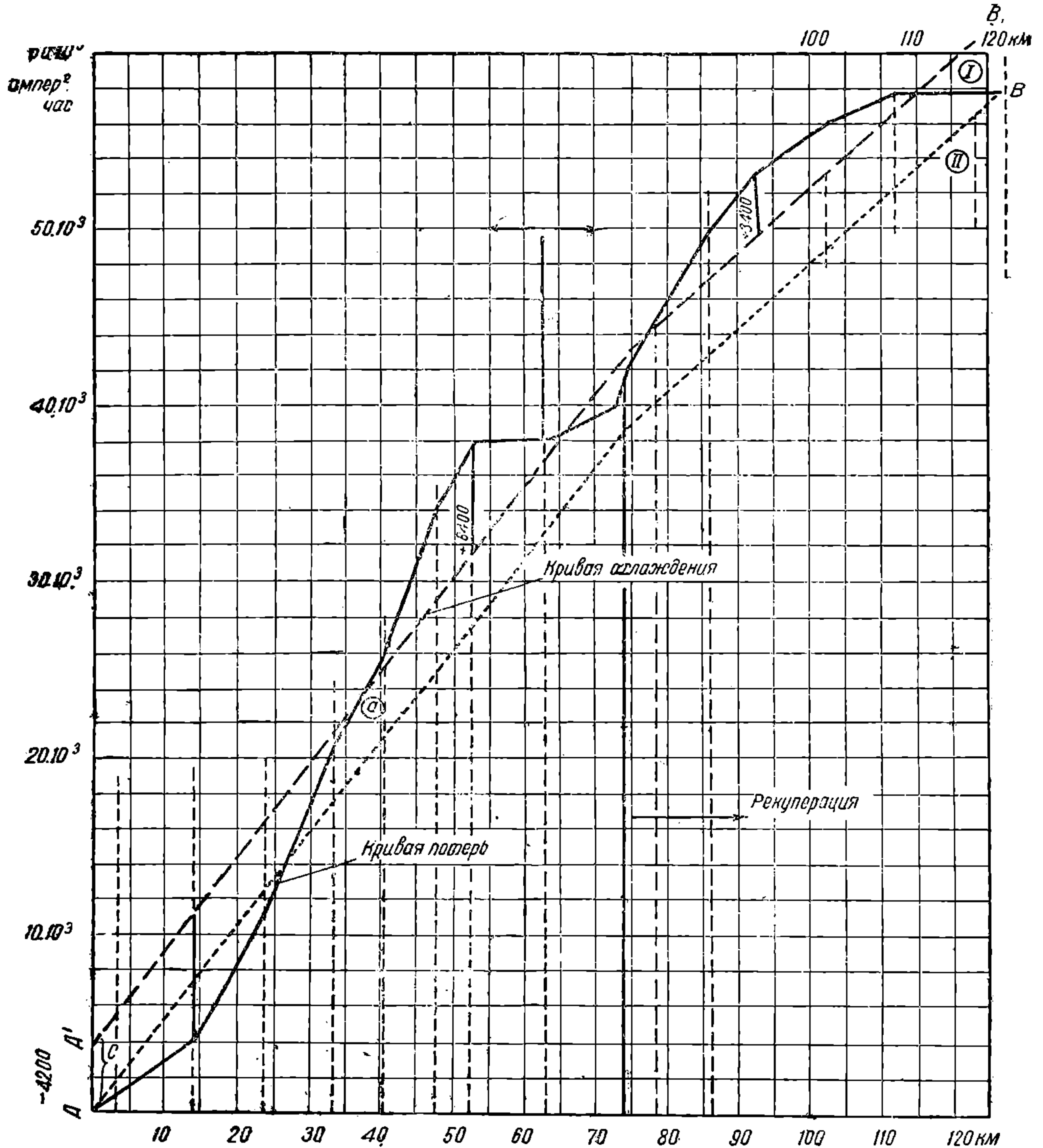
$$Ox\beta\beta'; \beta'\gamma\delta\delta'; \delta'\lambda\mu\mu'...$$

Т. о. ломаная кривая $\alpha\beta\gamma\delta\lambda\mu\eta\phi\psi\epsilon\nu\rho\sigma$ дает зависимость потерь, нагревающих опасную (по нагреву) обмотку дв-ля в ф-ии от времени. Заменим ее плавной кривой acv из условия, что площади фиг., ограниченных координатными осями и указанными кривыми, в обоих случаях равны. Пусть на этой же диаграмме отрезок $ed = I_k^2$.

ДРУЗТ

Тогда влево от точки e , т. е. при $t < O_e$, средние потери за маневр будут больше средних за ц., а вправо от точки e (т. е. при $t > O_e$) — меньше средних за ц.

Отсюда ясно, что в точке, соответствующей $t = O_e$, мы получим перегиб в кривой перегрева, т. е. максимальный перегрев дв-ля Θ_{max} . Минимальный перегрев очевидно получится в момент перехода от расформирования одной части поезда (напр. B) к след. (т. е. C), как это видно из фиг. 28, где пл. заштрихованного тр-ка *над* эквивалентна $2 D_{max}$.



Фиг. 29

D_{max} определится, как полуразность между джоулевыми потерями действительными и средними I_k^2 , взятая за промежуток времени от начала расформирования до p -го маневра, порядковый номер k -рого (p) определится из условий $I_k^2 = I_p^2 \beta$.

НЕЛЬЗЯ ДАВАТЬ

Джоулевы потери (при $R = 1 \Omega$) за p маневров найдем согласно ф-ле (81 bis), положив в ней $(n + 1) = p$, т. е. $n = p - 1$ и умножив результат на $2\beta\Gamma$.

При этом

$$\int_0^{2p\Gamma} I^2 dt = 2\beta I_1^2 \Gamma p \left\{ 1 - \frac{p-1}{d} + \frac{(2p-1)(p-1)}{6d^2} \right\}$$

Энергия средних потерь за то же время $2\Gamma p$ равна $2\Gamma p I_k^2$.

В таком случае искомая величина D_{max} равна:

$$D_{max} = \frac{\int_0^{2p\Gamma} I^2 dt - 2\Gamma p I_k^2}{2} = \beta p \Gamma I_1^2 \left\{ 1 - \frac{p-1}{d} + \frac{(2p-1)(p-1)}{6d^2} - \left(\frac{I_k}{I_1} \right)^2 \frac{1}{\beta} \right\} \quad (86)$$

Входящая в ф-лу (86) величина p определится след. обр.:
Согласно равенствам (77) и (81) имеем:

$$\frac{I_1 - I_p}{I_1} = - \frac{\frac{Z_1 - Z_p}{\Delta Z}}{\frac{Z_1 + Z_0}{\Delta Z}} = \frac{p}{d},$$

откуда, приняв согласно фиг. 28 $I_k^2 = \beta I_p^2$, получаем след. выражение для p :

$$p = d \left(1 - \frac{I_k}{I_1 \sqrt{\beta}} \right). \quad (87)$$

Подставим значение p полученное из ф-лы (87), в выражение (86) и получим величину D_{max} .

Зная I_k и D_{max} , найдем по ф-ле (75) искомую величину эквивалентного тока дв-ля I_∞ .

Пример 2. Произведем подсчеты I_∞ согласно данным примера 1.

Дано: 1) $n = 10$; 2) $\frac{I_k}{I_1} = 0,47$; 3) $2\Gamma = 3$ мин.; 4) $\beta = \frac{1}{2,0}$; 5) $d = 12,5$.

Из ф-лы (87) имеем:

$$p = 12,5 \left(1 - 0,47 \sqrt{2,0} \right) = 4,2.$$

В таком случае из ф-лы (86) получаем:

$$D_{max} = \frac{4,2}{2} \frac{1,5}{I_1} \left(1 - \frac{3,2}{12,5} + \frac{7,4}{6} \frac{3,2}{12,5^2} 0,47^2 \cdot 2,0 \right) = 1,05 I_1^2.$$

Подставляя значения I_k и D_{max} в ф-лу (75) и приняв $Z = 0,9$, $\lambda = 1,1$ и $T = 30$ мин., имеем:

$$I_\infty = 1,1 \cdot 0,47 \sqrt{\frac{1 + \frac{1,05}{0,47^2 \cdot 30}}{0,9}} \approx 0,6 I_1.$$

Т. о. для заданных выше условий длительный ток дв-ля д. б. выбран, исходя из условия

$$I_\infty \geq 0,6 I_1,$$

где I_1 — максимальный маневровый ток.

Если известно соотношение между длительным и часовым током дв-ля

$$\gamma = \frac{I_{\infty}}{I_h},$$

то из полученного соотношения уточняем величину

$$m = \frac{I_1}{I_h} = \gamma \frac{I_1}{I_{\infty}}$$

Очевидно, что в разобранным примере

$$\frac{I_1}{I_h} \leq \frac{\gamma}{0,6}.$$

или при $\gamma = 0,85$ имеем $\frac{I_1}{I_h} \leq \frac{0,85}{0,6} = 1,42$

Следовательно, выбранное нами предварительно в примере 1 соотношение $m = \frac{I_1}{I_h} = 1,5$ д. б. снижено до 1,4.

Полученный т. о. эквивалентный ток дв-ля следует отнести к эквивалентному напряжению.

В случае работы под реостатами с постоянным ускорением эквивалентное напряжение согласно подсчету, произведенному в п. 4. разд. VIII, м. б. принято равным:

$$U_2 = 0,58 U, \tag{88}$$

где U — нормальное напряжение на клеммах дв-лей. В том случае, если дв-ль выбирается для данного эл/в [при чем задано: Z_1 — усилие тяги эл/в при 1-м маневре (кг); v — скорость выхода на автоматическую характеристику (км/ч); N — число параллельных цепей дв-лей; U — напряжение сети (V)], то необходимая величина тока 1-го маневра I_1 м. б. определена по ф-ле, связывающей механическую и эл. мощности дв-ля:

$$2,73 Z_1 v = \eta U I_1,$$

где $\eta \approx 0,91$ — КПД дв-ля.

В таком случае

$$I_1 \approx \frac{3 Z_1 v}{UN}. \tag{89}$$

Если дв-ль проверяется, то величина I_1 определится как ф-ия $I_{\infty} = I_2$.

Пример 3. Пусть дан определенный дв-ль, имеющий $I_{\infty} = 200$ А.

Из расчета получено:

$$I_2 = 0,60 I_1.$$

Т. о., по своей мощности дв-ль допускает:

$$I_1 = \frac{200}{0,60} = 330 \text{ А.}$$

Пример 4. Дв-ль выбирается, при чем задано: $Z_1 = 20\ 000$ кг; $v = 20$ км/ч; $N = 2$.

Согласно ф-ле (89) имеем:

$$I_1 = \frac{3 \cdot 20000 \cdot 20}{3000 \cdot 2} = 200 \text{ А.}$$

При $I_2 = 0,6 I_1$ имеем:

$$I_{\infty} \geq 120 \text{ А.}$$

Во всех приведенных выше примерах мы принимали $\beta = \frac{1}{2}$ и пренебрегли вы-
бегом и стоянками.

НТБ
ДНУЗТ

ХІІ. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ПО МЕТОДУ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ТОКА¹

1. ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Рассмотрим теперь применение метода эквивалентного тока для выбора магистрального и промышленного эл/в. Разбираемый здесь способ исходит из учета механической работы, совершаемой дв-лями эл/в, но отличается от обычного метода, освещенного в разд. ХІІІ тем, что не требует введения коэф-тов запаса.

Задано:

Сц. в. эл/в. m .

Вес прицепной части поезда, включая вес, приходящийся на бегунковые оси m

Число параллельных цепей эл. дв-лей в эл/в.

Полное число эл. дв-лей на эл/в

Среднее эксплуатационное напряжение сети V

Руководящий подъем ‰

Скорость движения на руководящем подъеме км/ч

Профиль расчетного тягового уч-ка с указанием остановочных пп.

Для упрощения расчетов профиль должен даваться спрямленный.

P

Q

N

m

U

$i_{рук}$

$v_{рук}$

Т р е б у е т с я н а й т и гарантируемые данные эл. дв-лей (данные часового и длительного режимов) и дать их тяговые характеристики.

При решении этой задачи примем след. предпосылки.

1) Соотношение между величинами длительной и часовой мощности влияет на величину самой мощности. Увеличив часовую мощность эл. дв-ля, мы в большинстве случаев можем обойтись меньшей длительной его мощностью за счет увеличения перегрузочной способности.

Поэтому отношением $\gamma = \frac{I_8}{I_h}$ нужно задаваться в самом начале, при вы-

боре мощности эл. дв-ля.

Эта величина для эл. дв-лей с независимой вентиляцией колеблется в пределах 0,8 — 0,9 и м. б. принята равной в среднем ок. $\gamma = 0,83 — 0,85$.

Соотношения γ при самовентилирующемся и заглушенном дв-лях были указаны выше, в разд. I.

2) Следует задаться универсальной характеристикой дв-ля, а именно, углом наклона кривой тягового усилия в ф-ии от силы тока в прямолинейной части. Угол

этот зависит от величины отношения $\alpha = \frac{Z_n}{Z_{h*}}$ по фиг. 27.

3) Длительная мощность эл. дв-ля ограничивается допустимым длительным нагревом опасной по нагреву его обмотки, за каковую мы примем обмотку якоря. Поэтому длительная мощность эл. дв-лей эл/в д. б. выбрана т. о., чтобы эл/в при заданном весе поезда в состоянии был развивать заданную коммерческую скорость на заданном профиле, при чем его эл. дв-ли не получают опасного перегрева якоря.

4) Работа эл/в при строенной езде бригад происходит след. об.: пробег в одном направлении тягового уч-ка продолжительностью ок. 3—4 ч., стоянка в ожидании обратного поезда, пробег в обратном направлении, стоянка для осмотра и сдачи др. бригаде и затем повторение уже описанного ц. При форсированной работе стоянки м. б. устранены.

Эл. дв-ль эл/в большой мощности с независимой вентиляцией имеет небольшую постоянную времени и принимает темп-ру, близкую к установившейся, уже по истечении 2—3 ч. работы, т. е. за часть продолжительности рейса в одну сторону тягового уч-ка.

В таком случае при наличии более или менее однородного характера профиля в обоих направлениях эл. дв-ли при форсированной работе все время работают при небольших колебаниях темп-ры ок. ее среднего значения. Такое же явление имеет

¹ См. журнал «Эл-во», 1935 г. № 12.

ДНУЗТ

место и в случае применения регенеративного торможения при однородности профиля лишь в одном направлении.

При этих условиях потребная длительная мощность эл. дв-ля (эквивалентный ток) м. б. найдена путем предварительного подсчета ср.-квадратичного тока эл. дв-ля для длительной работы эл/в согласно заданным условиям на данном тяговом уч-ке (в обе стороны), с введением поправки на дополнительные перегревы при пиках нагрузки и на нагон опозданий. Этот подсчет нужно сделать, не имея зависимости

$$v = \psi(\varphi).$$

В случае, если тяговый уч-к делится на ряд перегонов, совершенно различных по своему профилю, этот же метод м. б. применен, но лишь как более или менее приближительный, дающий, как будет ясно из дальнейшего изложения, несколько преувеличенные значения потребного длительного тока эл. дв-ля.

5) Ср.-квадратичный ток можно определить, воспользовавшись в неявном виде принципом способа установившихся скоростей, т. е. предполагая, что при переходе с одного элемента профиля на другой тяговое усилие, скорость и сила тока мгновенно изменяются до величины, соответствующей их значению при установившемся движении на данном элементе профиля.

В виду применения принципа установившихся скоростей д. б. сделаны соответствующие поправки на увеличение нагревания эл. дв-ля в' пусковой пер. и в случае эл. торможения в пер. затормаживания.

6) Для упрощения конечных ф-л и вследствие незнания действительной зависимости $v = \psi(Z)$, в рассмотрение нами вводится среднее сопротивление движению. В виду того, что (в особенности для товарных поездов) сопротивление движению в ф-ии от скорости определяется достаточно точно прямолинейной зависимостью, в расчет следует ввести сопротивление движению при ср.-технической скорости, с учетом сопротивления кривых; мы примем эту скорость равной 1,3 — 1,2 скорости на руководящем подъеме. Т. о. расчетное уд. сопротивление движению

$$r_0 = r v = 1,3 v \text{ рук.} \quad (89')$$

При спусках с постоянной скоростью с уклонов, требующих подтормаживания, скорость спуска определяется из тормозной задачи и может считаться заданной. Поэтому уд. сопротивление движению при езде по этим уклонам («вредные уклоны») м. б. заранее определено и введено в расчет. В отличие от r_0 , оно нами будет обозначаться через r_z , являясь ф-ией нормальной скорости спуска по данному уклону ($v^0/00$).

Все приведенные ниже рассуждения построены на определении потребной мощности эл. дв-ля при заданном весе поезда. В случае наличия готового (стандартного) эл. дв-ля задача заключается в определении предельного состава при заданном токе длительной мощности эл/в (NI_∞ — задано). Эта задача сводится к рассмотренной ниже, а именно: определяется необходимый уд. длительный ток I'_∞ , т. е. длительный ток, рассчитанный на 1 т веса поезда.

В таком случае предельный состав по нагреву дв-ля равен:

$$(P + Q) = \frac{I_\infty}{I'_\infty}.$$

2. КВАДРАТИЧНЫЙ ТОК ПРИ РАБОТЕ БЕЗ РЕКУПЕРАЦИИ И БЕЗ УЧЕТА ПУСКА

Рассмотрим вначале режим работы эл. дв-лей без применения рекуперативного торможения.

1-я основная зависимость.

Зависимость между тяговым усилием, развиваемым эл/в на ободе его колес Z , скоростью его движения v и силой тока I , потребляемой одним ТД эл/в, можно представить в след. виде:

$$\eta NUI = 2,73 Zv.$$

Приняв кпд ТД в рабочих пределах характеристики за постоянную величину ($\eta = \cong 0,9$), получим след. (1-ю) основную зависимость:

$$I = k_1 v$$

НГБ
ДРУЗТ
(90)

$$f = \frac{Z}{P + Q} = r_0 + i; \quad (91)$$

i — положителен на подъемах и отрицателен на уклонах,

где

$$k_1 = \frac{3(P + Q)}{NU} \quad (92)$$

здесь U — напряжение сети, N — число параллельных цепей дв-ля.

2-я основная зависимость (ф-ла 90).

Из фиг. 28 и согласно ф-ле (81) имеем:

$$\frac{Z + Z_0}{Z_{рук} + Z_0} = \frac{I}{I_{рук}}$$

Как указывалось в разд. XII, $\alpha = \frac{Z_0}{Z_h}$ для выбранной универсальной характеристики дв-ля является величиной постоянной (обычно $\alpha \approx 0,2$). В виду малого значения Z_0 примем его равным

$$Z_0 = \alpha Z_{рук}$$

и получим след. (2-ю) основную зависимость:

$$I = k_2 (f + \alpha f_{рук}), \quad (93)$$

при чем коэф-т k_2 определяем из равенства (93), положив $I = I_{рук}$ и $f = f_{рук}$, что дает:

$$k_2 = \frac{I_{рук}}{f_{рук} (1 + \alpha)} \quad (94)$$

С др. стороны, согласно равенству (90) имеем: $I_{рук} = k_1 f_{рук} v_{рук}$.

В таком случае получаем след. выражение для коэф-та k_2 :

$$k_2 = k_1 \frac{v_{рук}}{1 + \alpha}. \quad (94 \text{ bis})$$

Перемножая почленно зависимости и умножая обе их части на dt , имеем:

$$\int_0^t I^2 dt = k \int_0^l f (f + \alpha f_{рук}) dl, \quad (95)$$

где dl — элемент пути.

В том случае, если l выражено в км, а t в ч. коэф-т κ в ф-ле (95) равен:

$$\kappa = k_1 k_2 = \left[\frac{3(P + Q)}{NU} \right]^2 \frac{v_{рук}}{1 + \alpha}. \quad (96)$$

Из равенств (94 bis) и (95) вытекает другое выражение для коэф-та k_2 :

$$k_2 = \sqrt{\frac{\kappa v_{рук}}{1 + \alpha}} \quad (94-a)$$

Если t выражено в мин., а l в м

$$\kappa = \frac{60}{1000} k_1 k_2 = \frac{0,54 v_{рук}}{1 + \alpha} \left[\frac{P + Q}{NU} \right]^2 \quad (96')$$

Обращаясь к равенству (95), имеем для $t = T$ и $l = L$:

$$I_{\kappa}^2 T = \kappa B, \quad (97)$$

при чем

$$B = \sum_{l=L}^{l=L} f_l (f_l + \alpha f_{рук}) l_l,$$

где p — число элементов по длине тягового уч-ка (L).

НТБ
ДНУЗТ

Для исключения продолжительности Γ из ф-лы (97): $I_{\kappa}^2 \Gamma = \kappa B$ примем в расчет то обстоятельство, что скорость сообщения эл/в близка к скорости, соответствующей по характеристике ср.-квадратичному току. В таком случае примем

$$\Gamma \approx \frac{L}{v_{\kappa}} \quad (**)$$

С др. стороны, согласно равенству (90) имеем:

$$\frac{I_{\kappa}}{v_{\kappa}} = \kappa_1 f_{\kappa}$$

и следовательно согласно ф-лам (97) и (***) после преобразований получим:

$$I_{\kappa} = \frac{\kappa B}{\kappa_1 L f} = \frac{\kappa_2 B}{L f_{\kappa}}$$

Воспользовавшись равенством (94-а), получим:

$$I_{\kappa} = \frac{B}{L f_{\kappa}} \sqrt{\frac{\kappa v_{\text{рук}}}{1 + \alpha}} \quad (98)$$

При этом f_{κ} определяется согласно равенствам (90), (93), (96) и (***) след. обр.:

$$K f_{\kappa} (f_{\kappa} + \alpha f_{\text{рук}}) L = I_{\kappa}^2 \Gamma \quad (***)$$

Воспользовавшись равенством (97), получим:

$$f_{\kappa} (f_{\kappa} + \alpha f_{\text{рук}}) = \frac{B}{L} \quad (****)$$

Решая квадратное ур-ние относительно f_{κ} , имеем:

$$f_{\kappa} = \frac{\alpha f_{\text{рук}}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha f_{\text{рук}}}{2}\right)^2 + \frac{B}{L}} \quad (98-а)$$

Равенство (98) позволяет нам получить величину ср.-квадратичного тока для заданного режима работы дв-ля, а равенство (95) — построить кривую количества тепловой энергии, выделенной в дв-ле, в ф-ии от пройденного пути.

Приняв, что для определения начальной ординаты $A_0 A$ кривой теплоотдачи (фиг. 29) можно положить $t \equiv L$, мы имеем все данные для определения эквивалентного тока дв-ля по приведенным выше ф-лам (75) или (78).

Пример.

Дано: 1) $L = 120$ км; 2) $U = 3000$ В; 3) $N = 3$; 4) $v_{\text{рук}} = 30$ км/ч; 5) $P + Q = 600$ т;

6) $\alpha = 0,2$; 7) $B = 54\,000 \left(\frac{\text{кг}}{\text{т}}\right)^2$ км; 8) $f_{\text{рук}} = 32 \frac{\text{кг}}{\text{т}}$

$$\kappa = \left[\frac{3 \cdot 600}{3 \cdot 3000} \right]^2 \frac{30}{1,2} = 1$$

$$f_{\kappa} = -\frac{0,2 \cdot 32}{2} + \sqrt{3,2^2 + \frac{54000}{120}} = 18,2 \text{ кг/т}$$

$$I_{\kappa} = \frac{54000}{120 \cdot 18,2} \sqrt{\frac{30}{1,2}} \approx 125 \text{ А.}$$

НТБ
ДНУЗТ

В том случае, если локомотив совершает рейс с переменным весом состава (напр. вследствие применения двойной тяги на части уч-ка, различные веса для обоих направлений, отцепка и т. д.), то весь тяговый уч-к разбивается на ряд уч-ков с постоянным значением k_i для каждого из них. В таком случае:

$$\int_0^t I^2 dt = \sum_{i=1}^n k_i \int_{l_{i-1}}^{l_i} (f + \alpha f_{пук}) f dl = \sum_{i=1}^n k_i B_i. \quad (95')$$

В таком случае, приняв один из элементарных участков за исходный и обозначив для этого участка коэф-нт $K = K_0$, получим для всего тягового участка

$$B_a = \sum \frac{k_i}{k_0} B_i \quad (98')$$

Дальнейшее решение ведем по форм-лам (98) и (98-а) для известных B и $k = k_0$. Здесь индексом i отмечены величины, относящиеся к i -му элементарному уч-ку. Длина всего тягового уч-ка — L . Об учете конечных стоянок см. примеч. к § 5.

Эти же ф-лы применяются в случае наличия эл. торможения с учетом замечаний, изложенных ниже в пп. 4 и 5.

3. ПОПРАВКИ НА ПУСКИ

В выведенном выражении для квадратичного тока эл. дв-ля не учтены пуски, к-рые при коротких перегонах могут значительно повысить квадратичный ток. Для учета пусков вводим в рассмотрение пусковой подъем из условия, что тяговое усилие, потребное для движения с установившейся скоростью, равно пусковому тяговому усилию.

$$Z_n = (i_n + r) (P + Q),$$

где Z_n и i_n — соответственно пусковое тяговое усилие и пусковой подъем, r — среднее уд. сопротивление за пер. пуска.

С др. стороны, Z_n связано с коэф-том сцепления, реализуемым при пуске ψ_n кг/м и сц. в. эл/в P_0 след. зависимостью:

$$Z_n = \psi_n P_0,$$

откуда имеем:

$$i_n = \frac{\psi_n P_0}{P + Q} - r. \quad (99)$$

Пусковой подъем i_n следует принимать на всей длине разгонного пути l_n . Если разгон поезда происходит на подъеме $l^0/100$, то, приняв скорость выхода на автоматическую характеристику равной скорости движения по руководящему подъему, имеем:

$$S_n = \frac{v^2_{пук}}{2 \cdot 3,6^2 a} \text{ м},$$

где a — пусковое ускорение.

$$a = \frac{(i_n - i) g}{1000 (1 + \gamma)} \text{ м/сек}^2,$$

где: $(1 + \gamma)$ — коэф-т инерции вращающихся частей; $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ — ускорение массы при падении свободного тела.

Отсюда получаем след. выражение для разгонного пути:

$$S_n = \frac{38,5 (1 + \gamma) v^2_{пук}}{i_n - i} \text{ м}. \quad (100)$$

Пример.

