

1934

„Коммунизм — есть советская власть
и массовая электрификация всей страны“
ЛЕНИН

13 MAR 1934

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 2

ФЕВРАЛЬ

ВЫПУСК I



МОСКВА
ЛЕНИНГРАД

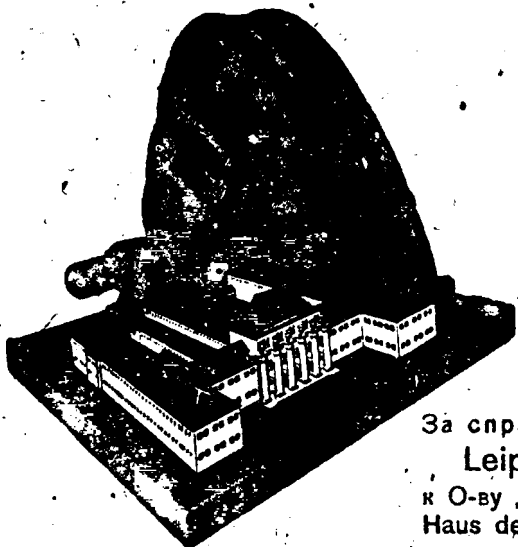
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Изделия
германской электротехники

Весна 1934 г. с 4—11 марта



В рамках большой технической и строительной ярмарки, Лейпциг

За справками обращаться к Ярмарочному Комитету:
Leipziger Messamt, Leipzig (Германия), а также
к О-ву „Здание Электротехники“ на Выставочной площадке:
Haus der Elektrotechnik e. V., Ausstellungs-Gelände, Leipzig

6702

О Н Т И

Энергоиздат

ОТКРЫТА ПОДПИСКА на 1934 г. НА ЖУРНАЛ „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

Год издания 55-й

Орган Главэнергопрома и Главэнерго НКТП, Энергетического ин-та академии наук СССР и Всесоюзного энергетического комитета рабочей, научной и инженерно-технической общественности (ВЭН-РНТО)

20 номеров в год

Подписная цена:

на 12 мес. . . 25 р. —
на 6 мес. . . 12 р. 50 к.
на 3 мес. . . 6 р. 25 к.
Отдельн. номер 1 р. 25 к.

В группе энергетических журналов СССР „Электричество“ является основным руководящим научно-техническим органом, рассчитанным на квалифицированных работников электропромышленности и электрохозяйства.

Программа журнала: Современные научно-исследовательские, теоретические и практические проблемы электротехники и в частности вопросы электро-машино- и аппаратостроения и техники высоких напряжений. Наиболее важные технические и технико-экономические вопросы проектирования, строительства и эксплуатации электростанций и вопросы электрификации промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Освещение работы электротехнических научно-исследовательских институтов и крупнейших лабораторий. Освещение работы важнейших энергетических съездов, конференций и ВЭНТО. Основные вопросы подготовки кадров, рационализации и стандартизации в электропромышленности и электрохозяйстве. Критическая библиография о вновь выходящей электротехнической литературе. Обзоры электрификации СССР и капиталистических стран. Рефераты на статьи в иностранной электротехнической печати.

Подписку на журналы и деньги направляйте по адресу: Москва, Центр, Ильинка, проезд Владимира (Юшков пер.), 4, Главной конторе периодических и подписных изданий ОНТИ „ТЕХПЕРИОДИКА“.
Подписка принимается отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими удостоверениями, общественными сборщиками подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а, всеми почтовыми отделениями и письмоносцами.

При всех заказах и иностранным фирмам с приложением каталога, образцов и проектов просим обращаться за № 4-го журнала.
Выписка заграничных товаров может осуществляться лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1934

ФЕВРАЛЬ

Орган ГЛАВЭНЕРГОПРОМА и ГЛАВЭНЕРГО НКТП, Энергетического института Академии наук СССР и Всесоюзного энергетического комитета рабочей, научной и инженерно-технической общественности (ВЭК-РНТО)

Адрес редакции: Москва, Неглинный пр., 6/2. Тел. 62-84

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
НОВОЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ		ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТА¹	
Инж. А. И. ИОФФЕ—Установка для разрушения ядра атома	1	Инж. М. М. БЕЛЯЕВ—Режим работы вентильного двигателя при рекуперации	37
Инж. А. В. ЛАТЫНИН—Линии электропередач как каналы связи	4	Трибуна читателей	
Инж. С. М. ФЕРТИК и инж. Г. Г. ДЕМИДОВ—Счетчик-регистратор перенапряжений	14	Проф. С. А. ПРЕСС—К вопросу о выборе напряжения для городских сетей	39
ИЗ РАБОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИН-ТОВ И ЛАБОРАТОРИЙ		Инж. Л. Б. БРАУДЕ—Выбор мощного выключателя на 380 kV	40
Проф. М. П. КОСТЕНКО—Косвенный метод теплового испытания асинхронных двигателей	17	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ	
Инж. Н. И. ПРОТОПОПОВ—Охлаждение ртутных выпрямителей циркуляционной водой при помощи охладителя поверхностью испарительного типа	23	Проф. С. А. КУКЕЛЬ-КРАЕВСКИЙ—О методе построения энергетических показателей	42
Инж. Н. Н. КРАЧКОВСКИЙ—Выбор числа и мощности трансформаторов для районных подстанций	28	ХРОНИКА	46
Инж. М. З. ЖИЦ—Об одном простом и наглядном методе изображения эквипотенциальных соединений в обмотках машины постоянного тока	36	БИБЛИОГРАФИЯ	—
		ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ	48

НОВОЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ¹⁾

Установка для разрушения ядра атома¹⁾

Инж. А. И. Иоффе
Ленинград

Искусственное превращение одних химических элементов в другие, получение искусственного радия, действие которого будет эквивалентно громадному количеству естественного, и т. д.—таковы уже в настоящем реальные результаты изучения свойств атомного ядра. Продолжающееся интенсивное изучение свойств атомного ядра должно в ближайшее время дать ответы на целый ряд теоретических вопросов современной физики и одновременно с этим дать новые технические применения большой ценности. Изучение свойств атомного ядра, как известно, производится при расщеплении ядра, достигаемого тем или иным методом.

Впервые воздействие на атомное ядро с целью изучения свойств ядра было произведено бомбардировкой α -частиц. Но бомбардировка α -частицами, которые представляют собой ядро гелия, не сопровождается значительным и нужным эффектом в силу свойств, присущих ядру гелия. Ядра гелия обладают сравни-

тельно большой массой при значительно элементарном заряде. Это препятствует глубокому проникновению α -частиц во внутриядерную структуру бомбардируемого элемента.

Кроме указанного получение незначительного эффекта воздействия определяется еще и количественно малым излучением α -частиц. Для создания более сильного разрушающего действия на атомные ядра были применены быстрые протоны, т. е. ядра водорода. Масса ядра водорода в четыре раза меньше массы ядра гелия при сравнительно небольшом элементарном заряде. Кроме того, излучение протонов может быть увеличено по сравнению с излучением α -частиц, что имеет существенное значение на процессе расщепления.

Известно²⁾ несколько методов получения быстрых протонов, отличающихся той или иной степенью сложности их получения. В основном эти методы заключаются в создании ускоряющих электрических полей, применяя для этого очень высокие напряжения. При

¹⁾ Настоящая статья инж. А. И. Иоффе является дополнением к статьям, помещенным в журнале «Электричество» на тему об изучении атомных ядер. В данной статье описывается установка Лауренса, осуществленная в Ленинграде и представляющая большой

сальная научная библиотека
²⁾ См. Л. В. Мысовский, Лабораторные методы получения быстрых электронов и протонов. «Успехи физических наук», т. XII.

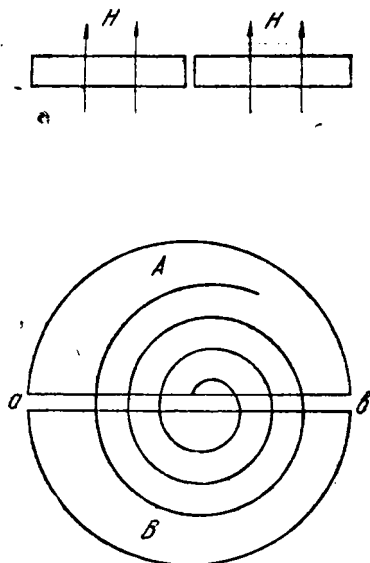


Рис. 1

этом трудности, возникающие при осуществлении таких установок, в значительной мере относятся не к методам получения высокого напряжения, а к устройству и выбору изоляции для конструктивного выполнения ускорителя.

Одним из наиболее новых способов получения быстрых протонов и технически наиболее изящным является метод Лауренса и Ливингстона³⁾. Этот способ расщепления атомного ядра, не требующий наличия высоких напряжений, был принят в основу проектировки установки для Государственного радиевого института в Ленинграде⁴⁾.

Получение быстрых протонов по методу Лауренса и Ливингстона, как известно, основано на воздействии электрических и магнитных полей на водородные ионы, получаемые в процессе ионизации водорода электронами, эмитируемых накаленной нитью (катодом). Разгон протонов осуществляется в специальном ускорителе АВ. Ускоритель АВ представляет собой металлическую коробку цилиндрической формы небольшой высоты, разрезанную на две части по диаметру *ab* (рис. 1).

К каждой половине цилиндрической коробки подводится высокочастотное напряжение порядка 4–5 кВ

³⁾ E. Lawrence and Livingston, Phys. Rev. 40, 1932 г.

⁴⁾ Работа по проектировке и выполнению установки была предложена и руководилась проф. Л. В. Мысовским.

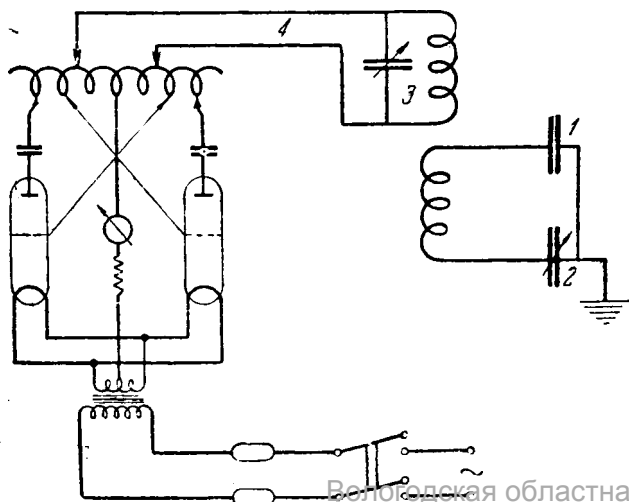


Рис. 3. 1—тиратроны 40 А; 2—газотроны 40 А; 3—анодный трансформатор 220/6 000 В; 4—трансформатор накала газотронов; 5—трансформатор накала тиратронов; 6—фазовращатель; 7—батарея смещения; 8—буферный трансформатор; 9—дрессель фильтра; 10—конденсаторы фильтра

от лампового генератора для создания между разрезанными половинами высокочастотного электрического поля. Весь же ускоритель помещается между полюсами мощного электромагнита, силовые линии поля которого перпендикулярны основаниям цилиндрической коробки. Этим достигается круговое движение водородных ионов, подвергающихся воздействию поперечного магнитного поля.

Процесс разгонки протонов до чрезвычайно больших скоростей, выражаемых в миллионах вольт-протонов, происходит следующим образом: протоны, в начале процесса передвигающиеся с некоторой начальной скоростью по круговой траектории, получают ускорение от потенциала половины (например, верхней) цилиндрической коробки. Перейдя во вторую половину коробки, протоны получают дополнительное ускорение, так как потенциал этой половины цилиндра будет одинаков с первой при равенстве времени пробега протонами полуокружности полупериоду лампового генератора. Скорость протона во второй половине цилиндрической коробки увеличивается вдвое. Переходя снова в первую половину коробки, протоны получают снова дополнительное ускорение, скорость их утраивается и т. д. Таким путем протоны разгоняются до очень больших скоростей по спиральной траектории с полуокружностями все увеличивающихся радиусов, определяемых размерами ускорителя.

Нетрудно показать, что конечная скорость протонов будет прямо пропорциональна числу полуокружностей, ими проходимых.

Как уже было указано выше, разгон и нарастание скоростей протонов произойдет при соблюдении условия равенства времени пробега пути по полуокружности и полупериодом лампового генератора.

Определим, какова должна быть частота лампового генератора при заданной напряженности магнитного поля *H* для получения разгона протонов. Движение протона в магнитном поле определяется следующим уравнением:

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{Hev}{c}, \quad (1)$$

где *m*—масса протона, *v*—скорость движения, *R*—радиус полуокружности, *H*—напряженность поля,

Время, необходимое для пробега протоном полуокружности,

$$t = \frac{\pi R}{v} = \frac{\pi mc}{He} \quad (2)$$

Из этого выражения вытекает, что время пробега протоном полуокружности зависит только от напряженности магнитного поля H , так как m и e для данного газа—величины постоянные.

Частота, необходимая при данной напряженности магнитного поля H для разгона, будет равна

$$f = \frac{1}{2t} = \frac{He}{2\pi mc} \quad (3)$$

Имея большие напряженности поля, что необходимо для получения большого количества полуокружностей, так как благодаря большому H радиус первой полуокружности может быть достаточно малым, генераторную установку необходимо иметь на очень высокие частоты. При этом будет соблюден синхронизм между скоростью пробега и изменением потенциала на половинках цилиндрической коробки.

Осуществленный нами для этой цели ламповый генератор может работать на частотах от $3 \cdot 10^6$ до $2 \cdot 10^7$ Hz, что соответствует волнам от 100 до 15 м. Мощность генераторной установки, не касаясь общетехнических принципов ее нахождения, определялась, исходя из двух основных условий работы установки. Первым условием является сообщение разгоняемому протону значительной энергии, для чего необходимо достаточно высокий потенциал подать на ускоритель. Вторым условием было поставлено увеличение размеров ускорителя до значительных для получения чрезвычайно большой конечной скорости протонов. Значительные размеры ускорителя (для получения большого числа полуокружностей) связаны с увеличением емкости ускорителя.

Получение высокого напряжения на большой емкости при очень высокой частоте и определяет необходимую мощность генераторной установки. Мощность генераторной установки, осуществленной нами, равна 20 kW при наиболее короткой волне. В целях значительной простоты в эксплуатации и возможности быстрого перехода с одних рабочих частот на другие, значительно между собой отличающихся, была принята двухтактная схема на самовозбуждении (рис. 2).

Схема выбрана параллельного питания на двух мощных лампах с водяным охлаждением типа Гк-2000. Подача высокочастотного напряжения на ускоритель 1 производится посредством фидера 4 через фидерные трансформаторы 3. Во вторичном контуре наряду с ускорителем имеется конденсатор переменной емкости 2 для настройки резонансного контура в резонанс. Особое внимание было обращено на устройство катушки резонансного контура для высокочастотного тока в 150 А для получения в ней минимальных потерь при воздушном охлаждении катушки. Питание анодов ламп для сохранения синхронизма всей массы протонов производится выпрямленным напряжением через фильтр для получения незначительной пульсации. Выпрямительная установка запроектирована на 50 kW по шестифазной схеме Греца на 40-А тиратронах (рис. 3).

Применение в качестве вентиля тиратронов ионных ламп с управляющей сеткой дает возможность легко и в очень больших пределах менять выпрямленное

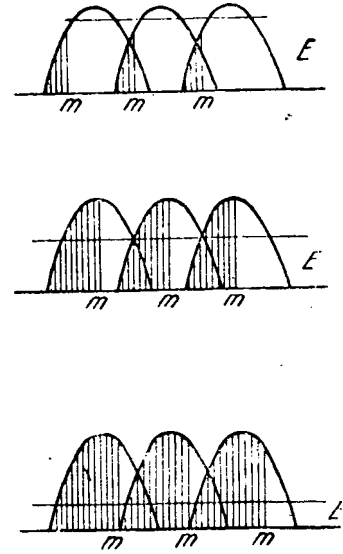


Рис. 4

напряжение без помощи автотрансформаторов, потенциал-регуляторов и т. п.

Регулировка выпрямленного напряжения производится изменением фазы напряжения на сетке по отношению анодного напряжения специальным фазовращателем 6. В качестве фазовращателя употребляется обычный 3-фазный кольцевой асинхронный мотор мощностью 2 kW, снабженный червячным приводом.

Изменением фазы напряжения на сетке тиратрона (по отношению к анодному) меняется момент зажигания, зависящий от определенного напряжения на сетке. Вместе с изменением момента зажигания изменяется форма импульса выпрямленного тока, и как следствие этого—выпрямленное напряжение, так как изменяется количество электричества, протекающего за период. Изменение выпрямленного напряжения в зависимости от момента зажигания (m) представлено на рис. 4.

Для ограничения токов сеток в момент зажигания в цепях сеток введены омические сопротивления порядка 200 Ω и дано отрицательное смещение около 15 V. Следует указать, что напряжение смещения зависит от величины анодного напряжения, при увеличении которого смещение должно быть увеличено.

В целях предохранения от пробоя изоляции фазовращателя, находящегося, как это видно по схеме, под высоким напряжением, и от попадания высокого напряжения в низковольтную цепь переменного тока применяется буферный трансформатор 8 с высокой изоляцией между обмотками. Испытания изготовленной выпрямительной установки дали вполне удовлетворительные результаты в отношении регулировки напряжения. Выпрямленное напряжение изменялось от максимума почти до нуля при вращении ротора фазовращателя в пределах 120° . Недостатком выпрямителя на тиратронах является переменная величина пульсации, увеличивающаяся при снижении напряжения. Рассчитав фильтр на пульсацию при минимально необходимом напряжении, легко получить нужное постоянство напряжения.

Такова в общих чертах изготовленная и предварительно испытанная высокочастотная часть установки, в ближайшее время входящая в работу.

2/XI 1933 г.

Линии электропередач как каналы связи

Инж. А. В. Латынин

Научно-исследовательский институт связи

Быстрое развитие крупных силовых сетей высокого напряжения с рядом электроцентралей, повысительных и понизительных подстанций и линейных переключательных пунктов вызвало создание службы диспетчерского управления, которая потребовала себе связь. Связь обычными средствами (проволочная связь) не могла удовлетворить требованиям надежности, необходимой по роду работы электрообъединений, и потому после целого ряда исканий перешли на связь высокой частотой по самым линиям электропередачи.

Связь высокой частотой по линиям высокого напряжения получила свое начало еще в первых годах нашего столетия, в частности, уже в 1905 г. была осуществлена первая телефонная связь по линии напряжением в 5000 V между пунктами Валансье и Миссерон в Италии. Война 1914—1918 гг. сильно задержала техническую мысль и на реальную почву вопрос встал только после 1921 г., когда „Парижская интернациональная конференция по линиям высокого напряжения“ подчеркнула необходимость обратить на эту отрасль электротехники серьезное внимание. В Европе и Америке техническая мысль, работавшая и раньше в этой области, сразу же сильно продвинулась вперед, и уже к 1922/23 г. дала ряд технически завершенных установок, вступивших в эксплуатацию на линиях электропередач разных напряжений.

В СССР вопрос несколько задержался, и первые опыты по использованию высокой частоты для связи по линиям сильного тока относятся к концу 1922 г., когда впервые была поставлена задача установить удовлетворительную телефонную связь по линии напряжением 110 kV между Каширской гЭС и Кожуховской подстанцией в Москве. Но настоящая эксплуатация связи высокой частотой по линиям высокого напряжения началась у нас по существу только с 1927—1929 гг., когда было пушено в работу несколько постов, смонтированных мастерскими Ленинградского физико-технического института и установленных на линиях Ленэнерго, Мосэнерго и Донэнерго.

Этот период нужно отметить как начало нашего советского производства постов для связи высокой частотой по линиям электропередачи и как наиболее напряженный период борьбы за освоение и внедрение этого нового для СССР вида техники со стороны энтузиастов этого дела акад. А. А. Чернышева и его непосредственного помощника инж. А. М. Круглякова.

За границей, как мы уже отметили, работы в области телефонирования по линиям высокого напряжения начались много раньше, чем у нас, и поэтому результаты там на сегодняшний день технически более разнообразны и интересны. Начав свои разработки в основном с одних и тех же принципов, различные фирмы пошли разными путями и, углубляя и совершенствуя свою аппаратуру, достигли каждая достаточно хороших результатов. Правда, до сих пор все фирмы исходили только из задач обслуживания нужд эксплуатации собственно силовых устройств, и потому, задачи, которые ставились перед такой связью, обычно сводились к требованию одной дуплексной связи на расстоянии в 100—150 км с максимально возможным запасом надежности действия. Отсюда и основной упор в расчете данных установок был взят на сравнительно большие выходные мощности с тем, чтобы при небольших расстояниях сферы действия одной силовой сети получить надежную связь даже при об-

счет усиления передачи уменьшить общий уровень помех и шумов на приеме.

В настоящее время развитие электросилового хозяйства СССР, предусмотренное второй пятилеткой, и создание единой высоковольтной сети резко меняют всю картину. Проводные линии связи в наше время уже мало пригодны для установления магистральной связи, так как большая их протяженность служит причиной частых перерывов действия и, кроме того, развитие линий передач высокого напряжения делает влияния столь значительными, что появляется необходимость установки ряда сложных защитных устройств. Установление одной магистрали связи требует тысяч тонн дефицитных металлов, стоит миллионы рублей и это только для постройки собственно линии. Поэтому естественно подумать о возможности установления многократной связи путем наложения на линию электропередачи высоких частот.

Приближенное рассмотрение линий электропередачи говорит о том, что при наличии двух трехфазных (трехпроводных) систем можно создать до 12 каналов связи. Наличие линий в 220 kV, дающих в общем направления по 2000—3000 км, делает возможным установление по этим линиям связи между отдельными ответственными пунктами Союза, что и заставило сейчас НИИС НКС остановиться на данной проблеме, дающей в случае удачного ее разрешения связь исключительно надежную благодаря большой механической прочности и большой способности самозащиты, которой обладают линии электропередачи; этим линиям не страшны ни мелкие набросы, совершенно останавливающие наши бронзовые цепи, ни дожди, ни туманы, ни целый ряд тех причин, которые на наших длинных дорогостоящих магистралях связи нарушают эту связь то в одном, то в другом пункте.

Но может возникнуть вопрос, возможно ли осуществить у нас то, чего нет еще ни в одной стране, и прежде чем дать ответ, мы разберем по отдельности все элементы, взвесив возможности применения их к нашему делу.

Задача бесперебойной диспетчерской службы и эксплуатации электросетей в основном сводится:

- 1) к требованию одной двухсторонней связи;
- 2) к связи на расстояния не свыше 200 км;
- 3) к связи по линиям напряжения 110 kV;
- 4) к связи по сетям сложной конфигурации;
- 5) к связи даже при обрыве линейных проводов;
- 6) к замкнутости подобных систем.

Задачи, поставленные нами, на первый взгляд резко противоположны, ряду указанных выше и сводятся:

- 1) к многократной телефонно-телеграфной связи;
- 2) к перекрытию одним устройством до 1000 км;
- 3) к возможности работать с трансляциями и переприемом;
- 4) к возможности коммутации и переприема на нормальных устройствах связи;
- 5) к работе по линиям напряжением не ниже 220 kV;
- 6) к работе на прямых транзитных линиях.

Рассмотрение тех и других требований приводит к выводам, что по основному техническому затруднению—работа по сети сложной конфигурации, т. е. работа в условиях линии с непостоянной характеристикой требования Наркомсвязи легче. Предусмотренные второй пятилеткой к постройке мощные транзиты на-

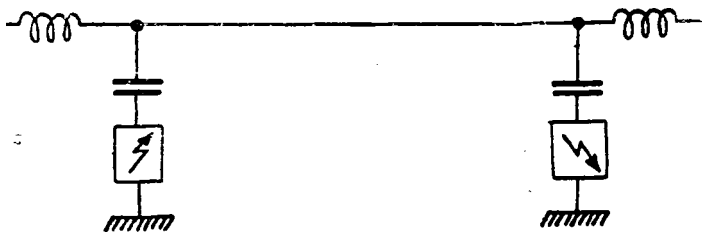


Рис. 1. Схема работы двух установок

лические коридоры без каких-либо шлейфов и отпаек, усложняющих схему устройства в целом.

Повышение рабочего напряжения линии передачи усложняет конструктивную разработку приборов включения, но в основном мало меняет принципы и даже частично улучшает данные линии благодаря повышенной изоляции самой линии передачи. Выход на широкую и технически разнообразную сеть связи Союза необходим для наиболее широкого использования данных установок высокой частоты, но технических затруднений это не представляет и потому к усложняющим требованиям отнесено быть не может.

Большая трудность должна явиться при осуществлении этого вопроса дает большое усложнение в выборе наивыгоднейших частот (на чем мы остановимся при дальнейшем исследовании) и усложняет конструктивное выполнение приборов включения и обработки линии, но вопрос этот разрешим, и над ним предстоит работать.

Из приведенного сравнения можно сделать вывод, что требования Наркомсвязи, несмотря на свою кажущуюся противоположность задачам, выставленным до сих пор, вполне технически осуществимы и требуют только некоторой разработки. Для большей ясности разберем кратко принцип, на котором работают установки высокой частоты для связи вдоль линий высокого напряжения. Рис. 1 дает схематическое изображение двух установок высокой частоты, включенных в провод линии высокого напряжения. Колебания высокой частоты, создаваемые генератором станции, изменяют потенциал емкости C , создаваемый тем или иным способом между установкой и фазовым проводом линии электропередачи. Колебания распространяются по линии, затухая, искажаясь и отражаясь в соответствии с законами распространения электрической энергии, и, придя на вторую станцию, возбуждают в приемнике колебания в соответствии с передаваемыми сигналами.

Рассмотрим кратко основные законы распространения энергии, взяв для простоты расчета линию бесконечной длины, когда можно не учитывать отражения волны и связанной с ним интерференции. Применяя общепринятые обозначения, а именно, E_0 —напряжение в начале линии, E_x —напряжение рассматриваемой точки, β —километрическое затухание, α —постоянная длины волны в соответствии взятой частоте и γ —постоянная распространения, выражение напряжения в каждой точке бесконечной линии будем иметь в следующем виде:

$$E_x = E_0 e^{-\gamma x}$$

В свою очередь

$$\gamma = \beta + j\alpha,$$

или, выражая ту же постоянную через омическое сопротивление (R), самоиндукцию (L в генри), емкость (C в фарадах) и утечку (A в сименсах) имеем:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(A - j\omega C)}.$$

Волновое сопротивление бесконечной линии определяется выражением

$$Z_0 = \frac{\sqrt{R + j\omega L}}{\sqrt{A + j\omega C}},$$

но величинами A и R как неизмеримо малыми по сравнению с реактивными составляющими можно пренебречь, и тогда то же выражение переписывается в следующем виде:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

В свою очередь величины β и α можно вычислить, пользуясь приведенной ранее формулой

$$\gamma = \beta + j\alpha;$$

тогда

$$\alpha = \omega \sqrt{LC}$$

или

$$\alpha = \frac{2\pi f}{V} = 2\pi f \cdot 3 \cdot 10^{-5}$$

и

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{A}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Для случая линии передачи вторым членом можно пренебречь; тогда

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

или, подставляя

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

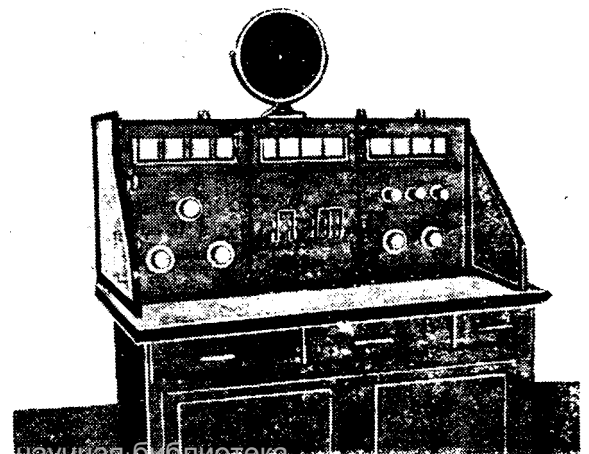
имеем:

$$\beta = \frac{R}{2Z_0}$$

Отношение токов на отправителе и на приеме имеет вид

$$\frac{I_0}{I_n} = e^{\beta L}.$$

Ясно, что ток отправителя должен быть достаточным, чтобы обеспечить ясный прием и, кроме того, иметь еще некоторый запас для перекрытия добавочного затухания, могущего явиться следствием переключений на силовых сетях, атмосферных влияний и неисправностей линии. Все это представляет известную трудность, так как множитель затухания является показателем степени в приведенном выше уравнении, и потому даже небольшое его изменение вызывает значительное изменение в соотношениях токов в начале



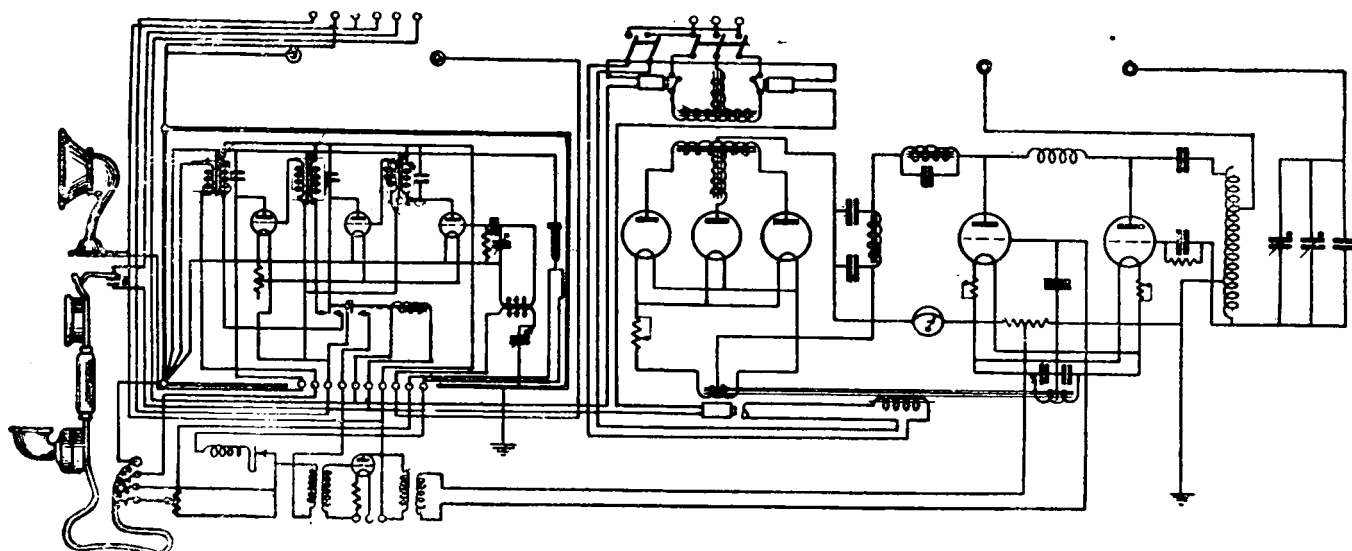


Рис. 3. Схема 50-W поста.

и в конце линии. Фирма Telefunken приводит пример, когда, считая приемную мощность в 1 mW и затухание в 4,6, при увеличении затухания на 20% пришлось бы увеличить мощность передачи с 10 до 60 W; это — трудность, но трудность, которую можно разрешить, рассчитывая схему так, чтобы изменение линейных условий минимально отражалось на изменении затухания.

Из приведенного рассуждения мы видим, что высоковольтная линия в электрическом отношении особой сложности не представляет и, наоборот, по отдельным элементам дает нам даже более выгодные условия, чем линии связи, а следовательно, что требования НКС технически вполне осуществимы.

Но, решив вопрос о возможности установления связи вдоль линий большой протяженности, мы должны все же остановиться на вопросе, как и чем эту связь устанавливать. До настоящего времени в технике слабых токов известны и установки высокой частоты для многократной связи по нормальным телефонно-телеграфным линиям и установки высокой частоты для связи вдоль линий электропередач. Первые уже давно вышли из стадии конструктивных экспериментов, зарекомендовали себя как очень надежное средство связи, давно всем известное, и потому мы на них останавливаться не будем. Вторые находятся еще в периоде исследования и, имея, до сих пор целью исключительно обслуживание эксплуатационных нужд электрообъединений, разными фирмами строятся по-разному. В основном это различие можно для краткости отнести к двум:

- 1) к применению различных систем связи с линией;
- 2) к различиям в принципе работы самой аппаратуры.

При разработке самых аппаратов связи высокой частоты по линиям высокого напряжения в основном встретились также два течения, которые по существу оба еще достаточно актуальны и на сегодняшний день.

Первая — это дуплекс в полном смысле слова, когда для каждого канала связи применяются две частоты — одна на прием и другая на передачу, и вторая — дуплекс искусственный, когда по существу применяется симплекс, но только с автоматическим переключением с приема на передачу, т. е. когда и приемник и передатчик работают на одной волне, но выход на антенну путем установки специального катодного реле переключается с приема на передачу тотчас же по возникновении разговорного тока микрофона. Нормально в сторону линии включен приемник, а передатчик переключается к линии только при возникновении

вении разговорного тока, причем приемник в этом случае блокируется. Первоначально применялось переключение с приема на передачу прямо от руки, но от этого способа ввиду больших его неудобств отказались весьма скоро. Установка специальных реле частично разрешила задачу, но наличие большой инерции и, следовательно, запаздывания в работе реле вынудило ставить специальные сложные контуры, задерживающие разговорные токи на время, достаточное для того, чтобы реле могло сработать. Необходимо это было для того, чтобы первая часть слова не могла пропасть, поскольку модуляция начиналась еще тогда, когда передатчик линии не имел. В настоящее время и от этого способа отказались и применяют специальные лампы заградители, которые лишены инерции и потому допускают свободное пользование одной частотой для практически достаточной двухсторонней связи.

Другая система — двухчастотная, несмотря на то, что она и исторически первая, наиболее широко применяется и в настоящее время. Эта система наиболее совершенная, просто и надежно позволяющая осуществить двухстороннюю связь. Наличие двух частот делает прием и передачу совершенно независимыми друг от друга, позволяя легко устанавливать промежуточные трансляционные устройства.

Разработанная ГФТИ под руководством А. А. Чернышева установка (рис. 2) и представляла по существу две дуплексные приемно-передающие радиостанции, установленные на концах линии высокого напряжения. Эти установки в принципе остались неизменными и работают до сих пор, почему мы на них и останавливаемся.

Каждый пост (установка) в основном состоит из передатчика, в который входит генераторное и модуляторное устройство, приемника с усилителем и кенотронной установки для питания. Передатчик мощностью 50 W собран по схеме Хейссинга и состоит из двух катодных ламп типа Н-50, из которых одна является генератором высокой частоты, а вторая модулятором, меняющим режим генератора соответственно налагаемому на нее звуковым колебанием, т. е. модулирующая незатухающие колебания. Микрофонный усилитель, состоящий из одной лампы типа Р-5, усиливает ток микрофона и передает его на сетку модуляторной лампы. Аноды генераторной и модуляторной ламп питаются постоянным током 1500 V, получаемым от выпрямителя, а нити накаливаются переменным 50-герцовым током через трансформатор 120/12 V. Питание анода и нити накала лампы Р-5 происходит соответственно от лампы Н-50 и А V



Рис. 4. Внешний вид поста на 100 W ЛЭФИ

Выпрямитель состоит из трех кенотронов типа К-1 конструкции А. А. Чернышева, фильтра и повысительного трансформатора. Трехфазный ток 120 V трансформируется на 1800 V. Все три фазы подаются на аноды кенотронов, нити которых накаливаются переменным током 12 V. От нитей кенотронов и от нулевой точки звезды повысительного трансформатора получается плюс и минус постоянного напряжения 1500 V, которые после предварительного сглаживания специальным фильтром подаются на лампы передатчика.

Приемник состоит из трех ламп „Микро“—одной детекторной и двух усилительных низкой частоты, включенных по схеме трансформаторной связи. Питается лампы от батарей 80 и 6 V и работают непрерывно, так как приемник служит одновременно и для разговора и для вызова. Прием разговора производится при помощи только двух ламп, третья же служит для усиления вызова и выключается при снятии трубки одновременно с переключением приемника с репродуктора на телефон.

На передающей станции вызов производится помощью зуммера, включенного параллельно микрофону. При нажатии вызывной кнопки зуммер дает быстрые разрывы тока, и на приемной станции в репродукторе получается гудящий сигнал. Вся установка приводится в действие простым снятием трубки на самой установке, где замыкающий рычаг-контакт приводит в действие реле постоянного тока 120 V, включающее передатчик и выпрямитель и переключающее приемник с репродуктора на телефон.

Связь дуплексная, т. е. позволяющая вести двухсторонний разговор без каких-либо дополнительных переключений. Достигается это применением двух частот для приема и передачи, сильно разнящихся друг от друга (75 000 и 150 000 Hz). Каждый пост требует для питания переменный ток 120 V и постоянный ток 80 и 6 V, причем для работы различных вспомогательных устройств подается еще постоянный ток 120 V.

Такова в общих чертах установка, разработанная в СССР и явившаяся началом дальнейшей работы в этой области. В настоящее время имеется уже и 100-W пост, изображенный на рис. 4. В принципе этот пост не отличается от разобранный выше и описанный в сборнике ГФТИ, почему мы останавливаться

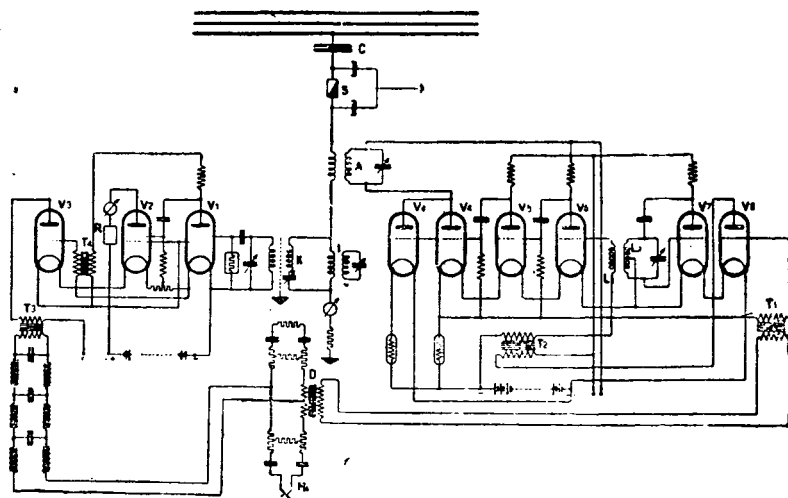


Рис. 5. Схема поста Telefunken

Наиболее крупные иностранные фирмы идут по тому же пути. Для примера сошлемся на наиболее известную в Европе фирму Telefunken, схема установки которой дана на рис. 5, а общий вид—на рис. 6.

В принципе установка тождественна с описанной выше, но более продуманная схема, рациональное питание и применение более выгодного типа ламп позволили значительно упростить обслуживание. Приемник—трехламповый, причем прием вызова и прием разговора проходят различно: из контура К, настроенного на принимаемую частоту, приходящие сигналы попадают на сетку усилительной лампы V₁; затем, если это сигналы вызова, они из анодной цепи данной лампы поступают на сетку второй лампы V₂ (двухсеточной), горящей постоянно и служащей исключительно для приема вызова, и через анод этой лампы—на вызывное реле R, которое и срабатывает, замыкая местную цепь. Лампа V₂ соединена с анодом лампы V₁ через конденсатор и, кроме того, анод лампы V₁ имеет еще выход на трансформатор T₄, вторичная обмотка которого подана на сетку усилительной лампы V₃. Принимаемый разговорный ток, детектированный и усиленный каскадами V₁ и V₃ через выходной трансформатор T, фильтр и искусственную линию, подается на коммутатор или автоматическую телефонную станцию.

Передатчик состоит из каскада предварительного усиления, генератора, модулятора и двух каскадов усиления высокой частоты. Микрофонный ток, посту-

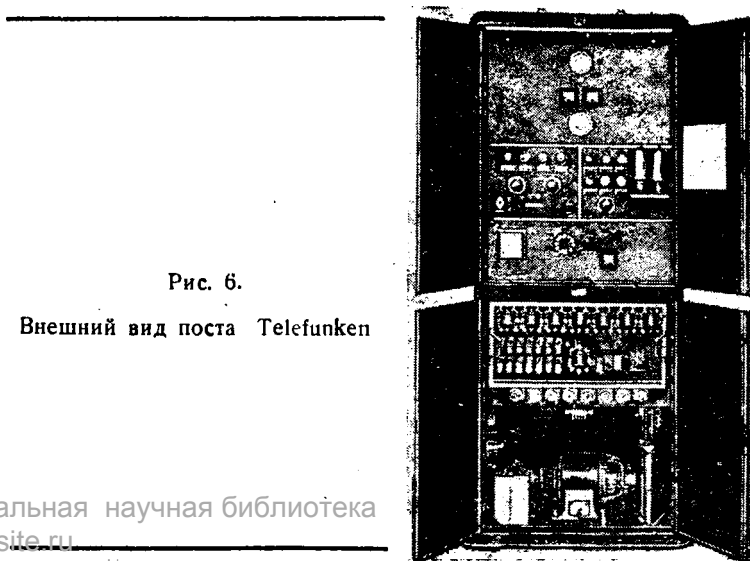


Рис. 6.

Внешний вид поста Telefunken

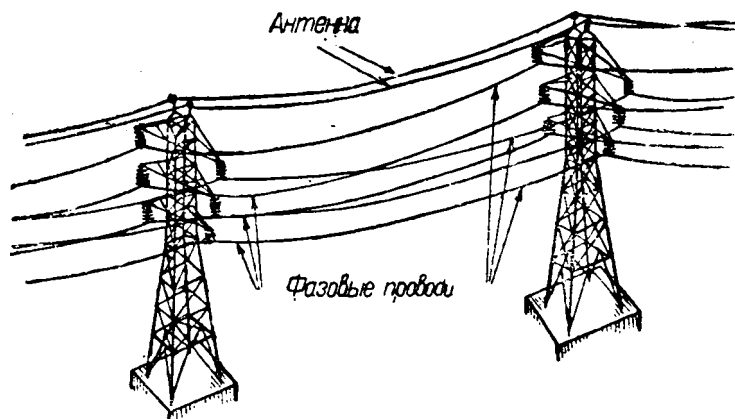


Рис. 7. Связь с линией помощью антенны

пающий от местного абонента через дифференциальный трансформатор D и выходной трансформатор T_1 , поступает на сетку усилительной лампы низкой частоты V_8 . Усиленный ток через трансформатор T_2 подается на сетку модуляторной лампы V_6 , куда подается также и высокая частота от генератора V_7 , имеющего соответственно настроенный колебательный контур.

Модулированный ток подается на усилительную лампу V_5 , из ее анода на второй усилительный каскад V_4 , имеющий две параллельно работающих 5-W лампы. С анодов этих ламп модулированный ток высокой частоты подается на антенный контур A , связанный с конденсатором, а через него — и с линией.

Ток всех ламп как приемника, так и передатчика регулируется автоматически железородным сопротивлением, поддерживающим равномерно ток накала $1,1 \cdot (1 \pm 0,05)$ А.

Станция приводится в действие простым поднятием трубки одного из столовых аппаратов специальной схемы являющихся принадлежностью каждой установки. При снятии трубки с аппарата передатчик включается, преобразователь приходит во вращение, и вся станция сразу готова к посылке вызова. Вызов посылается путем набора требуемого номера на нумерной шайбе столового аппарата и посылкой двух цифр: первой для включения противоположной установки, и второй для выбора требуемого абонента, который тотчас же получает у себя звонок.

Путем установки специального переходного мостика возможен переход на телефонный коммутатор, причем, если этот коммутатор ручной системы, то вызов попадает к телефонистке, если же это автоматическая станция, то путем набора еще нужного числа знаков — непосредственно к абоненту.

Анодное напряжение получается от умформера на 400 V, монтированного в самом низу шкафа (рис. 6) и питающегося от батареи 80 V. Вся схема питания установки составлена весьма остроумно и гарантирует ее постоянную готовность к действию, так как работа установки не зависит ни от переменного, ни от постоянного тока электростанции. В качестве источника энергии служит аккумуляторная батарея из 15 элементов на $55 \div 75$ А при 10-часовом разряде. Данная батарея является единственным питанием всей установки и всегда готова к работе, так как автоматически подзаряжается от специального умформера, работающего от трехфазной сети. Все неисправности в питании отмечаются звонком, звонком же отмечается и перегорание какой-либо из ламп в приемнике или передатчике, что достигается последовательным соединением нитей накалов всех ламп с обмоткой специального реле, находящегося нормально под током накала в притянутом положении.

Разные течения имеются не только в проектирова-

связи высокочастотной установки с линией является еще предметом ожесточенных споров, и на сегодняшний день мы имеем два основных способа связи установки с линией электропередачи. Первый способ — путем подвески на нескольких пролетах высоковольтной линии специального антенного провода, дающего по отношению к линейным проводам нужную емкость; второй — путем сосредоточенной емкости, т. е. включением установки в линию через специальный высоковольтный конденсатор.

Тот и другой способы имеют каждый свои положительные и отрицательные стороны. В Германии употребляют исключительно конденсаторную связь, в Японии — антенную, в Америке и Италии — оба способа; установки ЛЭФИ основываются исключительно на антенном способе связи.

Антенна в установках разных систем устраивается по-разному, но в основном это один, чаще два луча (рис. 7), расположенные параллельно фазовым проводам линии электропередачи, по отношению которых получается емкость порядка $0,001 \div 0,002$ mF. Связь получается одновременно со всеми силовыми проводами, и защитники антенного способа связи считают это главным преимуществом с точки зрения надежности диспетчерской связи. Но такое включение дает слишком большой расход мощности, так как помимо мощности, передаваемой в линию, имеется рассеивание ее в окружающий эфир и шунт через емкость на землю.

Антенную связь можно кратко характеризовать как простую по конструкции, сравнительно дешевую устройством, допускающую быстрое изготовление различными средствами отечественной промышленности; но зато требующей значительно большей мощности, дающей помехи на прилегающие приемные устройства, легко принимающей посторонние сигналы и перекачивающей энергию сразу во все фазы линии электропередачи. Большие выходные мощности в условиях коротких линий не представляют ощутимого неудобства, но в наших условиях работы на длинных линиях являются уже ощутимым недостатком, так как делают затруднительной дуплексную связь, особенно с многократным использованием линии.