Дано: 1) $\psi_n = 200 \text{ кг/м}$; 2) $\frac{P_0}{P + Q} = 0,1$; 3) $r = 5 \text{ кг/м}$; 4) $v_{пук} = 30 \text{ км/ч}$; 5) $i = 8 \text{ кг/м}$; 6) $1 + \gamma = 1,06$.

$$i_n = 200 \cdot 0,1 - 5 = 15 \text{ кг/м}.$$

$$S_n = \frac{38,5 \cdot 1,06 \cdot 30^2}{(15 - 8)} = 525 \text{ м}.$$

НТБ
ДНУЗТ

4. УЧЕТ ВРЕДНЫХ УКЛОНОВ

Согласно § 343 ПТЭ всякий поезд должен иметь возможность затормозиться до полной остановки на расстоянии тормозного пути (800 м). Вследствие этого обстоятельства скорость поезда на крутых спусках приходится искусственно понижать путем подтормаживания. Уклон, при движении по которому требуется подтормаживание, носит название «вредного уклона», т. к. потенциальная энергия, запасенная поездом при движении на подъем, при обратном его движении лишь частично тратится на преодоление сопротивления движению r_i , а остальная ее часть переходит в тепловую энергию в тормозных колодках при механическом торможении и реостатах и частично в самих дв-лях в случае реостатного торможения. Поэтому при спуске с вредного уклона, т. е. когда $(i + r)i < 0$ и следовательно абс. величина $|i| \geq r_i$, будем принимать для f при механическом торможении:

$$f = (r + i)i = 0. \quad (101)$$

В случае реостатного торможения на уклонах для поддержания заданной скорости дв-ль работает в качестве серийного генератора. При этом зависимость (93) сохраняется, а вместо равенств (90—92) имеем:

$$I = \frac{\eta f v (P + Q)}{U N} = \eta^2 \kappa_1 f v, \quad (102)$$

где: η — кпд генератора ($\eta^2 \approx 0,8$); $f = (i - r) < 0$; U — напряжение сети; N — число параллельных цепей дв-ля.

Т. о., при эл. торможении для поддержания постоянной скорости на вредных уклонах слагаемые $f (f + \alpha f_{рук})$ в ф-ле (95) следует умножить на $\eta^2 \approx 0,8$. Если при этом множители имеют разные знаки, то это происходит от неточности принятых нами зависимостей при малых I , а потому в этом случае их произведение следует приравнять нулю.

В случае торможения для остановки поезда вводим тормозной уклон. Абс. величину его можно принять равной соответствующему пусковому подъему.

5. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ПРИ РЕКУПЕРАТИВНОМ ТОРМОЖЕНИИ

В случае рекуперативного торможения происходит увеличение ср.-квадратичного, а следовательно и эквивалентного тока эл. дв-ля.

При выводе выражения для $\int_0^t I^2 dt$ следует помнить, что при рекуперативном торможении дв-ль имеет независимое возбуждение. Поэтому пользование ф-лой (93) при выводе выражений (95) и (98) исключается.

Поэтому, приняв за основу ур-ие (102), получаем:

$$\int_{t_1}^{t_2} I^2 dt = \frac{\eta^2 (P + Q)^2}{U_s^2 N^2} \int_{l_1}^{l_2} f^2 v_i dl. \quad (103)$$

В этой ф-ле: v_i — скорость спуска по данным тормозной задачи на уклоне $i \text{ ‰}$; $U_0 \approx 1,1 E$ — напряжение у токоприемника, рекуперирующего эл/в; N — число параллельных цепей дв-лей при рекуперативном режиме.

Максимальная абс. величина уклона i_{max} , по которому возможен спуск при применении исключительно рекуперативного торможения, ограничена сцеплением эл/в.

Т. о.:

$$i_{max} = - \left(\frac{\psi P}{P + Q} + r_{max} \right).$$

где r_{max} — уд. сопротивление движению, соответствующее скорости спуска с уклона i_{max} .

На уклонах, превышающих по своей абс. величине i_{max} , потребуется механическое подтормаживание. При вычислении f на таких уклонах следует принимать:

$$f = i_{max} + r_i.$$

ПТБ
ДНУЗТ

В случае смешанной работы дв-ля при моторном и рекуперативном режимах в ф-лы (98) и (95') за пер. рекуперации подставляется соответствующее значение из ф-лы (103).

Такое построение произведено по диаграмме фиг. 29. Перелом в линии охлаждения соответствует делению уч-ка на две зоны, проходимые с разными средними ходовыми скоростями¹.

6. ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫБРАННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Определив эквивалентный ток эл. дв-ля рассмотренным выше способом, находим по ф-ле (62) его длительный ток I_∞ и отношение $\frac{I_{рук}}{I_\infty}$

Затем, пользуясь принятой универсальной характеристикой дв-ля, отмечаем на ней численные значения, соответствующие режиму работы на руководящем подъеме: $I_{рук}$, $v_{рук}$, $Z_{рук}$, после чего определим масштаб для силы тока, скорости и тягового усилия.

7. ДРУГОЕ РЕШЕНИЕ

При предварительном выборе ТД является весьма удобным место нахождения его эквивалентного тока при заданных условиях работы определить необходимую величину отношения тягового усилия к сц. в. эл/в при длительном режиме эл/в

$$\varphi_\infty = \frac{Z_\infty}{P}$$

Прежде всего свяжем значения коэф-та φ при ср.-квадратичном и длительном токе дв-ля равенством: $\varphi_\infty = C\varphi_k$. При этом коэф-т C может быть оценен приближительной величиной $C = 1,15 - 1,25$, в среднем $C = 1,2$.

Обращаясь теперь к равенствам (97) и (***) и решая их совместно, получим след. соотношение, справедливое при отсутствии эл. торможения:

$$f_k (f_k + \alpha f_{рук}) = \frac{1}{L} \sum^P f_i (f_i + \alpha f_{рук}) l_i.$$

В виду малого значения членов, пропорциональных $\alpha f_{рук}$ по сравнению с др. членами этого равенства, допустимо принять

$$\alpha f_k f_{рук} \approx \frac{\alpha f_{рук} \sum^P f_i \Delta l_i}{L}.$$

При этом

$$f_k = \sqrt{\sum^P f_i^2 \Delta m_i},$$

где $m_i = \frac{l_i}{L}$.

В том случае, если применяется эл. торможение, то, как ясно из предыдущего:

$$f_k = \sqrt{\sum^P i_i^2 m_i + \eta^2 \sum^q f_t^2 m_t}$$

В этой ф-ле первая сумма (P) относится к элементам пути, на к-рых ТД работает на моторном режиме, и вторая сумма (q) — на тормозном (при эл. торможении). Преобразуем полученное равенство, воспользовавшись соотношением:

$$r + l_i f_i = \frac{\varphi_i P}{P + Q}.$$

¹ В предыдущих рассуждениях мы пренебрегали влиянием на охлаждение дв-ля дополнительных стоянок на оборотных пунктах, полагая, что при этом дв-ль не вентилируется и стоянки коротки. Если на конечных стоянках дв-ль вентилируется, то их влияние можно учесть, приняв за расчетную длину участка:

$$L = \text{длина участка} + \frac{\text{продолжит. конечн. стоянок}}{\text{ср. техн. скорость}}.$$

НТБ
ДНУЗТ

В таком случае получим след. основное выражение для определения коэф-та. $\varphi_{\infty} = \frac{Z_{\infty}}{P}$ при длительном режиме двигателя

$$\varphi_{\infty} = C\varphi_{рук} \sqrt{\sum^P \left(l_i \frac{i_l + r}{i_{рук} + r} \right)^2 n_i + \eta^2 \sum^q \left(\frac{l_t + r}{l_{рук} + r} \right)^2 n_t} \quad (104)$$

В состав подъемов l_i д. б. включены пусковые подъемы, определенные согласно п. 3 настоящего разд. (XII).

Определив φ_{∞} , пользуясь универсальной характеристикой дв-ля и зная отношение $\alpha = \frac{I_{\infty}}{I_h}$ легко определим

$$\varphi_h = \frac{Z_h}{P}$$

При этом потребная часовая мощность дв-ля равна:

$$W_h \approx \frac{\varphi_h P v_{рук}}{367} \text{ kW.}$$

Для упрощения расчетов рекомендуется предварительно просуммировать длины элементарных уч-ков пути, имеющих одинаковые или близкие по своему значению подъемы, и в дальнейшем оперировать с их суммарной длиной. Для учета нагрева дв-ля в пер. пуска надлежит вводить в расчеты пусковой подъем согласно п. 3 настоящего разд.

ХIII. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

1. ОБЩИЙ ХОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМ ВЫБОРЕ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Общий ход решения задачи о предварительном выборе ТД сводится к рассмотрению ряда вариантов весов поезда и характеристик дв-ля и получающихся при этом эксплуатационных расходов, характеризующихся коммерческой скоростью, уд. расходом энергии, а также и весом самого дв-ля.

Каждый из вариантов характеризуется след. исходными величинами:

- 1) Универсальной характеристикой дв-ля и принятым режимом регулировки поля.
- 2) Весом поезда Q и сц. в. локомотива P .
- 3) Скоростью выхода на автоматическую характеристику v_1 .
- 4) Ускорением при пуске a .
- 5) Скоростью начала торможения v_3 .
- 6) Замедлением при торможении b .

Скорость выхода на характеристику лежит обычно в пределах от 0,5 до 0,75 от максимальной скорости дв-ля:

$$0,5 v_{max} < v_1 < 0,75 v_{max}.$$

2. УНИВЕРСАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕРИЕСНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Универсальная характеристика серийного дв-ля постоянного тока по Richey представлена на фиг. 30. Кривые 1 дают средние значения усилия тяги и скорости в зависимости от силы тока дв-ля. Кривые 2 и 3 дают пределы возможных отклонений в зависимости от особенностей того или иного дв-ля, и в этих пределах можно выбрать желаемую характеристику для выбираемого дв-ля. Все величины на фиг. 30 выражены в прсц. от их значения при часовом режиме.

Универсальные характеристики дают аналитическую зависимость силы тяги от скорости в след. виде, предложенном Carter:

$$v = \frac{200 kW_h}{Z + 0,3 Z_h} + 0,58 v_h, \quad (105)$$

где kW_h — часовая мощность дв-ля в kW.

ИТЬ
ДНУЗТ

Иначе эту ф-лу можно представить след. обр:

$$v = v_h \left(\frac{0,55}{0,3 + \frac{Z}{Z_h}} + 0,58 \right) \quad (105')$$

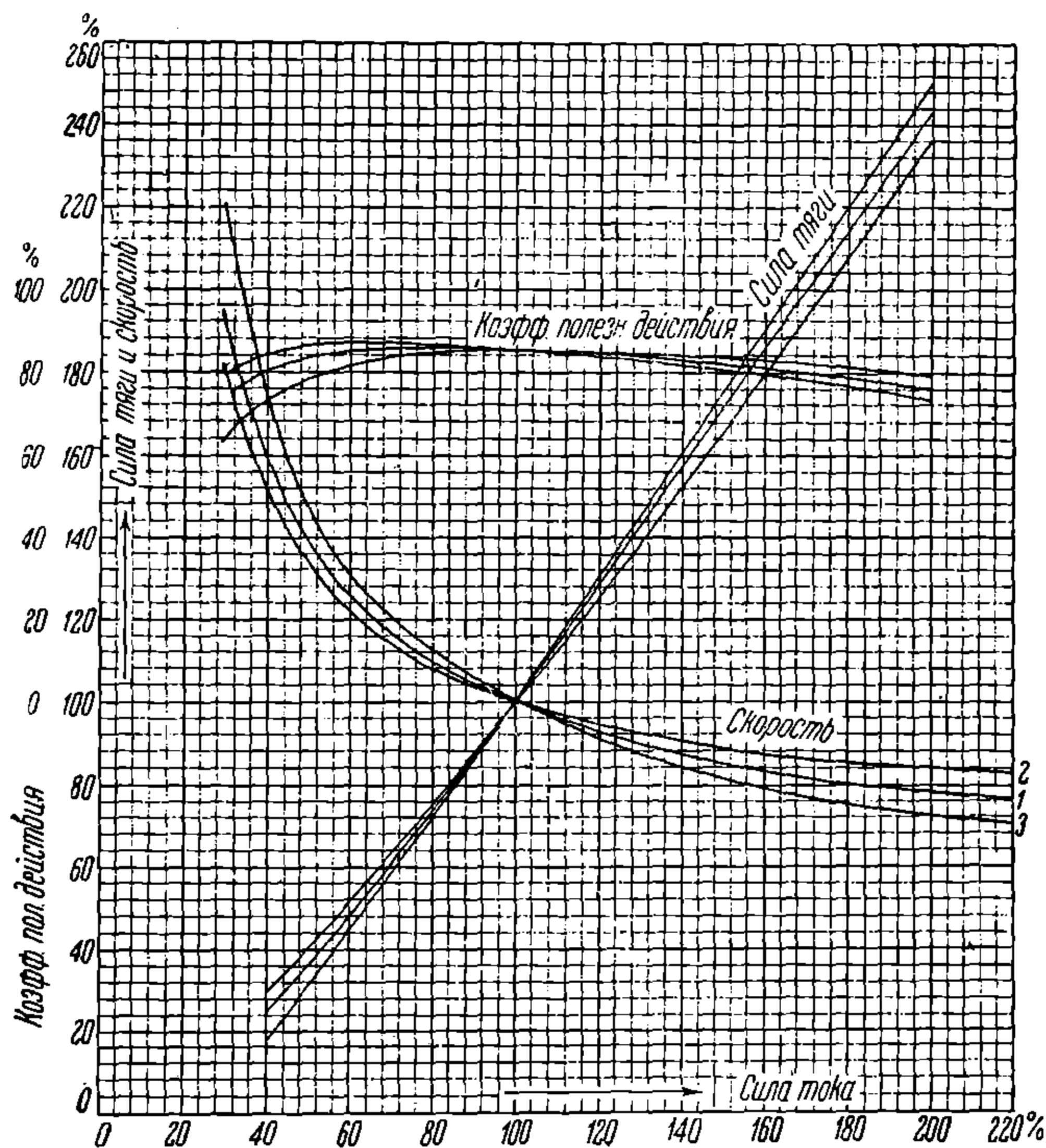
Для дв-лей коллекторных серийных однофазного тока электровозного типа (свыше 350 kW) можно пользоваться аналитической зависимостью:

$$v = \frac{270 kW_h}{Z + 0,4Z_h} + 0,475 v_h. \quad (106)$$

и для дв-лей небольшой мощности:

$$v = \frac{490 kW_h}{Z + 0,648 Z_h} + 0,187 v_h, \quad (107)$$

Перестройка характеристик на ослабленное поле и пониженное напряжение для дв-лей постоянного тока рассматриваются в тяговых расчетах, и на них мы здесь не останавливаемся.



Фиг. 30

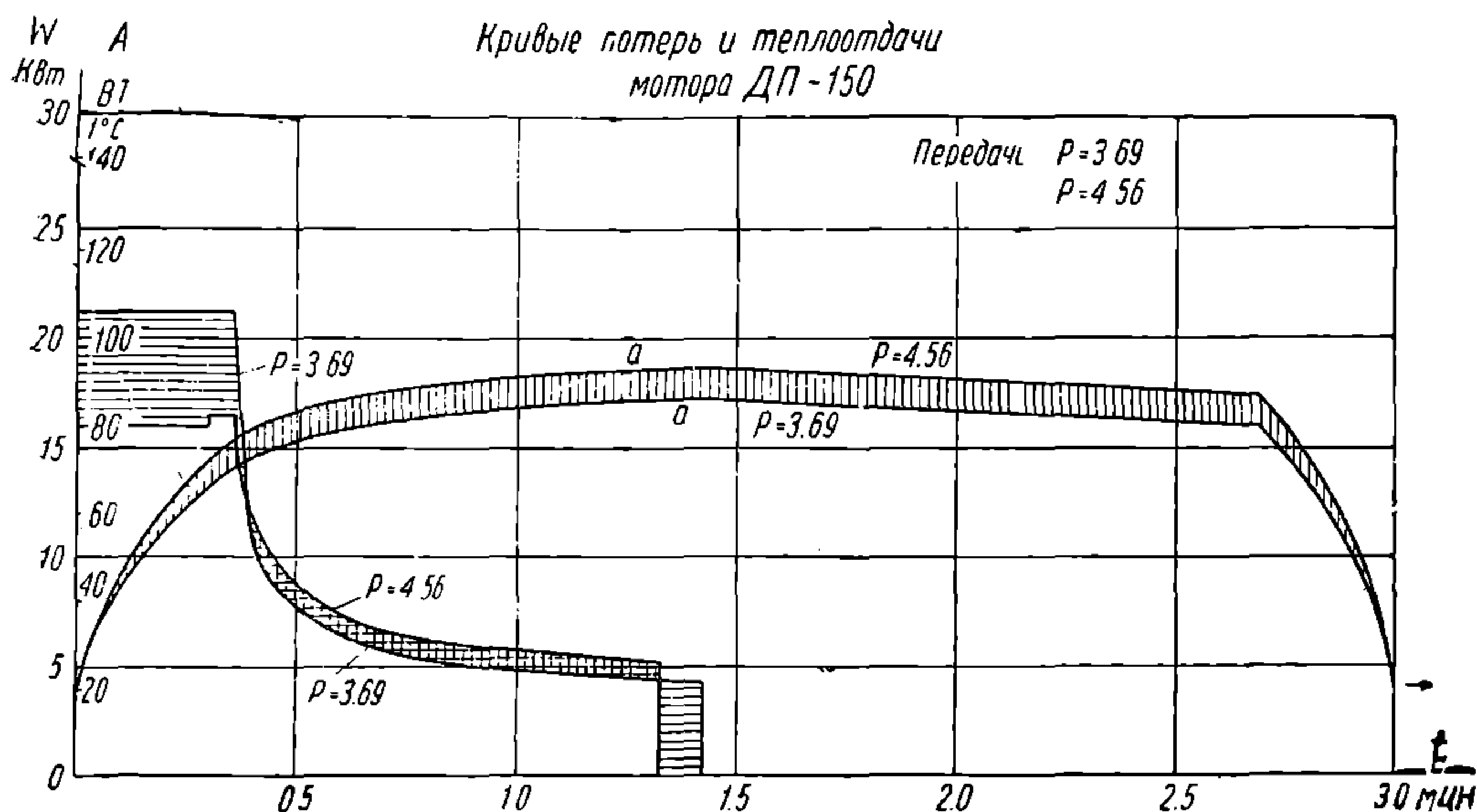
Универсальная характеристика м. б. также получена путем перестройки характеристики реального ТД, близкого по своим данным к требующемуся для наших условий.

3. ЗНАЧЕНИЕ РЕГУЛИРОВКИ ПОЛЯ

В целях лучшего использования всего эл.-тягового оборудования выгодно применять регулировку поля. В серийном дв-ле м/в регулировка поля сводится к пуску при полном поле и переходу при скорости $v = v_1$ на ослабленное поле.

ДНУЗТ

Выгода работы по двум характеристикам становится ясной из рассмотрения фиг. 31, на к-рой представлены зависимости нагревающих потерь и коэф-т уд. теплоотдачи a от времени при пробеге одного и того же перегона с одинаковыми ср. ходовыми скоростями двух тождественных м/в, оборудованных эл./дв-лями «ДП-150». В первом случае дв-ль имеет передачу 3,69 и работает без регулировки поля, а во втором—имеет передачу 4,56 и работает с регулировкой по двум характеристикам: пуск—при полном поле, движение—при ослабленном. Из рассмотрения фиг. 31 ясно, что применение регулировки поля при большом количестве регулировочных ступеней



Фиг. 31

может обеспечить $I_{\infty} = \text{const}$ в течение всего пер. работы дв-ля под током, что влечет за собой сведение к минимуму джоулевых потерь в дв-ле. При 2 ступенях регулировки поля мы значительно ближе подходим к этому пределу по сравнению с 1 ступенью.

В частности в разбираемом примере имеем:

Табл. 12

Число ступеней регулировки поля	Передаточное число	Пусковой ток А	Энергия джоулевых потерь в дв-ле $W = I^2 \text{ А}^2 \text{ сек.}$
1 ступ.	3,69	385	54 000
2 ступ.	4,56	300	32 500
Р а з н и ц а			21 500

В примере: продолжительность пускового пер. $t = 25$ сек.

сопротивление дв-ля $R = 0,145 \text{ }\Omega$

пусковое ускорение $a = 0,45 \text{ м/сек}^2$.

Из фиг. 31 ясно, что при той же полезной работе, совершенной дв-лем в случае применения регулировки поля имеем:

а) уменьшение количества тепловой энергии, выделенной в обмотках (уменьшение средних потерь);

б) увеличение уд. теплоотдачи дв-ля, полагая, что последний — самовентилирующийся ¹. Это положение объясняется тем обстоятельством, что увеличение передаточного числа с 3,69 до 4,56 при сохранении скорости поездов повысило угловую скорость якоря дв-ля в $\frac{4,56}{3,69} = 1,25$ раза. Подсчеты показывают, что перегрев дв-ля при переходе к работе по двум характеристикам снижается на 15%;

¹ При моторвагонной тяге, как правило, применяются самовентилирующиеся ТД.

НТБ
ДНУЗТ

в) снижение расхода энергии за счет уменьшения пусковых потерь в реостатах и дв-лях и уменьшение пускового тока, благоприятно сказывающиеся на мощности и надежности работы п/ст и контактной сети.

Нагон опозданий в случае применения регулировки поля м. б. получен за счет сокращения выбега, к-рый для нормальных условий д. б. выбран т. о., чтобы при его устранении средняя ходовая скорость повысилась на 5—7%.

4. УСКОРЕНИЕ И ЗАМЕДЛЕНИЕ

Задаемся ускорением и тяговым усилием при пуске. Верхний предел ускорения определяется условием сцепления:

$$a = \frac{\psi_n P - (r + i)}{102 (1 + \gamma)} \text{ м/сек}^2, \quad (108)$$

где: r — уд. сопротивление на прямом горизонтальном уч-ке (кг/т); i — уд. сопротивление от подъема (кг/т); $102 = \frac{1000}{9,81}$; $(1 + \gamma)$ — коэф-т инерции вращающихся масс; ψ_n — эксплуатационный коэф-т сцепления с учетом коэф-та использования сц. в. при пуске; $P\psi_n = Z_n = nF_n$ — среднее тяговое усилие, развиваемое локомотивом при пуске; F_n — тяговое усилие, развиваемое одним дв-лем при пуске; n — число дв-лей.

При коротких перегонах увеличение ускорения позволяет сильно повысить коммерческую скорость поезда. Это повышение выгодно для пассажиров; кроме того оно сокращает необходимый для перевозок подвижной состав и количество бригад. Поэтому для моторвагонной тяги выгодно идти на возможное повышение ускорения при пуске.

Обычные величины применяемых средних ускорений за период пуска ускорений a для различных видов эл. тяги приведены ниже:

магистральные товарные эл/в	0,05—0,15 м/сек ²
магистральные пассажирские эл/в	0,1 — 0,25 »
маневровые эл/в	0,15—0,2 »
пригородные м/в и метро	0,4 — 0,8 »
трамвай	0,3 — 1,5 »

Для того чтобы иметь возможность повысить ускорение, применяют автоматический пуск, позволяющий получить полную закономерность в изменении тягового усилия при пуске, держа максимум его при переходе на след. ступень на пределе сцепления.

Кроме того с этой же целью в последнее время в ваг. начали применять плавный пуск с помощью коллекторного контроллера с большим количеством пусковых ступеней. При этом переход с одной ступени на др. не вызывает заметного изменения тягового усилия, и весь пуск может производиться на пределе сцепления.

Примерные величины отношения среднего тягового усилия при пуске к сц. в., реализуемые для различных типов подвижного состава, след.:

эл/в	0,24
м/в с плавным пуском	0,2 — 0,18
м/в без плавного пуска с колебанием пускового усилия до $\pm 15—20\%$	0,18—0,16

Среднее пусковое тяговое усилие заглушенного дв-ля желательно брать вблизи его часового режима:

$$Z_n = 1 \div 1,2 Z_h \quad (109)$$

При вентилируемом дв-ле среднее пусковое тяговое усилие можно доводить до $Z_n \leq 1,5 - 1,8 Z_h$. (109')

Замедление при торможении м/в пригородных ж. д. и метро принимается в пределах $0,8 \div 1 \text{ м/сек}^2$ и устанавливается в зависимости от скорости начала торможения и применения тормозных регуляторов.

При электровозной тяге замедление устанавливается из расчета тормозного пути на руководящем спуске 800 м при автоторможении и 1200 м — при смешанном торможении (см. § 343 ПТЭ).

КНИТЬ
ДНУЗТ

5. ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ

Найдя согласно п. 4 пусковое тяговое усилие и задаваясь скоростью выхода на автоматическую характеристику (п. 1), находим пусковую мощность дв-ля:

$$W_n = 2,73 Z_n v_n W.$$

Отсюда:

$$I_n = \frac{2,73 Z_n v_n}{\eta_n U},$$

где $\eta = 0,91 \div 0,88$ — кпд дв-ля при пусковой передаче.

Теперь задаемся определенным соотношением $\frac{Z_n}{Z_h}$ согласно соотношению (109) и перестраиваем универсальную характеристику дв-ля, дающую его скорость и тяговое усилие в зависимости от силы тока, выраженные в проц. от их часового значения, в абс. цифрах. Задавшись теперь в зависимости от интенсивности вентиляции дв-ля отношением $\gamma = \frac{I_\infty}{I_h}$ согласно указаниям разд. I, находим I_∞ .

6. ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ДВИЖЕНИЯ

Строим для выбранной характеристики дв-ля кривые движения $v = \psi(t)$ и $I = f(t)$.

После этого определяем ср.-квадратичный ток и по квадратичному току эквивалентный ток I_3 согласно указаниям разд. X (ф-лы 75 и 78).

Построения ведутся для простоты на эквивалентном перегоне, определение к-рого дано в п. 9.

При построении кривых движения м/в предусматриваем выбег, снижающий время хода на 5—7%.

Если полученный из расчета $I_3 < I_\infty$, то дв-ль годен по мощности, в противном случае, сохраняя ту же величину пускового тягового усилия и скорости выхода на характеристику, уменьшаем соотношение $\left(\frac{F_n}{F_h}\right)$ с таким расчетом, чтобы $I_\infty = (1,05 \text{ — } 1,1) I_3$, после чего перестраиваем кривые движения и проверяем на I_3 .

Из диаграммы движения находим время хода и уд. расход энергии.

7. КОММЕРЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ

По времени хода определяем коммерческую скорость поезда.

8. НАХОЖДЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

По коммерческой скорости и уд. расходу энергии находим экономический эффект, т. е. величину капиталовложений и эксплуатационных расходов, учитывая, что увеличение коммерческой скорости снижает потребное количество подвижного состава, содержание поездных бригад и выгодно для пассажиров.

Кроме того учитываются размеры и стоимость самого дв-ля.

По этим данным из ряда рассмотренных вариантов выбирают оптимальный. Выбранный дв-ль подвергается затем окончательной проверке на нагрев и экономику на реальном профиле.

9. ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ПЕРЕГОН

При предварительных подсчетах, являющихся основанием для выбора дв-ля, работающего с частыми остановками (м/в), уд. расход энергии удобно определять для эквивалентного перегона. Обычно эквивалентный перегон берется равным ср.-арифметическому значению длин отдельных перегонов, при чем на всем эквивалентном перегоне принимается постоянный уклон, равный эквивалентному, определяемому согласно ф-ле (111) (см. ниже):

$$l_3 = \frac{L}{n}, \tag{110}$$

где: L — длина линии, n — число перегонов на линии.