Способность антенного устройства отдавать энергию сразу во все шесть фазовых проводов линии одновременно с точки зрения диспетчерской связи, как это было до сих пор, может рассматриваться как достоинство, поскольку она увеличивает линейную надежность связи в случае обрыва какой-либо из фаз;

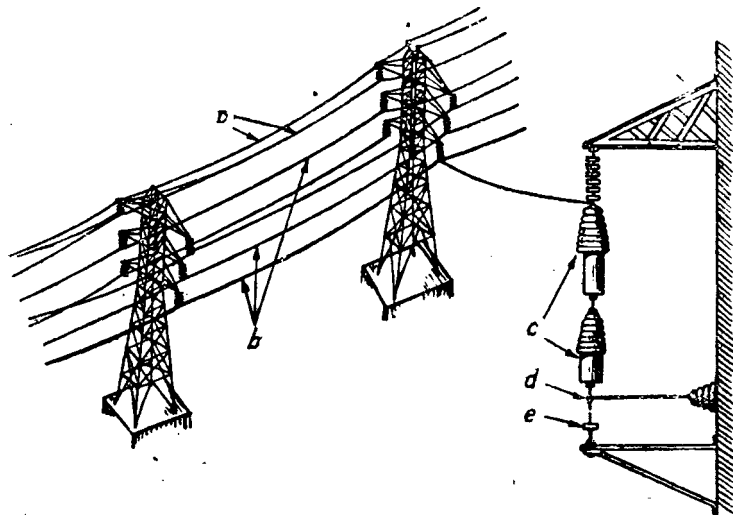


Рис. 8. Схема однофазного включения:

a — защитные заземленные тросы; b — фазовые провода; c — высоковольтные конденсаторы; d — вход на высоковольтный аппарат; e —

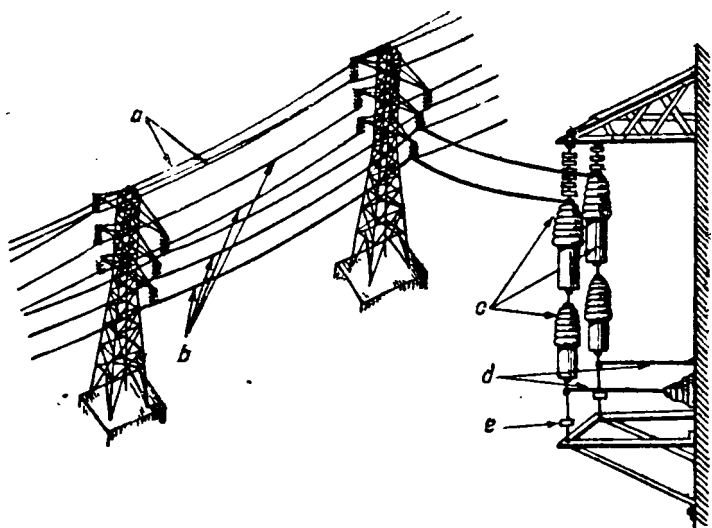


Рис. 9. Схема междуфазного включения:

a—защитные заземленные тросы; *b*—фазовые провода; *c*—высоковольтные конденсаторы; *d*—вводы на высокочастотный аппарат; *e*—высоковольтный изолятор

с точки зрения связиста эта загрузка одновременно шести проводов одним и тем же разговором нерациональна. Самое расположение проводов на опорах, высокая изоляция их друг от друга и от земли, значительные расстояния между проводами—делают возможным использование каждого фазового провода в отдельности, накладывая на каждый различные связи.

Рассмотрение и сравнение способов связи антенной и при помощи конденсатора дает перевес в пользу конденсаторной связи. Но в самом способе комбинирования фазового включения до сих пор есть еще много неясного. Для окончательного решения вопроса нужна еще глубокая его проработка. Можно принципиально рассмотреть только преимущества составления одного элементарного канала в двух различных вариантах, а именно: включение установки „фаза-земля“, т. е. работа по одной фазе с „земляным возвратом“ (рис. 8), или же включение междуфазное, так называемый „металлический возврат“ (рис. 9). Теоретические кривые ЛЭФИ, приводимые ниже¹⁾, дают картину затухания в том и другом случаях, причем на рис. 10 на кривой *a* имеем картину затухания на 1000 км при идеальной линии, а *b* и *c*—затухание с учетом элементарных потерь в диэлектрике, земле и окружающих проводниках (*b*—при 0.25 Ω/km, *c*—при 0.5 Ω/km); на рис. 11 приводятся кривые в случае земляного возврата.

Германские источники, несмотря на принятую в Германии систему однофазного включения, признают, что двухфазное включение дает затухание на 1/8 меньше однофазного. Они, правда, ссылаются на дороговизну обработки конденсаторами двух фаз вместо одной, но для нас это не существенно, так как, ставя задачу установления надежной связи на большие расстояния, мы все равно должны все шесть проводов линии обрабатывать дросселями.

Таким образом следует, что принципиально надо отдать предпочтение работе без земли, используя только междуфазное включение.

Из сказанного выше мы сделали вывод о малой пригодности для нашего случая антенного способа, и подойдя, таким образом, к необходимости конденсаторного включения установки в провода сильного тока, остановимся несколько на рассмотрении собственно конденсатора как основной детали включения.

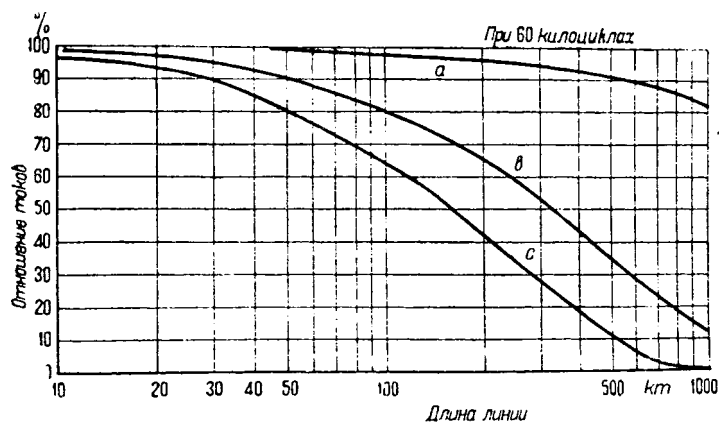


Рис. 10. Затухание 1000 км линии при междуфазном включении

Сопротивление конденсатора переменному току равно

$$R = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

Если считать, как это принимает фирма Telefunken, что емкость конденсатора для включения в линию напряжением 110 kV равна $5 \cdot 10^{-10}$ F, то для частоты в 50 Hz кажущееся сопротивление будет

$$R_{50} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5} = 6,4 \cdot 10^6 \Omega;$$

для частоты же в 150 000 Hz будет в 3000 раз меньше, т. е.

$$R_{150\,000} = 2,1 \cdot 10^3 \Omega,$$

причем эту величину можно еще скомпенсировать настройкой в резонанс контура, включаемого последовательно с емкостью.

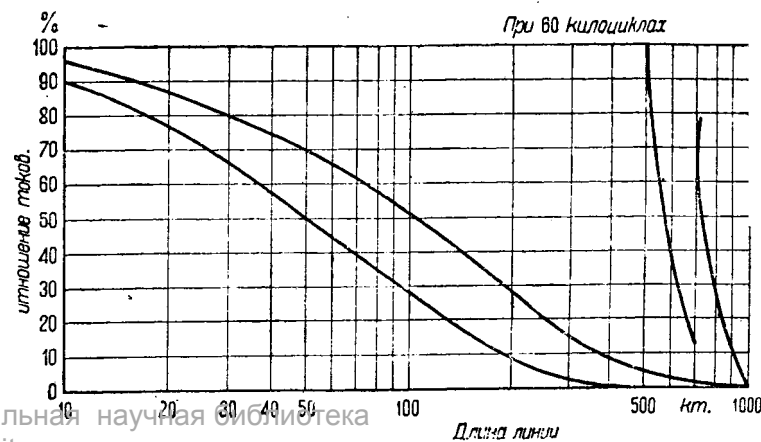
На рис. 12 представлена принципиальная схема включения приемного устройства с помощью конденсатора. По сравнению с приведенным выше сопротивлением конденсатора сопротивлением катушки, равным около 20 Ω, можно пренебречь, учитывая при нашем расчете только ее индуктивность $L = 0,001$ H. Вторую катушку для простоты будем считать с теми же данными.

Трехфазная линия, имеющая междуфазное напряжение 110 kV, будет иметь по отношению к земле потенциал, равный

$$E = \frac{E_{\text{фаз}}}{\sqrt{3}} = \frac{110}{1,73} = 64 \text{ kV},$$

откуда при 50 Hz ток в катушке связи будет

$$I_1 = \frac{E}{R} = \frac{64 \cdot 10^3}{6,4 \cdot 10^6} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ A}.$$



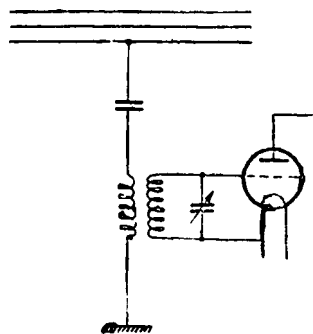


Рис. 12.

Схема включения приемника

Ток для 150 000 Hz примем при расчете минимально необходимым для действия приборов установки

$$I_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Подсчитывая напряжения, возникающие в первичной катушке, для случая 50 Hz получим:

$$E_1' = I_1 \omega_1 L = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-4} = 314 \cdot 10^{-5} \text{ В;}$$

для случая же 150 000 Hz

$$E_2' = I_2 \omega_2 L = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 15 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 10^{-4} = 188 \cdot 10^{-2} \text{ В.}$$

При коэффициенте связи $K = 0,05$ индуцированное напряжение вторичного контура будет:

$$E_1'' = E_1' K = 314 \cdot 10^{-5} \cdot 0,05 = 157 \cdot 10^{-6} \text{ В,}$$

$$E_2'' = E_2' K = 188 \cdot 10^{-2} \cdot 0,05 = 94 \cdot 10^{-3}.$$

Если же ввести еще поправку на то, что вторичный контур должен быть настроен в резонанс именно на частоту 150 000 Hz и потому для 50-периодного тока является по существу вторичной обмоткой с холостым ходом, то можно написать, что

$$E_{c1} = E_1'' = 157 \cdot 10^{-6} = 0,000157 \text{ В,}$$

$$E_{c2} = \frac{E_2'' \omega_2 L}{R} = \frac{94 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 15 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 10^{-4}}{20} = 4,44 \text{ В.}$$

Отсюда следует, что напряжение на сетке для тока с частотой 50 Hz настолько незначительно, что 50-периодного шума в телефоне слышно быть не должно, и, следовательно, работа через конденсатор будет вполне возможна.

Но, к сожалению, до настоящего времени техника не знает идеального типа конденсатора и, идя только по пути разработок и усовершенствования, подошла пока к трем типам: пертинаксовый и фарфоровый (германские) (рис. 13 и 14) и кабельно-масляный (американский) (рис. 15 и 16).

Еще недавно применялись конденсаторы со слюдяным диэлектриком, но трудность их изготовления на

емкость более $0,003 \mu\text{F}$ и незначительное рабочее напряжение (22 kV) приводили к необходимости включения нескольких параллельных групп. Применение этих конденсаторов в установках с более высоким напряжением должно было, следовательно, привести к сложным конструктивно сооружениям с невыгодным распределением напряжения, что и заставило отказаться от этого типа.

Фирма Telefunken для установки внутри помещений до настоящего времени изготовляла цилиндрические конденсаторы с металлическими обкладками и диэлектриком из пертинакса. Этот тип достаточно устойчив и дешев и с конструктивной стороны применим для сравнительно невысоких напряжений порядка 60 kV. Изготовление подобного конденсатора для напряжений в 110 kV и выше уже технически сложно, тут опять приходится включать несколько конденсаторов последовательно.

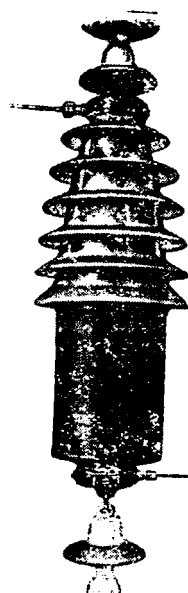


Рис. 14. Фарфоровый конденсатор фирмы Telefunken для наружной установки

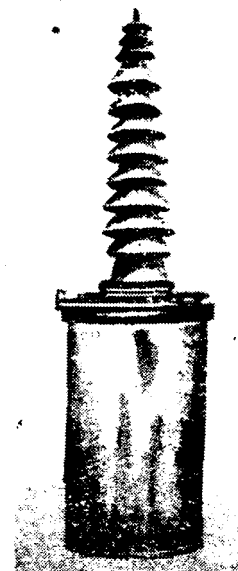


Рис. 15. Конденсатор фирмы Westinghouse

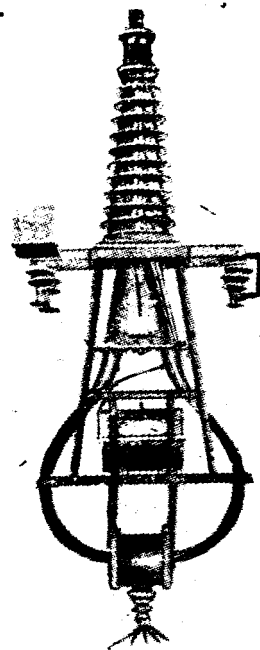
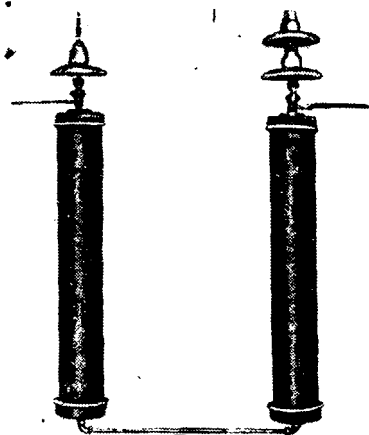


Рис. 16. Кабельно-масляный конденсатор изготовления завода „Севкабель“

Вообще установка конденсаторов внутри высоковольтных распределительных помещений нежелательна. Практика показала, что линейный конденсатор легко может взорваться и послужить причиной серьезной аварии. Поэтому предпочитают монтировать конденсатор на конструкциях открытых подстанций. И фирмой Telefunken разработаны уже специальные типы конденсаторов для наружной установки.

Такие конденсаторы изготовлялись еще недавно из пертинакса и только в верхней части имели фарфоровую втулку. Но различные коэффициенты теплового расширения этих диэлектриков служили причиной появления сквозных трещин с дальнейшим разрушением изоляции. Поэтому фирмой Telefunken разработан теперь новый тип конденсатора для наружной установки (рис. 14) целиком из фарфора. Верхняя часть его представляет фарфоровый глазированный изолятор; нижняя часть — собственно конденсатор — из тонкого фарфора, металлизированного с обеих сторон и защищенного от механических повреждений металлическим кожухом. Трудностью изготовления этого типа является необходимость плотного прилегания металла к поверхности фарфора, так как малейший воздушный



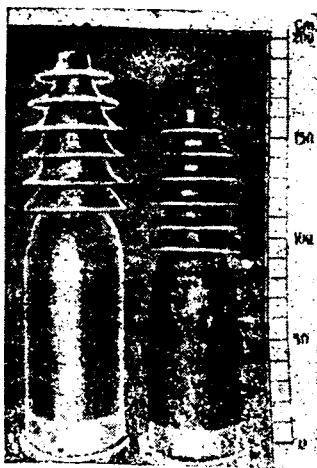


Рис. 17.
Фарфоровый конденсатор до и
после обжига

Большую трудность представляет и обжиг крупных фарфоровых деталей. Как иллюстрацию можно привести рис. 17, где изображен конденсатор емкостью 2000 см до и после обжига. Ясно, что такая крупная усадка требует очень тщательного предварительного расчета, так как в данном случае каждый миллиметр конечной толщины диэлектрика значительно изменяет рабочую емкость конденсатора. Все же существующий тип фарфорового конденсатора является одним из лучших, поскольку фарфор достаточно стоек в смысле атмосферных влияний и химических воздействий. При испытании этот конденсатор дал высокое пробивное напряжение (230 kV) и весьма незначительный угол потерь.

Но и для этого конденсатора фирма считает возможным дать рабочее напряжение только до 60 kV и при большем рабочем напряжении предлагает опять-таки включить несколько конденсаторов последовательно. Так как при последовательном включении результирующая емкость при двух конденсаторах уменьшается вдвое, а на переходах как раз необходимо иметь связь возможно большей емкости, то при последовательном включении двух конденсаторов применяются специальные конденсаторы с емкостью в 0,0022 μF , и тогда как емкость нормального конденсатора равна 0,0011 μF . Для больших же напряжений, например 220 kV, изготовление элементов с 0,0022 μF затруднительно, и поэтому для получения связи достаточной емкости приходится соединять параллельно две группы последовательно включенных конденсаторов.

Как видим, все приведенные конструкции для решения поставленной нами проблемы навряд ли могут быть применены. Масляный конденсатор в этом отношении представляет значительно большие возможности, тем более, что опыт работы с масляной аппаратурой (масляники, трансформаторы) вообще показал пригодность этого диэлектрика к работе под высокими потенциалами; при должном обслуживании сроки работы масляной аппаратуры обуславливаются только ее металлическим износом.

Конденсаторы с масляным диэлектриком выполняются двух видов: первый тип—баковый, изображен-

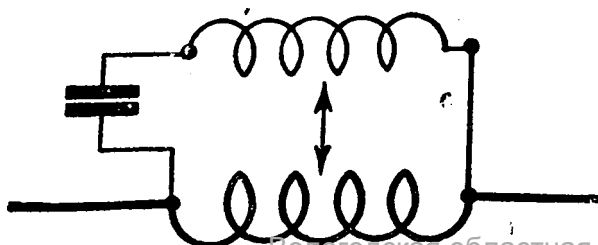


Рис. 18. Резонансный контур

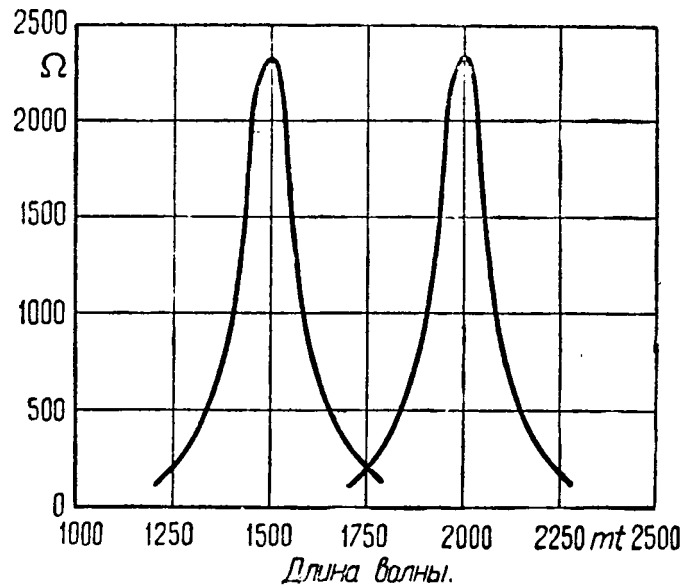


Рис. 19. Кривые дросселя фирмы Telefunken

ный на рис. 15, и второй—кабельно-масляный, изображенный на рис. 16.

Конденсатор бакового типа состоит из двух помещенных concentрично металлических цилиндров с масляным диэлектриком посредине, разделенным на секции помощью тонких изолирующих прокладок.

Кабельно-масляный конденсатор состоит из отрезка высоковольтного кабеля, в котором металлический сердечник является одним электродом, а оболочка—другим. Наполнение кабеля маслом под определенным давлением дает возможность поддерживать в нем полное постоянство диэлектрических свойств даже при значительных колебаниях рабочих напряжений; постоянная же плотность масла поддерживается помощью специального устройства масляного бака, в котором

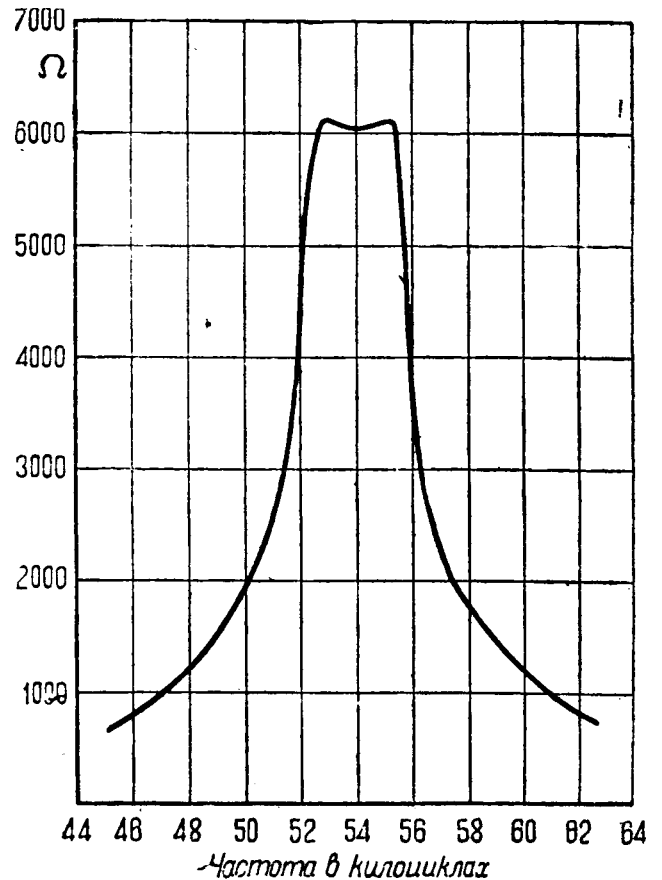


Рис. 20. Кривая дросселя фирмы Westinghouse

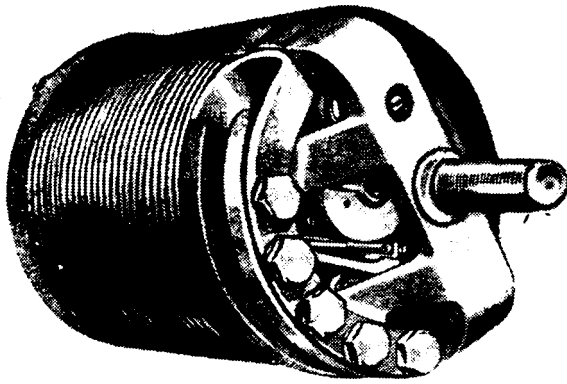


Рис. 21. Внешний вид дросселя фирмы Telefunken для установки в закрытых помещениях

ряд полых упругих металлических дисков сжимается при увеличении давления в кабеле. Сердечник кабеля может включаться или в разрез линии электропередачи, и в этом случае по кабелю проходит вся мощность данной фазы линии, или шлейфом, когда кабель работает только как конденсатор. Включение сердечника в разрез линии позволяет использовать кабель для комбинации с измерительным трансформатором, и в таком случае сердечник служит первичной обмоткой трансформатора, а катушка, одеваемая на петлю кабеля, как это видно на рис. 16, вторичной.

Завод „Севкабель“ в Ленинграде успешно освоил производство кабельно-масляных конденсаторов, и опытный экземпляр такого конденсатора уже второй год находится в нормальной эксплуатации на линии 110 kV Москва-Истомкино. Следующим этапом работы, вернее—задачей сегодняшнего дня, должны быть дальнейшее усовершенствование конструкции и дальнейшее повышение рабочих напряжений с тем, чтобы к моменту постройки линий электропередач напряжением 220 kV и выше, аппаратура для включения в эти линии уже была изготовлена.

Конечно, не исключена возможность появления и новых более современных диэлектриков; уже сейчас можно назвать диэлектрик „стирол“, который, являясь дешевым продуктом коричневой кислоты, добываемой в СССР, дает достаточно хорошие постоянные; нужно исследовать параллельно пригодность к этому делу ряда других материалов, но мы считаем, что проблему изготовления в СССР кабельно-масляных конденсаторов нужно теперь же ставить в широком масштабе.

В основном передача энергии высокой частотой и по линии электропередачи подчинена известному закону телеграфного уравнения, и ясно, что несоответствие данных нагрузочных силовых трансформаторов волновому сопротивлению линии может сильно ухудшить работу.

При заранее заданных параметрах этих нагрузок можно было бы (хотя это ограничило бы нам общий спектр) подобрать частоту, выгодно решающую уравнение, но в условиях силовых линий эти нагрузки не могут быть постоянны, поэтому лучше и легче просто преградить путь энергии куда-либо кроме прямолинейного участка фазового провода линии электропередачи.

Преградами для высоких частот на частотных устройствах связи до сих пор было включение тех или иных дроссельных контуров, и в данном случае наиболее простым оказалось включение в разрез провода эле-

тропередачи элементарной дроссельной катушки. Но элементарный дроссель для слабого тока может задать почти любую нужную нам самоиндукцию, когда же по виткам катушки должна передаваться мощность высоковольтной линии, осуществление оказывается затруднительным. Добавление резонансного контура (рис. 18) позволяет значительно увеличить сопротивляемость дросселя, и в настоящее время германские фирмы идут исключительно по этому пути.

Требование предоставить высокой частоте резонансное сопротивление порядка 100 000 Ω вызвало необходимость в весьма острой настройке, поэтому строить дросселя более, чем на две запираемые частоты, до сих пор не удавалось, хотя надо отметить, что в силу специфичности задач к установкам на электросетях этой проблемой серьезно не занимались, практически удовлетворяясь одной частотой на каждый дроссель. Кривые рис. 19 дают характеристику дросселей фирмы Telefunken, а рис. 20—дросселя фирмы Westinghouse.

Конструктивно такие дроссельные контура выполнены в виде катушки из полосовой меди и рассчитаны на полный ток высоковольтной линии. Концы катушки защищены от утечки, благодаря чему исключается возможность излучения. На рис. 21 дан внешний вид дросселя фирмы Telefunken для монтажа внутри помещения; на рис. 22—тот же дроссель в фарфоровом цилиндре и под металлическим кожухом для установки на открытых подстанциях. На рис. 23 дана часть ввода высоковольтной подстанции на 110 kV с смонтированными на ней конденсаторами и дросселями для высокочастотной связи.

Для нашего случая, когда мы ставим целью использовать весь спектр частот, вмещаемый линией, дросселя, запирающие каждый только одну частоту, непригодны уже хотя бы потому, что конструктивно неудобно на силовой линии вешать целую цепочку последовательно включенных дросселей. Над решением этой проблемы предстоит еще большая работа.

Параллельно с разработкой дроссельных запирающих катушек нужно остановиться на возможностях запираения помощью искусственных шлейфов, рассчитанных под волновое сопротивление линии. Этот метод еще нигде не применен, но он имеет выгодные стороны и заслуживает того, чтобы на нем остановиться в процессе предстоящих разработок и исследований. Петля силового провода, подвешенная на тех же опорах (рис. 24), даже на тех же гирляндах, поскольку разность напряжений между этими проводами

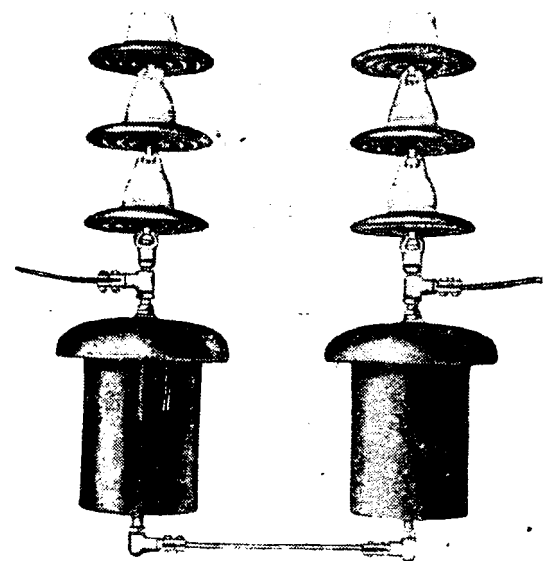


Рис. 22. Дросселя фирмы Telefunken, смонтированные в чехлах для наружной полвеки

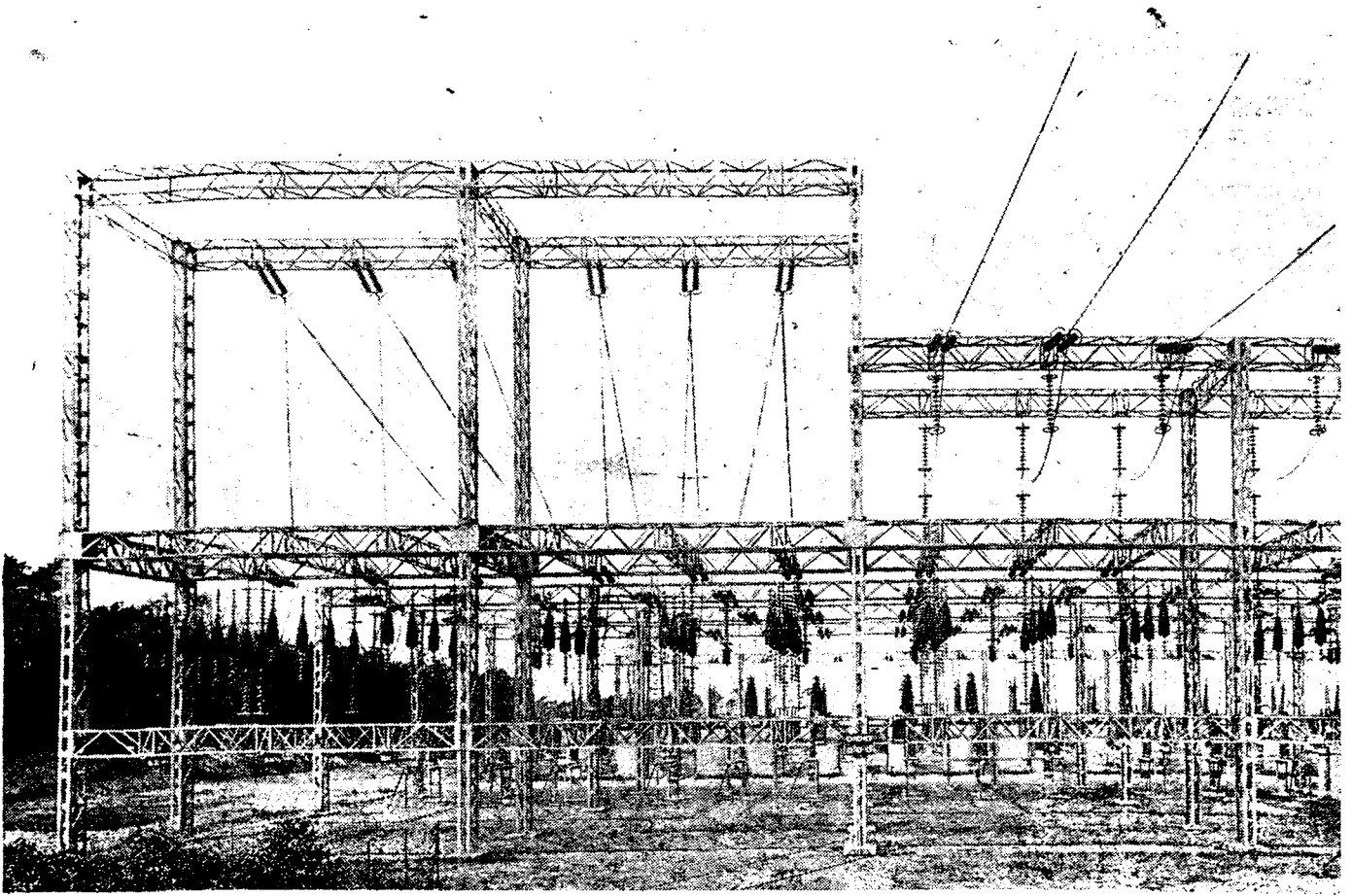


Рис. 23. Открытая подстанция на 110 kV с конденсаторами и дросселями

незначительна, идеально проста и дешева по своей конструкции, монтажу и обслуживанию. Кроме того, такое устройство способно запереть гораздо большую полосу частот, а возможно даже и весь спектр, нужный для нашей работы.

Та же задача приближения линии к случаю идеальной требует от нас обхода распределительных устройств и переключательных постов на сети сильного тока. К этому положению подошли все фирмы, работающие на установках, включаемых в фазу линии электропередачи; к этому же положению подходят и фирмы, работающие на антеннах.

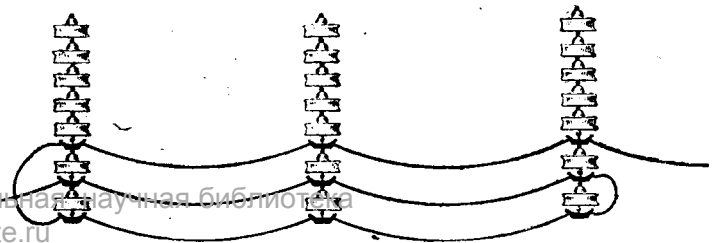
Обходные устройства, конструктивно не представляя большой трудности, дают возможность введения в линию балансных контуров и выравнивания общей характеристики линии. Правда, каждый такой обход вводит излишнее сопротивление в линию, и германские специалисты не рекомендуют ставить их числом больше трех; но в наших условиях применительно к конкретному случаю использования высоковольтной сети второй пятилетки потребности в установке обходов количеством более трех и не будет; более близкое рассмотрение каждой линии и ее данных даст разрешение вопроса о схеме и расчете обходного устройства.

Особо нужно отметить, что одновременно с разработкой ряда проблем, составляющих комплекс высокочастотной многократной связи по линиям высокого напряжения на большие расстояния, встает вопрос о пересмотре транспозиции линии сильного тока не только с точки зрения влияния на близлежащие провода слабого тока, но и с точки зрения „скрещивания (транспозиции) телефонных цепей“. Провода, линии сильного тока с точки зрения связи можно рассматривать просто как провода, работающие под

проводами можно использовать для наложения еще и высоких частот.

Мы знаем, что в телефонной практике для уменьшения взаимного влияния между параллельно идущими цепями применяется взаимное скрещивание проводов и казалось бы весьма просто приложить этот метод для нашего случая. На практике вопрос обстоит совершенно иначе благодаря необходимости применить на линиях сильного тока диапазон частот, выше применяемого на линиях связи. Дело в том, что при работе в полосе $50 \div 150$ kHz очень трудно вообще скрестить линию так, чтобы получить уменьшение взаимного влияния, и, наоборот, очень легко, сделав даже и очень частые кресты, только ухудшить линию за счет усиления взаимного влияния от суммирования отдельных положительных и отрицательных (в силу их переверачивания) полуволн. Проф. Акулышин приводит примеры, когда при устройстве скрещивания через 1 km взаимное влияние при 50 000 Hz увеличивается почти в 30 раз; для 150 000 Hz такое же увеличение взаимного влияния в 30 раз получается даже и при скрещивании через каждые 100 м.

Ясно, что высоковольтные линии скрещивать затруднительно и тем более так часто; поэтому напраши-



вается решение оставлять их совсем без скрещиваний, полагая, что при высоких частотах влияние не будет значительным.

НИИС НКС, ставя в порядок дня разрешение данной проблемы и считая первоочередной задачей объединение усилий отдельных ведомств и научных учреждений, работающих в этой и смежных областях, провел под председательством члена коллегии НКС проф. М. Я. Лапинова-Скобло междуведомственное

совещание с участием Главэнерго, ВЭСО, ЛЭФИ ЦЛПС ВЭСО, ВЭИ, НКВМ, НКС и др., на котором все перечисленные организации поделились результатами своих разработок, дали единогласно положительную оценку данному начинанию и выработали объединенный план работ, имеющий целью с наименьшим параллелизмом и наибольшей эффективностью разрешить поставленную задачу использования линий высокого напряжения для народной связи.

22.VI—33 г.

Счетчик-регистратор перенапряжений

Инж. С. М. Фертик и инж. Г. Г. Демидов
ХЭТИ

1. Введение

Опыт систематической регистрации грозových перенапряжений в высоковольтных электрических сетях как за границей, так и у нас в СССР (Мосэнерго, Ленэнерго) с несомненностью показал, что наряду с такими сравнительно дорогими регистрирующими приборами, как автоматические катодные осциллографы и клидонографы, требующими к тому же постоянного наблюдения и ухода, не менее необходимы дешевые регистраторы, невзыскательные и простые в эксплуатации, которые можно было бы устанавливать на линиях передачи во многих сотнях экземпляров.

В самом деле, даже в такой большой высоковольтной системе, как Мосэнерго, с общей протяженностью 115-kV линий 1470 км в 1932 г. работало всего восемь однофазных клидонографов с плюс-минус включением, охвативших весьма малый участок всей сети^[1]. В Ленэнерго число установленных трехфазных клидонографов также измерялось немногими единицами— в 1932 г. их было всего три^[2]. Таким образом даже клидонографы, не говоря уже о полевых автоматических осциллографах, у нас пока являются еще сравнительно редкими приборами, применяемыми лишь для научно-исследовательских целей, да и то в совершенно недостаточном количестве. В то же время при наличии регистратора перенапряжений стоимостью в несколько десятков рублей его можно было бы широко расставить на всех линиях и подстанциях и использовать не только для собирания статистических сведений о параметрах грозových перенапряжений, но и в качестве обычного эксплуатационного прибора для получения документа, хотя бы и сравнительно неточного, о каждой аварии от перенапряжений, о работе разрядников, тросов диверторных устройств и пр.

К попыткам создания дешевого прибора такого рода следует отнести прежде всего американские однозарядные клидонографы, с неподвижной пленкой^[3], которые в СССР получили некоторое распространение (в качестве регистраторов тока прямого удара молнии (сокращенно—РПУМ)^[4]). Однозарядный клидонограф, как известно, представляет собой фарфоровую коробочку, свинчивающуюся из двух половинок, с двумя электродами, между которыми помещается фотопластинка.

Несмотря на заманчивую простоту конструкции, прибор этот, к сожалению, мало пригоден в эксплуатации, так как в нем отсутствуют какие-либо внешние признаки того, сработал он или нет. Поэтому перезаряжать регистратор приходится наугад, «втемную», без всякой уверенности в том, что на фотопластинке действительно получена клидонограмма. Все же применение однозарядных клидонографов в качестве ре-

гистраторов тока молнии (включение с помощью шунта) имеет некоторый смысл, поскольку перекрытия линейной изоляции происходят относительно редко и обычно связаны с внешними проявлениями—выбиванием линий, расщеплением деревянных опор, ожогами на изоляторах, по которым можно хотя бы косвенно судить о работе регистратора. Напротив, для регистрации перенапряжений (включение на линию с помощью делителя напряжения) этот прибор вовсе не годится, хотя в Америке и были опыты такого применения. При очень частой, например, ежедневной, смене фотопластинок (в условиях массовой эксплуатации это будет стоить очень дорого и практически вряд ли осуществимо) подавляющее большинство регистраторов будет содержать пустые пластинки. И в то же самое время в отдельных приборах будет очень вероятно наложение многих клидонограмм друг на друга, поскольку нередки случаи возникновения на одной линии в течение одной сильной грозы трех, пяти и больше последовательных перенапряжений с амплитудой выше двухкратной. Такую комбинированную клидонограмму вряд ли можно будет прочесть, а тем более увязать с аварией или показаниями других регистраторов.

При редком обслуживании, например, раз в месяц, регистрация вообще потеряет всякий смысл, так как нельзя будет даже ориентировочно отнести показания отдельных приборов к той или другой грозе или аварии. Естественно, что число комбинированных, но поддающихся расшифровке клидонограмм в этом случае соответственно возрастает.

Другим весьма остроумным решением вопроса дешевой регистрации является недавно предложенный очень простой прибор^[5], состоящий всего только из маленького стерженька кобальтовой стали, укрепляемого на опоре линии передачи. Под влиянием магнитного поля, создаваемого током молнии, стерженек намагничивается. По степени остаточного намагничивания стерженька, определяемой при помощи специального устройства, можно непосредственно судить о величине тока молнии. Однако этот прибор, удачно обходящий трудности построения безиндукционного шунта, повидимому, может быть использован только для однократного измерения тока молнии.

Наконец можно еще упомянуть об известном счетчике прямых ударов молнии^[6], принцип работы которого нами использован для счетчика-регистратора. В счетчике прямых ударов находятся взрывные патроны, которые взрываются при перекрытии линейной изоляции прямым ударом (молнии). При взрыве освобождаются указатель в виде диска, по положению которого можно судить о числе перекрытий. Прибор представляет известный эксплуатационный интерес, указывая места перекрытий изоляции, но ничего не говорит о величине тока молний и величине возник-

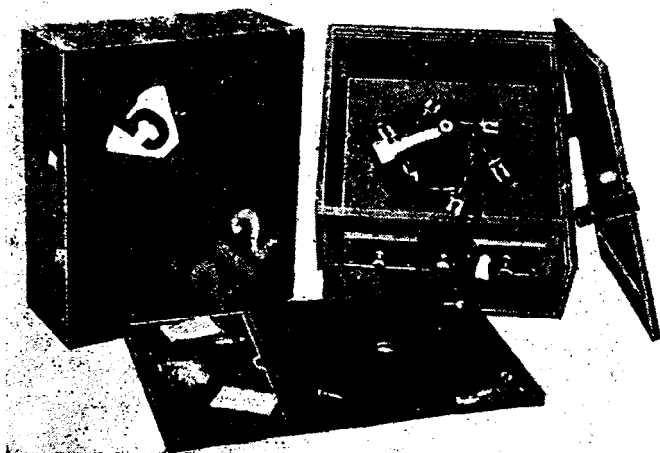


Рис. 1. Счетчик-регистратор перенапряжений ХЭТИ

Мы не будем здесь останавливаться на некоторых других новых интересных приборах для регистрации перенапряжений, предложенных Роговским (W. Rogowsky), Додсом (S. Dodds) и Фуксом (W. Fuchs), в которых использовано явление опрокидывания в трехэлектродных лампах или свойства ламп с тлеющим разрядом⁶⁾. Приборы эти хотя и совершеннее в некоторых отношениях клидонографа, но и в то же время сложнее его; они требуют постоянного надзора и поэтому вряд ли в настоящее время могут рассматриваться как средство массовой регистрации перенапряжений.

2. Счетчик-регистратор

В поисках возможностей для широкой постановки регистрации перенапряжений в электрических сетях Донбасса пишущими эти строки²⁾ был сконструирован новый простой и дешевый прибор, названный счетчиком-регистратором перенапряжений (сокращенно СРП). Около 200 СРП было затем изготовлено группой перенапряжений ХЭТИ для установки в системе Донсевуэргэнерго.

Счетчик-регистратор (рис. 1 и 2) представляет собой ящик, в который вкладываются пять патронов, взрывающихся при приложении к ним напряжения.

Контактная пластинка 2, подводящая напряжение к патронам, насажена на ось 3, при взрыве одного патрона пластинка перескакивает под влиянием часовой пружины на следующий. В этот же ящик вкладывается кассета 4, заряжаемая пятью фотопластинками. На оси 3 насажена контактная пластинка 5, скользящая по электродам 6, подводящим напряжение к фото-

²⁾ По предложению инж. С. М. Фертика

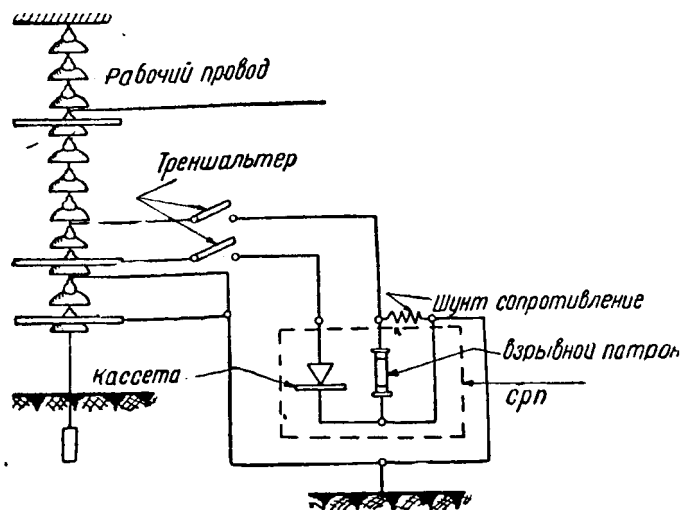
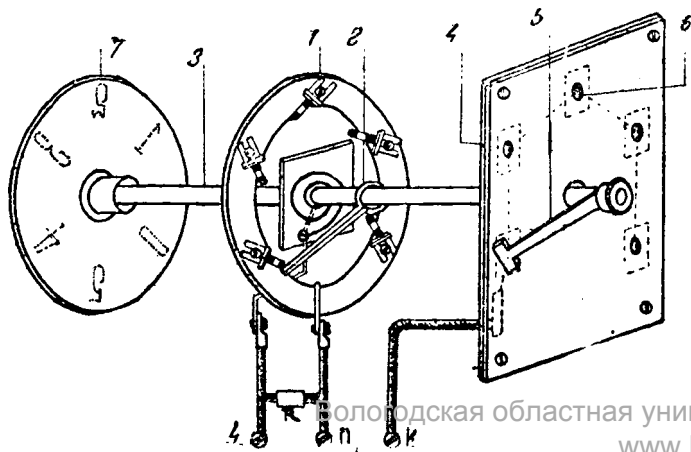


Рис. 3. Схема включения счетчика-регистратора перенапряжений с помощью емкостного гирляндного делителя для линий 38 kV

топластинкам. Вторые электроды кассеты объединены и выведены наружу. На другом конце оси 3 насажен диск 7 с написанными на нем цифрами от 0 до 5, которые устанавливаются против окна в передней стенке СРП.

При подводе к СРП электромагнитного импульса достаточного напряжения одновременно взрывается патрон и снимается клидонограмма. Ось 3 поворачивается на одно деление и включает следующий очередную патрон и фотопластинку. По цифре диска, стоящей в окне, лицу, обслуживающему приборы, ясно видно с земли, сколько раз сработал СРП и следует ли его перезарядить.

Перезарядка СРП производится на линии при дневном свете путем установки новых взрывных патронов и замены светопропускаемых кассет (рис. 1), предварительно заряжаемых в фотолаборатории. СРП при этом не снимается с опоры, на которой он нормально укреплен.

Кассета СРП позволяет получать клидонограммы либо между плоскостью и штифтом на одной фотопластинке, либо между двумя штифтами на двух сложенных вместе фотопластинках, обращенных эмульсией в противоположные стороны. В последнем случае при любой полярности волны получаем как положительную, так и отрицательную фигуры.

В СРП без всяких затруднений можно также применить интересное предложение Hartie⁷⁾ о введении между плоским электродом и фотопластинкой добавочного воздушного промежутка. По Hartie благодаря добавочному слою диэлектрика увеличивается точность показаний клидонографа, а верхний предел напряжения, могущего быть непосредственно измеренным без помощи потенциометра, с 18 kV при обычном устройстве доходит до 60 kV.

3. Схема включения и работы счетчика-регистратора

Счетчик-регистратор в зависимости от схемы включения и состава взрывных ампул может применяться либо для регистрации возникающих в линии перенапряжений (СРП), либо для измерения тока прямого удара молнии (СРПУМ).

СРП включается в линию с помощью делителя напряжения, который в связи с особенностями устройства СРП должен удовлетворять некоторым добавочным требованиям сверх обычно предъявляемых к потенциометрам. Схема включения должна обеспе-

1) отсутствие влияния на фотопластинку длительного

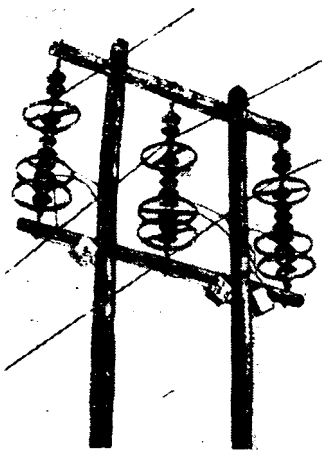


Рис. 4.
Установка счетчиков - регистраторов
перенапряжений на линии Рутченково-
Рыково 38 kV (грозового сезон 1933 г.)

2) подведение к взрывному патрону такого напряжения, которое при стационарном режиме не приводило бы к взрыву или изменению свойств взрывчатого вещества, а при импульсах, напротив, надежно обеспечивало бы взрыв для напряжений, соответствующих нижнему пределу регистрации клидонографа;

3) отсутствие влияния цепи взрывных патронов на измерительную цепь.

Подходящих схем может быть предложено несколько. Приведем для примера ту из них, которая была нами применена в 1933 г. в электрических сетях Донбасса для рабочего напряжения 38 kV и является наиболее дешевой (рис. 3). Емкостной делитель напряжения обычного типа составлен из элементов подвесных изоляторов ПГ-22 и трех железных колец. К взрывным патронам, которые зашунтированы жидкостным сопротивлением, подведено более высокое напряжение, чем к фотопластинкам. Практическое осуществление включения СРП на линии в 38 kV с деревянными опорами (Рутченково—Рыково) приведено на фотографии рис. 4. Схема испытана как в лаборатории, так и на линии и в общем удовлетворяет поставленным выше требованиям. Цепь взрывного патрона при испытаниях в лаборатории волнами 0,5/5 и 1,5/40 мкс практически заметных искажений в получаемую клидонограмму не вносит.