НТБ
ДНУЗТ

В тех случаях, когда рассматриваемая сеть дорог имеет несколько отдельных маршрутов с различными эквивалентными подъемами, интенсивностью движения, длиной перегонов и др. факторами, рационально вводить длину эквивалентного перегона и его подъем как ср.-взвешенное значение за суточный график. В таком случае:

$$l_{\text{э}} = \frac{N_1 L_1 + N_2 L_2 + N_3 L_3 + \dots}{n_1 N_1 + n_2 N_2 + n_3 N_3 + \dots} \quad (111)$$

$$l_{\text{э}} = \frac{i_{\text{э}_1} N_1 L_1 + i_{\text{э}_2} N_2 L_2 + i_{\text{э}_3} N_3 L_3 + \dots}{N_1 L_1 + N_2 L_2 + N_3 L_3 + \dots}, \quad (112)$$

где: N — ср.-суточное количество поездов по отдельным маршрутам; n — число перегонов на этих маршрутах; L — длина отдельных маршрутов; $i_{\text{э}}$ — эквивалентный подъем для этих маршрутов.

10. ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ПОДЪЕМ

Эквивалентный подъем учитывает повышение средней величины уд. сопротивления движению по сравнению с сопротивлением на прямом горизонтальном уч-ке вследствие наличия на перегоне подъемов, уклонов и кривых.

В том случае, если на перегоне нет кривых и на спусках не производится искусственного подтормаживания, потенциальная энергия, запасенная поездом при движении на подъем, используется за счет развития скорости на уклонах. При этом очевидно

$$i_{\text{э}} = i_m,$$

при чем i_m — средний геометрический уклон уч-ка, определяемый согласно фиг. 32 равенством

$$i_m = \frac{\sum_{i=1}^n i_i l_i}{L} = \frac{1000 H}{L}, \quad (113)$$

где: i_i — абс. величина сопротивления от подъема в $\text{кг}/\text{м}$, взятая в ф-ле (113) со знаком (+) для подъемов и знаком (-) для уклонов; l_i — длина соответствующего элемента профиля в м; H — разность высот в м между крайними точками уч-ка длиной L м.

Для того чтобы на вредном уклоне поддержать постоянную скорость, необходимо увеличить искусственно путем подтормаживания сопротивление движению на величину

$$\text{где } i_{\text{вр}} < r,$$

$$\Delta r = (i_{\text{вр}} + r) \text{ кг}/\text{м},$$

т. к. только при этом будет соблюдено условие

$$i_{\text{вр}} + r + \Delta r = 0,$$

необходимое для равномерного движения по уклону $i_{\text{вр}}$. Обычно вредными уклонами считаются все уклоны, абс. величина сопротивления к-рых больше уд. сопротивления движению при соответствующей скорости спуска:

$$|i_{\text{вр}}| > r.$$

Распределяя работу по преодолению дополнительного сопротивления Δr от подтормаживания на всю длину уч-ка и учитывая в эквивалентном подъеме сопротивление кривых, получаем след. выражение:

$$i_{\text{э}} = i_m + \frac{\sum l_{\text{вр}} (i + r)_{\text{вр}} + \sum (r l)_{\text{крив}}}{L} \quad (114)$$

Здесь: $(i + r)_{\text{вр}}$ д. б. взято равным сопротивлению движения для скорости спуска с вредного уклона; $(r l)_{\text{крив}}$ — соответственно сопротивление от кривой и длина элемента кривой.

НЕЛЬЗЯ
ДНУЗТ

11. ПОЛУЧЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭНЕРГИИ ИЗ ТЯГОВОГО РАСЧЕТА

Уд. расход энергии м. б. получен 2 способами: а) из тягового расчета, б) аналитически из подсчета работы, совершаемой дв-лем на перегоне.

Первый способ основан на нахождении расхода тока на токоприемнике поезда:

$$S = \int_0^{\Gamma} I dt, \quad (115)$$

где I — сила тока, потребляемая поездом:

$$I = NI.$$

N — число параллельных цепей эл. дв-лей, Γ — время пробега.

Величина S определяется из кривой $I = \varphi(t)$, построенной на основании кривых движения (фиг. 4) для эквивалентного перегона или целого маршрута.

В таком случае уд. расход энергии равен:

$$\omega = \frac{SU \cdot 1000}{(P + Q) \cdot 3600 L} = \frac{SU}{3,6 (P + Q) L} \text{ Wh/т-км.} \quad (116)$$

Здесь P — вес поезда в t ; L — длина эквивалентного перегона (или маршрута) в m ; U — напряжение в V ; S — расход тока на токоприемнике поезда в A -сек согласно ф-ле (112).

Пример: Согласно фиг. 4 имеем: $S = 525 \text{ A-мин} = 525 \cdot 60 \text{ A-сек}$ на вагонную секцию $(P + Q) = 154 \text{ т}$ $U = 1500 \text{ V}$, $L = 2500 \text{ м}$.

$$\omega = \frac{(525 \cdot 60) \cdot 1500}{3,6 \cdot 154 \cdot 2500} = 34 \text{ Wh/т-км.}$$

12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭНЕРГИИ АНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Аналитический способ определения уд. расхода энергии основан на подсчете работы, совершаемой дв-лем. Уд. расход энергии при отсутствии рекуперативного торможения м. б. представлен как сумма след. слагаемых;

$$\omega = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) \text{ Wh/т-км,} \quad (117)$$

где: ω_1 — уд. расход энергии на преодоление сопротивления движению; ω_2 — уд. расход энергии на развитие живой силы поезда, поглощаемой в тормозах; ω_3 — уд. расход энергии, теряемой в реостатах при пуске; ω_4 — уд. расход энергии, теряемой в самом дв-ле и передаточном механизме.

Этот подсчет ведется обычно для среднего перегона, характеризуемого след. данными:

Длина эквивалентного перегона	. $l \text{ м.}$
Скорость начала торможения	. $v_3 \text{ км/ч.}$
Скорость выхода на автоматическую характеристику	. $v_1 \text{ км/ч.}$
Замедление при торможении	. $b \text{ м/сек}^2.$
Среднее сопротивление движению	. $r \text{ кг/т.}$
Сопротивление от эквивалентного подъема согласно ф-ле (111)	. $i_3 \text{ кг/т.}$

При этом имеем:

$$\begin{aligned} W_1 &= 1000 (r + i_3) \text{ кг м/т-км} = 9,81 \cdot 1000 (r + i_3) \text{ W-сек/т-км} = \\ &= \frac{9,81 \cdot 1000}{3600} (r + i_3) \text{ Wh/т-км,} \end{aligned}$$

откуда

$$\omega_1 = 2,73 (r + i_3) \text{ Wh/т-км.} \quad (118)$$

Живая сила 1 t массы поезда в момент начала торможения равна:

$$P_3 = \frac{(1 + \gamma) \cdot 1000}{2 \cdot 9,81} \left(\frac{v_3}{3,6} \right)^2 \text{ кг-м.}$$

НТБ
ДНУЗТ

Часть этой живой силы пойдет на преодоление сопротивления движению $(r + i_3)$ на тормозном пути $l_m = \left(\frac{v_3}{3,6}\right)^2 \frac{1}{2b}$, где l_m — тормозной путь в м.

В таком случае уд. расход энергии, затрачиваемой на торможение, равен:

$$\omega_2 = \frac{1000}{2L} \left[\frac{1000}{9,81} (1 + \gamma) - (r + i_3) \frac{1}{b} \right] \left(\frac{v_3}{3,6}\right)^2 \text{ кг-м/т-км},$$

откуда имеем:

$$\omega_2 = \frac{1}{L} \left(\frac{v_3}{3,6}\right)^2 \left[139 (1 + \gamma) - \frac{1,37 (r + i_3)}{b} \right] \text{ Wh/т-км.} \quad (119)$$

Для определения уд. расхода энергии, затрачиваемой на потери в реостатах, обратимся к фиг. 33. Из фиг. ясно, что энергия, потерянная в реостатах выражается суммой площадей заштрихованных тр-ков (площадью atk). Следовательно, если n — число ступеней соединений дв-лей, то искомая энергия равна $\frac{1}{n}$ части энергии, полезно затраченной на разгон поезда.

В таком случае для ω_3 получаем след. выражение:

$$\omega_3 = \frac{139 (1 + \gamma)}{L \cdot n} \left(\frac{v_3}{3,6}\right)^2 \text{ Wh/т-км.} \quad (120)$$

Наконец, последний член, характеризующий потери в самом дв-ле и передаче, равен:

$$\omega_4 = \left(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 \right) \frac{1 - \eta}{\eta}, \quad (121)$$

где η — КПД дв-ля с передачей, равной в среднем ок. 0,9.

Пример 1. Дано: $r = 3 \text{ кг/т}$; $i_3 = 4 \text{ кг/т}$; $v_1 = 50 \text{ км/ч}$; $v_3 = 60 \text{ км/ч}$; $n = 2$; $b = 0,8 \text{ м/сек}^2$; $L = 2000 \text{ м}$; $(1 + \gamma) = 1,08$.

$$\omega_1 = 2,73 (3 + 4) = 19,1 \text{ Wh/т-км.}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{2000} \left(\frac{60}{3,6}\right)^2 \left(139 \cdot 1,08 - \frac{1,37 \cdot 7}{0,8} \right) = 19,0 \text{ Wh/т-км.}$$

$$\omega_3 = \frac{139 \cdot 1,08}{2000 \cdot 2} \left(\frac{50}{3,6}\right)^2 = 7,3 \text{ Wh/т-км.}$$

$$\omega_4 = \frac{19,1 + 19,0 + 7,3}{0,9} \cdot 0,1 = 3,9 \text{ Wh/т-км.}$$

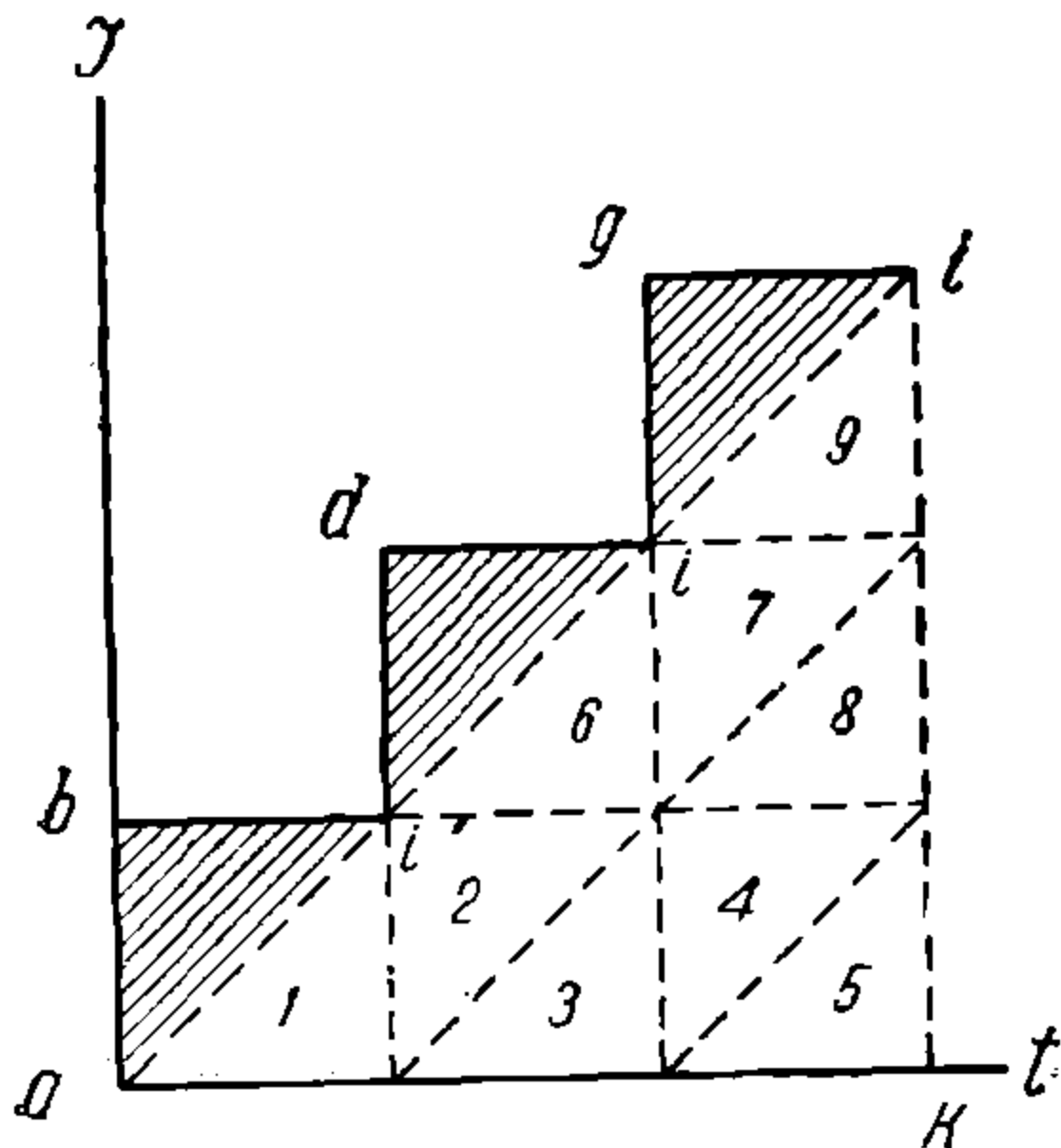
$$\omega = 19,1 + 19,0 + 7,3 + 3,9 = 39,3 \text{ Wh/т-км.}$$

Из этого подсчета ясно, что наибольшее влияние на расход энергии имеют составляющие сопротивления движению и потери в тормозах.

Пример 2. Найдем уд. расход энергии по данным фиг. 3.

Дано: $r + i_3 = 5 \text{ кг/т}$; $v_1 = 45 \text{ км/ч}$; $v_3 = 50 \text{ км/ч}$; $b = 0,8 \text{ м/сек}^2$; $L = 2500 \text{ м}$.

$$\omega_1 = 2,73 \cdot 5 = 13,65 \text{ Wh/т-км.}$$



Фиг. 33

ПТБ
ДНУЗТ

$$\omega_2 = \frac{1}{2500} \left(\frac{50}{3,6} \right)^2 \left(139 \cdot 1,08 - \frac{1,37 \cdot 5}{0,8} \right) = 11,00 \text{ Wh/т-км.}$$

$$\omega_3 = \frac{139 \cdot 1,08}{2500 \cdot 2} \left(\frac{45}{3,6} \right)^2 = 5,90 \text{ Wh/т-км.}$$

$$\omega_4 = \frac{13,65 + 11,00 + 5,9}{0,9} \cdot 0,1 = 3,40 \text{ Wh/т-км.}$$

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 \sum_1^4 \omega = 33,95 \text{ Wh/т-км.}$$

Из диаграммы имеем $\omega \approx 34 \text{ Wh/т-км}$, т. е. почти тождественно с аналитическим вычислением. Аналитическое решение рекомендуется применять всегда для проверки результата, полученного из диаграммы тока. В случае применения рекуперативного торможения на вредных уклонах уд. расход энергии равен:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4' - \omega_5. \quad (122)$$

Здесь ω_5 — уменьшение уд. расхода энергии вследствие возврата энергии в сеть при рекуперации на вредных уклонах.

$$\omega_5 = 2,73 \eta \frac{\sum (l + r)_{сп} l_{сп}}{L}. \quad (123)$$

Член ω_4' заменяет собой ω_4 при езде без рекуперативного торможения:

$$\omega_4' = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_5}{\eta} (1 - \eta). \quad (124)$$

Пример 3. Произведем подсчет уд. расхода энергии по данным предыдущего примера 1, при чем:

$$\frac{\sum (l + r)_{сп} l_{сп}}{L} = 3 \text{ кгм/т.}$$

$$\omega_5 = 2,73 \cdot 0,9 \cdot 3 = 7,4 \text{ Wh/т-км}$$

$$\omega_4' = \frac{19,1 + 19,0 + 7,3 + 7,4}{0,9} \cdot 1 = 4,8 \text{ Wh/т-км,}$$

откуда

$$\omega = 19,1 + 19,0 + 7,3 - 7,4 + 4,8 = 33 \text{ Wh/т-км.}$$

Зная составляющие уд. расхода энергии, можно получить приблизительное значение эквивалентного тока, пользуясь зависимостью:

$$I_э = \kappa \frac{(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4' + \omega_5) v_c (P + Q)}{N U} \sqrt{\frac{\Gamma}{\Gamma_0}}, \quad (125)$$

где: v_c — коммерческая скорость; $(P + Q)$ — полный вес поезда; N — число параллельных цепей дв-лей; U — напряжение сети; Γ — полное время работы; Γ_0 — время нахождения под током; $k = 1,3 \div 1,35$ — коэф-т перехода от среднего тока дв-ля к эквивалентному. Ф-ла (125) применима для случая рекуперативного и реостатного торможения. В случае отсутствия эл. торможения: $\omega_5 = 0$; $\omega_4' = \omega_4$.

Знак плюс перед ω_5 в формулах (124) и (125) учитывает, что во время действия реостатного или рекуперативного торможения часть энергии теряется в самом двигателе, и двигатель при этом нагревается.

Г Л А В А IV

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

I. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ВОЗБУЖДЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Характерной чертой, определяющей конструкцию вспомогательных машин постоянного тока, является их относительно высокий вольтаж. Дв-ли при мощности от 7 kW выполняются с напряжением на коллекторе до 3000 V. Межсегментные напряжения достигают 50 V. Линейные нагрузки колеблются в пределах 100—200 A/см.

При столь высоких средних межсегментных напряжениях особое внимание обращается на форму полюсного наконечника и величину покрытия. Последнее колеблется в пределах 0,55—0,6. Число полюсов—2—4, в зависимости от размера коллектора (мощности мотора).

Возбуждение вспомогательных машин, питающихся от троллея. Питание от троллейного провода, связанное с колебаниями напряжения, накладывает особые условия на схему возбуждения вспомогательных машин. При КЗ или резком падении напряжения на линии противоэдс вспомогательной машины явится причиной генераторного тока из машины в троллей. При серийной и компаундной характеристике этот обратный ток вызовет размагничивание машины и тем самым уменьшит величину и длительность толчка обратного тока. При шунтовой характеристике такого размагничивания не происходит. При независимом возбуждении процесс идет наиболее неблагоприятно, т. к. магнитный поток неизменен. Толчок обратного тока в этих двух случаях может вызвать перебросы на коллекторе. Кроме того он вызывает затормаживание якоря машины.

Случай выключения питания и в особенности случай отрыва пантографа менее опасны. Если они имеют место при работе на моторном режиме, то противоэдс ТД падает со скоростью, зависящей от параметров мотора. Создается цепь заземления через ТД. Заземление носит однако постепенный характер. При работе при рекуперативном режиме случай выключения напряжения не страшен для вспомогательных машин, т. к. напряжение будет поддерживаться генерирующими моторами.

В случае КЗ на линии при рекуперации одинаковой опасности подвержены ТМ и вспомогательные машины. На этот случай д. б. предусмотрена защитная аппаратура.

Т. о., согласно вышесказанному, наиболее желательна серийная или компаундная характеристика, не боящаяся резких колебаний напряжения в линии.

Применяется также ряд специальных схем, в к-рых серийные катушки возбуждения в машине работают только при обратном токе (см. стр. 290).

Вспомогательные машины, работающие лишь при рекуперации, могут строиться и с независимым возбуждением.

Характеристика вспомогательных машин отечественного производства приведена в табл. 6.

2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Динамотор представляет собой ОП—делитель напряжения (фиг. 1). Обмотки 1 и 2 лежат в одних и тех же пазах якоря и пронизываются, следовательно, одним и тем же потоком. Поэтому напряжения E_1 и E_2 относятся, как числа проводов на пару парал-

лельных ветвей в обмотках 1 и 2. Передаточное число $\frac{E_1}{E_2}$ берется невысоким, т. к.

всегда имеется опасность попадания напряжения E_1 в цепь E_2 . Передаточное число динамотора колеблется в пределах 2—3. Для получения больших передаточных чисел применяются МГ.

Направление токов: моторного I_M , генераторного I_2 и тока холостого хода (при отсутствии нагрузки на проводе $a—a$) I_0 указаны на фиг. 1-а.

Ампер-витки моторной обмотки якоря обратны ампер-виткам генераторной обмотки якоря и больше их лишь на величину $I_0 W_{Я.М.}$, где $W_{Я.М.}$ — число витков якоря мотора. Поэтому реакция якоря определяется лишь ампер витками $I_0 W_{Я.М.}$. При наличии столь небольшой якорной реакции дополнительные полюсы необязательны.

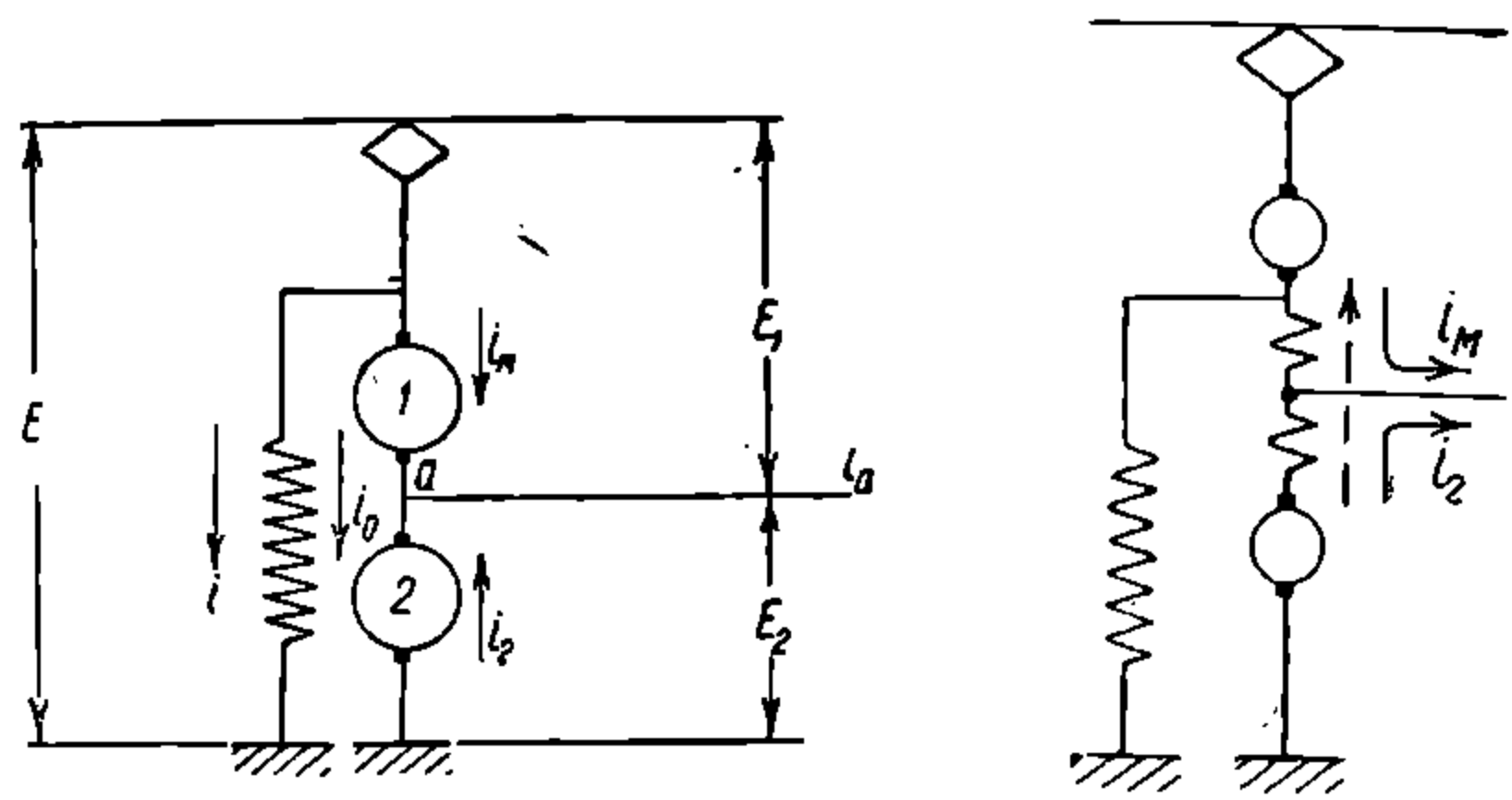
Ток I_0 определяется как ток, создающий вращающий момент. Этот последний д. б. равен тормозящим моментам (от трения в подшипниках, на коллекторе вентилятора, от железных потерь в якоре и зубцах и от возможной механической нагрузки на валу).

Обозначая потери на трение через $V_{тр}$, потери в железе — $V_{жс}$, мощность, потребляемую нагрузкой на валу, — W , получим ток I_0 по ф-ле:

$$I_0 = \frac{V_{тр} + V_{жс} + W}{E}$$

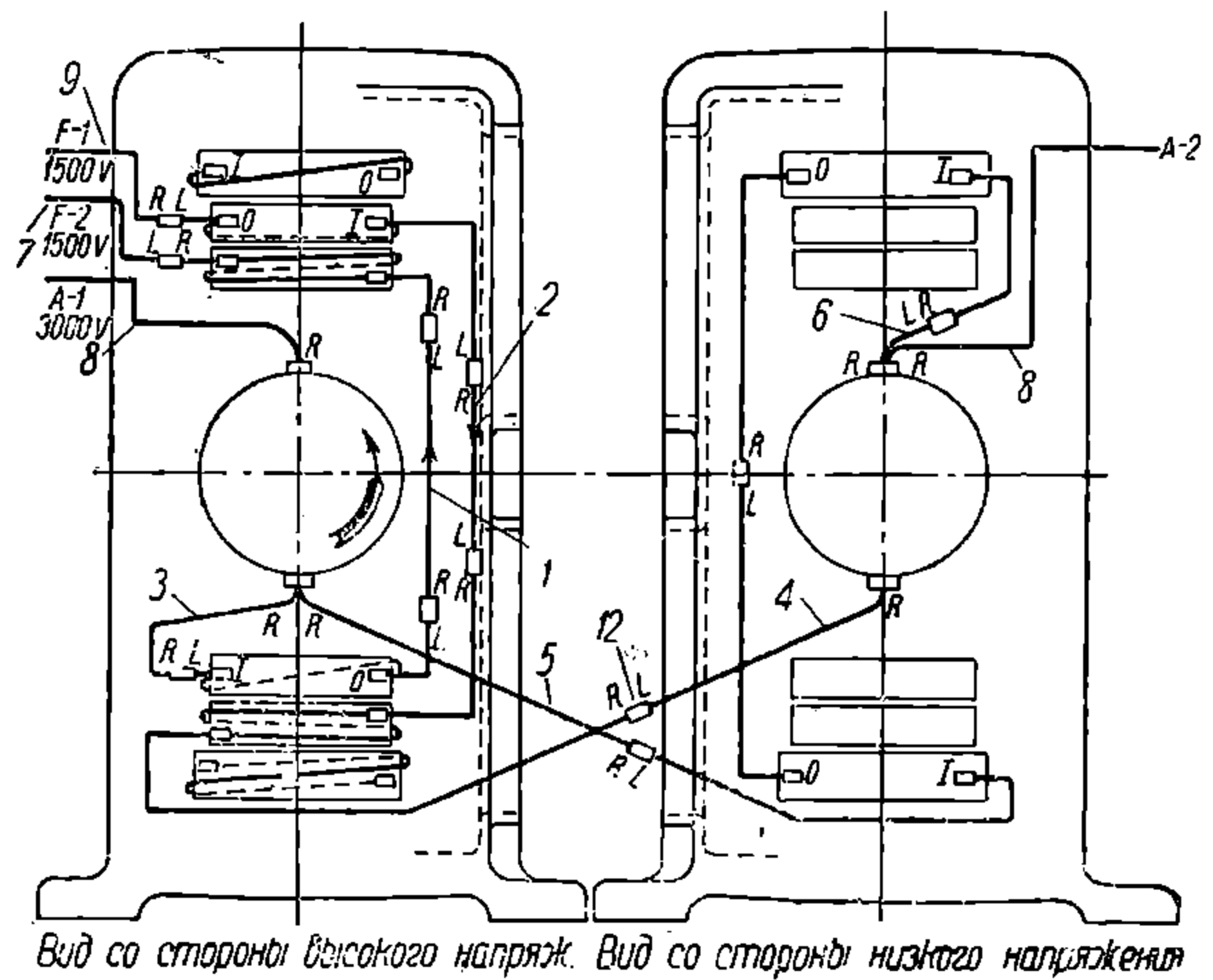
В случае значительной нагрузки W ток I_0 и реакция якоря приобретают значения, при к-рых требуется установка дополнительных полюсов.