Работа взрывных патронов при данной схеме включения, естественно, несколько зависит от формы волны. Результаты массовых испытаний одного из вариантов патронов для СРП представлены на рис. 5. Вдоль оси абсцисс отложена кратность перенапряжения по сравнению с рабочим, вдоль оси ординат—число взорвавшихся патронов в процентном отношении к общему числу патронов, подвергнутых испытанию данным напряжением.

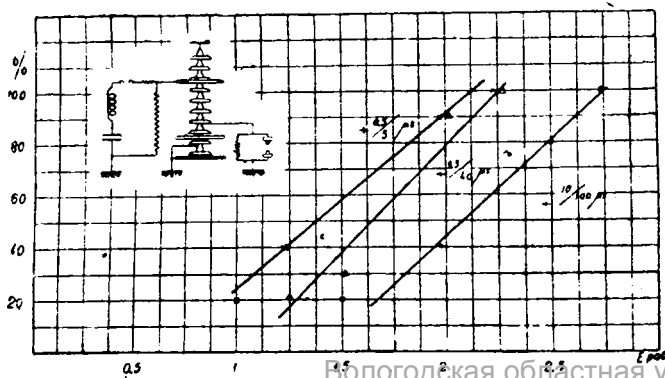


Рис. 5. Процент взрывающихся патронов СРП как функция крат-

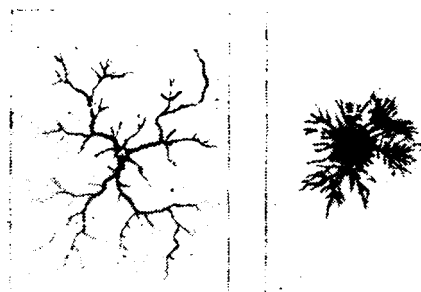


Рис. 6. Примеры клидонограмм, полученных с помощью СРП в грозовом сезоне 1933 г.

При так называемых американских стандартных волнах 0,5/5 и 1/5/40 мкс, более или менее полно охватывающих наиболее часто встречающиеся формы блуждающих волн атмосферного происхождения, 100% взрывов наступало при 2,25-кратном перенапряжении.

Испытание волной с значительно более пологим фронтом в 10/100 мкс дало несколько более высокое взрывающее напряжение (рис. 5), что, очевидно, зависит не от свойств патрона, а от примененной нами схемы включения в целом.

Таким образом в широком диапазоне наиболее обычных форм волн грозового происхождения взрывные патроны работают в этой схеме достаточно удовлетворительно. При крутых фронтах и у нижнего предела измерения могут быть случаи, когда счетчик срабатывает, а клидонограмма не получается.

Необходимо отметить, что построение удовлетворительных по качеству патронов для СРП оказалось связанным с серьезными затруднениями и значительно сложнее, чем подбор взрывчатого состава для СРПУМ³⁾. Объясняется это тем, что на шунтированный взрывной патрон СРП попадает от емкостного делителя весьма малое количество энергии. Произведенные нами опыты показывают, что взрывные патроны СРП приходят в действие при приложении к ним количеств энергии, значительно меньших 0,001 Wsec.

Примеры типичных клидонограмм, полученных в 1933 г. с помощью СРП на линиях передачи Донбасса в 38 и 115 kV, представлены на рис. 6.

В дальнейшей эксплуатации СРП мы предполагаем сочетать их с клидонографами с движущейся пленкой, так чтобы на несколько точек, обслуживаемых СРП, приходился один нормальный клидонограф, регистрирующий время. На шинах подстанций включаются клидонографы, а вдоль всех присоединенных к этим шинам линий через известные промежутки (2÷3 км) расставляются СРП. Таким путем можно будет во многих случаях получить возможность сопоставления показаний нескольких расставленных регистрирующих приборов. Еще более плодотворной может оказаться совместная работа полевых автоматических катодных осциллографов с многочисленными СРП.

Счетчик-регистратор прямых ударов молнии можно включать такими же шунтами и по тем же схемам, какие применяются и для нормальных РПУМ, поскольку в СРПУМ нам удалось достигнуть благоприятных результатов при параллельном соединении кассеты с взрывным патроном [8,9].

Первый опыт широкого применения СРП и СРПУМ в 1933 г. в сетях Донбасса обнаружил, что приборы

эти при всей своей дешевизне⁴⁾, и несмотря на некоторые конструктивные недостатки, в дальнейшем легко устранимые. В общем себя целиком оправдывают и при сколько-нибудь внимательном обслуживании могут дать ценный материал по перенапряжениям. В частности, например, СРП, несомненно, позволяют сравнительно легко наладить учет частоты и качества работы разрядников. Выяснилось далее, что для сильно грозопоражаемых линий передачи СРП следует сделать более многорядными, на 10 или 15 позиций, так как пять патронов иной раз срабатывают в течение одной грозы. В особенности это относится к слабо обслуживаемым удаленным линиям. Напротив, для сравнительно редко работающих СРПУМ следует применить упрощенный одно- или двухрядный прибор.

Литература

1. Яворский, „Электричество“ № 3—4, 1933, стр. 27.
2. Калинин, Влияние метеорологических явлений на работу линий системы Ленэнерго, Изд. ВЭК, 1932.
3. Foust, „GER“, 1931, XXXIV, стр. 235.
4. Стекольников и Чечик, „Электричество“ № 19, 1931, стр. 1090.
5. GER, № 12, 1932.
6. Dodds und Fuchs, „AIE“ № 8, 1933, стр. 597.
7. Hartie, „ETZ“, 1932, стр. 939—940.
8. Пашин, Включение регистратора прямых ударов молнии, „Электричество“ № 13, 1933, стр. 23.
9. Ньюмень и Конторович, Об измерении импульсных токов и об измерении токов молнии, „Электричество“ № 12, 1933, стр. 44.

1931—33 г.

ИЗ РАБОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ И ЛАБОРАТОРИЙ

Косвенный метод теплового испытания асинхронных двигателей¹⁾

Проф. М. П. Костенко
Ленинград

Тепловые испытания асинхронных двигателей при мощности, превосходящей 100 ÷ 150 kW, методом непосредственной нагрузки представляют значительные затруднения, так как в этом случае требуется относительно мощное оборудование испытательной станции. В то же время возможно более точное знание перегревов активных частей этих машин, в особенности статорной обмотки, имеет весьма большое значение не только для эксплуатации, но также и для заводов, производящих эти машины, при разработке новых типов машин и их усовершенствовании.

Предлагаемый автором в настоящей работе метод косвенного теплового испытания асинхронных двигателей был проверен им путем весьма подробных тепловых испытаний нескольких асинхронных двигателей с различной системой вентиляции (осевой и радиальной). В результате этих испытаний удалось выделить из сложной картины нагрева асинхронной машины основные его условия и найти относительно простые методы косвенных испытаний, проверив их также и при непосредственной нагрузке двигателей.

Рассмотрим в самом приближенном виде условия нагрева статорной обмотки, который представляет наибольший интерес. Нагрев этой обмотки определяется джоулевыми потерями и потерями на токи Фуко в самой обмотке и потерями в железе тех частей, которые прилегают к участкам обмотки, находящимся в пазах. Так как обмотку окружают боковые стенки и дно паза, то нагрев этих частей будет иметь значительно большее влияние для нагрева обмотки, чем нагрев остальной массы железа статора²⁾.

Нагрев зубцов зависит от основных и добавочных потерь в железе при холостом ходе машины и от добавочных потерь под нагрузкой, вызванных полями высших гармонических обмотки ротора, которые возникают в ней вследствие несинусоидальности и ступенчатости ее м. д. с. В свою очередь нагрев частей обмотки, заложённых в пазы, влияет и на температуру зубцов. Потери, возникающие в обмотке ротора, могут частично передаваться через воздушный зазор на

поверхность статорного железа и повышать вследствие этого температуру зубцов и обмотки статора. Особенно заметно это явление может проявляться у двигателей с глубоким пазом, у которых происходит сильная теплопередача от развитых боковых изолированных поверхностей стержней на железо ротора, в то время как отсос тепла через торцевые части короткозамыкающих колец является весьма незначительным. Менее заметно это явление проявляется при изолированной обмотке ротора у двигателей с фазовым ротором и почти отсутствует у двигателей с хорошей осевой вентиляцией.

Таким образом нагрев статорной обмотки зависит от потерь, пропорциональных квадрату тока I_1^2 в обмотке статора (джоулевы потери и потери на токи Фуко в этой обмотке), от потерь, пропорциональных квадрату напряжения U_1^2 (потери в железе при холостом ходе), и от потерь, пропорциональных квадрату силы тока в роторе I_2^2 (добавочные потери в железе под нагрузкой и теплопередача со статора на ротор). Вследствие этого при разработке методов искусственного теплового испытания нужно, чтобы асинхронный двигатель имел действующее значение тока в статорной и роторной обмотках и величину магнитного потока такую же, как при действительных условиях нагрузки.

Исходя из указанных выше предположений, можно сделать следующие допущения: перегрев статорной обмотки от потерь в железе при холостом ходе ΔT_1 соответствует перегреву ее при длительной работе двигателя при напряжении U_1 и токах в статорной и роторной обмотках, равных нулю, причем этот перегрев должен быть уменьшен на небольшую величину перегрева ΔT_2 от вентиляционных потерь. Таким же образом перегрев статорной обмотки ΔT_3 от потерь пропорциональных квадратам тока в статорной и роторной обмотках, соответствует в первом приближении перегреву ее при токе в статорной обмотке I_1 соответствующем данной нагрузке, при уменьшении этого перегрева на ту же величину перегрева ΔT_4 от вентиляционных потерь. Если определить в отдельности перегревы ΔT_1 , ΔT_2 и ΔT_4 , то результирующий перегрев обмотки статора, соответствующий нагрузке двигателя при напряжении U_1 и тока в статоре I_1 будет равен³⁾

4) Первая партия СРП была изготовлена ХЭТИ для Донсевуэнерго по 75 руб. за штуку, включая сюда и расходы по разработке конструкции.

1) В полном объеме статья печатается в сборнике ЛЭМИ.

2) При расчетах обычно принимается, что на нагрев статорной

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_4$$

(1)

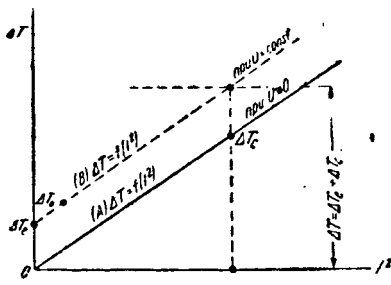


Рис. 1

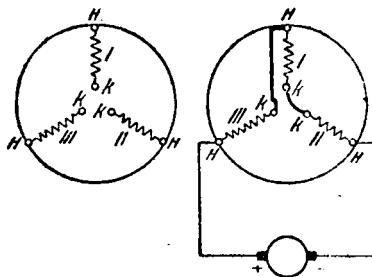


Рис. 2

Если двигатель будет иметь какое-либо другое напряжение U_1' и другой ток в статоре I_1' , то перегрев его статорной обмотки может быть выражен следующей формулой:

$$\Delta T = \Delta T_a \left(\frac{U_1'}{U_1} \right)^2 + \Delta T_c \left(\frac{I_1'}{I_1} \right)^2 + T_c. \quad (2)$$

Таким образом из этих элементарных соображений следует, что перегрев статорной обмотки асинхронного двигателя может быть приближенно найден для любого напряжения U_1 и любого тока в статоре I_1 , если известны величины ΔT_a , ΔT_c и T_c при одном каком-либо режиме его работы. Если пренебречь весьма небольшой величиной перегрева ΔT_a , равного обычно $1 \div 1\frac{1}{2}^\circ$, то перегревы ΔT_a и ΔT_c могут быть найдены приближенно из опыта следующим образом: асинхронный двигатель испытывается длительно в холостом ходу при напряжении U_1 до получения устойчивых значений температур и затем определяется перегрев его обмотки статора ΔT_0 по сопротивлению или терморезисторам. После этого двигатель приводится во вращение со скоростью, соответствующей его работе при полной нагрузке в режиме короткого замыкания синхронной машины, при питании его роторной обмотки постоянным током. Сила тока в замкнутой накоротку обмотке статора должна соответствовать в этом случае величине нагрузочного тока I_1 .

Перегрев ΔT_0 не представляет еще перегрева ΔT при токе статора $I_1 = 0$, так как в этом случае через статорную обмотку протекает ток холостого хода I_0 . Необходимая поправка на нагрев от тока I_0 может быть получена следующим образом: Наносим на оси абсцисс шкалу для I_1^2 и на оси ординат ΔT . Тогда кривая $\Delta T_a = (I^2)$ выразится прямой A , проходящей через начало координат. Нанеся далее (рис. 1) точку перегрева обмотки статора, соответствующую I_1 и проводя через нее прямую B , параллельную прямой A , отсекаем на оси ординат отрезок ΔT_c , соответствующий перегреву обмотки при токе $I_1 = 0$. Прямая A дает зависимость перегрева обмотки статора ΔT_c от квадрата тока I_1^2 .

Сравнение величины перегрева ΔT при описанном методе испытания с перегревами при действительных условиях нагрузки показывает практически достаточное совпадение получаемых результатов по обоим методам. Недостатком данного способа является его неприменимость к короткозамкнутым двигателям, поэтому опыт нужно изменить таким образом, чтобы короткозамкнутой системой явился ротор, а возбуждаемой — статор. В этом случае обмотки статора нужно соединить таким образом, чтобы они целиком обтекались постоянным током, равным действующему значению переменного тока I_1 . Подобная схема соединений, примененная автором, представлена на рис. 2. Кривые м. д. с. для случая распределенной обмотки представлены на рис. 3. Трапециoidalные м. д. с. всех трех фаз создают результирующую м. д. с., имеющую

лению. Амплитуда основной волны м. д. с. трехфазной статорной обмотки при нормальном питании ее переменным током получается равной

$$AW_s = \frac{4}{\pi} I_1 \sqrt{2} \frac{\sqrt{3}}{2} \omega_1 f_1,$$

где I_1 — действующее значение силы тока, ω_1 — число последовательно включенных витков на фазу и f_1 — коэффициент обмотки. В случае питания статорной обмотки постоянным током, равным действующему значению переменного тока I_1 по схеме рис. 2, амплитуда основной волны м. д. с. получается равной

$$AW_s' = \frac{4}{\pi} \cdot I_1 \cdot 2\omega_1 f_1.$$

Отношение

$$\frac{AW_s'}{AW_s} = 2 : \frac{3}{\sqrt{2}} = 0,94. \quad (3)$$

Вследствие этого приведенное к первичной цепи значение вторичного тока I_{2g}' при питании статорной обмотки постоянным током будет равно $\frac{0,94}{1 + \tau_2}$ от величины первичного тока в статоре I_g , т. е.

$$\frac{I_{2g}'}{I_g} = \frac{AW_s'}{AW_s} \cdot \frac{1}{1 + \tau_2} = \frac{0,94}{1 + \tau_2},$$

где τ_2 представляет вторичный коэффициент рассеяния двигателя, который может быть принят равным 0,015. Величина вторичного приведенного тока I_{2g}' при нормальной нагрузке двигателя равна

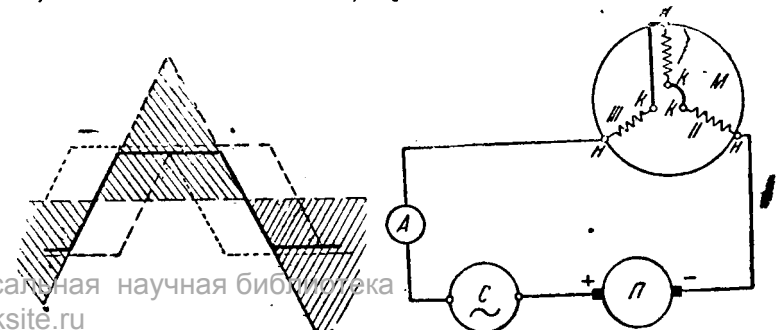
$$I_{2g}' = \frac{V}{E} I_1 \cos \varphi \left(1 - \frac{Q_1}{100} \right),$$

где E представляет э. д. с., индуцированную полем взаимной индукции первичной и вторичной цепей и Q_1 представляет процентную величину первичных потерь двигателя.

Отношение $\frac{I_{2g}'}{I_1}$ изменяется в зависимости от изменения мощности и числа полюсов двигателя, но в среднем можно принять, что отношение $\frac{I_{2g}'}{I_1}$ в асинхронных двигателях при нормальной нагрузке лежит около 0,9⁴⁾. Таким образом при испытании двигателя по схеме рис. 2 величина вторичного тока получается близкой к его значению при нормальной нагрузке, вследствие чего добавочные потери, пропорциональные квадрату тока в роторе, имеют величину, также достаточно близкую к условиям действительной нагрузки.

Комбинированное испытание из опыта холостого хода и тормозного режима при величине тока в статоре, равном нагрузочному току, дает не вполне удо-

⁴⁾ Е. Arnold, WST, B-V-1, стр. 369.



влетворительные результаты, так как в этом случае перегрев обмотки статора получается больше, чем при действительных условиях нагрузки. Это обстоятельство объясняется тем, что в этом случае приведенный ток I_2' в роторе получается равным первичному току I_1 в статоре, деленному на $(1 + \tau_2)$, вследствие этого джоулевы потери в роторе возрастают в отношении $\left[\frac{1}{0,9(1 + \tau_2)} \right]^2 \approx 1,2$ раза, кроме того, в этом случае скольжение $s = 2$, благодаря чему сильно возрастают потери на токи Фуко в роторе.

Описанная схема тепловых испытаний асинхронного двигателя дает практически удовлетворительные результаты, но требует производства двух отдельных длительных испытаний. Представляет чрезвычайно большой интерес соединить оба испытания в одно, при котором бы двигатель приводился во вращение током, а не с помощью другого двигателя, как это требуется в схеме короткого замыкания синхронной машины⁵⁾. На рис. 4 представлена подобная комбинированная схема, примененная автором. В этом случае двигатель приводится во вращение от источника однофазного переменного тока, имеющего нормальную частоту двигателя и напряжение на зажимах, равное двойному фазовому напряжению $2U_1$ при питании трехфазным током. Так как действующее число витков двигателя на зажимах получается равным

$$W_1 f_1 \sqrt{3} \frac{2}{\sqrt{3}} = 2W_1 f_1,$$

то в этом случае он будет иметь такой же поток, как и при питании его по нормальной схеме трехфазного тока при напряжении на фазу, равном U_1 . Несмотря на то, что при схеме рис. 4 двигатель будет работать как однофазный, обратно вращающееся поле в нем при работе с малым скольжением будет весьма ничтожно, поэтому можно считать, что двигатель будет иметь круговое вращающееся поле той же амплитуды, как и при питании его трехфазным током при напряжении на фазу, равном U_1 . Очевидно, в этом случае двигатель будет иметь соответственно и нормальные потери холостого хода при работе его в схеме трехфазного тока с напряжением U_1 .

При совершенно ненасыщенной магнитной цепи величина тока холостого хода I_{01} при однофазном питании асинхронного двигателя по вышеприведенной схеме равна⁶⁾

$$I_{01} = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{W_1 f_1}{2W_1 f_1} \right) \cdot 1,95 I_{03} = 1,46 I_{03},$$

где I_{03} представляет ток холостого хода при трехфазном питании двигателя при той же величине магнитного потока.

При нормально насыщенной магнитной цепи

$$I_{01} \approx (1,1 \div 1,2) I_{03}, \text{ в среднем } \approx 1,15 I_{03}.$$

При одновременном пропускании через статорную обмотку постоянного тока I_g и переменного однофазного тока I_{01} их результирующее действующее значение должно быть равно действующему значению трехфазного тока I_1 . Таким образом

$$I_1^2 = I_{01}^2 + I_g^2,$$

откуда

$$I_g \approx \sqrt{I_1^2 - (1,15 I_{03})^2}.$$

Если принять, что намагничивающий ток

$$I_{03} \approx 0,25 I_1,$$

то

$$I_g \approx I_1 \sqrt{0,918} \approx 0,96 I_1.$$

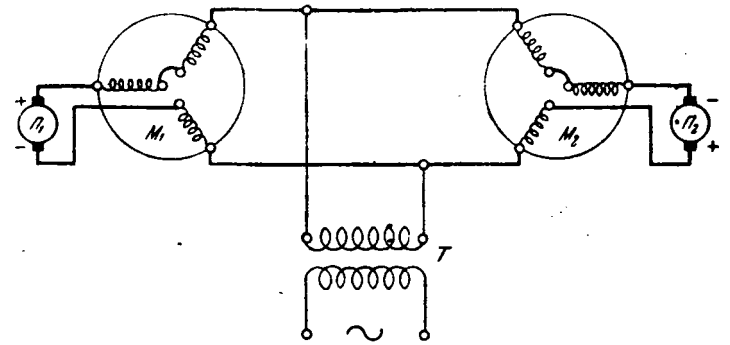


Рис. 5

Вследствие этого отношение действующего первичного тока I_g к вторичному току, приведенному к первичной цепи, принимая во внимание равенство (3), будет равно

$$\frac{I_{2g}'}{I_1} = \frac{I_{2g}'}{I_g} \cdot \frac{I_g}{I_1} = 0,96 \cdot \frac{0,94}{1 + \tau_2} \approx \frac{0,9}{1,015} \approx 0,885.$$

Таким образом при этой схеме испытания во вторичной цепи протекает приблизительно такой же ток, как и при нормальной нагрузке, так как в последнем случае отношение первичного тока I_1 к приведенному вторичному току I_2' лежит около 0,9.

В асинхронном двигателе благодаря относительно мелкому подразделению проводников потери на токи Фуко в статорной обмотке имеют весьма ничтожную величину, поэтому разница, получаемая в ее нагреве при обтекании постоянными и переменными токами, получается весьма мало ощутимой. Кроме того, вследствие несколько повышенных потерь в роторе более подогретый охлаждающий воздух в случае радиальной вентиляции может несколько повысить нагрев статорной обмотки, но так как при данном опыте в статорной обмотке отсутствуют потери на токи Фуко, то оба явления могут в сильной степени компенсировать друг друга.

Перегрев обмотки статора при длительном испытании по комбинированному методу дает значения, практически чрезвычайно близкие к тем, которые получаются в действительных условиях нагрузки. Комбинированный метод дает возможность получать одновременно перегрев не только обмотки статора, но также и железа. Перегрев обмотки ротора может иметь несколько повышенное значение благодаря тому, что частота в роторе получается равной частоте сети, а не частоте скольжения. Расхождение может иметь относительно большую величину в случае двигателей с глубоким пазом и высокими стержнями в роторе, но если можно определить для обмотки ротора из расчета или опыта коэффициент возрастания сопротивления K_r при переменном токе по сравнению с током постоянным, то действительный перегрев может быть получен с некоторым приближенным пересчетом его на нулевую частоту делением на коэффициент K_r . Как было указано выше, в двигателях с глубоким пазом получается также несколько повышенный перегрев в статорной обмотке.

Если источником переменного тока при схеме комбинированного испытания является трансформатор, то протекание по его вторичной обмотке постоянного тока вызывает добавочное насыщение железа, что сильно уменьшает использование трансформатора. При одновременном испытании двух одинаковых двигателей можно применить схему рис. 5, предложенную инж. Кузнецовым, при которой через трансформатор проходит только переменный ток, а постоянный ток протекает в главной цепи двигателей.

⁵⁾ Elettrotecnica, 1932, стр. 721.

⁶⁾ Ibid. стр. 161 и 207.

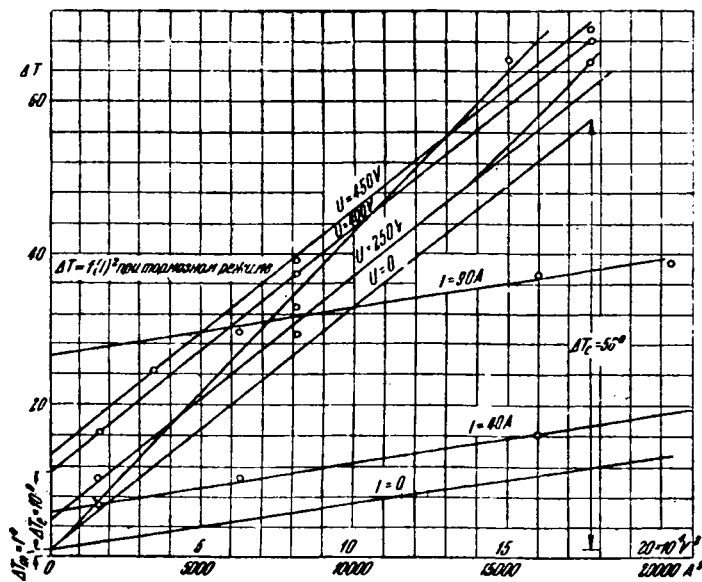


Рис. 6. Тепловые характеристики двигателя № 1 500 V, 138 A, 95 kW, 1 000 об/мин (осевая вентиляция)

Для проверки вышеприведенных элементарных положений были произведены подробные тепловые испытания по различным методам на нескольких асинхронных двигателях. Первой машиной в этой серии испытаний был трехфазный асинхронный двигатель с простым короткозамкнутым якорем и осевой системой вентиляции в 75 kW, 133 A, 400 V, 750 об/мин. Для выяснения того, насколько наклон характеристики $\Delta T = (I_1^2)$ имеет иной наклон при тормозном режиме по сравнению с режимом номинальной нагрузки, двигатель был испытан при напряжении $U_1 = 250$ V и токе $I_1 = 40$ A, 90 A и 133 A, при напряжении $U_1 = 400$ V и токе $I_1 = 40$ A (холостой ход), 90 A и 133 A и при напряжении $U_1 = 450$ V и токе $I_1 = 58,5$ A (холостой ход), 90 A и 133 A; кроме того, двигатель был испытан в тормозном режиме при токе $I_1 = 40$ A и напряжении $U_1 = 37,2$ V, при $I_1 = 90$ A и $U_1 = 59,5$ V и при $I_1 = 121,5$ A и $U_1 = 77,5$ V. Результаты этих испытаний сведены в табл. 1, а соответствующие этим испытаниям кривые представлены на рис. 6 для ΔT_{cp} всей обмотки статора по термопарам.

Таблица 1

Тепловые испытания двигателя № 1, 400 V, 133 A, 75 kW, 1 000 об/мин

№	Способ испытания	U_1	I_1	ΔT_{\max} обмотки по термопаре	ΔT_{cp} обмотки по термопаре в пазу	ΔT_{cp} обмотки по всем термопарам	ΔT обмотки по сопровитвлению	ΔT_{\max} по термопаре в железе	ΔT_{cp} по термопаре в железе	Скольжение s
1	Нагрузка	250	40	12,4	11,5	10,3	15,7	14,1	13,1	0,745
2	"	250	90	34,4	32,5	29,4	26,4	34,9	32,9	2,2
3	"	250	133	73,6	70,7	65	62,3	75,5	71,1	3,8
4	Холостой ход	400	40	21,4	19,5	16,3	17,7	24,3	23,1	0,3
5	Нагрузка	400	90	44,9	41,9	37,3	36,5	46,6	44,6	1,16
6	"	400	133	78,6	75,7	68,6	64,2	77,6	74	2
7	Холостой ход	450	58,5	23,6	27,5	24,3	25,5	32	30,7	0,23
8	Нагрузка	450	90,5	16,6	44	39,4	40,7	49,5	47,1	0,66
9	"	450	133	79,5	76,1	69,6	70,2	79,1	75,7	1,74
10	Тормоз	37,2	40	7,8	7,0	7	—	8,8	7,3	—
11	"	59,5	90	36,5	68,3	33	—	38	34	—
12	"	77,5	122	75	71,2	66	—	79,5	66	—

Из кривых рис. 6 можно видеть, что наклон характеристики $\Delta T = (I_1^2)$ при тормозном режиме получается несколько иной, чем при нагрузочных характеристиках, поэтому этот режим не может быть положен в основу при выработке метода косвенных тепловых испытаний⁷⁾.

Второй машиной в серии тепловых испытаний был пробный асинхронный двигатель новой серии типа АТ-11 с фазовым ротором 90 kW, 500 V, 138 A, 1 000 об/мин, 50 Hz. Двигатель был подвергнут следующим испытаниям в тепловом отношении в различных режимах:

1. Синхронное короткое при питании с ротора при $I_1 = 80$ A, 110 A и 138 A.

2. Синхронное короткое при питании со статора по схеме рис. 2 при $I_1 = 80$ A и 138 A.

3. Нагрузочные режимы при различных напряжениях: $U_1 = 380$ V и $I_1 = 22$ A (холостой ход), 80 A, 110 A, 138 A, $U_1 = 500$ V и $I_1 = 31,5$ A (холостой ход), 80 A, 110 A, 138 A, $U_1 = 600$ V и $I_1 = 47,5$ A (холостой ход), 80 A, 110 A, $U_1 = 750$ V и $I_1 = 95$ A (холостой ход).

4. Комбинированное испытание по схеме рис. 4 при

$$U_1 = 380 \frac{2}{\sqrt{3}} = 440 \text{ V и } I_1 = 80 \text{ A, 110 A и 138 A.}$$

$$U_1 = 500 \frac{2}{\sqrt{3}} = 545 \text{ V и } I_1 = 80 \text{ A и 130 A.}$$

Данные всех испытаний сведены в табл. 2, а соответствующие кривые $\Delta T = (I_1^2)$ и $\Delta T = (U_1^2)$ представлены на рис. 7 для ΔT_{cp} всей обмотки по термопарам.

Из кривых рис. 7 следует, что при номинальном напряжении $U_1 = 500$ V и номинальном токе $I_1 = 138$ A перегрев обмотки статора от потерь в железе $\Delta T_c = 5,5^\circ$, от потерь, пропорциональных квадрату тока $\Delta T_c = 39,5^\circ$, и от вентиляционных потерь $\Delta T_s = 1^\circ$. Произведенные испытания показали, что перегрев обмотки статора при условиях действительной нагрузки и при комбинированном испытании дают практически совпадающие результаты. Перегрев обмотки ротора получается в данном двигателе благодаря относительно большой высоте стержней обмотки при комбинированном опыте больше, чем в условиях действительной нагрузки, так как в первом случае обмотка ротора обтекается током, имеющим частоту 50 Hz, а в последнем случае током, имеющим только частоту скольжения.

⁷⁾ Косвенный метод, предложенный А. Бамдасом („Изв. ГЭТ“ 1929, № 2—3; „Е и М“, 1931 стр. 86), основан на комбинированных испытаниях с тормозными режимами и в этом заключается его основной недостаток.

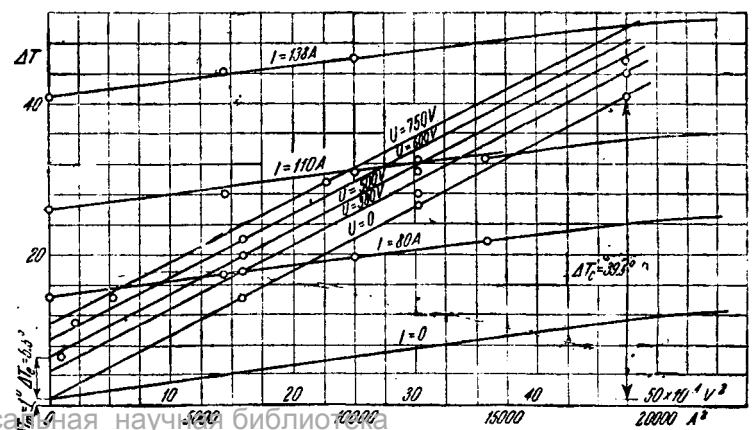


Таблица 2

№	Способ испытания	U ₁	I ₁	Тепловые испытания						
				ΔT _{max} обмотки статора по термопарам	ΔT _{ср} обмотки статора по всем термопарам	ΔT обмотки статора по сопротивлению	ΔT обмотки ротора по сопротивлению	ΔT _{max} в железе по термопарам	ΔT _{ср} в железе зубцов по термопарам	ΔT _{ср} в железе спин по термопарам
1	Синхронное короткое с ротора . . .	0	80	14	15,2	17	19,3	13,8	15,5	—
2	Синхронное короткое с ротора . . .	0	110	26,5	27,6	28,2	37,1	24,7	27,2	—
3	Синхронное короткое с ротора . . .	0	138	41	42,4	47,2	62,2	39,2	41,1	—
4	Синхронное короткое со статора . . .	0	80	13,2	14,5	18,2	18,2	13,3	14,4	—
5	Синхронное короткое со статора . . .	0	110	25	26,3	30,6	33,3	21,5	25,6	—
6	Синхронное короткое со статора . . .	0	138	39,3	40,7	44,3	51,4	37,2	37,8	—
7	Холостой ход . . .	380	22	6	6,73	—	—	9,5	8	—
8	Нагрузка	380	80	16,8	17,4	17,4	16,9	19,3	19,5	17
9	"	380	110	27,3	28	31,3	31,4	23,3	29	25,8
10	"	380	138	43,3	44,2	46,2	44,8	43,3	44	38,5
11	Комбинированное испытание . . .	440	80	16,7	17,1	18,7	20,5	18,8	19,2	—
12	Комбинированное испытание . . .	440	110	27,3	29,4	30,2	—	28,8	30,7	—
13	Комбинированное испытание . . .	440	138	45,7	46	48,2	—	51,9	45,2	—
14	Холостой ход . . .	500	31,5	11,2	17,2	10	7,7	15,3	15,6	—
15	Нагрузка	500	80	19,8	19,8	20,9	18,9	23,5	23,8	21,8
16	"	500	110	30,0	31,2	31,0	30,4	33,2	32,2	29,7
17	"	500	138	45,3	45,8	45,5	45,0	47,3	46,8	42,1
18	Холостой ход . . .	575	80	—	20,8	20,4	20,9	23,2	23,8	—
19	"	575	110	—	32	32	35,8	33,7	34,6	—
20	"	575	138	—	46	48,6	51,5	46,7	47,0	—
21	Холостой ход . . .	600	47,5	14,7	14	17	12,7	21,3	—	—
22	Нагрузка	600	80	22,7	22,1	25,7	36,9	27,5	27,6	26,2
23	"	600	110	32,7	32,6	36,9	39,3	37	36	33,9
24	Холостой ход . . .	750	95	31,3	29,6	30	—	38	37,5	37,2

Выводы

Произведенное систематическое тепловое испытание асинхронных двигателей дало возможность разработать относительно простые косвенные методы их испытания и установить при этом, что степень точности получаемых результатов по этим способам является практически достаточной. Нужно отметить, что точные тепловые испытания представляют значительные затруднения, так как каждое даже относительно небольшое изменение в режиме работы машины может влиять на величины перегревов.

Произведенные испытания дают возможность получить ряд добавочных выводов, вскрывая достаточно полно условия, от которых зависит перегрев статорной обмотки асинхронного двигателя.

По кривым рис. 7 для двигателя № 2 получается, что при U₁=const возрастанию силы тока от I₁=0 до номинального тока I₁=138 А перегрев статорной обмотки возрастает на ΔT_c=39,5°, а при I₁=const при возрастании напряжения от U=0 до номинального

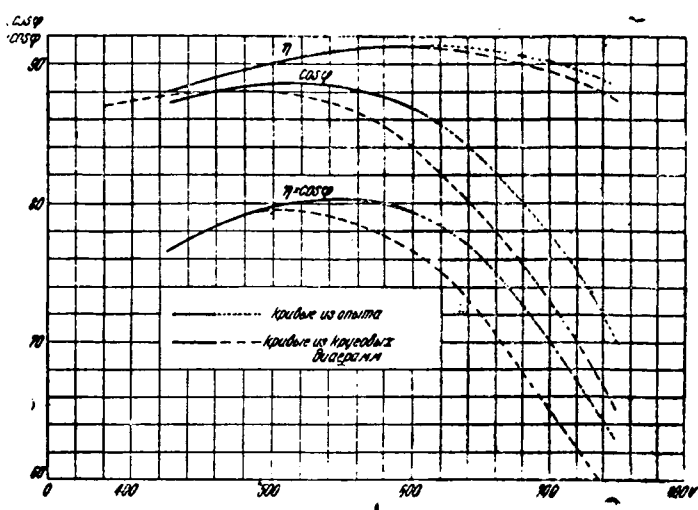


Рис. 8

ного напряжения U₁=500 V перегрев статорной обмотки возрастает только на ΔT_c=5,5°.

После определения для данного двигателя перегрева ΔT_c для одного какого-либо напряжения U₁ и перегрева ΔT_c для какого-либо тока I₁ и перегрева ΔT_c от вентиляционных потерь перегрев статорной обмотки для других напряжений и токов может быть определен по вышеприведенной формуле (1). Например, для двигателя № 2 при напряжении U₁=380 V и I₁=80 А

$$\Delta T = 5,5^\circ \left(\frac{380}{500} \right)^2 + 39,5 \left(\frac{80}{138} \right)^2 + 1 = 3,2 + 13,3 + 1 = 17,5^\circ$$

(опыт дает 17,4°),

при U₁=600 V и I₁=110 А

$$\Delta T = 5,5^\circ \left(\frac{600}{500} \right)^2 + 39,5 \left(\frac{110}{138} \right)^2 + 1 = 8 + 25 + 1 = 34^\circ$$

(опыт дает 32,6°).

Таким образом формула (1) дает возможность расчетному инженеру подобрать желательный режим работы машины при заданной величине перегрева статорной обмотки. Значительная разница в величинах перегревов ΔT_c и ΔT_c является вполне естественной, так как изоляция обмотки вызывает повышение величины перегрева ΔT_c и одновременно понижает величину перегрева ΔT_c.

Испытания показывают, что напряжение на зажимах двигателя на перегрев обмоток имеет весьма малое влияние. Поэтому возможно получить с практически достаточной точностью перегревы обмоток асинхронного двигателя при номинальной силе тока и сильно пониженном напряжении. Это дает возможность производить испытания машины большой мощности при моменте на валу значительно меньше номинального, благодаря чему может быть использовано недостаточное для полной нагрузки оборудование испытательной станции. Например, по табл. 2 для двигателя № 2 результирующий перегрев его обмотки статора при номинальном напряжении U₁=500 V и номинальной силе тока I₁=138 А равен ΔT=45,8°, а при U₁=380 V и I₁=380 ΔT=44,2, т. е. разница получается всего в 1,6°. Теоретически ожидаемая разница при

$$\Delta T = 5,5^\circ \text{ равна } 5,5 \left[1 - \left(\frac{380}{500} \right)^2 \right] = 2,3^\circ, \text{ т. е. доста-}$$

точно близко совпадает с действительной. Если кроме нагрузки при номинальном токе и пониженном напряжении произвести еще испытание при том же напряжении при дельте номинального холостого хода или при

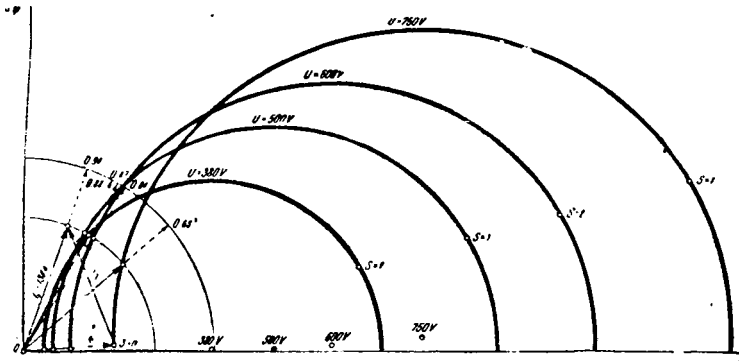


Рис. 9

либо другом значении тока, то, проводя прямую через точки перегревов при этих токах, отложив по общему методу на оси абсцисс I_1^2 и на оси ординат ΔT , мы получим на оси ординат отрезок ΔT_e , соответствующий данному пониженному напряжению. Пересчитав ΔT_e на номинальное напряжение и умножив его на квадрат отношений напряжений, получим $\Delta T_{e, \text{ном}}$. Прибавив к ранее полученному перегреву при номинальном токе и пониженном напряжении разницу ($\Delta T_{e, \text{ном}} - \Delta T_e$), получим величину перегрева, соответствующую номинальному напряжению и номинальной силе тока.

Относительно небольшая величина получаемого перегрева ΔT_e по сравнению с перегревом ΔT_e показывает, что мощность машины может быть повышена гораздо легче путем повышения магнитного потока машины, чем путем увеличения тока в ее обмотках. Действительно, если повысить при $I_1 = \cos \varphi$ напряжение машины выше номинального, то ΔT_e должно возрасти пропорционально U_1^2 . Но в действительности это возрастание благодаря насыщению зубцов будет расти даже несколько медленнее, чем U_1^2 . Так как абсолютная величина ΔT_e значительно меньше ΔT_e , то в этом случае общий нагрев статорной обмотки $\Delta T = T_c + T_e + T_s$ будет возрастать с увеличением напряжения весьма ничтожно, в то время как мощность машины будет увеличиваться пропорционально U_1 , если произведение $\cos \varphi$ на к. п. д. машины останется практически прежним. Например, при повышении напряжения в двигателе № 2 от номинального напряжения $U_1 = 500$ В до $U_1 = 750$ В перегрев ΔT_e возрастает только с $\Delta T_e = 5,5^\circ$ до $\Delta T_e = 9,5^\circ$, т. е. всего на 4° , в то время как кажущаяся мощность машины в киловольтах повышается в 1,5 раза.

Повышение напряжения $I_1 = \text{const}$ обычно вызывает некоторое увеличение к. п. д. машины, так как все потери кроме потерь в железе остаются практически постоянными, а последние составляют обычно лишь относительно ничтожную часть суммарных потерь. На рис. 8 представлены кривые, показывающие зависимость к. п. д. η и $\cos \varphi$ и произведения $\eta \cdot \cos \varphi$ от напряжения на зажимах U_1 при номинальном токе $I_1 = \cos \varphi = 138$ А. Из этих характеристик можно видеть,

что несмотря на дальнейший рост к. п. д. произведение $\eta \cdot \cos \varphi$ достигает своего максимума приблизительно при $U_1 = 550$ В и начинает уменьшаться при дальнейшем увеличении напряжения вследствие сильного уменьшения $\cos \varphi$. Таким образом в асинхронном двигателе $\cos \varphi$ является той величиной, которая препятствует повышению мощности двигателя на счет повышения его потока. На рис. 9 представлены круговые диаграммы двигателя № 2, построенные на основании опытов холостого хода и короткого замыкания для напряжения $U_1 = 380$ В, 500 В, 600 В и 750 В. При величине первичного тока $I_1 = 130$ А, $\cos \varphi$, к. п. д. η и произведение $\eta \cdot \cos \varphi$, полученные из опыта и по данным круговых диаграмм, практически совпадают при напряжениях до 500 В. При более высоких напряжениях $\cos \varphi$ из круговой диаграммы получается меньше, чем в условиях действительного опыта (рис. 8), например, при $U_1 = 600$ В из опыта $\cos \varphi = 0,87$, а из круговой диаграммы $\cos \varphi = 0,84$. Разница между данными опыта и круговых диаграмм объясняется увеличением насыщения зубцов машины, которое понижает величину реактивных сопротивлений и поэтому несколько увеличивает $\cos \varphi$ двигателя вследствие соответствующего увеличения диаметра круговой диаграммы. Кривые рис. 8 показывают, что повышать напряжение двигателя выше 600 В в данном случае практически невозможно ввиду сильного понижения его $\cos \varphi$.

В двигателях относительно большой мощности возможно производить улучшение $\cos \varphi$ с помощью фазового компенсатора. В этом случае двигатель с характеристиками, сходными с данным двигателем № 2, мог бы работать даже и при напряжении $U_1 = 750$ В, так как в этом случае с помощью фазового компенсатора было бы возможно улучшить $\cos \varphi$ до таких пределов, чтобы первичный ток I_1 , приведенный ток вторичной цепи I_2' и ток холостого хода I_0 образовали равнобедренный треугольник, как это представлено на круговых диаграммах рис. 9. В этом случае двигатель имел бы улучшенный $\cos \varphi = 0,94$, поэтому его первичная мощность $P_1 = 3 \cdot 750 \cdot 138 \cdot 0,94 = 168,5$ кВт. Потери двигателя, равные в этом случае 14,3 кВт, будут составлять 8,5%, поэтому к. п. д. двигателя без учета потерь в компенсаторе будет равен 91,5%; приняв же потери в фазовом компенсаторе в 0,5% от мощности двигателя, получим, что его к. п. д. будет равен 91%. Результирующий нагрев статорной обмотки в этом случае будет равен

$$\Delta T = \Delta T_c + \Delta T_e + \Delta T_s = 9,5^\circ + 39,5^\circ + 1^\circ = 50^\circ.$$

Таким образом в этом случае двигатель будет развивать на валу мощность, равную

$$P_2 = 168,5 \cdot 0,91 = 153,5 \text{ кВт},$$

т. е. мощность его по сравнению с номинальной мощностью в 95 кВт при $U_1 = 500$ В будет повышена в $\frac{153,5}{95} = 1,62$ раза при общем повышении температуры статорной обмотки всего на 3° при номинальной нагрузке, соответствующей напряжению $U_1 = 500$ В.

Охлаждение ртутных выпрямителей циркуляционной водой при помощи охладителя поверхностно-испарительного типа¹⁾

Инж. Н. И. Протопопов
Нижневолгопроект

Ртутный выпрямитель для своего охлаждения требует подачи охлаждающей воды как в рубашку выпрямителя, так и для охлаждения ртутного насоса. Главная масса охлаждающей воды требуется для охлаждения самого выпрямителя, причем для охлаждения ртутного насоса требуется температура воды более низкая, иначе насос работает недостаточно хорошо. Температура воды, выходящей из насоса, не должна превышать $20 + 22^\circ \text{C}$, в то время как для самого выпрямителя допустима температура выходящей воды в 45°C .

Эти два условия — температура выходящей воды и ее количество — и определяют условия устройства аппаратов для охлаждения воды, прошедшей через ртутный выпрямитель, если мы хотим вновь воспользоваться этой водой для охлаждения.

Охлаждение циркуляционной водой иногда является единственно возможным способом охлаждения, например, в безводной местности или при наличии воды с большой жесткостью. Кроме того, выбрасывание в канализационную систему огромных масс добавочной воды (ср. эксплуатацию ртутных выпрямителей на московском трамвае) нерационально и является иногда обременительным для водопровода.

Так, например, при цене воды в $41,7 \text{ коп/м}^3$ суточный расход без работы охладителя для подстанции мощностью 2400 kW выражается в

$$\frac{4000 \cdot 0,7 \cdot 20 \cdot 41,7}{1000} = 23,4 \text{ руб/сутки.}$$

Здесь 4000 — ток (в амперах) на стороне 600 V постоянного тока, $0,7$ — годовой коэффициент загрузки подстанций, 20 — суточный период эксплуатации подстанции (в часах) для московского трамвая. Удельный расход воды на охлаждение без применения охладителя составляет $11/\text{Ah}$.

За год расход на воду на одну подстанцию составит

$$23,4 \cdot 365 = 8550 \text{ руб.}$$

А так как мощность ртутных подстанций московского трамвая на настоящее время должна составлять около 43800 kW , причем имеются подстанции мощностью 2400 kW или кратные ей, то ежегодный расход на воду для московского трамвая ориентировочно составит величину

$$\frac{43800}{2400} \cdot 8550 = 156500 \text{ руб.}$$

При этом в канализационную систему бесполезно сольется с одной подстанции мощностью в 2400 kW

$$\frac{4000 \cdot 0,7 \cdot 20}{1000} \cdot 365 = 20400 \text{ м}^3/\text{год,}$$

а со всех ртутных подстанций

$$\frac{43800}{2400} \cdot 20400 = 374000 \text{ м}^3/\text{год,}$$

что является ощутительной нагрузкой водопровода и могло бы быть использовано для других нужд. Годовой расход воды Москва-реки составляет $221 \cdot 10^8 \text{ м}^3/\text{год}$. Таким образом вычисленный выше расход воды на ртутновыпрямительных подстанциях московского трамвая составляет

$$\frac{374 \cdot 10^8}{221 \cdot 10^8} = 0,0017,$$

т. е. $0,17\%$ расхода Москва-реки.