Если динамотор не несет какой-либо механической нагрузки и постоянства числа оборотов не требуется, то он м. б. выполнен с серийным возбуждением. Если же требуется постоянное число оборотов, то он выполняется с шунтовым возбуждением. В этом случае для защиты от обратного тока фирма Дженераль Электрик применяет специальные серийные катушки (фиг. 1-а). При нормальном режиме ампер-витки в катушках C взаимно компенсируются (почти). При обратном токе обе катушки действуют совместно, размагничивая динамотор (направление тока по пунктирной стрелке). Данные динамоторов см. табл. 6 и фиг. 2 и 3. На фиг. 2 обозначено: 1—9—кабели и патроны, 12 — гайки, 14 — кабельная буква.



Фиг. 1

Фиг. 1-а



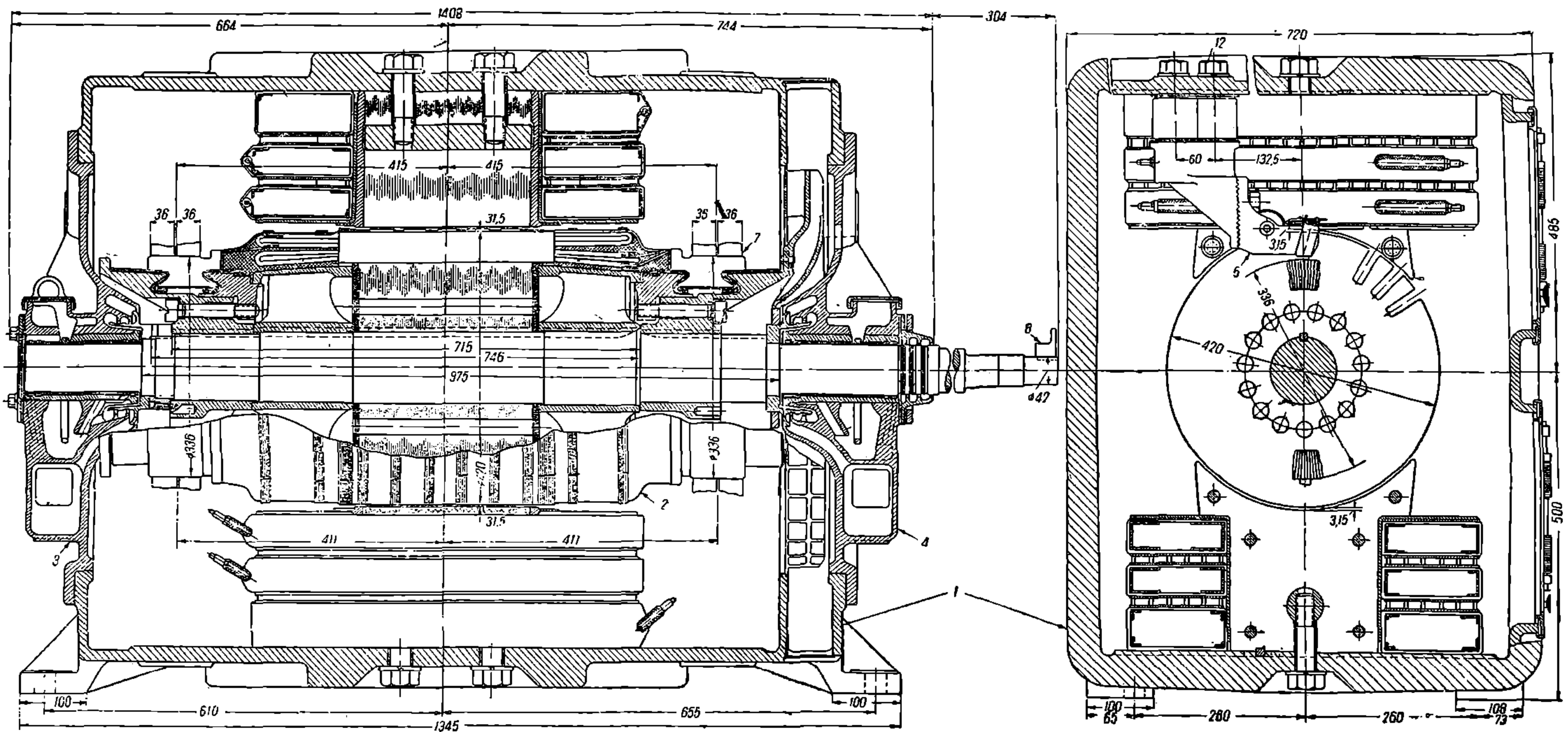
Вид со стороны высокого напряж. Вид со стороны низкого напряжени

Фиг. 2

3. МОТОР-ГЕНЕРАТОРЫ СЛУЖЕБНОГО ТОКА

Основное требование, предъявляемое к этой группе вспомогательных машин, — постоянство напряжения генераторов в пределах, определяемых требованиями осветительной нагрузки. Потребителями энергии указанных МГ являются: цепь управления, цепь освещения и в нек-рых схемах компрессоры.

Т. к. по указанным выше соображениям (см. стр. 289) моторы получают серийную или компаундную характеристику, при к-рой число оборотов агрегата есть ф-ия нагрузки, то для поддержания постоянства напряжения применяется ряд специальных схем, действующих или автоматически, или с помощью регулирующей аппаратуры.



Фиг. 3

НТБ
ДНУЗТ

Простейшая схема с автоматическим регулированием приведена на фиг. 4. По этой схеме возбуждение генератора производится током мотора. Поэтому при увеличении нагрузки одновременно с падением числа оборотов растет возбуждение генератора. Число оборотов агрегата:

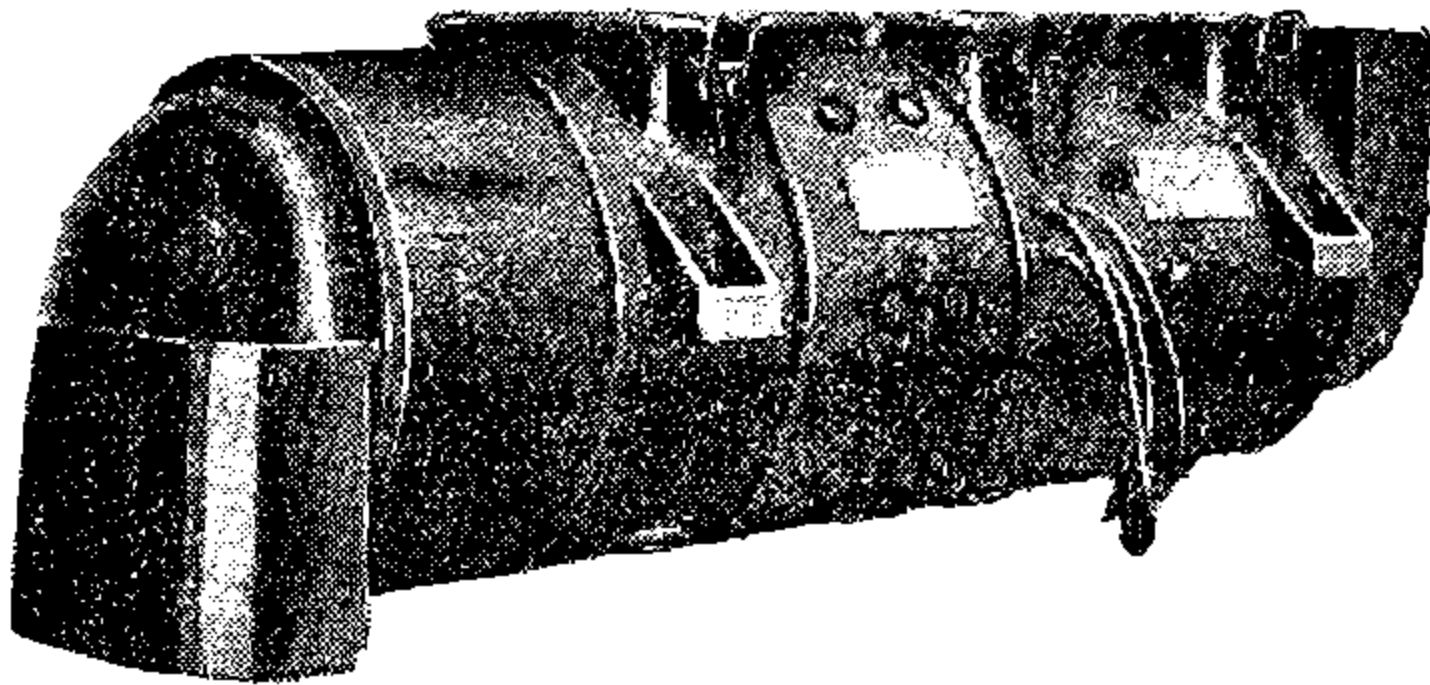
$$n = \frac{E}{\Phi_M}$$

где: E — напряжение на коллекторе мотора, Φ_M — поток мотора. Т. к. при одинаково насыщенных цепях $\Phi_M \equiv \Phi_2$, где Φ_2 — поток генератора, то напряжение на генераторе:

$$E_2 \equiv n \Phi_2 = \frac{E}{\Phi_M} \Phi_2 \equiv E.$$

Т. о., напряжение E_2 зависит в этой схеме лишь от напряжения в троллее и подвержено тем же колебаниям.

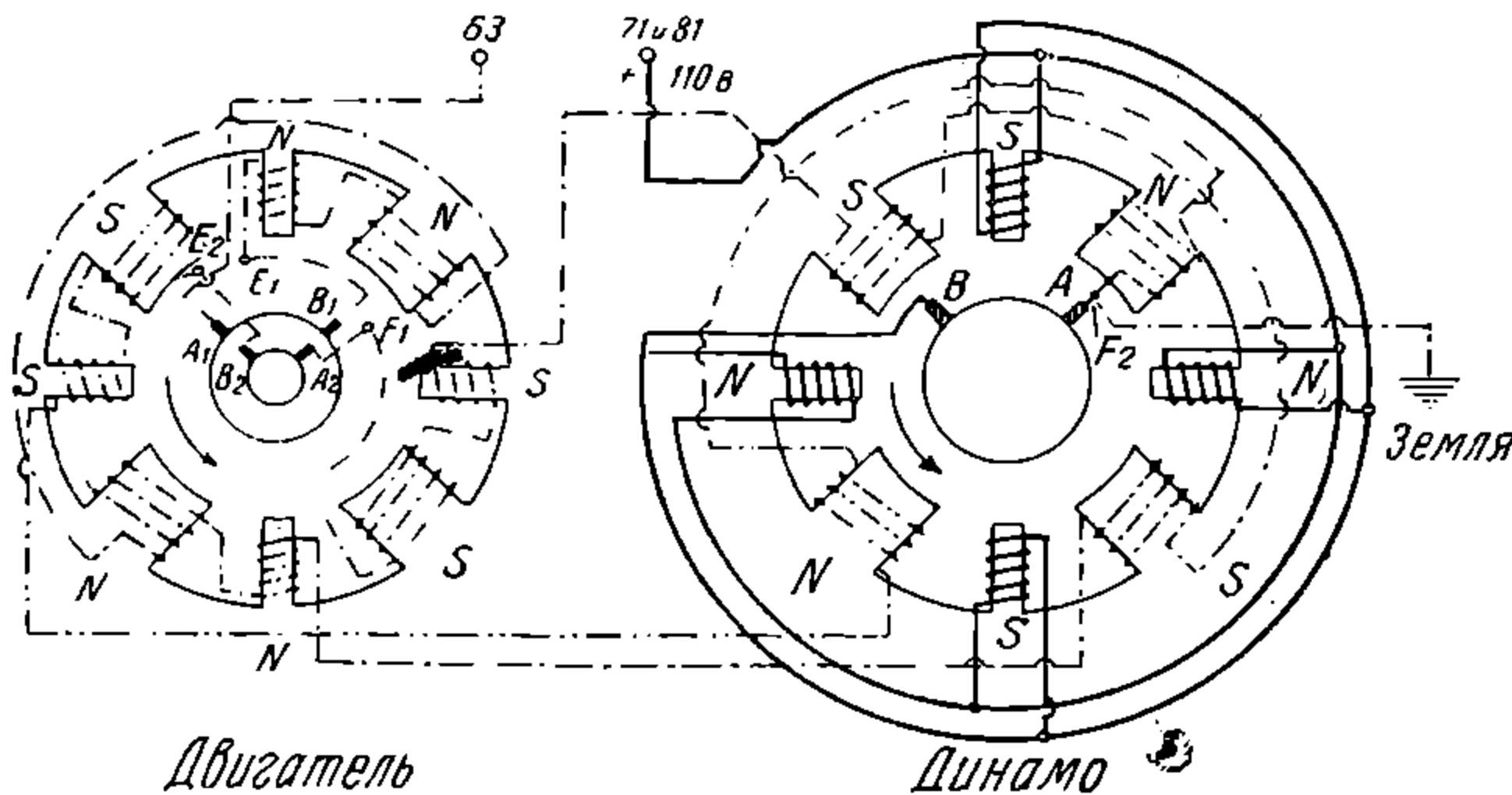
По этому принципу выполнен МГ фирмы Elin для Баку-Сабунчинской ж. д. (фиг. 5).



Фиг. 5

Двухколлекторный мотор (фиг. 6 и 7) агрегата питается от троллейного напряжения 1200 V (или 600 V, см. ниже). Генератор отдает 8 kW при 110 V для питания управления, освещения и МК. Число оборотов агрегата при нормальной нагрузке — 2520 в мин. При холостом ходе число оборотов достигает 3700 в мин. и ограничивается 2 вентиляторами, сидящими на валу агрегата. Агрегат пускается через пусковую панель, выключающую сопротивление (15 Ω) по достижении 30 V на генераторе и включающую его снова при падении напряже-

ния до 10 V. Схема допускает автоматический переход на питание от 600 V, для чего предусмотрен ряд реле, включающих коллекторы моторов и обмотки возбуждения ге-



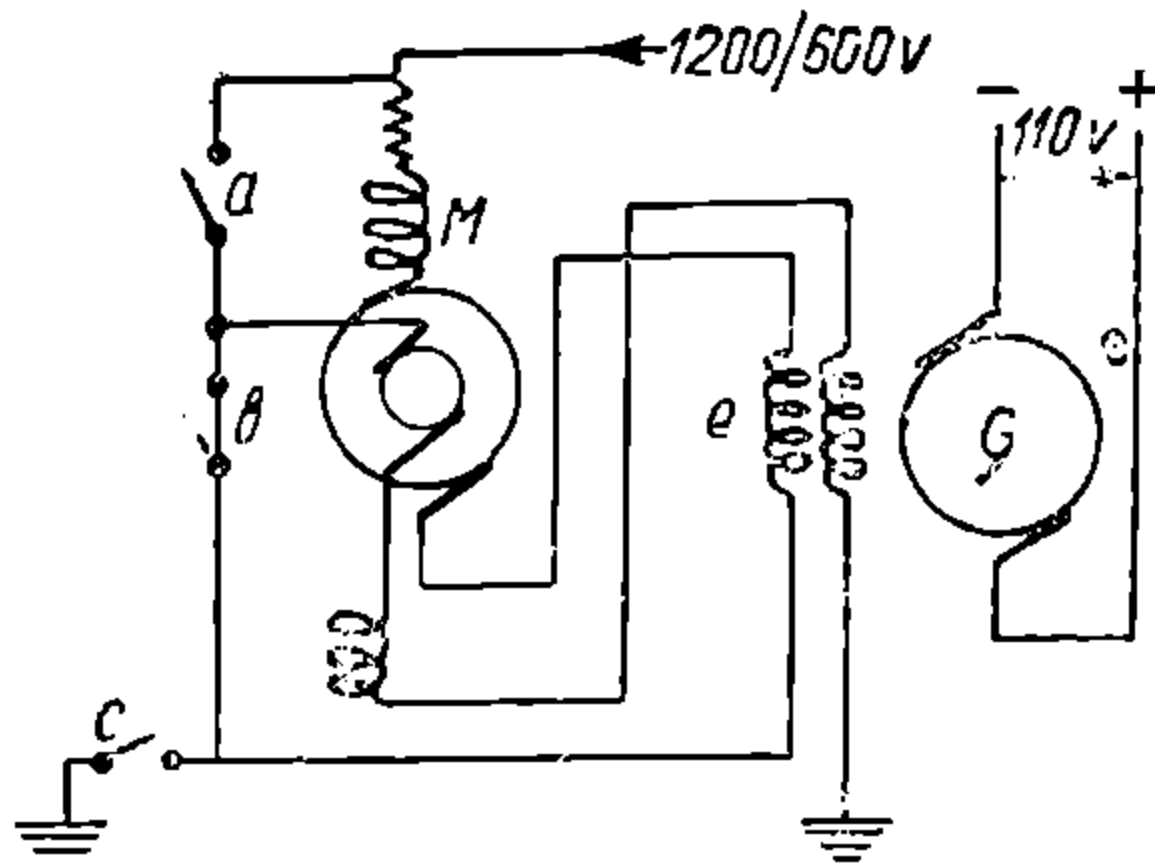
Фиг. 6

нератора в параллель при 600 V и последовательно при 1200 V. При 1200 V на схеме фиг. 7 замкнут лишь к-р e , при 600 V замкнуты к-ры a и c . Вес агрегата—700 кг.

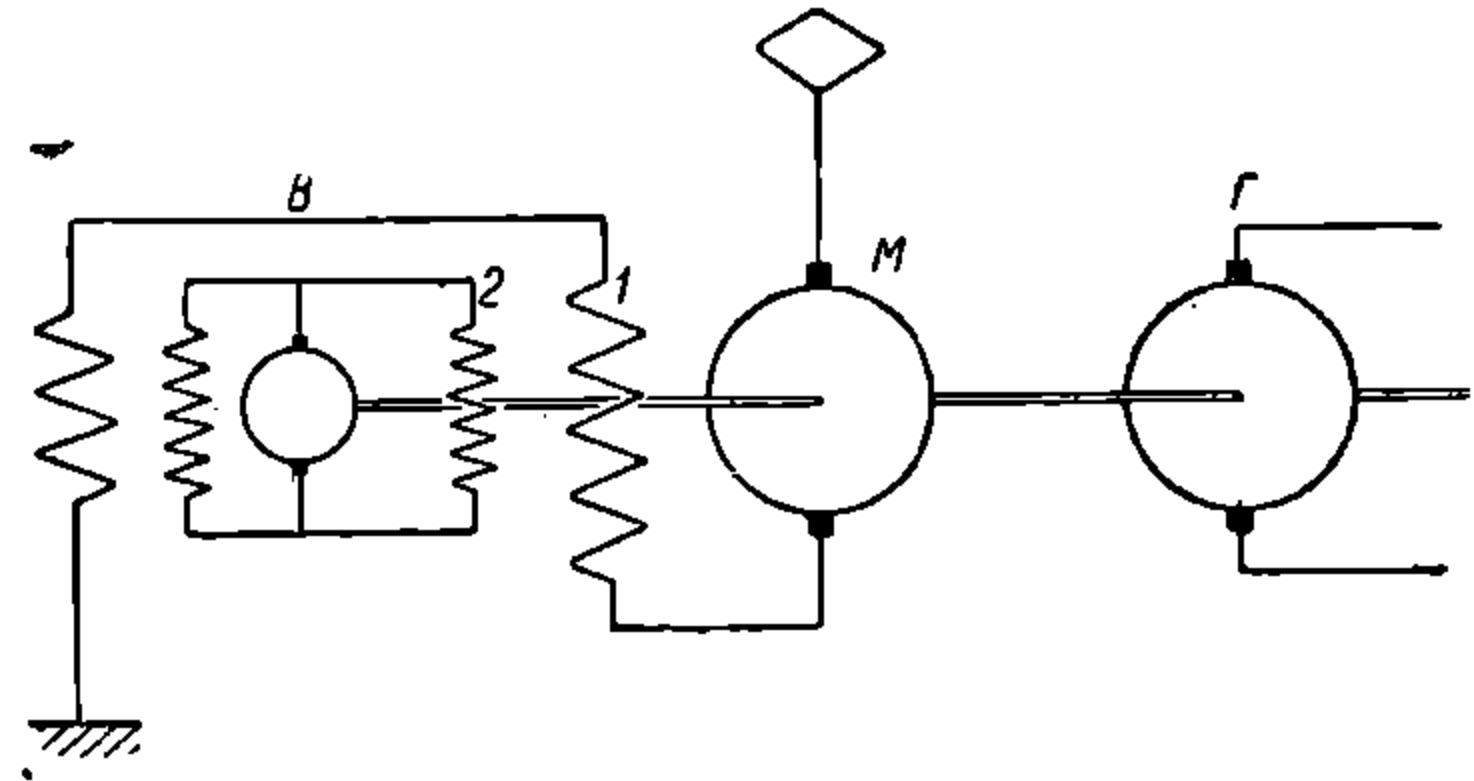
Автоматическое регулирование с помощью возбуждителя выполняется по схеме фиг. 8. В этой схеме: Г—генератор, М—мотор, В—возбудитель. Мотор имеет

НТБ
ДУЭЗТ

2 обмотки возбуждения: сериесную—1 и питающуюся от возбудителя—2. Возбудитель имеет шунтовую обмотку и компаундную, питающуюся током мотора. Назначение по-



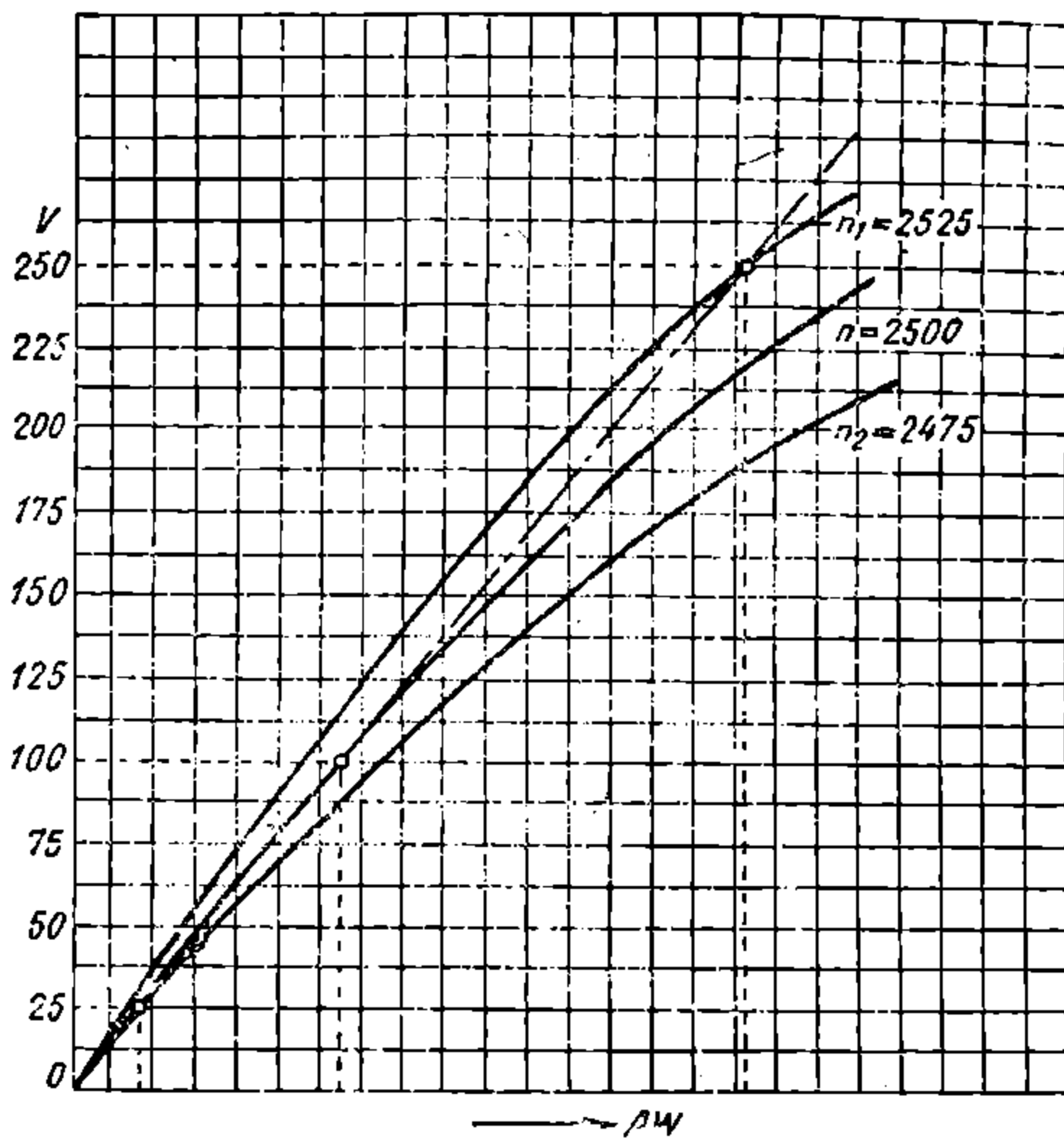
Фиг. 7



Фиг. 8

следней—ускорять пуск и регулирование при колебаниях троллейного напряжения. При увеличении нагрузки генератора уменьшается число оборотов агрегата. Это уменьшение