В настоящей работе разбирается подробно устройство охлаждения самого выпрямителя циркуляционной водой; для охлаждения же ртутного насоса будет указан принцип построения аппарата для получения хотя и небольших количеств воды, но обладающих температурой значительно ниже температуры окружающего воздуха.

При циркуляционном способе охлаждения желательно добиться такого охладительного устройства, при котором был бы наименьший расход добавочной воды и наименьшее ее загрязнение. Аппараты, работающие по принципу градирен, т. е. испарением охлаждаемой воды, требуют значительной добавки воды, сильно увлажняют окружающий воздух и, кроме того, громоздки по своим размерам.

Аппараты, работающие по принципу развитой охлаждающей поверхности (поверхностные охладители), обладают сравнительно низким коэффициентом теплопередачи от металлической стенки водопровода к окружающему воздуху и требуют сильно развитой охлаждающей поверхности. В настоящей работе рассматривается устройство аппарата, работающего по комбинированному принципу, т. е. охладителя поверхностно-испарительного типа. На рис. 1 дана схема применения такого аппарата при полной автоматизации всей системы.

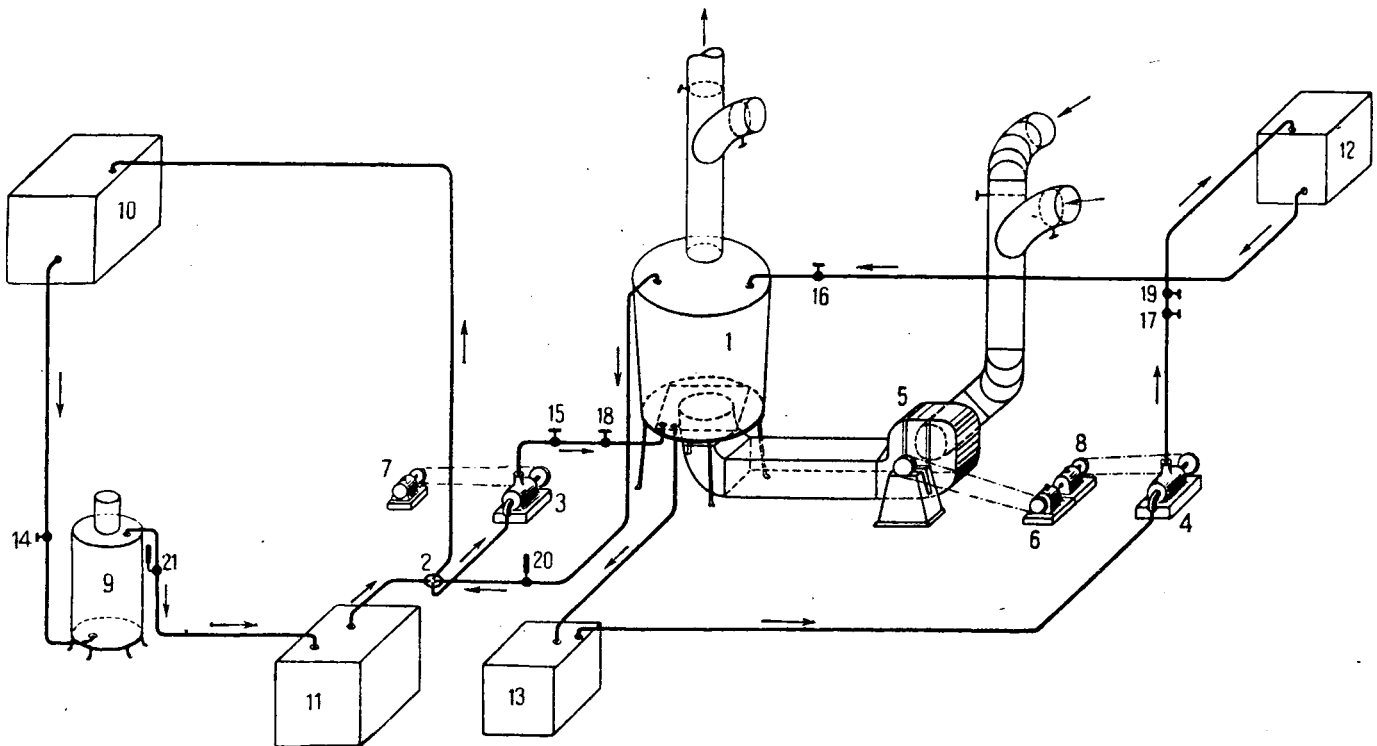


Рис. 1. Схема охлаждающего устройства с автоматическим действием.

1 — аппарат; 2 — переключающий кран; 3, 4 — насос; 5 — вентилятор Сирокко; 6, 7, 8 — мотор; 9 — ртутный выпрямитель; 10 — бак охлаждающей воды с электроплавком; 11 — бак для горячей воды с электроплавком; 12 — бак для орошения с электроплавком; 13 — нужный бак с электроплавком; 14, 15, 16, 17 — регулирующие вентили; 18, 19 — обратные клапаны; 20 — контактный термометр, воздействующий через промежуточное реле на кран 2; 21 — контактный термометр, воздействующий через промежуточное реле на вентиль 14

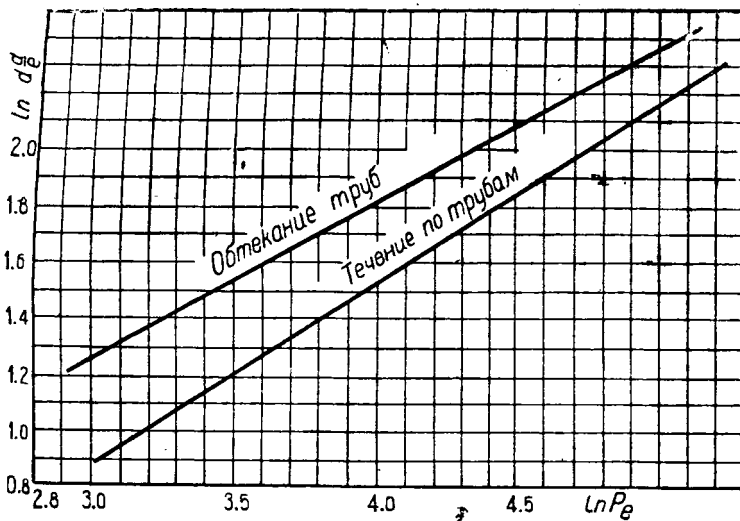


Рис. 2

Тепловой баланс

Падение напряжения в дуге при нагрузке выпрямителя вызывает потерю энергии в выпрямителе, выделяющуюся в форме тепла.

Количество выделенного тепла, которое уносится из выпрямителя охлаждающей водой (непосредственной отдачей тепла окружающему воздуху стенками выпрямителя пренебрегаем), пропорционально величине постоянного тока и падению напряжения в дуге:

$$Q = \frac{Ie \cdot 860 \text{ Cal}}{1000 \text{ h}} \quad (8)$$

где I — ток в амперах, e — падение напряжения в дуге ($e = 21 \div 23 \text{ V}$), 860 — тепловой эквивалент (Cal/kWh).

Это тепло, сообщенное циркулирующей воде, должно быть удалено из нее тем или другим способом, если мы вновь хотим воспользоваться этой водой для целей охлаждения ртутного выпрямителя.

Конструктивными особенностями выпрямительного аппарата и окружающими его атмосферными условиями налагаются следующие температурные условия: допустимая максимальная температура выходящей воды и рубашки выпрямителя принимается не свыше 45°C . Зимой же температура выходящей воды не должна спускаться ниже 25°C ; длительная же температура окружающего воздуха в жаркий летний день может достигать величины в 35°C , установленной правилами и нормами ЦЭС для машин и аппаратов.

Таким образом для самого жаркого времени допустимый градиент температуры принимается

$$t_2 - t_1 = 45 - 35 = 10^\circ \text{C} \quad (1)$$

Однако такие тяжелые температурные условия обычно могут продолжаться лишь несколько часов ($6 \div 8$); все же для надежности и упрощения расчета эти температурные условия приняты в течение круглых суток.

При поверхностном охладителе необходимо решить вопрос, направлять ли охлаждаемую воду по трубкам (основной элемент охладителя) или вне их, а по трубкам в последнем случае продувать воздух для охлаждения теплой воды. Процесс передачи тепла определяется следующим характеристическим уравнением¹⁾:

$$\alpha \frac{d}{\lambda} = F(Pe'), \quad (2)$$

где α — коэффициент теплопередачи к стенке трубы; d — диаметр трубы, λ — коэффициент теплопроводности среды, Pe' — число Пекле;

$$Pe' = \frac{wl_0}{a}$$

Здесь w — скорость течения воды, l_0 — длина трубы, $a = \frac{\lambda}{c_p \gamma}$, где c_p — удельная теплоемкость при постоянном давлении и γ — удельный вес.

Если по оси ординат (рис. 2) отложим логарифм выражения $\alpha \frac{d}{\lambda}$, а по оси абсцисс — логарифм чисел Пекле, то прямая процесса обтекания труб идет выше прямой течения по трубам. Отсюда следует, что вне труб надо пропускать ту среду, которая хуже проводит тепло.

Теплопроводность воздуха

$$\lambda = 0,0224 \frac{\text{Cal}}{\text{mh} \cdot 1^\circ \text{C}}$$

Теплопроводность воды в пределах температуры $0 \div 80^\circ \text{C}$

$$\lambda = 0,527 \frac{\text{Cal}}{\text{mh} \cdot 1^\circ \text{C}}$$

Следовательно, внутри трубок надо пропускать воду.

Основные исходные данные для расчета и конструкции охладителя поверхностно-испарительного типа

Рабочим элементом для охлаждения может являться тонкостенная (1 мм) металлическая трубка. По этой трубке движется вода, подлежащая охлаждению, а снаружи медленно стекает тонкий водяной слой (водяная кожа) от постороннего источника орошения. Перпендикулярно геометрической оси трубки движется принудительно воздушный поток. Здесь будут протекать два процесса: 1) тепло от подогретой воды в трубках будет отниматься поверхностной теплопередачей и 2) путем искусственного охлаждения стенок трубки благодаря скрытой теплоте испарения наружного водяного слоя (водяной кожи).

Для усиления эффекта теплоотдачи жидкости, протекающей внутри трубок, необходимо придать ей турбулентное движение, при котором частицы воды перемешаются не параллельно геометрической оси трубки, а вихреобразно. Турбулентное движение воды наступает при повышении скорости ее течения в трубке выше критической. Критическая скорость определяется формулой Рейнольдса²⁾

$$v_{кр} = \frac{p}{Bd}, \quad (3)$$

где d — внутренний диаметр трубы в метрах, $B = 43,79$, p — пуассоновое число;

$$p = \frac{1}{1 + 0,03368t + 0,000221t^2};$$

здесь t — температура воды ($^\circ \text{C}$).

На рис. 3 нанесены кривые значения критической скорости воды в функции ее температуры для трубок разных диаметров с толщиной стенки в 1 мм.

Определение коэффициента теплопрохождения через стенки трубки

Общий коэффициент теплопрохождения через стенки трубки определяется формулой³⁾

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (4)$$

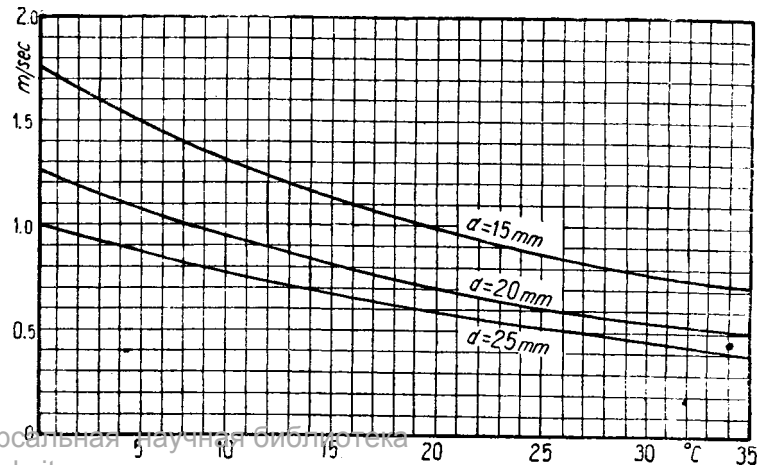
где d_1 и d_2 — внутренний и наружный диаметры трубки в метрах, λ — коэффициент теплопроводности металла ($\frac{\text{Cal}}{\text{mh} \cdot 1^\circ \text{C}}$), α_1 — коэффициент теплопередачи от жидкости к стенке трубки ($\frac{\text{Cal}}{\text{m}^2 \text{h} \cdot 1^\circ \text{C}}$), α_2 — коэффициент теплопередачи от стенки трубки к наружной поверхности тонкой водяной кожи по Nusselt⁴⁾ (рис. 4).

Для скорости воды в трубке выше критической для труб диаметром от 17 до 28 мм и длиной до 1,9 м значение коэффициента α_1

2) Р. Дж. Кауль и И. В. Робинсон, Конденсационные устройства, пер. с англ. М. О. Яновского, 1930, стр. 25.

3) "Теплотехник", т. I, справочная настольная книга, 1928, стр. 34.

4) Nusselt, "VDI", № 9, 1923, стр. 206, Der Wärmeaustausch am Berieselungs-Kühler.



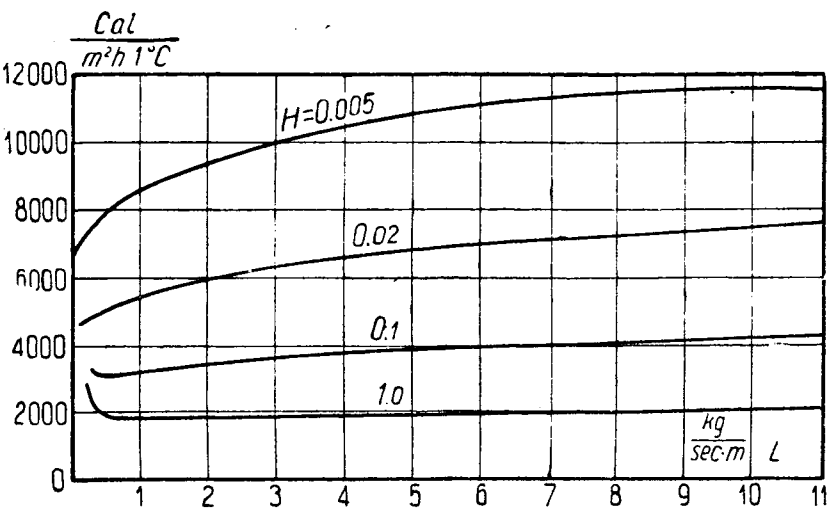
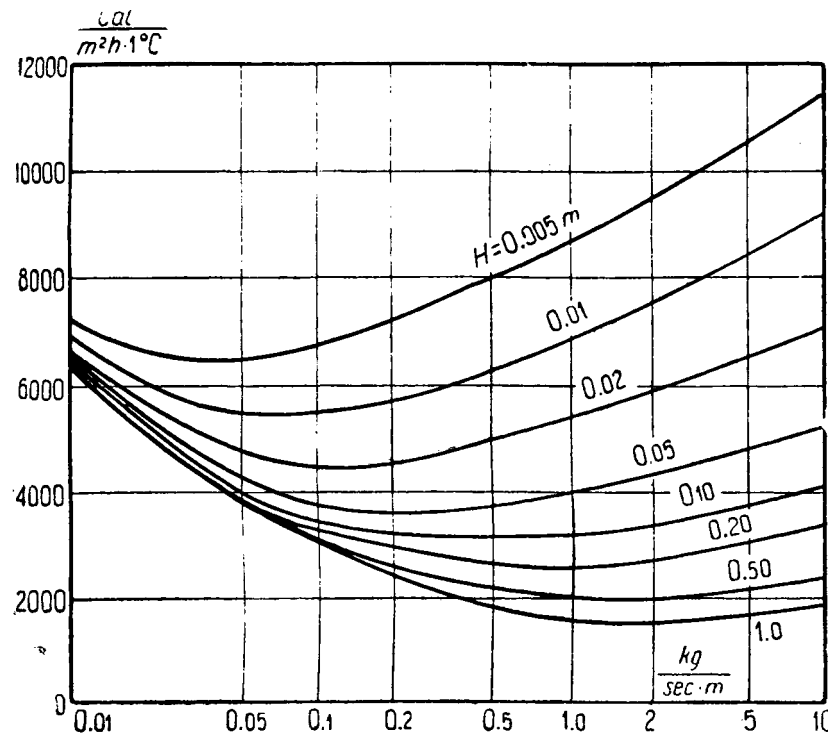


Рис. 4

теплопередачи от жидкости внутри трубки к металлической стенке будет⁵⁾

$$\alpha_1 = b \frac{w^{0,87}}{d^{0,13}} \quad (5)$$

где w — скорость воды в трубе (m/sec), d — диаметр трубы (m), b — коэффициент, зависящий от температуры; $b = 2708$ для $t = 35^\circ\text{C}$.

Сухая трубка, не орошенная водой, чрезвычайно плохо отдает тепло окружающему воздуху. Величина коэффициента α_2 для несмооченных снаружи трубок порядка нескольких единиц (4–8) размерности $\text{Cal}/\text{m}^2 \text{h} \cdot 1^\circ\text{C}$, в то время как α_1 имеет значение порядка $2500 \text{ Cal}/\text{m}^2 \text{h} \cdot 1^\circ\text{C}$. Также и член $\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}$ в формуле (4) имеет еще более высокое значение.

В результате значение коэффициента K сильно снижается вследствие малых сравнительно величин коэффициента α_2 .

Работой Nusselt'a⁶⁾ над трубками диаметром в 40 мм и длиной до 1 м установлено, что если эти трубки смачивать очень тонким слоем воды (0,225 мм), то эта водяная кожица значительно повышает коэффициент теплопередачи от стенок трубки к окружающему воздуху, повышая этот коэффициент в зависимости от расхода воды на орошение трубки до величины $\alpha_2 = 2000 \pm 6000$.

Однако при опытах Nusselt'a водяная кожица не подвергалась воздействию принудительного потока воздуха, перпендикулярного гео-

метрической оси трубы. При работе описываемого охладителя поверхность-испарительного типа водяная кожица подвергается воздействию описанного воздушного потока, в результате чего происходит добивочный отвод тепла от стенок трубки за счет скрытой теплоты испарения водяной кожицы.

Теплопроводность металлических трубок вообще очень велика, и влияние члена $\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}$ в формуле (4) вообще незначительно; для разных же материалов трубок величина общего коэффициента теплопрохождения K будет мало колебаться для разных материалов, как это будет видно из дальнейшего.

С точки зрения эксплуатации наиболее подходящими являлись бы медные или латунные трубки, а затем уже алюминиевые и, наконец, железные.

Окончательное значение коэффициента теплопрохождения K для трубок диаметром в свету 23 мм с толщиной стенки в 1 мм при скорости воды в трубке выше критической и равной 0,536 m/sec для трубок, орошаемых тонким водяным слоем,

- латунных $K = 26,3 \frac{\text{Cal}}{\text{mh} \cdot 1^\circ\text{C}}$,
- алюминиевых $K = 26,5$,
- железных $K = 26,0$.

Отдача тепла трубкой

Испарение водяной кожицы охлаждает стенки трубки за счет скрытой теплоты испарения, и кроме того, происходит процесс передачи тепла от жидкости внутри трубки к окружающему воздуху — процесс, основанный на разности температур воды внутри трубки и воздуха за счет теплопередачи

Элементарный объем воды внутри трубки равен $\frac{\pi d^2}{4} dl$, вес воды составляет $\frac{\pi d^2}{4} \rho dl$. Потеря тепла этим объемом при его перемещении на длину dl будет

$$\frac{\pi d^2}{4} v \rho c \frac{dt}{dl} dl,$$

где d — внутренний диаметр трубки, v — скорость воды в трубке, ρ — плотность воды при температуре $t^\circ\text{C}$; c — теплоемкость воды, $\frac{dt}{dl}$ — падение температуры воды на длине dl .

С другой стороны, это тепло отдается окружающему воздуху, и эта отдача выразится уравнением

$$K \pi d (T - T_0) dl,$$

где T — температура воды в начале рассматриваемой элементарной длины dl , T_0 — в конце элементарной длины dl . Составляем уравнение

$$\frac{\pi d^2}{4} v \rho c \frac{dt}{dl} dl = K \pi d (T - T_0) dl. \quad (6)$$

Интегрируя это уравнение, получим

$$T - T_0 = C e^{-\frac{4Kl}{dv\rho c}} \quad (7)$$

Знак минус у показателя взят потому, что происходит отдача тепла.

Из условия, что длина трубки $l = 0$, находим, что постоянная $C = T - T_0$. Окончательно

$$T = T_0 + (T - T_0) e^{-\frac{4Kl}{d \cdot v \cdot \rho \cdot c}} \quad (8)$$

Для простоты расчета принято, что температура воды внутри трубки будет везде одинакова. Кривая изменения температуры воды внутри трубки в зависимости от длины трубки [графическое изображение уравнения (18)] нанесена на рис. 5.

Наиболее интенсивная отдача тепла происходит в начале трубки.

Эффект испарения

Потеря тепла элементарным объемом воды на длине трубки dl выражается левой частью уравнения (6). С другой стороны, количество тепла, теряемого испарением, выражается величиной $\pi d_2 r p dl$, где d_2 — наружный диаметр трубки, r — скрытая теплота испарения при температуре $t^\circ\text{C}$, p — количество воды, испаренной с 1 м² поверхности трубки. Составляем уравнение

$$\frac{\pi d_1^2}{4} v \rho c \frac{dT}{dl} dl = \pi d_2 r p dl, \quad (9)$$

откуда, определив $\frac{dT}{dl}$ и проинтегрировав, получим

$$T = -\frac{4rpd}{d_1^2 v \rho c} l + C. \quad (10)$$

⁵⁾ Sönncken, Mitt. Üb. Forschungsarbeiten, H. 103/109; Stender, Der Wärmeübergang an strömender Wasser in vertikalen Röhren, Berlin, 1924.

⁶⁾ Nusselt VDI № 9 1923 стр 206 Der Wärmeaustausch am

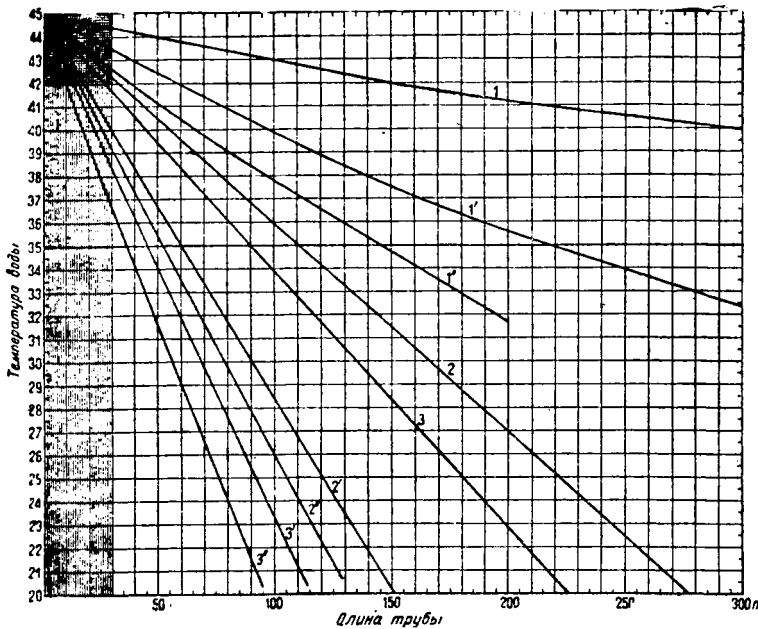


Рис. 5. Изменение температуры воды в трубе в зависимости от длины трубы: 1 — влияние теплоотдачи; 2 — влияние испарения; 3 — суммарная кривая. (Кривые с номерами без значков — для температуры окружающего воздуха 35° С, со значками ' — для $t = 20^\circ$ С, со значком '' — для $t = 10^\circ$ С)

Окончательно

$$T = T_1 - \frac{Ad_2 r p l}{d_1^2 v p C} \quad (11)$$

На рис. 5 нанесено графическое изображение уравнения (11), т. е. температура воды в трубе в зависимости от длины трубы; там же нанесена суммарная кривая, учитывающая влияние обоих факторов отвода тепла.