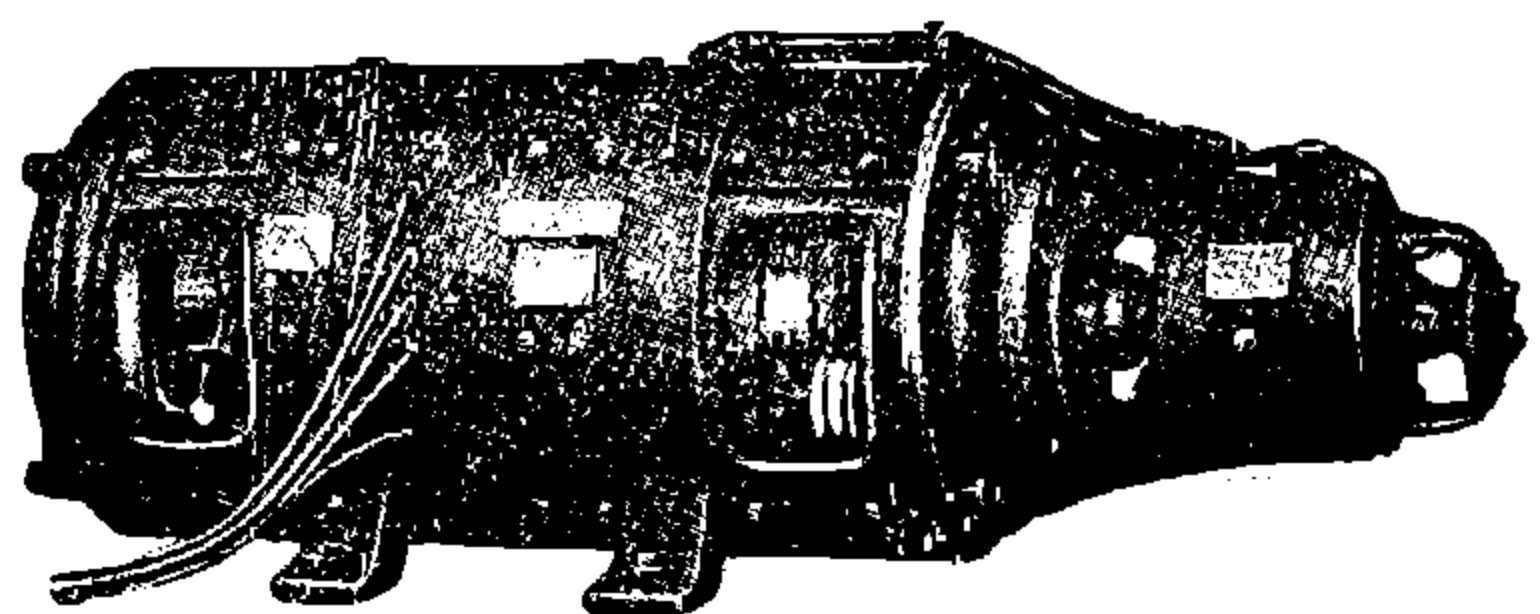
числа оборотов вызовет уменьшение эдс возбудителя, уменьшение тока в обмотке 2 мотора и в результате увеличение числа оборотов. При увеличении напряжения троллея и неизменном сопротивлении в цепи генератора число оборотов агрегата увеличится. Одновременно увеличится ток в обмотке возбудителя. Эти 2 причины вызовут быстрое увеличение эдс возбудителя, намагничивание дв-ля обмоткой 2 и этим самым снижение числа оборотов. Возбудитель работает на почти вертикальном отрезке кривой самовозбуждения, так что снижение числа оборотов на 1% уменьшает напряжение на зажимах в 4 раза (фиг. 9). Это дает возможность добиться пределов колебаний напряжения генератора (при неизменном сопротивлении в его цепи) $\pm 3\%$ при колебаниях напряжения к-тного провода $+15, -5\%$. Подобный агрегат (фиг. 10), поставленный фирмой Броун Бовери для



Фиг. 9

Голландско-Индийской дороги, имеет след. характеристики:

	Мотор	Гене- ратор	Возбу- дитель
Мощность kW	3,3	2,5	0,48
Напряжение V	1350	65	72
Число об/мин.	2500		



Фиг. 10

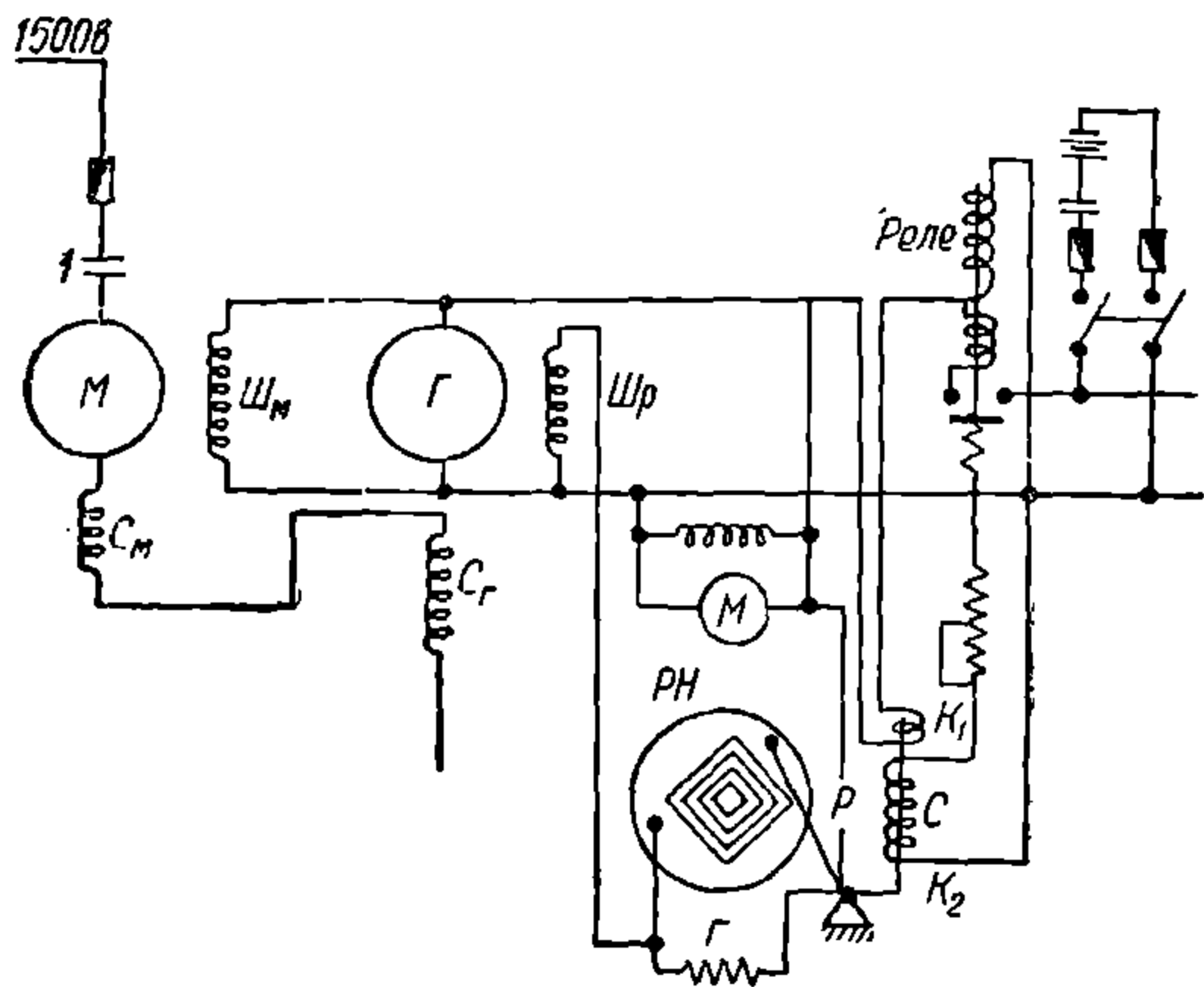
Аналогичный агрегат для дороги Чур-Ароза имеет характеристики: мощность 7,2 kW; напряжение: мотора 2000 V, генератора 300 V, число оборотов—2000 в мин.;

НТБ
ДУЗТ

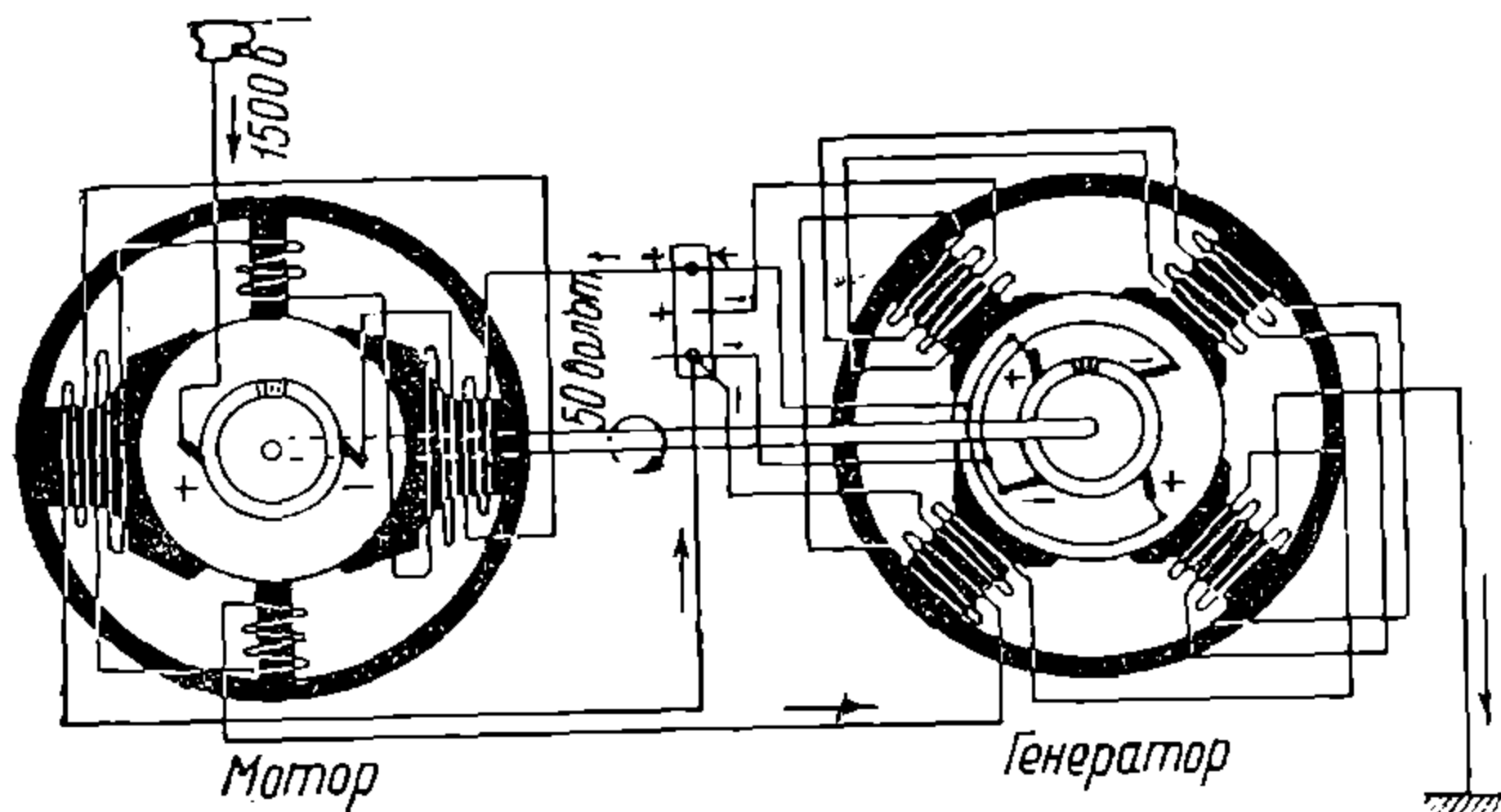
вес 615 кг. При постоянной нагрузке и подъеме напряжения в троллее + 20% вольтаж генератора увеличится на 11%, число оборотов в мин.— на 5%. При постоянном напряжении и изменении нагрузки от 0 до номинала напряжение генератора изменяется на 10%, обороты в мин.— на 6%. На валу сидит вентилятор для охлаждения сопротивлений. Потребная для него мощность—1,3 kW.

Схема с регулирующей аппаратурой приведена на фиг. 11—12. Мотор имеет серийную обмотку *C* и обмотку независимого возбуждения. Мотор пускается, как серийный. По мере разворота агрегата растет напряжение на генераторе *Г*. Обмотка получает питание и тем ограничивает число оборотов. В дальнейшем напряжение поддерживается регулятором *РН* с колебаниями ±3%.

В схеме Метро Вилкерс (Московских пригородных ж. д.— фиг. 12-а) генератор для более устойчивой работы компаундирован, при чем компаундная обмотка питается током мотора.



Фиг. 11



Фиг. 12

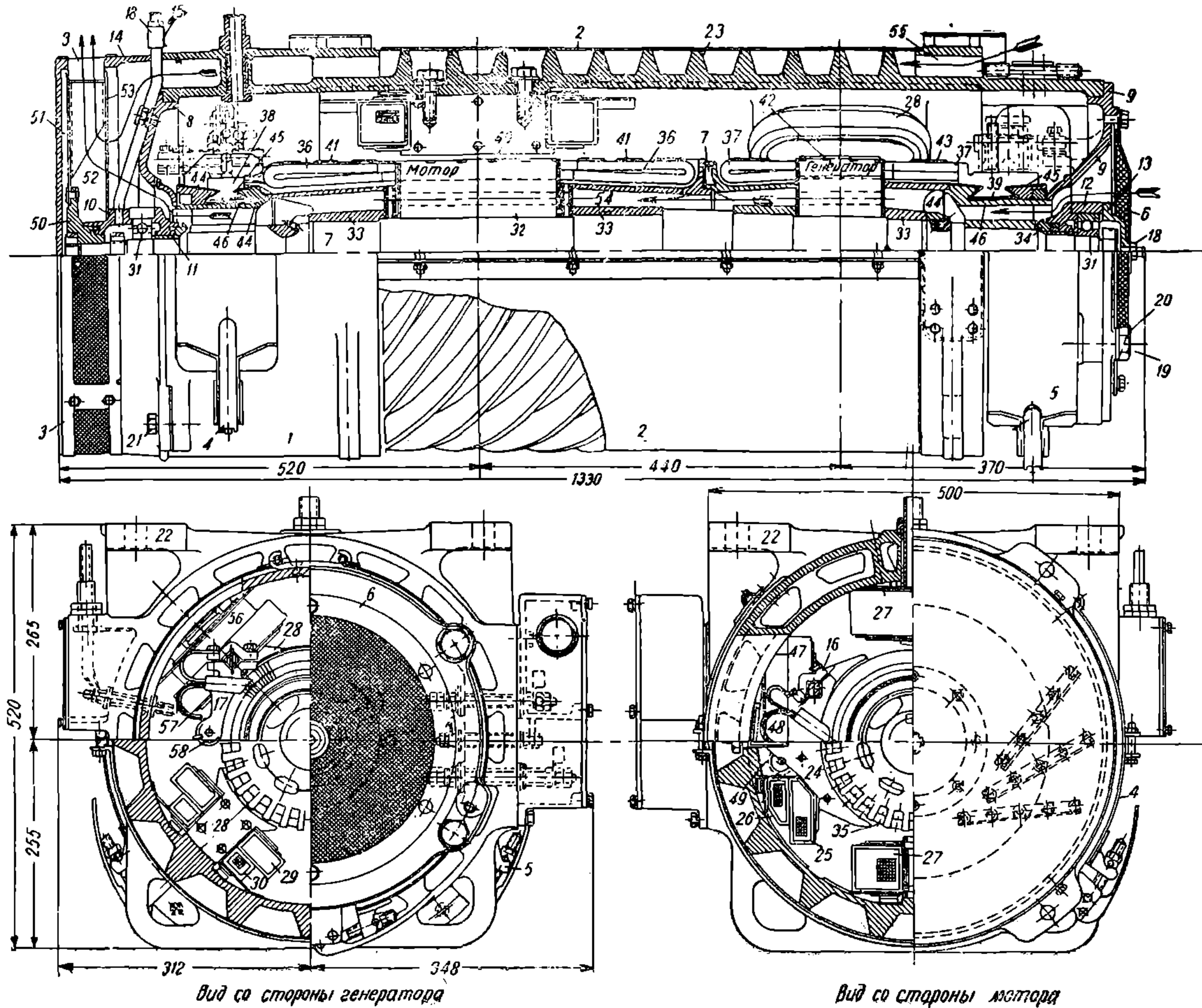
Данные агрегата:

	Мотор	Генератор
Напряжение V	1500	50
Мощность kW	5,8	4,25
Ток А	4,6	85
Число оборотов в мин.	1600	
Вес агрегата кг	700	
Вес якоря кг.	195	

4. ГЕНЕРАТОР УПРАВЛЕНИЯ

Мощность генератора определяется потреблением цепей: а) управления, б) освещения, в) возбуждения генератора (иногда и мотора) рекуперации. При езде по сист. «многих единиц» генератор управления ведущей единицы должен покрывать потребность цепей управления и возбуждения МГ рекуперации всех единиц. Насыщения магнитной цепи д. б. выбраны так, чтобы даже при наихудших условиях генератор работал на прямом уч-ке характеристики. Выполнение этого требования сводит к минимуму колебания при регулировании регулятором напряжения. Наихудшими условиями являются

ДРУЗТ



1 — остов; 2 — кожух остова; 3 — сетчатое перекрытие вентиляционных отверстий; 4 и 5 — съемные крышки коллекторных люков; 6 — защитная сетка; 7 — разъединительная миканитовая шайба; 8 — бокса мотора; 9 — бокса генератора; 10 и 11 — наружная и внутренняя крышки подшипников со стороны мотора; 12 и 13 — внутренняя и наружная крышки подшипников со стороны генератора; 14 — камера вентилятора; 15 — трубка для масленки; 16 — щеткодержатели мотора; 17 — щеткодержатели генератора; 18 — масленка; 19 и 20 — болты и шайбы боксы 9; 21 — болты, крепящие камеру вентилятора; 22 — приливы; 23 — винтовые ребра; 24 — главные полюсы мотора; 25 и 26 — серийная и шунтовая обмотки мотора; 27 — дополнительные полюсы мотора; 28 — главные полюсы генератора; 29 и 30 — шунтовая и серийная обмотки генератора; 31 — роликовые подшипники; 32 — якорь; 33 — нажимные шайбы; 34 — лабиринтовые кольца; 35 — пазы якоря; 36 — обмотка якоря со стороны мотора; 37 — обмотка якоря со стороны генератора; 38 — коллектор мотора; 39 — коллектор генератора; 40, 41, 42 и 43 — якорные бандажки; 44 — коллекторные коробки; 45 — изоляционные конусы; 46 — изоляционные цилиндры; 47 — штифт щеткодержателя 16; 48 — пружина щеткодержателя 16; 49 — стопор; 50 — фланец вентилятора; 51 — диск вентилятора; 52 — поперечные лопасти диска 51; 53 — кольцо вентилятора; 54 — вентиляционное отверстие якоря; 55 — вентиляционное отверстие в остове; 56 — штифт щеткодержателя 17; 57 — пружина щеткодержателя 17; 58 — стопор.

Фиг. 12-а

минимальное возможное число оборотов и максимальный возможный вольтаж, рассчитанный на полный заряд параллельно работающей АБ (2,6 V на элемент при свинцовой батарее, 1,9 V на элемент при щелочной батарее).

5. МОТОР-ВЕНТИЛЯТОРЫ

Моторы строятся с последовательным возбуждением. Мощность, потребляемая вентилятором, м. б. определена по ф-ле:

$$W_{\text{в}} = \frac{1.63QH}{\eta} \text{ kW,}$$

где: Q —количество воздуха в $\text{м}^3/\text{мин}$, засасываемое вентилятором, H — полное давление в мм вод. ст. , η —кпд вентилятора (0,4—0,5) для высокоскоростных центробежных вентиляторов. Изменение числа оборотов n при работе на неизменный воздухопровод влечет за собой изменение потребляемой мощности, давления и производительности: а) мощность, потребляемая вентилятором, пропорциональна n^3 , б) давление пропорционально n^2 , в) производительность пропорциональна n .

Нормальное число оборотов мотор-вентилятора определяется вентилятором. Слишком большое число оборотов заставляет конструировать вентиляторы с малым диам. и большой шириной колеса. При этом получаются большие скорости входа воздуха в вентилятор, что влечет за собой потери. Ориентировочно допустимое число оборотов м. б. определено ф-лой:

$$n = (400 \text{ :- } 500) \sqrt{\frac{H}{Q} v},$$

где: H — давление в мм вод. ст. , Q — производительность в $\text{м}^3/\text{мин.}$, v —скорость воздуха на входе = 14—20 м/сек.

Примечание. Ф-ла дает первое приближение, т. к. один и тот же напор м.б. получен при различных числах оборотов (окружных скоростях) изменением формы лопатки.

Число оборотов вентилятора, несмотря на серийную характеристику дв-ля, держится в работе почти постоянным, т. к. изменение числа оборотов сильно влияет на потребляемую вентилятором мощность. Поэтому на вал МВ иногда сажается маломощный генератор управления. Ниже приводятся расчетные данные МВ Броун Бовери:

МВ Броун Бовери типа	«GS 300/4»
Мощность.	16,5 kW
Напряжение.	3000 V
Ток.	7 A
Число оборотов в мин.	1500
Число оборотов в мин. максимум	2900
Число полюсов	4

Якорь

Диам. якоря	300 мм
Внутренний диам.	150 »
Длина железа	180 »
Число пазов.	39
Размер паза	12 × 25 мм
Проводов/паз	84 мм
Размер провода	0,95 × 1,1 мм
Обмотка.	Волновая
Сопротивление обмотки	9,25 Ω при 15° Ц
Шаг по пазам.	1—11
Первый паз совпадает с 37-й пластиной.	
Вес меди якоря.	9,5 кг

Коллектор

Число пластин	273
Размер пластины.	54 × 34 × 2,406 × 1,62
Изоляция между пластинами — мегомит толщ.	1 мм
Шаг по коллектору	1—137

НТБ
ДНУЗТ

К а т у ш к а г л . п о л ю с а

Витков на полюс. .	22 × 15
Проводов разм.	2,1 × 2,25 изолиров.
Вес меди	28,5 кг на машину
Сопротивление	4,72 Ω при 15° Ц

З а з о р ы

Под главным полюсом	2,5 мм
» дополнит. полюсом	3 »

Щ е т к и

Число щеткодержателей .	4
Размер щетки	10 × 20 мм.

6. МОТОР-КОМПРЕССОРЫ

Моторы строятся с серийной характеристикой. Режим работы моторов — повторно-кратковременный. Продолжительность работы и паузы зависят от большого числа факторов, как-то: количества остановок, длины состава, профиля пути. Обозначая отношение:

$$\frac{\text{продолжительность рабочего пер.}}{\text{продолжительность рабочего пер.} + \text{пауза}}$$

через $EД$, получим для закрытого невентилируемого МК соотношения мощностей, данные в табл. 1.

Табл. 1

$EД$ %	Мощность
15	1,29
25	1,00
40	0,79
50	0,71
15	0,58
1	0,50

Чем ближе $EД$ к единице, тем более целесообразно применение самовентилиации. Число оборотов мотора зависит от типа компрессора и передачи. Безредукторные поршневые компрессоры имеют 500—750 об/мин. При наличии редуктора и у ротационных компрессоров число оборотов мотора 900—1500 в мин.

Потребная мощность равна приблизительно $0,8 \div 1,1$ kW на $1 \text{ м}^3/\text{мин}$ и атм. Номинальная мощность дв-ля будет отличаться от указанной в зависимости от $EД$, совпадая с ней при $EД$, равной единице.

При большой частоте пусков (трамвай, метрополитен) и малом пер. работы специфической чертой конструкции мотора является статор, — остов, набранный из динамомстали. Эта конструкция диктуется теми соображениями, что в пер. пуска переменный магнитный поток вызывает в массивных статорах значительные потери на токи Фуко, тем более влияющие на нагрев мотора, чем чаще пуски. Кроме того шихтованный статор дает более быстрое нарастание магнитного потока и ускоренный пуск дв-ля.

Табл. 2. Данные компрессора Броун Бовери типа «GZB-1-6»

Тип	Действит. подача атмосферн. воздуха л/мин	Давление кг/см ²	Диам. цилиндра мм	Ход поршня мм	Число оборотов при номинальной мощности об/мин.	Номин. мощность мотора $EД$ — 33%	Число оборотов мотора при номин. мощности
1	200	6	86	100	240	2,5	1200
2	360	6	110	120	240	3,5	1100
3	680	6	125	150	255	6,8	1400
4	1000	8	190 НД 140 ВД	180 130	265	12	1350
5	1400	8	210 НД 150 ВД	200 150	265	16	1350
6	1900	8	230 НД 160 ВД	220 150	265		1450

Продолжение табл. 2

Приближенный вес агрегата (с мотором) в кг

Тип	Для 110—600 V		Для 600—2000 V	
	М о т о р		М о т о р	
	вентиляр.	закрытый	вентиляр.	закрытый
1	170	200	200	230
2	230	260	260	320
3	355	455	415	485
4	615	720	620	810
5	775	920	765	910
6	810	1100	960	1085

Наибольшая длительность рабочего пер. — 30 мин..
Нормальное ЕД — 33%.

Табл. 3. Данные компрессора дороги Париж—Орлеан

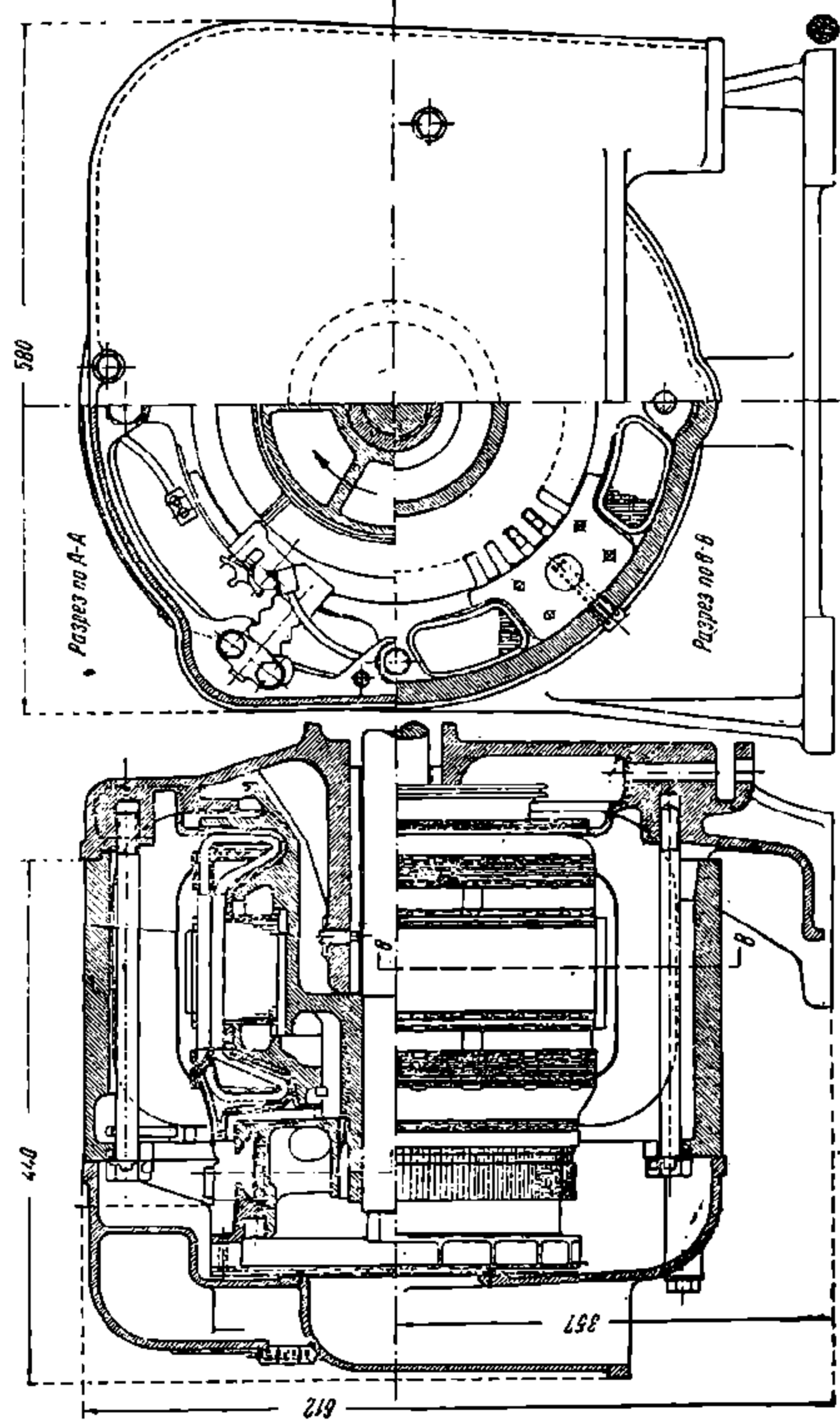
Характеристика	СР-60 Дж. Эл. К ⁰	Св. 4	Ф-32 Дж. Эл. К ⁰	4
Где установлен	М/ваг. эл/в. «ВВ» 1—180 и 201—240	Эл/в «ЕВВ» 101—180	Эл/в 2СС—2 601	Эл/в 2D2—501—502 2D2—401—402
Число цилиндр.	2	2	2	2
Диам. цилиндра мм.	140	150	246 НД 138 ВД	130
Ход поршня мм	176	150	234	140
Теоретич. подача л/мин.	1265	1450	2120	1953
Давление атм.	7	7	10	8
Передача	Зубч. 79/14	103/18	73/16	Прямой привод
Линейная скорость поршня м/сек	1,37	1,3	1,75	2,10
Число оборотов:				
компрессора .	234	273	225	525
мотора	1320	1550	915	525
Часовая мощность мотора л. с.	12	9,5	17,5	10,8
Число полюсов	4	2	4	4
Габарит агрегата:				
длина мм	1200	965	1335	1085
ширина мм	845	860	1297	900
высота мм	615	675	908	745
вес агрегата кг	695	600	1565	730

Напряжение на коллекторах — 1500 V.

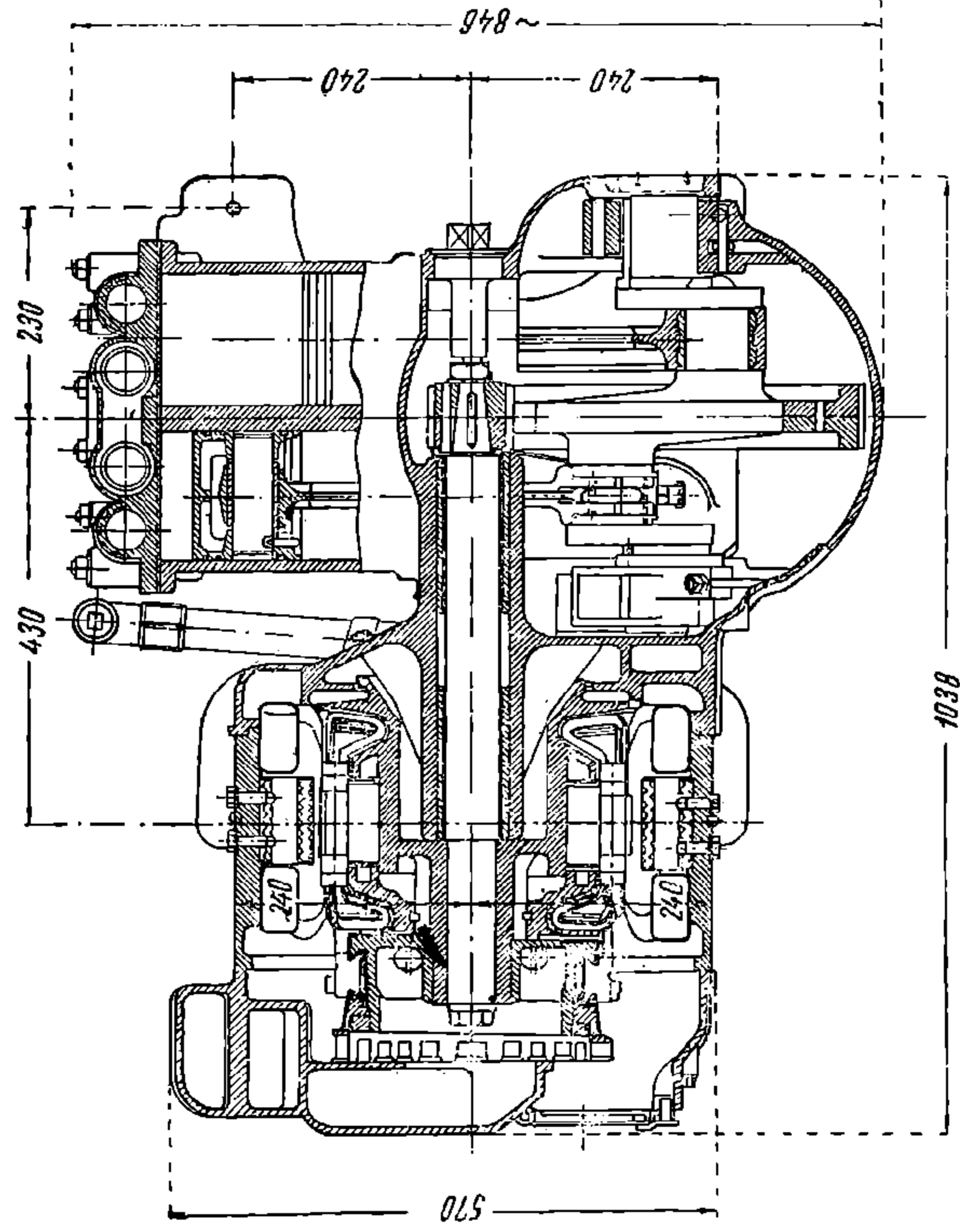
НТБ
ДНУЗТ

Табл. 4. Расчетные данные мотор-компрессоров

Т и п Характеристика	Эл/в «ЭК» 12	М/ваг. «ЭК» 15/1	Трамвайн. «ЭК» $\frac{5,5}{0,45}$	Примечание
Вентиляция	Самовентил.	Закрыт.	Закрыт.	—
Напряжение на коллекторе V	$3000 - R_{\partial} I$	$1500 - R_{\partial} I$	$550 - R_{\partial} I$	R_{∂} — демпферное сопротивление
Ток A	5,2	5	5	—
Мощность kW при режиме	12	6	2,1	—
Число об/мин.	∞	Повт.-кратковр. 1025	Повт.-кратковр. 1200	—
Число полюсов	4 гл., 4 доп.	4 гл., доп. нет.	4 гл., доп. нет.	—
Диам. якоря D_a мм	355	330	230	—
Внутр. диам.	110	185	115	—
Длина железа	240	185	70	—
Покрываете	0,616	0,616	0,63	—
Число пазов	39	43	45	—
Число секций в пазу	14	12	6	—
Число витков в секции	7	7	10	—
Размер паза: высота \times ширина	$29,1 \times 14,1$	$27,5 \times 11,2$	$32 \times 5,7$	—
Вентиляц.	2 ряда 20 по 12 шт.	Нет	Нет	—
Возд. зазор. главн. мм	3	2,5	1,6	—
Дополнит. »	5	—	—	—
Доп. сверху »	1	—	—	—
Поток магнит.	$2,67 \cdot 10^6$ макс.	$1,075 \cdot 10^6$	$0,45 \cdot 10^6$	—
Индукция:				
на $\frac{1}{3}$ высоты зубца	17400	17900	13500	—
в якоре	9250	13500	13500	—
в ярме	11600	14000	12300	—
в воздухе	—	7050	—	—
Линейная нагр. A/mm^2	89	87,2	93,5	—
Плотность тока A/mm^2 : якорь	4,49	3,69	3,68	—
Катушка гл. пол.	1,74	2,63	2,26	—
Катушки дополнительные	1,74	—	—	—
Число коллект. пластин.	273	257	135	—
Среднее межсегментн. напряжение V	44	23,3	16,9	—
Щетка перекрывает пластин.	2,8	1,83	—	—
Размер щетки мм	10×16	$6,5 \times 25$	10×25	—
Марка	T	—	—	—
Щеток на щеткодержателе	1	1	1	—
Число щеткодержателей	4	2	2	—
Плотность тока под щеткой A/cm^2	1,62	3,08	—	—
Число витков:				
Катушка гл.	635	700	345	—
Катушка доп.	306	—	—	—
$K = \frac{AW_{зубц} + AW_{воздух}}{AW_{я}}$	1,93	—	1,1	—



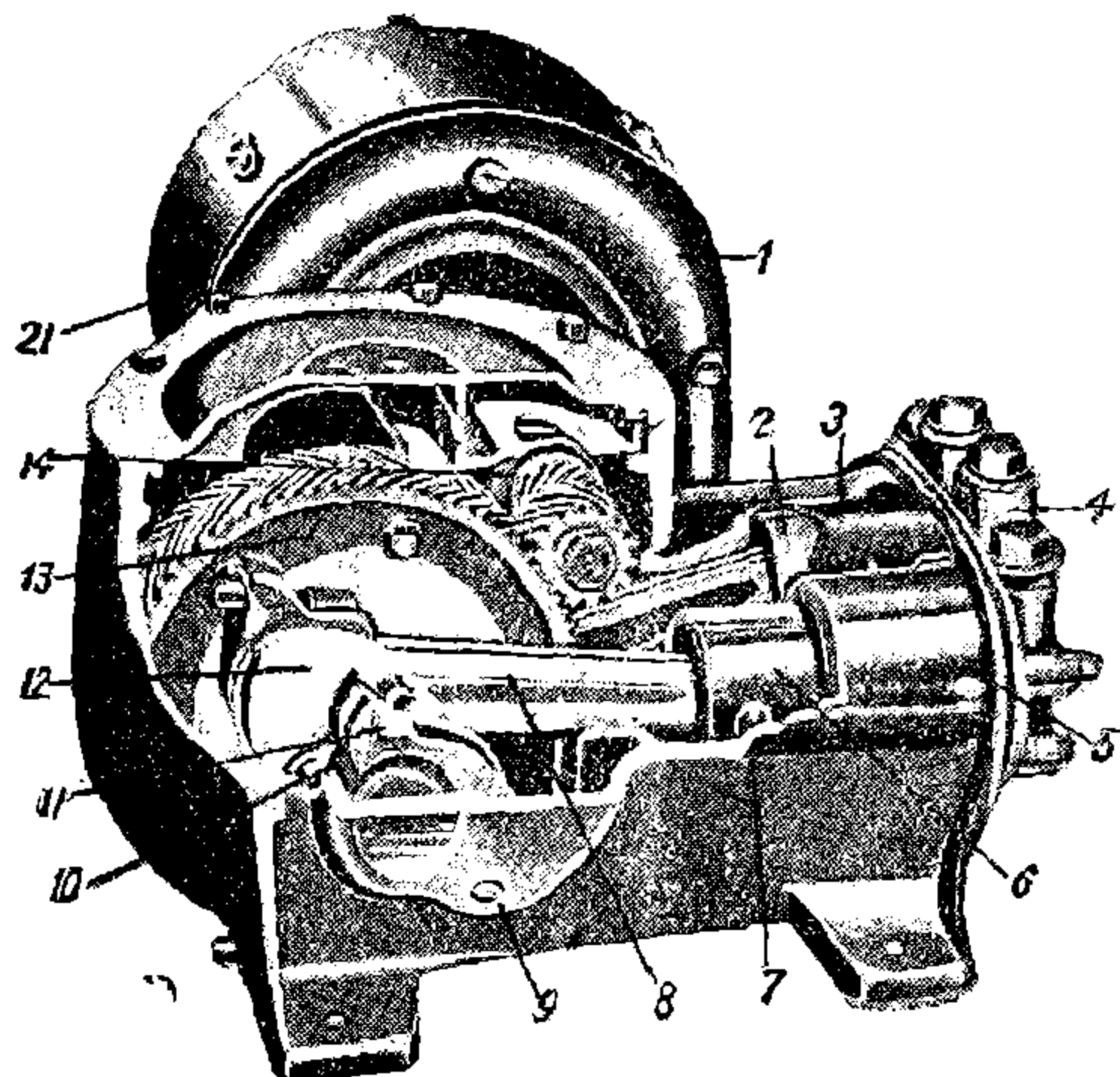
Фиг. 13



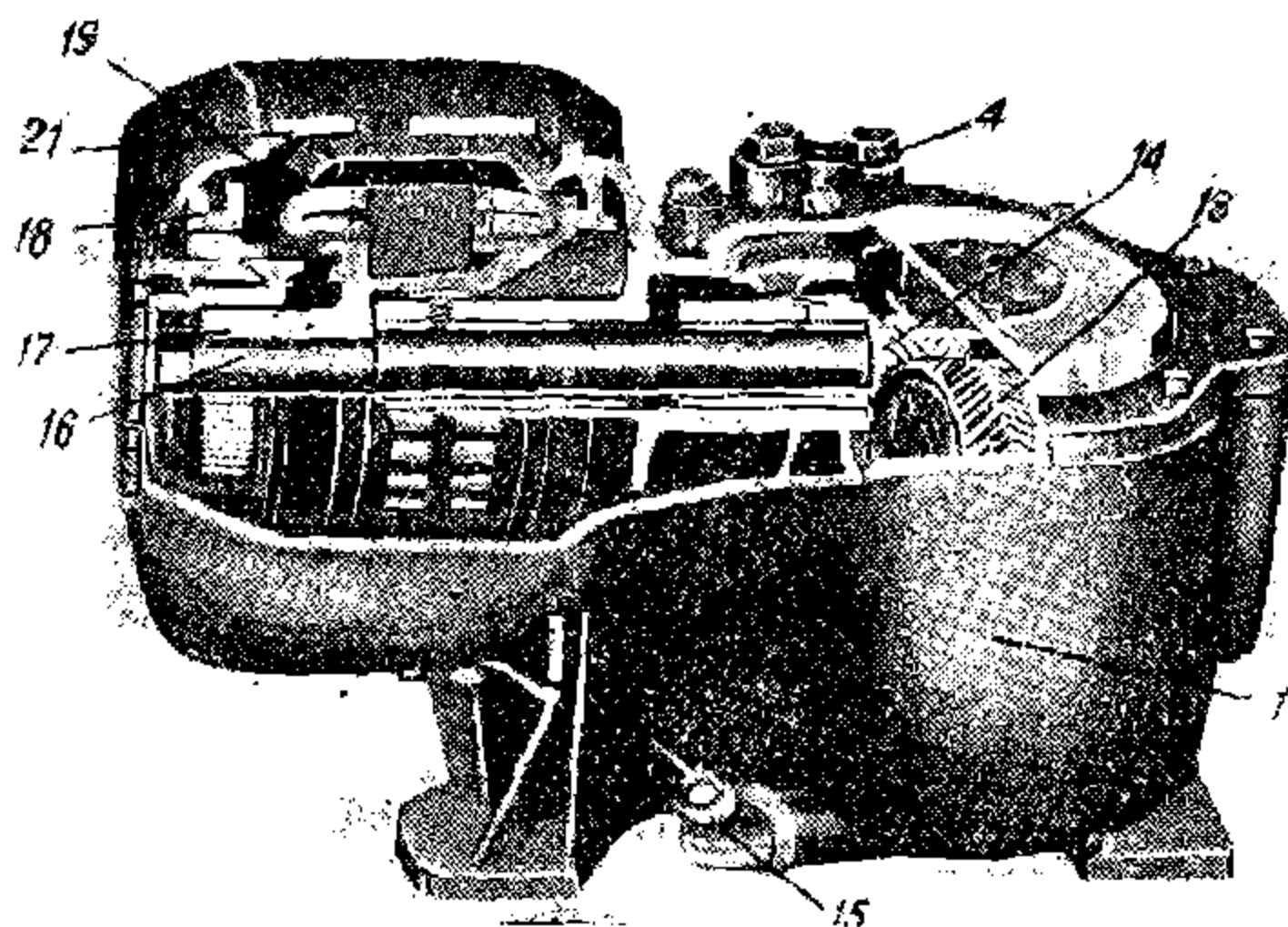
Фиг. 14

НТБ
ДНУЗТ

При включении двух МК последовательно напряжение на средней точке должно поддерживаться принудительно, в противном случае работа не будет устойчивой. Один из моторов может перевести на себя все напряжение, остановив др. мотор. Подобное положение вытекает из того, что момент компрессора не зависит от числа оборотов, а зависит лишь от противодействия. Данные МК приведены в табл. 6 и на фиг. 13, 14,



Фиг. 15



Фиг. 15-а

15 и 15-а. На фиг. 15 и 15-а обозначено: 1 — корпус, 2 и 6 — поршни, 3 и 5 — цилиндры, 4 — клапанная коробка, 7 и 9 — валики, 8 — шатун, 10 — болты, 11 — подшипники, 12 — коленчатый вал, 13 — большое зубчатое колесо, 14 — малая шестерня, 15 — кран для проверки уровня масла, 16 — вал якоря, 17 — якорь, 18 — щетки, 19 — полюсы, 21 — ярмо мотора.

7. МОТОР-ГЕНЕРАТОРЫ РЕКУПЕРАЦИИ

Мотор получает шунтовое или независимое возбуждение. Возбуждение генератора зависит от принятой рекуперативной схемы. Точно так же мощность агрегата зависит от выбранной рекуперативной схемы и составляющих ее элементов. В случае схемы со стабилизирующими сопротивлениями генератор получает компаундное возбуждение. Подсчет мощности в этом случае м. б. проведен согласно нижеуказанному методу. При подсчете исходим из установки, что агрегат должен допускать питание обмоток возбуждения ТД длительным током при любых группировках моторов (фиг. 16, 17 и 18). Кроме того д. б. предусмотрена возможность кратковременного перевозбуждения ТД. Наибольший длительный ток, требующийся от агрегата, получится при параллельной группировке моторов. Если обозначить через n число параллельных ветвей, то ток генератора $I = nI_{\text{оом}}$, где $I_{\text{оом}}$ — длительный ток мотора.

Примечание. Если якоря сгруппированы в n параллелей, то для равномерного распределения нагрузки обмотки ТД д. б. также сгруппированы в n параллелей с отдельным стабилизирующим сопротивлением на каждую параллель. Равномерное распределение нагрузки м. б. достигнуто с помощью включения в каждую группу якорей уравнивающего сопротивления. Однако этот метод дает значительные потери в сопротивлениях.

Наибольшее напряжение получается при последовательной группировке моторов ($n = 1$).

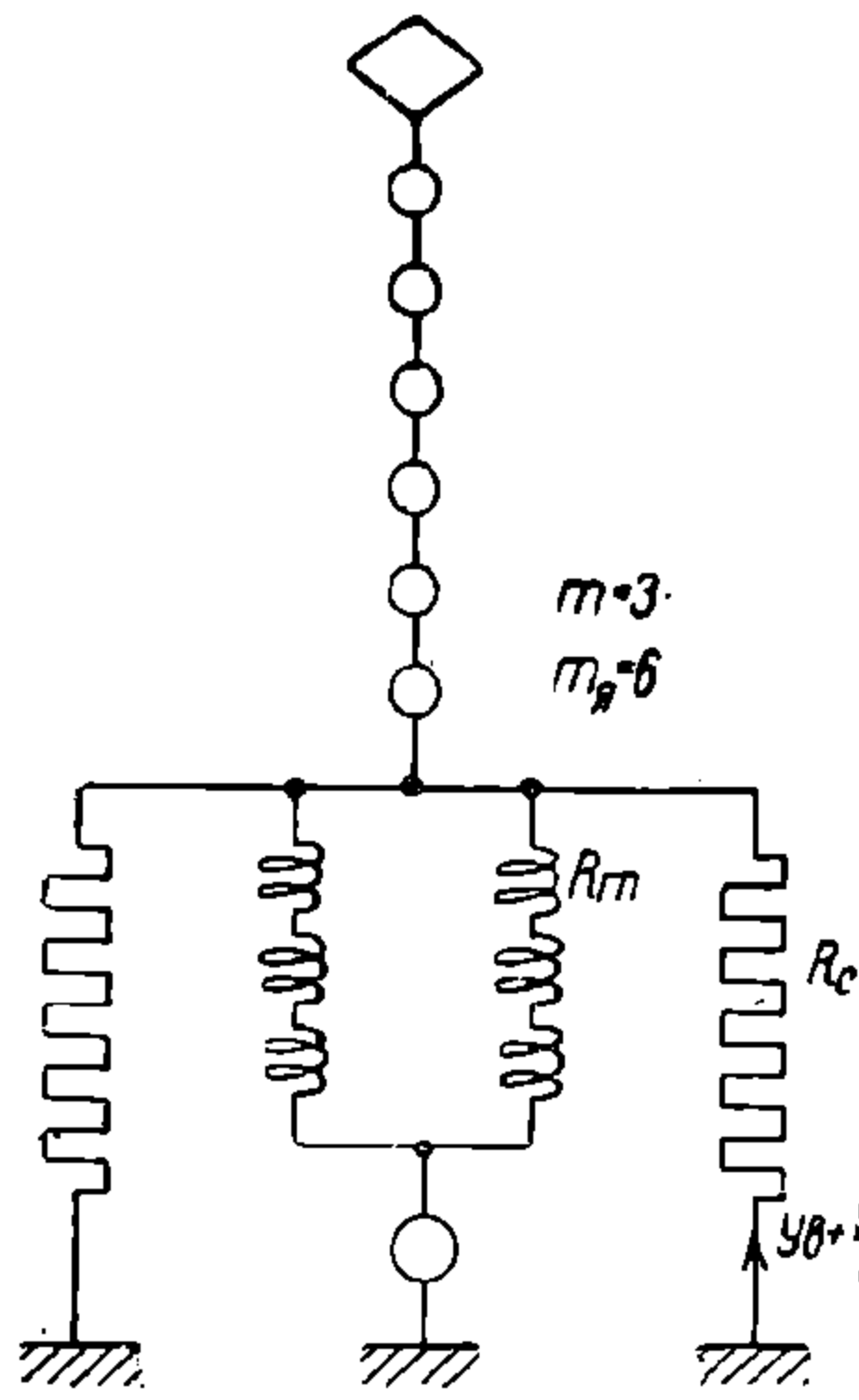
Напряжение на коллекторе генератора зависит от сопротивления обмоток ТД и величины стабилизирующего сопротивления. Если обозначить (фиг. 16 — 18): R_c — стабилизирующее сопротивление в омах, $R_{г.н}$ — сопротивление обмоток главных полюсов

НЕ
ДНУЗТ

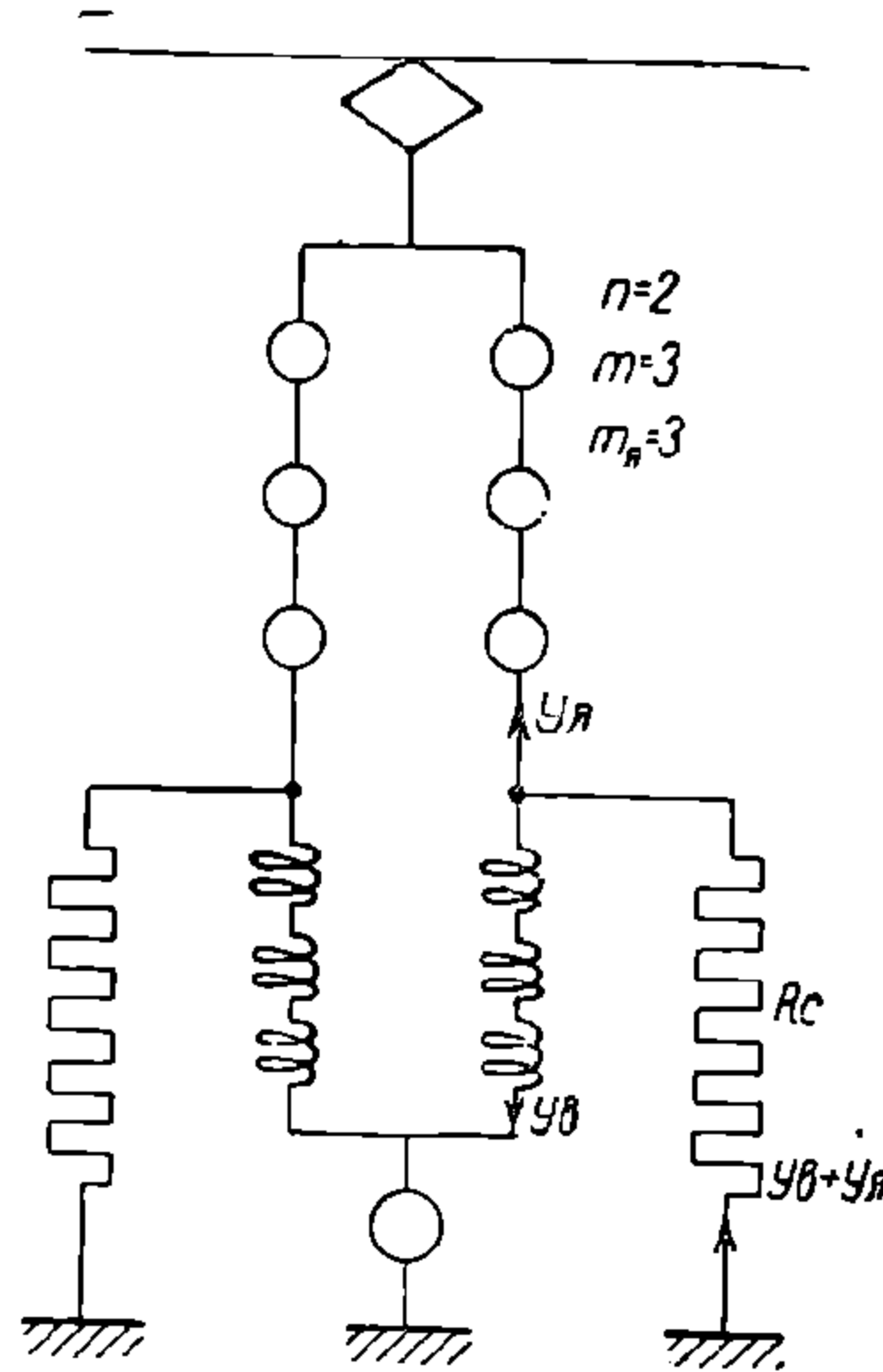
мотора, m — число их последовательно, n — число групп параллельно, то напряжение E_2 (фиг. 17 и 18):

$$E_2 = (R_{2.n} \ m + R_c) I_\theta + R_c I_\alpha.$$

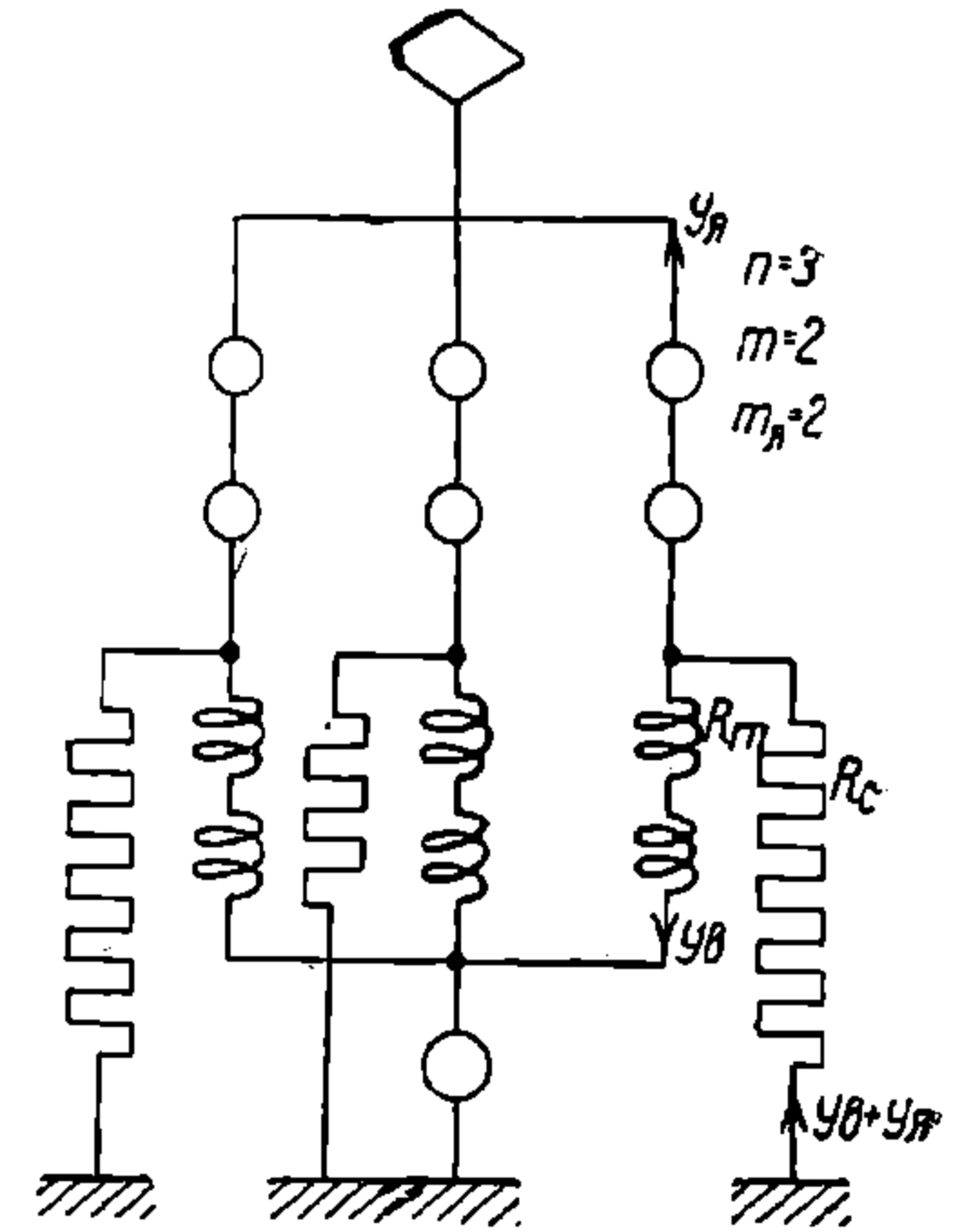
Для возможности кратковременного перевозбуждения токи I_θ и I_α следует полагать при расчете равными $I_\theta = I_\alpha = 2 I_\infty$ м.



Фиг. 16



Фиг. 17



Фиг. 18

Стабилизирующее сопротивление м. б. ориентировочно определено по след. зависимости:

$$\frac{\Delta I_\alpha}{\Delta I_\theta} = \frac{R_{2.n} \ m}{R_c} + 1,$$

где: ΔI_α — приращение тока в якоре, равное $I_\alpha - I'_\alpha$, ΔI_θ — приращение тока возбуждения, равное $I'_\theta - I_\theta$, откуда:

$$R_c = \frac{R_{2.n} \ m}{\frac{\Delta I_\alpha}{\Delta I_\theta} - 1}.$$

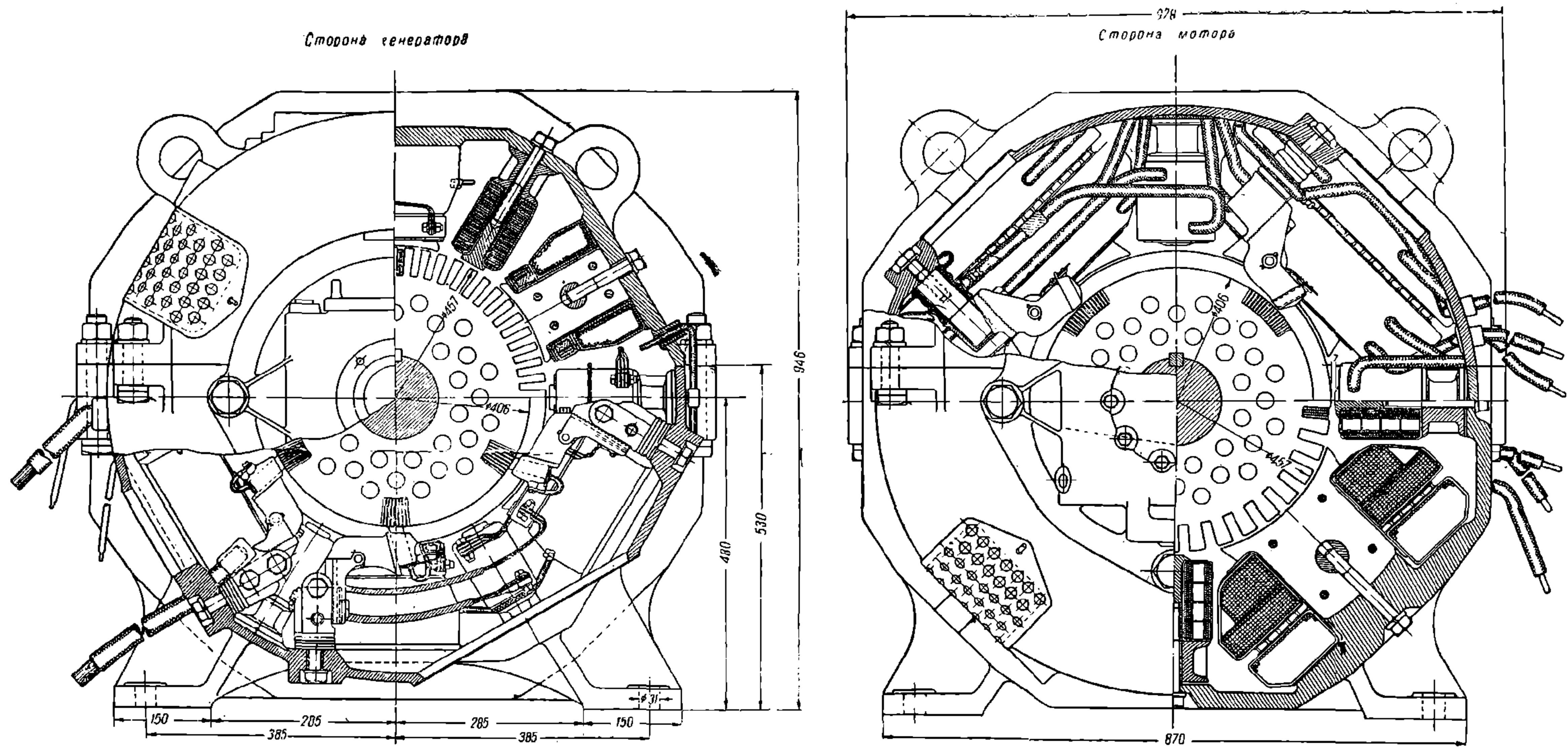
Отношение $\frac{\Delta I_\theta}{\Delta I_\alpha}$ характеризует стабилизирующее действие сопротивления. Чем больше эта величина, тем больше д. б. стабилизирующее сопротивление. Слишком большой стабилизирующий эффект однако нежелателен, т. к. он способствует «юзу», — заклиниванию

скатов при рекуперации. Величина отношения $\frac{\Delta I_\alpha}{\Delta I_\theta}$ м. б. принята в след. пределах:

m_α	$\frac{\Delta I_\alpha}{\Delta I_\theta}$
6	6—8
3	3—4
2	2—3

(где m_α — число якорей последовательно),

НТБ
ДНУЗТ



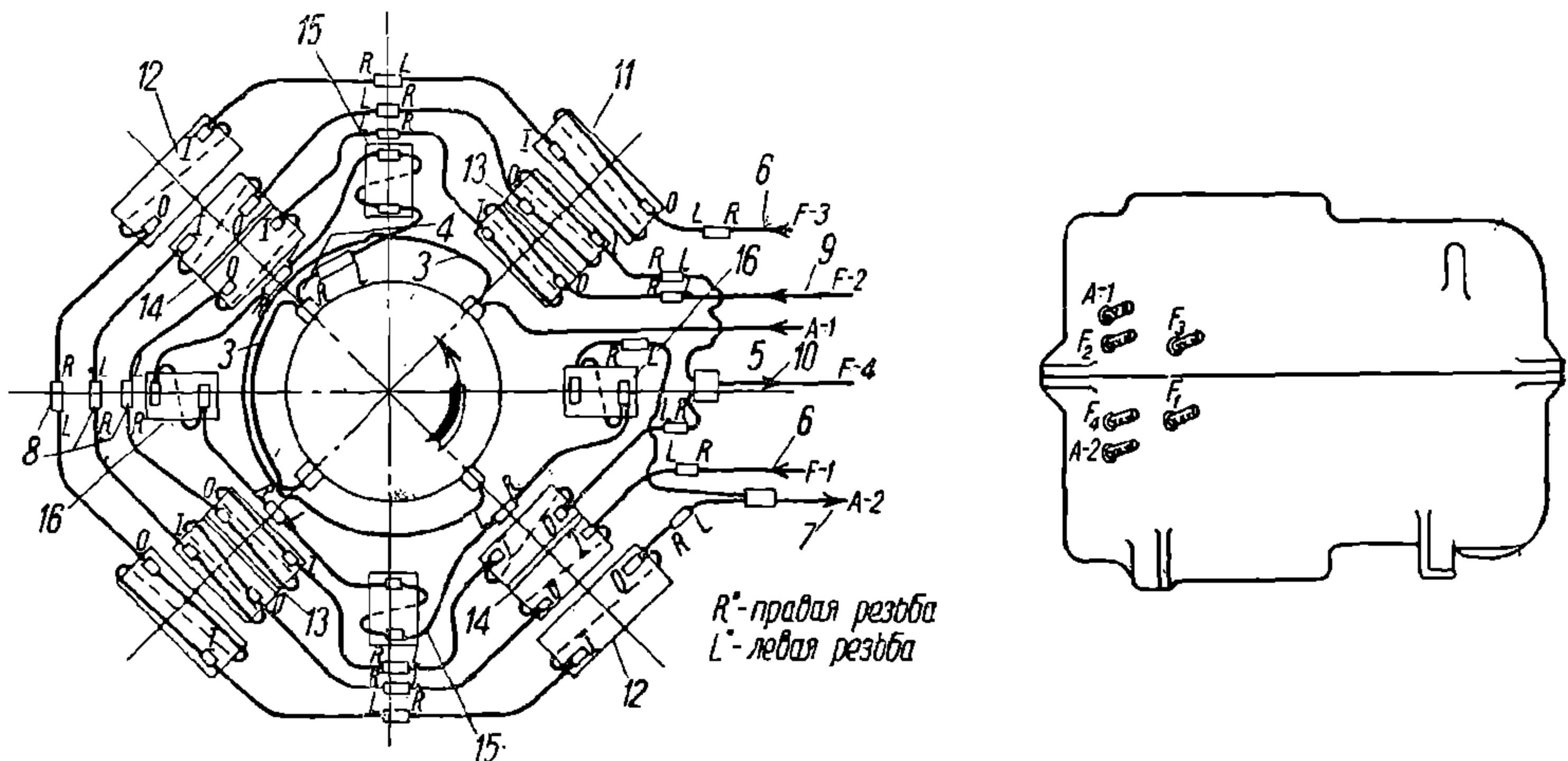
Фиг. 20

НТБ
ДНУЗТ

Точный подсчет стабилизирующих сопротивлений проводится с учетом магнитной характеристики дв-ля.

Фирма Броун Бовери вместо стабилизирующего сопротивления применяет стабилизирующий мотор. Этот мотор сидит на общем валу с МГ рекуперации. Поскольку число оборотов агрегата постоянно и мотор-стабилизатор работает на ненасыщенной части характеристики, постольку связь между током, проходящим через мотор, и напряжением на его зажимах выражается так же, как у стабилизирующего сопротивления, — прямой линией. Преимуществами такой схемы являются, по данным фирмы: 1) повышенный кпд из-за отсутствия потерь в сопротивлении, 2) улучшенная работа схемы при нестационарном режиме, т. к. индуктивность обмоток мотор-стабилизатора выравнивает соотношение токов якорного и возбуждения.

Конструкция и расчетные данные агрегатов фирм Дженераль Электрик и Броун Бовери приведены в табл. 5 и фиг. 19, 20 и 21.



Фиг. 21.

На фиг. 19 — 21 обозначено: 1 — комплект остова, 2 — комплект якоря, 3 — подшипниковый щит мотора, 4 — подшипниковый щит генератора, 5 — щеткодержатель мотора, 6 — щеткодержатель генератора, 7 — щетка мотора, 8 — щетка генератора, 9 — ограничитель скорости, 10 — болт щеткодержателя мотора, 11, 12 и 13 — болты щеткодержателя генератора, 14 — шайба, 15 — маркировочная пластина, 16 — шайба.

Конструкция стабилизатора представляет известные трудности, связанные с большими сечениями меди и большими размерами коллектора.

Табл. 5. Данные агрегата рекуперации Броун Бровери типа «GSU»

Машина	Мотор «GS» 450/4	Генератор «G» 390/6a	Мотор «GH» 480/8 стабилизатор
Мощность kW	51	78	23
Число об/мин. норм.	1350	4350	1350
» » макс.	1800	1800	1800
Напряжение V	3000	130	19,2
Ток A			
длит.	19	600	1200
часов.	—	690	1400
пятимин.	—	825	1650

НТБ
ДНУЗТ

Продолжение табл. 5

Число полюсов	4 гл., 4 доп.	6 гл., 6 доп.	8 гл., 8 доп.
Возбуждение	Независим. 50 V	Комнаунд	Серис
Якоря диам. мм	450	390	480
» внутр.	260	245	340
Длина железа	180	190÷2×10 (вентил.)	120
» пазов	51	70	100
Размеры паза	12,5×32	8×31	7×30
Провод	0(8×2,5)(1,1×2,8)	2(3×12) голый	[2(2,5×10)]×2
Проводов	42	2	
Обмотка	Волновая 2a = 2	Волновая 2a = 2	Параллельная*
Вес меди кг	25	38,5	38
Сопротивл. при 15° Ц. Ω	3,08	0,00445	0,00052
Шаг по пазам	1—14	1—13	—
» коллектору	1—179	1—24	—
Катушки доп. полюса:			
Витков	187	8	4 ток — I ₂
Провод	3×3(3,3×3,3)	7×25	3×(4×25)
Вес меди кг	30	32,5	25
Сопротивл. Ω	0,89	0,00212	0,000 167
Катушки главн. полюса:			
Витков	—	513	2. ток I ₁₂
Сечение меди	—	D = 1,6/1,75	3(7×15)
Вес меди	—	36,3	20,5
Сопротивл. Ω	—	17,7	0,000133
Коллектор			
Число пластин	357	70	100
Размер пластин	65×44×3,65×2,68	139×36×10,84×7,61	275×68×13,64×9,36
Изоляция между пласт.	Мегомит 1,2 мм	Мегомит 1 мм	Мегомит 1 мм
Диаметр коллект. мм	430	260	420
Щетки			
Число щеток		18	40
Размер.	15×30	30×30	30×30

* Уравнильные соединения—число 100, шаг по коллектору 1—26, сечение 2,5×5 мм.

II. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

При переменном токе питание через тр-р позволяет выполнять вспомогательные машины на нормальный для их мощности вольтаж. Конструктивно машины также приближаются к нормальному исполнению.

На эл/в однофазного тока низкой частоты для привода вентиляторов, компрессоров, генератора служебного тока употребляются обычно репульсионные и серисные дв-ли. Преимущество первых заключается в возможности выполнения их на более высокий вольтаж.

На эл/в нормальной частоты с преобразованием однофазного тока в трехфазный вспомогательные дв-ли выполняются асинхронными короткозамкнутыми нормального типа.

Наличие тр-ра с масляным охлаждением обуславливает часто применение масляного насоса для принудительной прогонки масла через охладители.

Копия
ДНУЗТ

Табл. 6. Вспомогательные машины

Тип машины	Год выпуска	Место работы и назначение	Возбуж- дение	Якорь		Подшип- ники
				диам. мм	длина мм	
ДД-60	1932	Эл-динамо	Комп.	420	280	Скользя. ролик.
ДДИ-60	1933	Эл-вентил.	Сериес	420	280	Скользя. ролик.
ДМГ-1500 мотор 95	1932	Эл-мотор	Комп.	457	172	Скользя.
ДМГ-1500 генер. 95	1932			457	146	
ДВ-15	1932	Эл-вентил.	Сериес	370	100	Вал/шар.
ДУ-3	1932	Эл-мотор	Шунт.	280	58	На валу до 60
Ср.-32 ЭК-30/2	—	Эл-компр.	Сериес	460	102	Скользя.
ЭК-12/3000	1934			355	240	Ролик.
ЭК-12/1500	1935			355	240	
ЭКИ-13/1500	1935			355	240	
ЭК-12/750	1935			355	240	
ДВ-18/3000	1935	Эл-вентил.		355	240	
ДВ-18/1500	1935			355	240	
ДВ-18/750	1935			355	240	
ДГ-40А мотор	1935	Эл-МГ		—	—	—
ДГ-40А генер.	1935			—	—	—
ДК-402А .	1935	Эл-мотор		—	—	—
ДК-402Б	1935			—	—	—
ДК-402Б	1935			—	—	—
ДК-402В .	1935			—	—	—
ДМГ-1500/50 мот.	1932	Моторваг. генерат. упр.	Комп.	222	203	Шар.
ДМГ-1200/50 мот.	1934	»		222	203	
ДМГ-1500/50 .	1933			222	78	—
ЭК-15/1	1933	Моторваг. компр.	Сериес	330	95	—
ЭК-7,5/1	1933			330	95	—
ЭК-5,5/0,45	1933	Трамв. компр.		230	70	—
ДК-600А ст. мот.	1933	Моторваг. динамо	Комп.	—	—	—
ДК-600А ст. генерат.	1933	Ген. упр.	Шунт.	—	—	—

з-да «Динамо» им. Кирова, в Москве

Тип вентиляции	Колич. вент. возд. м ³ /мин.	Напряжение в сети/на маш. V	Мощность kW	Режим работ мин.	Сила тока A	Об/мин.	Перегрев °C	Демпфер или пусковая панель	Источник питания
Сам.	—	3000/1500	60	90	21	1200	60	пп 20 Ω	Сеть
—	—	3000/1500	30	90	13	1200	60	пп 20 Ω	—
—	—	1500	65,3	40	50	1100	60	пп 20 Ω	—
—	—	95	57	40	600	1100	60	—	—
Сам.	17,1	3000/1500	13,1	Длит.	10,7	1280	60	пп 40 Ω	Сеть
—	—	50	3,0	—	60	1200	60	—	—
—	—	3000/1500	13,3	Повт.-крат.	10,8	925	60	—	Сеть
—	13,4	3000	13,1	То же	6,1	700	60	демп. 60 Ω	—
—	13,4	3000/1500	14	—	12,2	700	60	демп. 10 Ω	—
—	13,4	3000/1500	14,4	—	11,2	700	60	—	—
—	13,4	750.	14,5	—	22,5	705	60	пп 5 Ω	—
—	24,8	3000	18,8	Длит.	8,2	1300	60	демп. 28 Ω	—
—	28,2	1500	21,0	—	16,3	1480	60	пп 40 Ω	—
—	24,8	1900	17,7	—	16	1300	60	демп. 10 Ω	—
—	24,8	750	18	—	29	1300	60	пп 5 Ω	—
—	—	3000	—	—	—	—	—	—	—
—	—	95	—	—	—	—	—	—	—
—	—	3000	—	—	—	—	—	—	—
—	—	3000/1500	—	—	—	—	—	—	—
—	—	3000/1500	—	—	—	—	—	—	—
—	—	750	—	—	—	—	—	—	—
Сам.	—	1500	5,47	Длит.	4,6	1600	60	демп. 18 Ω	Сеть
—	—	1200	5,5	—	5,8	1600	60	—	—
—	—	50	4,25	—	85	1600	60	—	—
—	—	1500	6	Повт.-крат.	—	1025	60	демп. 18 Ω	Сеть
—	—	750	6	»	10	1025	60	демп. 9 Ω	—
—	—	550	2,1	—	—	1200	60	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

НТБ
ДНУЗТ

Тип машины	Компрессор или вентил.			Сопротивлен. при 25 °С			
	тип	передача	производ.	якоря	серис	шунт.	доп. по-люса
ДД-60	—	—	—	В1,23 Н1,23	В1,2 В1,2	3670	—
ДДИ-60	Спвоен	Муфта	280×2	Н1,23 В1,23	В1,5 Н1,5	—	—
ДМГ-1500 мотор 95	—	—	—	0,480	0,865×2	1940	0,114
ДМГ-1500 генер. 95	—	—	—	0,00478	0,000190	2,7	0,00176
ДВ-15	—	Насаж. на вал	280	2,54	3,06	—	1,22
ДУ-3	—	—	—	0,0585	—	4,46	0,0079
Ср.-32 ЭК-30/2	СР32	—	1750	4,32	3,7	—	—
ЭК-12/3000	ТВ130	Муфт.	1750	21,7	1,3	—	5,35
ЭК-12/1500	—	—	1750	5,0	2,9	—	1,4
ЭКИ-13/1500	—	—	1750	5,0	3,88	—	1,4
ЭК-12/750	—	—	1750	1,37	0,94	—	0,425
ДВ-18/3000	Сурок	Насаж. на вал	280	9,8	4,4	—	2,42
ДВ-18/1500	—	—	280	2,57	1,15	—	0,77
ДВ-18/750	—	—	280	0,76	0,42	—	0,236
ДГ-40А мотор	—	—	—	—	—	—	—
ДГ-40А генер.	—	—	—	—	—	—	—
ДК-402А	—	—	—	—	—	—	—
ДК-402Б	—	—	—	—	—	—	—
ДК-402В	—	—	—	—	—	—	—
ДМГ-1500/50 мот.	—	—	—	8,36	2,7	41,5	3,34
ДМГ-1200/50 мот.	—	—	—	6,36	1,17	26,1	1,625
ДМГ-1500/50	3-400	—	—	0,263	0,892	10,9	—
ЭК-15/1	Э-400	Р—5,39	750	11,6	16,1	—	—
ЭК-7,5/1	Э-400	—	750	2,87	3,6	—	—
ЭК-5,5/0,45	СР21	—	—	5,15	5,25	—	—
ДК-600А ст. мот.	—	—	—	—	—	—	—
ДК-600А ст. генер.	—	—	—	—	—	—	—

НТБ
ДНУЗТ

Продолжение табл. 6.

Коллект.		Щетки			Вес кг		№ чертежа общего вида	Примечание
диам. мм	число пласт.	число щеткод. щеток	размер мм	марка	якоря	машины		
336	232	2/2	16×36	T ₂	578,5	2290 2545с ДУ-3	0м-52	Для эл/в с реку- перацией
336	232	2/2	16×36	T ₂	578,5	2075 2330с ДУ-3	0м-333	На эл/в «ВЛ»
406	295	4/1	12,5×38	T ₂	904,5	3100	0м-48	Для эл/в с ре- куперацией
406	255	6/4	22×40	Г ₃			0м-94	
318	279	2/1	11×38	T ₂	—	650	1м-527	Сделано только 4 машины эл/в «Сс»
222	53	4/1	16×32	Г ₃	75	255	2м-802	
410	329	2/1	10×40	T ₂	—	750	0м-206	Не строился
310	273	4/1	10×20	T ₂	277	870 с муфт	1м-1516	
310	215	4/1	12,5×20	T ₂	277	870 с муфт	1м-1516	
310	215	4/1	12,5×20	T ₂	277	870 с муфт	1м-1516	
310	177	4/1	12,5×32	T ₂	280	874,5 с муфт	1м-1281	Изолирована на 1500 V.
310	269	4/1	10×20	T ₂	296	1132 с 877,1	ДУ-3а 0м-356	С ДУ-3а на валу
310	215	4/1	12,5×20	T ₂	296	1132 с 877,1	ДУ-3 0м-356	Изолиров. на 3000V с ДУ-3а на валу Д8-18 (1500/3000) без ДУ-3а.
310	177	4/1	16×32	T ₂	283	1132 с 877,1	ДУ-3а 0м-356	Изолиров. на 1500V С ДУ-3а на валу
—	—	—	—	—	—	—	0м-373	
—	—	—	—	—	950	2734	0м-374	
—	—	—	—	—	290,9	838	1м-1838	
—	—	—	—	—	298	850	1м-1838	
—	—	—	—	—	298	866	1м-1838	
—	—	—	—	—	302	852	1м-1838	Изолирован на 1500 V
188	174	2/1	10×25	T ₂	193	705	0м-182	
188	145	2/1	10×25	T ₂	193	705	0м-182	
188	115	4/2	12,5×32	Г ₃	193	705	0м-182	
290	257	2/1	6,5×25	T ₂	—	—	—	Делает Яросл. з-д
290	187	2/1	10×25	T ₂	—	—	—	»
140	135	2/1	10×25	T ₂	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	

НТБ
ДНУЗТ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АБ — аккумуляторная батарея
абс. ед. — абсолютная единица
абс. — абсолютный
ата — абсолютная атмосфера
ат. в. — атомный вес
ати — атмосфера избыточная
атм — атмосфера

БВ — быстродействующий выключатель
БДА — быстродействующий автомат
Ве — градусы Боме
БК — блокировочный контакт
б. ч. — большей частью
В — восток
в/в. — высоковольтный
ваг. — вагон, вагоны
ваг.-км — вагоно-километры
ваг.-ч. — вагоно-часы
вкл. — включительно
в/н — высокое напряжение
вод. ст. — водяной столб

г. — год, гг. — годы
гг. — города
гл. — глава
ГК — групповой контакт
гл. обр. — главным образом
Д — длина
д. — долгота
д. б. — должно быть, должен быть
дв-ль — двигатель
деж. — дежурный
диам. — диаметр
дм. — дюйм
долл. — доллар
ДП — дополнительный полюс
ДР — дифференциальное реле
др. — другой, другие

ЕН — единые нормы

ж. д. — железная дорога
ж.-д. — железнодорожный
З — запад
зам. — заместитель
зап.-европ. — западно-европейский
з-д — завод

Изд. — издание
ИК — индивидуальный контактор
Ин-т — институт
ИП — ионный преобразователь

кал — калория
кал/ч. — калорий в час
кв. — квадратный
КЗ — короткое замыкание
КМ — контроллер машиниста
коэф-т — коэффициент
кпд — коэффициент полезного действия
к-р — контактор
к рый — который
КСП — серия параллельный переключатель
к-т — контакт
к-та — кислота
кц. — килоцикл
ЛВ — линейный выключатель
ЛК — линейный контактор
л. с. — лошадиная сила

мар. — марка
м. б. — может быть
М-В — мотор-вентилятор
МВ — масляный выключатель
м/в. — моторный вагон
МГ — мотор-генератор
м. д. — может дать
мдс — магнитодвижущая сила
мес. — месяц
мн-к. — многоугольник
мин. — минута
МК — мотор-компрессор
млн. — миллион
млрд. — миллиард
мол. в. — молекулярный вес
м. пр. — между прочим
МЭК — международная эл.-техническая комиссия

наз. — называется
напр. — например
нач. — начальник
н/в — низковольтный
нек-рый — некоторый
нижеслед. — нижеследующий
н/н — низкое напряжение

об-во — общество
об. депо — оборотное депо
об/мин. — оборотов в минуту
ок. — около
ОМ — отключатель мотора
ОП — одноякорный преобразователь
осн. депо — основное депо

НТБ
ДНУЗТ

п. — пункт, пп. — пункты
 пасс-км — пассажиро-километры
 п/в — паровоз
 пер. — период
 пер/сек. — периодов в секунду
 пер-ский — периодический
 пл. — площадь
 пог. м — погонный метр
 пр. — прочие
 пром-сть — промышленность
 противоэдс — противоэлектродвижущая сила
 проф. — профессор
 проц-ный — процентный
 п/ст — подстанция
 ПТЭ — Правила технической эксплуатации
 РВ — ртутный выпрямитель
 разд. — раздел
 РМН — реле максимального напряжения
 РРП — реле ручного пуска
 рт. ст. — ртутный столб
 РУ — реле ускорения

С — север
 св. — свеча
 с.-з. — северо-западный
 сек. — секунда
 сер. — серия
 сист. — система
 след. — следующий
 след. обр. — следующим образом
 ср.-арифметический — средне-арифметический
 ср.-квадратичный — средне квадратичный
 ср/н. — среднее напряжение
 ст. — станция
 стр. — страница
 сц. в. — сцепной вес

тв. — твердость
 т/в — тепловоз
 т-во — товарищество
 ТД — тяговый двигатель

темп-ра — температура
 т. к. — так как
 ТКЗ — ток короткого замыкания
 ТМ — тяговый мотор
 т. н. — так называемый
 т. о. — таким образом
 ТП — тяговое плечо
 тр-к — треугольник
 тр р — трансформатор
 ТУ — технические условия

уд. — удельный
 уд. в. — удельный вес
 УП — урочное положение
 ур-ие — уравнение
 уч-к — участок
 ф-ия — функция
 ф-ка — фабрика
 ф-ла — формула
 фнт. — фунт
 фт. — фут.

хим. сост. — химический состав

ц. — цикл
 ЦОЭ — центральный отдел электрификации
 ц. т. — центр тяжести
 ЦЭС — Центральная электрическая станция

ч. — час
 чет-к — четырехугольник

ш. — широта

э-во — электричество
 эдс — электродвижущая сила
 эл. — электрический; электро-
 эл/в — электровоз
 эл/ваг. — электровагон
 ЭК — электромагнитный клапан
 эфф. — эффективный

Электрические меры

A — ампер
 Ah — ампер-час
 W — ватт
 V — вольт
 VA — вольт-ампер
 kV — киловольт
 kVA — киловольт-ампер

kW — киловатт
 kWh — киловатт-час
 lm — люмен
 lx — люкс
 F — фарада
 H — генри
 Hz — герц

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- П р и м е ч а н и я:** 1. Все основные термины напечатаны черным шрифтом и имеют подробное алфавитное оглавление детальных подразделений.
 2. Одно тире (—) означает повторение основного термина, два (— —), три (— — —) и т. д. тире означают повторение двух и соответственно более слов предыдущей строки.
 3. Цифра в конце строки означает страницу. Цифра со звездочкой означает ссылку на таблицу на указанной странице.

А	
Автомотриса «ДПА-90», расчетные данные	120*
— «ДЕ-277», расчетные данные	118*
Английская бечевка № 321	137
Аппараты защиты управления	212
— управления ТД, дистанционного	185
— — — непосредственного	182
Асбестовая бумага № 1305	137
— лента № 1303	137
Асбестовое полотно № 1302	137
Асинхронные ТД . . .	57;58

Б	
Балансировка ТД . . .	71
Бандажи, предельные перегревы .	16*
Бандажировка	82
Барaban реверсивный	184
Батист № 3201	137
ВВС, расчетные данные	115*, 118*
Безреостатный пуск . . .	179
Бенедикта, однофазный коллекторный двигатель нормальной частоты	56
Бечевка английская № 321	137
Блокировка эл. торможения с пневматическими тормозами	213
Браковка стали листовой электрической	128
Брун Бовери, мотор-вентилятор, характеристика	294
— — — генератор характеристика	297
— — — компрессор, данные	298
Буксы ТД, уплотнения . . .	107
Бумага кабельная № 3111 . . .	137
Бумажно-слюдяная лента № 4501, 4502, 4503, 4504	138

В	
Вал ТД, допуски . . .	133
— — конструкция и расчет	69
— — критическое число оборотов	71
Вентиляция ТД	10;29
— — во время испытания	12
— — данные	116*
— — испытание	17

Вес подшипников	132*
— ТД . . .	113
— — серийного	52
— якоря . . .	113
Включение ТД . . .	148
Возбуждение вспомогательных машин	290
Воздушный зазор ТМ, расчет	43
«Вредные уклоны», учет	279
Вспомогательные цепи управления	215
Выбор передачи ТМ	40
— ТД для магистрального и промышленного эл/в	274
— — для маневрового эл/в	266
— — предварительный	281
— — учет вредного уклона .	279

Г	
Габарит ТД	116
Генератор «ДМГ-1500/50», режим пропитки и сушки секций	84
— Управление	295
Ganz, данные	115*, 118*

Д	
Давление, приборы для измерения	19
«ДБ-2», м в НКПС, расчетные данные	120*
«ДБ-60», режим пропитки и сушки секций	83
«ДБИ-2-220» эл в, расчетные данные	120*
«ДВ», режим пропитки и сушки секций	84
Двигатели тяговые см. Тяговые двигатели	—
Движение, построение кривой	285
Дери, репульсионные двигатели .	56
Детали ТМ, эл. испытания во время производства	108
Джоулевы потери	13
— — ф-ла нахождения	270
Диаметр вала ТД	69
— проволоки бандажной	82
Динамотор	290

Дистанционные системы управления ТД	185
Диэлектрическая крепость моторов, испытание . . .	6
«ДК-1А», эл/в, расчетные данные	120*
— 87 габарит	117*
— — расчетные данные	115*, 118*
— 100 А, м/в НКПС, расчетные данные	120*
Длительная мощность, определение	219
«ДМ-1А», трамвай, расчетные данные	120*
— — — режим пропитки и сушки	84
«ДМГ-1500/95» и «ДМГ-1500/50», режим пропитки и сушки	84, 80
«ДМП-150», режим пропитки и сушки секций	83
— — — 151, расчетные данные	120
Добавочные потери ТД	45
Допуски валов	133
— на обработку щеток эл. машин	101*
— отверстий корпусов	133
— стали листовой электротехнической ОСТ	127
«ДП-150», м/в, НКПС, кривая остывания якоря	226
— — — — расчетные данные	120*
«ДПА-90», автотрасса, расчетные данные	120*
«ДПИ-150», расчетные данные	120, 265*
«ДПТ-140», т/п, расчетные данные	120*
«ДПЭ-100» и ДПЭ-200, эл/в промышленные, расчетные данные	120*
— 340, подсчет железных потерь	229
— 340, расчетные данные	120*
— 340, режим пропитки и сушки секций	83
«ДР-3К», трамвай, перегревы, вычисление	241
— — — расчетные данные	120*
«ДСЭ-680/2», эл/в, расчетные данные	120*
«ДТБ-60», троллейбус, расчетные данные	120*
— — — режим пропитки и сушки секций	84
«ДТИ-60», трамвай, расчетные данные	120*
«ДТК-50», трамвай, расчетные данные	120*
«ДТУ-40», трамвай, расчетные данные	120*
«ДУ-3», режим пропитки и сушки секций	84

Ж

Железо, ротора	90
— якорь, перегревы предельные	16*
Жидкое стекло № 1205	137

З

Зазоры мотор-вентилятора	298
Замедление	284
Защита ТД, цепи управления	212
— — — силовой	195
— шарика термометра при измерении темп-ры охлаждающего воздуха	12

И

Изоляционные материалы	137
— — классификация	3
Изоляция катушек магнитных	91*, 92*, 93*
— коллектора, между пластинками	71
— — испытание	76
— нормы испытания	3
— пределы нагрева	3
Испытания ТД изоляции коллектора	76
— — нагрев и охлаждение при перегрузке	25
— — нормы американского института инженеров-электриков	8
— — — международные	2
— — — СССР	15
— — по методу обратной работы	16
— — подробные	18
— — режимы: тепловой, часовой, длительный	21—25
— — в процессе производства	108
— стали листовой эл/технической при приемке, ОСТ	129
— эл-ческие в процессе производства	108

К

Кандо схема	58
Катушки мотор-вентилятора	43
Катушки полюсов	90
— эл. испытания в процессе производства	110*
— расчет нагрева	47
Киперная лента № 3208	137
Классификация изоляционных материалов	3
— стали листовой эл-технической ОСТ	126
Коллектор, данные	113
— эл. испытания в процессе производства	108*
— конструкция	71
— перегревы предельные	16*
— расчет	41, 74
— мотор-вентилятора	297
Коллекторные ТД	49
Коллекторный миканит	138

ИТЬ
ДНУЗТ

Коммутация ТД постоянного и переменного токов, испытание	6* 20
— однофазных	49
— расчет	47
	48
Компаунд № 2401	137
Компаундная характеристика	2
Компаундные двигатели, рекуперация	169
Компенсир. м. ВВС , расчетные данные	118*
— — Ganz, расчетные данные	118*
Конструкция ТД	69
Контроллер	183
Коэф-ты местных сопротивлений вентиляции	32
— уд. теплоотдачи дв-ля	292
КП режим пропитки и просушки секций	84
Кнд ТД, определение	13
— — пусковой	150
Кривые движения	285
— эдс	26

Л

Лак для пропитки якорей	86
— — клеящий	137
— № 2101, 2102, 2103, 2201, 2204	137
Лакоткань	137
Ленты изоляционные	137
«LG-3500», габариты	117*
— — расчетные данные	115*
	118
Литероид № 3107	137

М

Магнитная индукция , определение	130
— — стали листовой эл-технической ОСТ	128*
Магнитный поток ТМ, расчет	42
Маркировка стали листовой эл-технической ОСТ	130
Машины эл., размеры щеток	96*
	100*
	102*
— — переменного тока	307
— — постоянного тока	290
Метод квадратичного тока, нахождение поправки при расчете перегрева дв-ля	252
— — — учет потерь, нагревающих обмотку	230
— милливольтметра	83
— эквивалентного тока, выбор дв-ля для маневрового эл/в	266
— — — — промышленного и магистрального эл/в	274
Метро «ДМП-151», расчетные данные	120*
Минанит	137
Монтаж подшипников	103
М/в НКПС з-да «Динамо» им. С. М. Кирова	120*

Мотор-вентилятор	297
— генератор рекуперации	302
— — служебного тока	291
— — компрессора	298
Моторы тяговые, вес	113
— — испытания коммутации	6*
— — — нормы	3
— — — подробные по нормам СССР	18
— — — пуска	7
— — — эл. в процессе производства	108
— — напряжения номинальные	3
— — расчет	37
— — регулирование скорости	35
Мощность ТД, определение	10
— — часовая, длительная	219

Н

Нагрев изоляции, пределы	3
— обмотки	227
— — допускаемый	143
— однородного твердого тела ур-ие	223
— ТД	33
	227
— — предельный при часовой и длительной мощности	10
— — при перегрузке	25
— — проверка, методы	222
— — — приближенным способом	244
— — — по эквивалентному току	257
— — расчет	46
Нагрузки эл-магнитные ТД	114*
Напряжения ТМ номинальные	3
— — при испытании	4
— эквивалентные	258
Непосредственное управление ТД	182
Нормы испытания ТД, американского института инженеров-электриков	8
— — — международные	2
— — — СССР	15

О

Обмотка , нагрев	33
— опасная по нагреву	227
— расчет	42
— трехфазных асинхронных ТД	59
— якоря и катушек, перегревы предельные	16*
— — эл. испытания в процессе производства	110*
— — коллекторных моторов	77
Однофазные ТД	49
ОСТ 6391 на сталь листовую эл-техническую	126
ОСТ 6120 , посадки шарико-и ролико-подшипников	132*
— 6446 на роликоподшипники радиальные с цилиндрическими роликами	131*

— 6446 на роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами	132*
— 7939 на шарико- и роликоподшипники	131
Остов ТД	90
Отбор проб стали листовой эл-технической, ОСТ	129
Отключение аварийных дв-лей	196
Охлаждение ТД при перегрузке	25

П

Пантографы, цепь управления	215
Передача зубчатая, потери	15
— ТМ, выбор	40
Перегрев однородного твердого тела ур-ие	223
— ТД, величина	23
— — в конце рейса	247
— — определение	237
— — — графическим способом	250
— — поправка, нахождение	252
— — предельный для деталей	16*
— — при промежуточных рейсах	248
— — проверка приближенным способом.	244
— — работа на различных ступенях возбуждения	255
Перегрузка ТД, нагрев и охлаждение	25
Печи для пропитки и просушки якорей	87
Питающая частота однофазных ТД	49
Пито трубка . . .	20
Пластина коллекторная	71
Подшипники	95
— монтаж	103
— осе-моторные, потери	15
— смазка	105*
— срок службы	103*
— уплотнения	107
— Фишера	104*
— якорные, потери на трение	13
Поле дв-ля, регулировка	282
— — шунтировка	155
Полотно суровое № 3202	137
Полотняная лента № 3207	137
Поправки на пуски	278
— на разность характеристик	207
Посадка шарико- и роликоподшипников	132*
Постоянная времени	225,
— — проверяемого дв-ля	23
Потери джоулевы см. Джоулевы потери	—
— ТД постоянного тока	13
	15
	45
— — на гистерезис и токи Фуко в стали, ОСТ	128,
	130

— — нагревающие .	258
— — — обмотку, учет	227
— — определение	13
Преобразователи машин постоянного тока . . .	290
Прессшпан № 3103	137
Приборы для измерения давления	19
Приемка стали эл-технической листовой. ОСТ	129
Проверка коллектора	73
— нагрева ТД	227
— — — приближенным способом	244
— — — по эквивалентному току	257
— работоспособности ТД	221
Проверка стали листовой . . .	129
Проектирование эл. машин, обязательные размеры щеток	101*
Проволока бандажная, диам.	82
— — натяжение	86
Пропитка якорных секций «ПТ-35 А», трамвай, расчетные данные	120*
— — — режим пропитки и сушки секций	84
Пунга-Шен ТД однофазный, асинхронный	57
Пуск ТД автоматический	154
— — безреостатный	179
— — испытание	7
— — кпд	150
— — неравномерность	140
— — реостатный	139
— — — сопротивление реостата при пуске нескольких дв-лей	147
— — ускорение	284
Пусковая коммутация, улучшение	49
Пусковые сопротивления, схемы	197

Р

Работоспособность ТД, проверка	221
Размеры листов стали эл-технической	126
— роликоподшипников	131*, 132*
— трубы для измерений воздуха	19
— щеток	94*, 96*, 99*
	101*
	296
Расход энергии, учет	287
Расчет вала	69
— коллектора	74
— коммутации	48
— мотора	37
— обмотки якоря коллекторных моторов	77
— перегрева	252
— постоянной времени	234
— ступеней пускового реостата	143
— — сопротивлений при реостатном торможении	163

НТБ
ДНУЗТ

— теплоемкости ТД	234
— ТД асинхронных, трехфазных	69
— — серийных	54
— энергии, .	287
Реверсивный барабан	184
— контроллер	187
Реверсор, цепь управления	213
Регулирование мотор генератора	293
Регулирование скорости ТД	35
— — — асинхронных, трехфазных	58
— — — компенсированных, репульсионных	56
— — — серийных	51
— тока пускового	210
Регулировка поля	284
Рекуперативное торможение	279
Рекуперация	168
Реостат пусковой , закон изменения сопротивлений	140
— — расчет ступеней графическим методом	143
— — сопротивление при пуске нескольких дв-лей	147
Реостатное торможение	159
Репульсионные ТД	54
Роликподшипники , закругления углов и др. ОСТ	131*
— монтаж	103*
— посадка	132*
	133*
— смазка	105
Ротор, железо	90

С

Самовентиляция	10
Сердечники ТД, размеры	113
Серийная характеристика ТД	1
Серийные дв-ли	50
— — рекуперация	168
— — — с применением возбуждателей	173
— — характеристика	1,35, 281
Сети тяговые, пределы колебаний нормального напряжения	8
Силовые цепи, вспомогательные	213
— защита	195
— — отключение аварийных дв-лей	196
— — схемы	186
Системы управления ТД	182
Скорости ТД, регулирование	35
Скорость поезда предельная	219
— постоянная на вредном уклоне	207
— ТД асинхронных, трехфазных, регулирование	58
— — компенсированного, репульсионного, регулирование	56
— — регулирование	35
— — серийных, регулирование	51
Смазка подшипников	103
Сопротивления пусковые, схемы	61

Сталь листовая эл-техническая, ОСТ	129
Статор ТД	90
Сушка якорных секций	83*
Схема Кандо	58
— силовой цепи	186
— — вспомогательной	215
— пусковых сопротивлений	197
— цепей управления	201
— эл/в и м/в	186

Т

Темп-ра , измерение при испытании ТД	5
— охлаждающего воздуха, средняя	12
— предельные повышения в ТД	10
— — при эксплуатации ТД	9*
Тепловые режимы	21
Теплоемкость ТД, расчетные величины	234
Теплоотдача ТД	259
— — уд. коэф-нт	232
Термометр, защита шарика при измерении темп-ры охлаждающего воздуха	12
Типы ТД	9
	50
ТМ-3301 , габариты	117*
— — расчетные данные	115
	117*
Ток квадратичный	275
— максимальной мощности при коллекторном ТД	219
— плотность в проводах	114*
— пусковой, регулирование	210
— эквивалентный	257
Торможение	277
	213
— противотоком	166
— рекуперативное	168, 279
— реостатное	159
Трамвай в-да «Динамо» им. С. М. Кирова, расчетные данные	120*
Троллейбус «ДТБ-60», расчетные данные	120*
Труба для измерения воздуха при испытании ТД	19
Трубка Пито	20
ТУ на сталь листовую, эл-техническую	126
Тяга м/в, нормальный цикл	256
Тяговые двигатели, вентиляция	29
— — — при испытании	12
— — — выбор	217
— — — для магистрального и промышленного эл/в	274
— — — для маневрового эл/в	276
— — — предварительный	281
— — габариты	117*
— — данные	113
— — испытания во время производства	108

— — — подробные	17
— — — по методу обратной ра- боты	16
— — конструкция	69
— — коэф-т уд. теплоотдачи	232
— — кривая эдс	26
— — кпд, определение	13
— — нагрев	33
	148
— — — приближенный способ проверки	244
— — — и охлаждение при пере- грузке	25
— — нормальный цикл при мо- торвагонной тяге	256
— — нормы испытания американ- ского института инженеров- электриков	8
— — — — международные	2
— — — — СССР	15
— — однофазные	49
— — — коллекторные д-ра Бе- недикта	56
— — определение мощности	10
— — постоянного тока	35
— — постоянная времени	259
— — — — расчетные величины	234
— — проверка нагрева по экви- валентному току	257
— — — работоспособности	221
— — пропитка и сушка якорей в эксплуатации	84
— — расчет расхода энергии	287
— — рекуперация	168
— — репульсионные пониженной частоты	54
— — — Дери	56
— — серийные	50
— — — регулировка поля	282
— — — характеристика	281
— — — совершенно закрытый	10
— — с регулировкой возбуждения	9
— — — схемы включения	148
— — — силовой цепи	186
— — — теплоемкости, расчетные ве- личины	234
— — теплоотдача	259
— — типы	50
— — трехфазные асинхронные	58
— — — — расчет	69
— — — торможение противотоком	166
— — — реостатное	159
— — управление	139
— — — системы	182
— — учет вредного уклона при выборе	279
— — характеристика, построение	280, 285
— — — серийная	1
— — — универсальная	35, 281
Тяговые сети	8

— характеристики см. характе-
ристики

У

Универсальные характеристики	35, 281
Упаковка стали листовой эл-тех- нической	130
Уплотнения букс ТД	107
Управление ТД	139
— — непосредственное	182
— — схемы цепей	201
Ур-ие нагревания однородного, твердого тела	223
— нахождения джоулевых потерь	270
— — перегрева ТД	247
— — постоянной времени	225
— — тока эквивалентного	260
Ускорение	284

Ф

Фишера подшипник с цилиндри- ческими роликами	104*
Флорентин № 3203	137

Х

Характеристика мотор-генератора	115
— Броун Бовери	294
— — — метро-Викнере	295
— торможения реостатного	165
— ТД	1,15 35
— — — построение	285
— — серийных типовые	51
— двигателя постоянного тока, универсальные	35, 281
— — построение при выборе	280
Хрупкость стали	130

Ц

Цепи силовые см. силовые цепи	
— управления	201
— — автоматического	209
— — аппаратов защиты	212
— — вспомогательные	215
— — неавтоматического	192
— — реверсоров	213

Ч

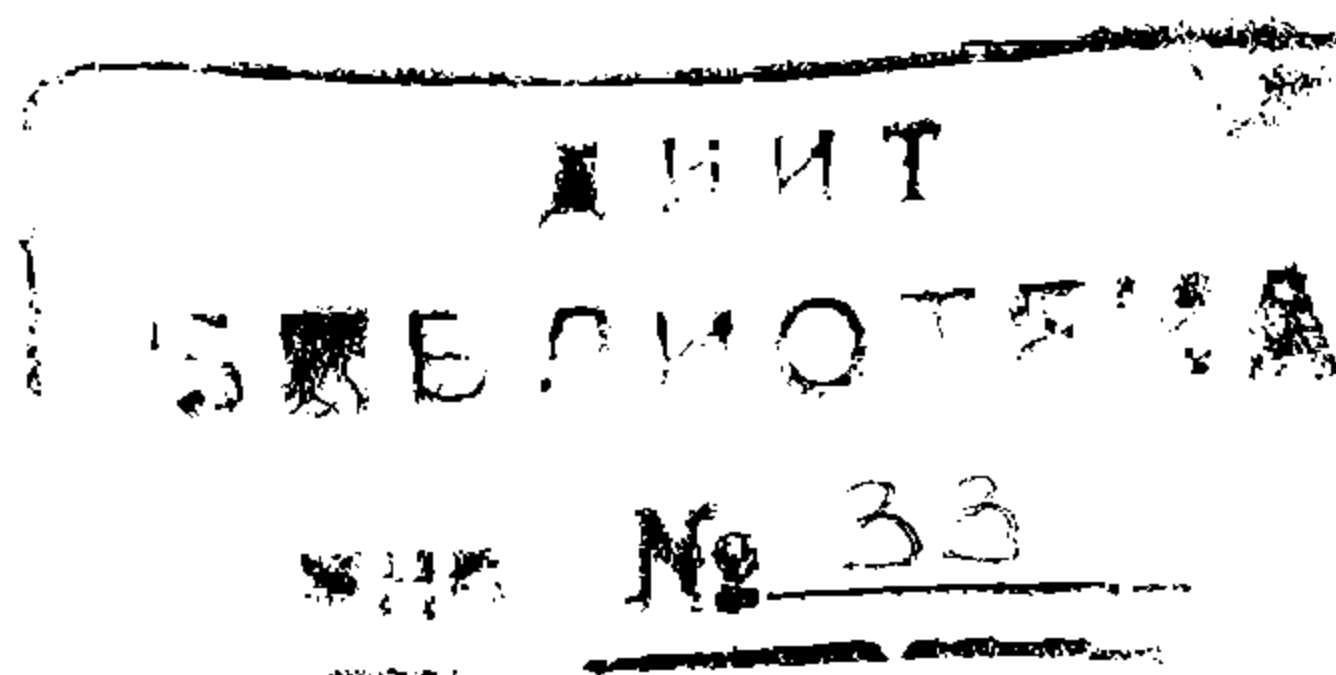
Часовая мощность, см. мощность —

Ш

Шарикоподшипники, закругления углов ОСТ	131
— посадки ОСТ	132
Шелк муслин № 3206	137
Шлако-слюдяная лента № 4506, 4508	138
Штамповка стали листовой эл-тех- нической ОСТ	127
Шунтировка поля ТД	155
Шунтовая характеристика ТД	2
Шунтовые дв-ли, рекуперация	168

НТБ
ДНУЗТ

Щ			
Щетки мотор-вентиляторов	298	— — пропитка и сушка якорей	84
— эл. машин	94	— — темп-ры предельные . . .	9*
— — — допуски на обработку	101*	Электрическая прочность ТД, ис- пытание . . .	14
— — — потери на трение	13	Эл/в з-да «Динамо» им. С. М. Ки- рова, расчетные данные	120*
— — — размеры	96*—100*	— магистральный, выбор дв-ля	274
— — — расчет	41	— маневровый, выбор дв-ля	266
— — — свойства физические и электрические	97*	— промышленный, выбор дв-ля	274
Щеткодержатель	94	— схемы	186
— эл. испытания в процессе про- изводства	108	Эдс ТД кривая	26
		Энергия, определение расхода	287
Э		Я	
Эквивалентный перегон	285	Якорные секции, эл. испытания в процессе производства	109*
— подъем	286	Якорь ТД, вес	143
— ток	257	— — пропитка и просушка	84
— — метод выбора дв-ля для эл/в маневрового	266	— — расчет нагрева	46
— — — — — промышлен- ного и магистрального	276	— — часовой режим	115
— — ф-ла	260	— мотор-вентилятора, расчетные данные	297
Эксплуатация ТД, определение перегревов	237		



121113-222



сканировала Тараненко Т,В,

НТБ
ДНУЗТ