Определение величины p (количество воды, испаряемой с 1 м² в час) произведено на основании работы Thiesenhusen'a¹⁾. Количество воды, испаренное в 1 час с 1 м² плоской поверхности, равняется

$$W = 78,5 \cdot 372 \ln \left(\frac{p - p_1}{p - p_2} \right) \sqrt{v} g/h, \quad (12)$$

где p — общее давление воздуха и водяного пара в окружающем воздухе (mmHg), p_1 — давление водяного пара в окружающем воздухе, p_2 — давление водяного пара на поверхности воды, v — скорость воздуха (m/sec).

Формула (12) дает количество воды, испаренной с плоской поверхности; в нашем случае водяная кожа расположена на поверхности цилиндрических тр. бок. На основании опытов лаборатории теплофизики Первого московского университета над испарением с поверхности полусферы (капли) надо полагать, что испарение с поверхности цилиндрической трубки, обтекаемой принудительным воздушным потоком, перпендикулярным ее геометрической оси, пойдет еще интенсивнее. Экспериментально вопрос испарения с цилиндрических трубок еще не изучен. Таким образом применение формулы Thiesenhusen'a должно давать известный запас мощности аппарата.

Конструкция аппарата

Как указано выше, основным элементом охладителя является металлическая трубка. Как видно из рис. 5, для определенных температурных условий трубка должна иметь значительную длину, чтобы вытекающая из нее теплая вода получила более низкую температуру. Ввиду этого трубке придана коленчатая форма (рис. 6), и вода в трубке то поднимается по одному колену, то спускается по другому. Для уменьшения размеров этому ряду трубок придана круглая форма (беличье колесо). В двух входит снизу в дно беличьего колеса и растекается через все щели в стенках между трубками, в верхнее дно беличьего колеса вставлен опрокинутый конус, не дающий возможности принудительному потоку воздуха уйти через верхнее дно беличьего колеса.

Далее, воздух, пройдя между трубками, собирается наружным кожухом и вводится вверх через воздухопровод.

Орошение трубок достигается от сетки-душа с регулируемым вентилем. Вода из душа падает на центр конуса и растекается равномерно по его поверхности; далее с конуса попадает в круглый

желоб и стекает в отверстия в его дне, смачивая вертикальные трубки, проходящие через эти отверстия в дне круглого желоба. Толщина водяной кожи регулируется вентилем сетки-душа. Остаток воды от орошения (часть испаряется) стекает по нижнему круглому желобу (установлен наклонно) и уходит из аппарата.

Производительность аппарата

Конструирование охладительного аппарата должно быть осуществлено для наиболее тяжелых температурных условий. При всех остальных более легких условиях аппарат должен давать или большее количество охлажденной воды или тоже количество воды, но более низкой температуры, т. е. для охлаждения выпрямителя воды потребуется меньше.

Для увеличения производительности аппарата можно брать несколько параллельных трубок, как это сделано в аппарате, представленном на рис. 6, где взято три параллельных трубки.

Если по конструкции аппарата не получается трубка той длины, которая диктуется кривыми рис. 5, то воду можно заставить проходить через аппарат два или три раза, тем самым как бы удлинняя математически длину трубки; при этом запроектированная в аппарате длина трубки должна составлять соответственно 1/2 или 1/3 длины, полученной по кривым рис. 5.

В случае если вода проходит через аппарат один раз, то производительность аппарата определяется скоростью воды в трубке и площадью сечения в свету этой трубки или ряда параллельных труб:

$$N = 3600 v n F \text{ м}^3, \quad (23)$$

где v — скорость воды в трубке (m/sec), n — число параллельных трубок, F — площадь сечения в свету одной трубки (м²). Если же длина трубки выбрана, например, равной 1/3 длины, требуемой по кривой рис. 5, т. е. воду приходится пропускать через аппарат три раза, прежде чем она охладится до требуемой температуры, то производительность аппарата в этом случае будет определяться: числом оборотов воды по замкнутому циклу (три оборота), объемом желобов (верхнего и нижнего), объемом соединительных труб замкнутого круга. В результате аппарат выбросит только тот объем воды, который заключается в охлаждающих и соединительных трубках и желобах, сколько бы раз мы эту воду принудительно ни гоняли.

При этом, например, если потребуется прогнать воду по замкнутому кругу три раза с продолжительностью цикла в 8 1/3 мин., то за время 8 1/3 · 3 = 25 мин. выбросится один объем воды, и при этом два цикла по 8 1/3 мин. будут холостыми; всего в час в этом случае будет выброшено рабочих объемов $\frac{60}{25} = 2,4$ объема.

Следовательно, наиболее целесообразной конструкцией аппарата является аппарат с длиной трубок, соответствующей одному обороту воды.

Регулировка аппарата

При изменении нагрузки выпрямителя и изменении температуры окружающего воздуха меняется и потребность в охлаждающей воде. Казалось бы, что работу охладительного аппарата необходимо регулировать все время в зависимости от двух вышеупомянутых факторов. Однако эту непрерывную регулировку можно заменить временными остановками аппарата, причем эти остановки аппарата и пуск его в ход могут быть автоматизированы.

Выпрямитель обычно работает с перерывом часа на 4 в сутки; за это время охладитель может запастись некоторое количество воды в водяном баке. Эта запасенная вода и является буфером (аккумулятором) при работе охладителя. Кроме того, необходимо помнить, что температура окружающего воздуха, принятая в 35° С, не является преобладающей в течение рабочего дня; поэтому аппарат при температуре воздуха ниже 35° С будет давать или большее количество воды или воду более низкой температуры (в зависимости от конструкции аппарата).

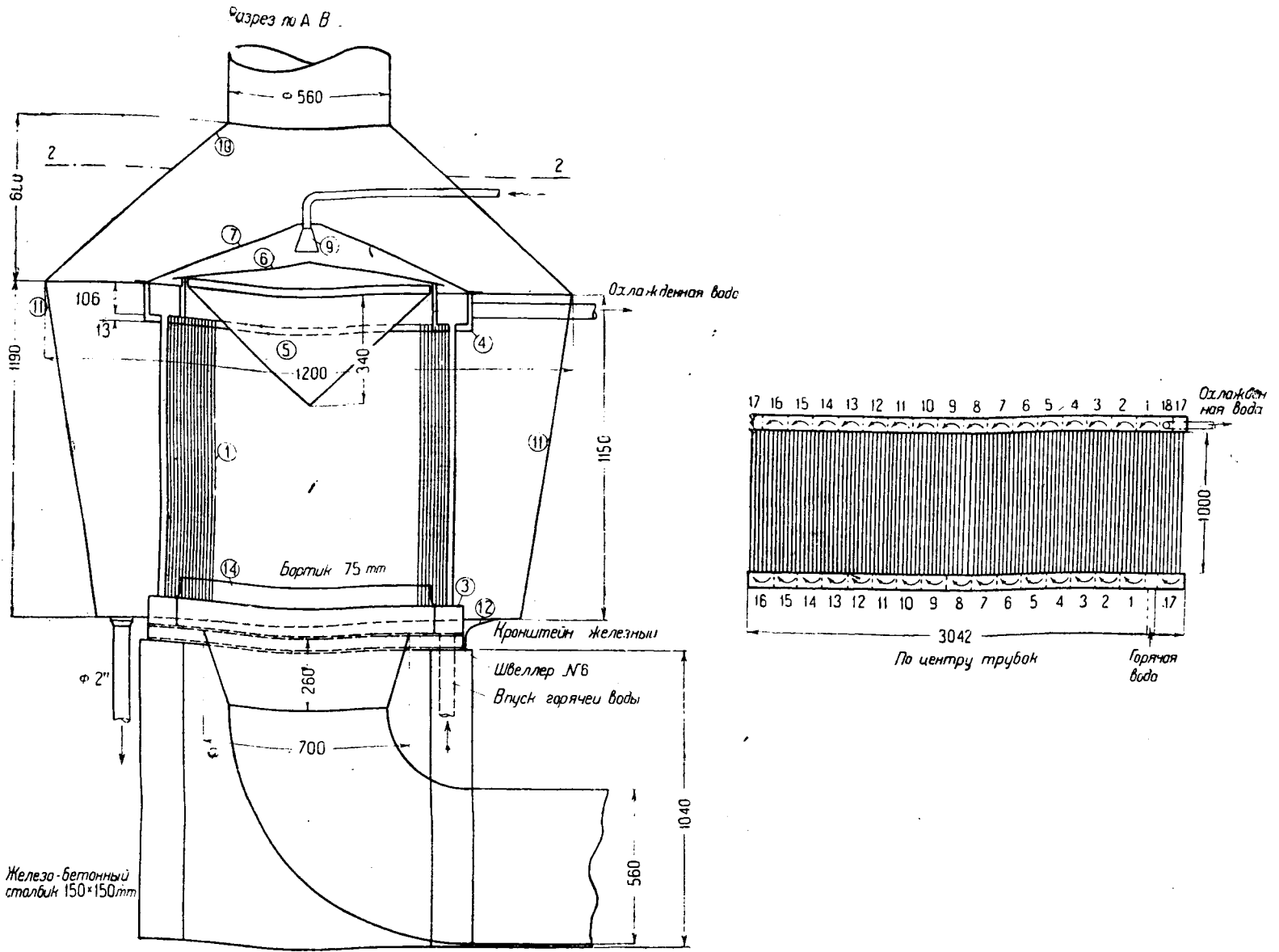
Таким образом регулировки режима работы охладительного аппарата можно избежать, что упрощает его конструкцию.

Принципиальная схема включения охладительного аппарата вместе с ртутным выпрямителем

На рис. 1 указана принципиальная схема включения аппарата для охлаждения тепловой воды, а равно и включение в систему ртутного выпрямителя. Охлажденная вода из бака 10 поступает через регулирующий вентиль 14 в выпрямитель 9 и, нагревшись, уходит в бак 11 мимо контактного термометра 21. Последний может автоматически в зависимости от температуры входящей воды регулировать при помощи вентиля 14 количество воды, подаваемой в выпрямитель, отвечая тем самым на изменение нагрузки выпрямителя и температуры окружающего воздуха.

Горячая вода из бака 11 насосом 3 через переключающий кран 2 поступает в охлаждающий аппарат 1 и далее, охладившись, поступает в бак 10. Если вода, пройдя через охладитель, не охладилась за время цикла до нужной температуры, то контактный термометр 20,

1) Thiesenhusen, Untersuchungen über der Wasserverdunstung.



Примечание
Желоб орошения и опрокинутый конус не показаны в плане

План по 1-1

105 трубок из латуни железа или алюминия $\phi 25$ мм (наружные)
Расстояние между трубками 4 мм

План по 2-2

Примечание:
Верхний диффузор удален

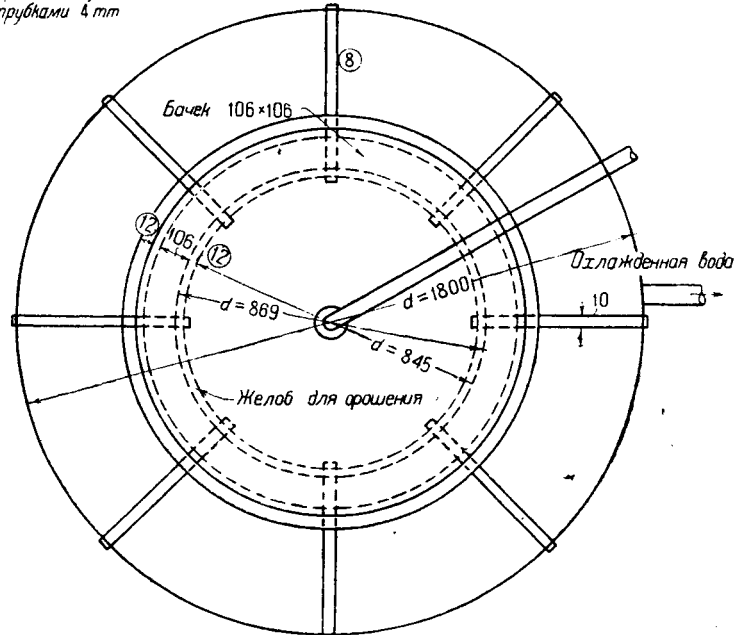
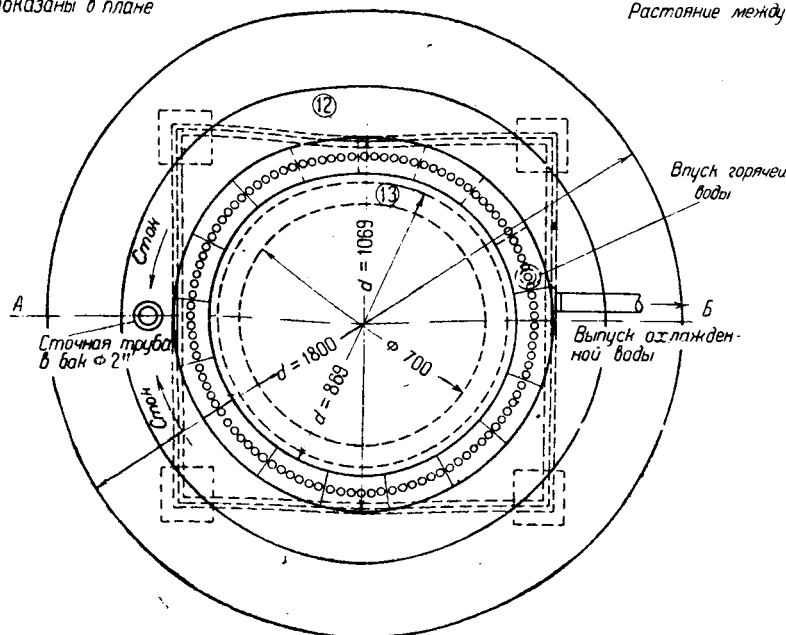


Рис. 6. Охладитель поверхностного испарительного типа

1 — трубки; 2 — нижнее днище; 3 — желоб для орошения; 4 — опрокинутый конус; 5 — рабрызгивающий конус; 6 — защитный конус; 7 — лапки; 8 — сетка-душ; 9 — верхний диффузор; 10 — боковая стенка кожуха; 11 — дно кожуха; 12 — бортик

Во избежание загрязнения основной воды вода для орошения имеет свой цикл и поступает сверху самотеком в аппарат 1 через вентиль 16 из бака 12. Остатки орошающей воды уходят самотеком в бак 13. Насос 4 снова поднимает эту воду из бака 13 в бак 12. (Баки 10 и 12 могут быть соединены в один, разделенный перегородкой, точно так же, как и баки 11 и 13).

Когда бак 10 переполняется или опораживается, то помощью электроплавков и реле моторы 7, 6 и 8, а равно и насосы 3 и 4 останавливаются или приходят в действие. Воздух в аппарат подается вентилятором 5, засасываясь или снаружи или из помещения. Соответственно теплый воздух из аппарата может поступать или наружу (летом) или внутрь подстанции (зимой), когда орошение может быть выключено. Благодаря такой системе можно зимой производить отопление здания подстанции охлаждающей водой.

Охлаждение ртутного насоса

Для снижения температуры воды до 20°С при температуре окружающего воздуха в 35°С возможно использовать свойства скрытой

теплоты испарения, с каковой целью можно горячую воду возможно медленнее полавать на проволочную сетку (английский патент), поставленную вертикально; воздух прогоняется перпендикулярно сетке, испаряя часть водяного слоя, находящегося на прутьях сетки. Недостатком этого способа охлаждения являются загрязнение воды, ее интенсивная убыль вследствие сильного испарения, сильная влажность теплого воздуха, прошедшего через аппарат.

Расход материала на постройку охладительного аппарата

По ориентировочным соображениям для постройки аппарата, изображенного на рис. 6, имеющего производительность 2,4 м³/ч при одном цикле воды потребуются 106 м металлических труб (латунных, алюминиевых или железных) диаметром в свету 23 мм и 240 кг оцинкованного листового железа толщиной в 3, 1,5 и 1 мм.

7/IX—34 г.

Выбор числа и мощности трансформаторов для районных подстанций

Инж. Н. Н. Крачковский
Ленинград, Средволгострой

1. Введение

Вопрос выбора трансформаторов для крупных районных подстанций отчасти уже рассматривался за последние годы в наших технических журналах. Однако он разбирался преимущественно в общей форме без достаточного учета экономических факторов, так как в то время на наших заводах не было еще поставлено производство крупных трансформаторов напряжением 110 кВ и выше. За последние два года Электрозаводом уже налажено производство трансформаторов на 110 кВ и в настоящее время им изготовляются и трансформаторы на 154 и 220 кВ мощностью до 60 MVA для Днепровского и Свирского строительства. Имеется также утвержденный стандарт мощностей трансформаторов напряжением 110 и 220 кВ, причем для серии 110-кВ трансформаторов Электрозаводом разработаны их технические характеристики и произведена калькуляция стоимости.

Наличие вышеуказанных данных позволяет подойти к вопросу выбора числа и мощности трансформаторов для подстанций, а также выгоды применения трехфазных и однофазных трансформаторов в более конкретной форме, чем это было возможно до сих пор, и сделать экономическое сравнение возможных вариантов. Следует, однако, заметить, что экономическое сравнение лишь самих трансформаторов недостаточно для правильного решения вопроса, а необходимо учитывать и стоимость высоковольтной аппаратуры; служащей для присоединения трансформаторов, как-то: масляных выключателей, разъединителей и т. п. и соответствующих металлических или деревянных конструкций и фундаментов.

Высоковольтная аппаратура вплоть до 220 кВ изготовляется заводом „Электроаппарат“, и имеются некоторые приблизительные данные о ее стоимости; это обстоятельство позволяет, повидимому, рассмотреть вопрос в полном объеме. Следует все же подчеркнуть, что поскольку наши трансформаторные и аппаратные заводы еще только осваивают производство и выпускаемые ими в текущем году экземпляры не являются продуктами массового производства, то нет никакой уверенности в том, что заявленные стоимости являются правильными, а не определяются какими-либо случайными и неблагоприятными факторами. Осторожность тем более нужна, что трансформаторы и аппаратура выпускаются различными заводами, на которых общие условия производства возможно неодинаковы, что должно оказывать известное влияние на их продажную стоимость.

По этим соображениям имеющиеся данные о стоимости трансформаторов и аппаратуры необходимо контролировать путем их сравнения со стоимостью той же продукции заграничных заводов, имеющих длительный опыт в их изготовлении, и цены на изделия которых носят более или менее устойчивый характер. Для этой цели достаточно установить коэффициент, дающий отношение стоимостей одного и того же изделия на наших и заграничных заводах. Если стоимость заграничных изделий выражать в золотых рублях, то его можно условно назвать коэффициентом удорожания. Большее или меньшее постоянство этого коэффициента при сравнении различных аппаратов для различных мощностей напряжений в союзном и заграничном изготовлении будет служить достаточным критерием устойчивости наших цен.

2. Определение единичных цен

Трансформаторы. Стоимость трансформаторов на напряжение 110 кВ различных стандартных мощностей — как трехфазных, так и однофазных принята согласно данным Электрозавода и приведена в табл. 1 (2-я графа). Трансформаторы двухобмоточные с

начисления согласно инструкции Госплана взяты в размере 41% (перевозка 6%, монтаж 14% и накладные расходы 21%). В последней графе табл. 1 дана стоимость трансформаторов на 1 kVA. Из сравнения приведенных стоимостей трансформаторов на 110 кВ с заграничными, выраженных в золотых рублях, можно вывести заключение, что они выше заграничных в 2÷2,5 раза, что следует признать вполне благоприятным. На рис. 1 даны кривые стоимости трансформаторов на 110 кВ; что касается трансформаторов на напряжение 220 кВ, то Электрозавод только недавно закончил изготовление однофазных трансформаторов для Свирского строительства мощностью группы в 60 MVA.

Таблица 1

Стоимость трансформаторов 110 и 220 кВ

Мощность трансформатора kVA	Продажная цена трансформатора без масла руб.	Полная стоимость с маслом, монтажом и накладными расходами руб.	Удельная стоимость руб/kVA
Трехфазные двухобмоточные трансформаторы на 110 кВ			
7,5	79 500	120 000	16,0
10,0	90 000	137 000	13,7
15,0	115 000	176 000	11,7
20,0	134 000	205 000	10,5
31,5	184 000	285 000	9,05
Однофазные двухобмоточные трансформаторы на 110 кВ			
5,0	54 500	83 000	16,6
6,7	63 000	96 000	14,3
10,5	87 000	133 000	12,65
13,5	106 000	161 000	10,5
20,5	135 000	210 000	10,5
28,0	119 000	275 000	9,8

Данные этих трансформаторов таковы: повысительные трансформаторы 11/220 кВ имеют водяное охлаждение; в с одной фазы без масла 48,5 т стоимостью 202 000 руб.; понизительные трансформаторы 220/110 кВ имеют форсированное воздушное охлаждение; вес одной фазы без масла 68 т, а стоимость 252 000 руб.

Для сравнения этих трансформаторов с аналогичными трансформаторами Электрозавода по 20 MVA (на фазу), но на напряжение 35 и 110 кВ данные сведены в табл. 2 и графически представлены на рис. 2.

Таблица 2

Напряжение кВ	Вес (без масла)		Стоимость полная		Стоимость (без масла) руб/kg
	t	kg/kVA	Руб.	Руб/kVA	
35	36,7	1,835	102 000	5,1	2,78
110	53,8	2,69	105 000	6,75	2,52
220 (повыс.)	48,5	2,425	202 000	10,1	4,16

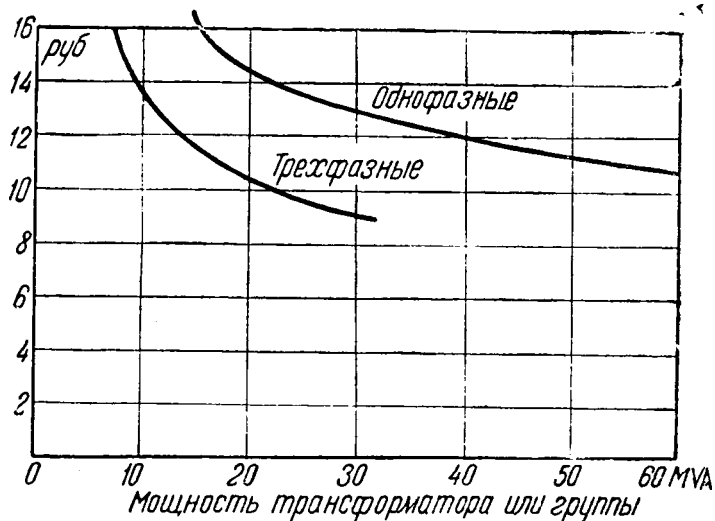


Рис. 1. Стоимость двухобмоточных трансформаторов на 110 кВ на 1 кВА (с маслом, монтажом и накладными расходами)

Повысительные трансформаторы, как имеющие другой род охлаждения, из сравнения следует исключить. Критерием правильности цены трансформатора может служить стоимость на 1 кг веса (без масла). Рассмотрение данных табл. 2, а также кривых рис. 1 показывает, что для 220-кВ трансформаторов имеется скачок в цене порядка 40% (на 1 кг веса). В то же время кривая общего веса трансформатора в зависимости от напряжения довольно плавная.

По трансформаторам GE повышение цены при переходе с 110 кВ к 220 кВ составляет около 35%. По сравнению с зарубежными ценами (в золотых рублях) коэффициент удорожания для свирских трансформаторов составляет около 3, т. е. гораздо выше, чем трансформаторов на 110 кВ (2÷2,5).

Из вышеприведенного можно, повидимому, сделать заключение, что указанные цены на трансформаторы 220 кВ являются преувеличенными и что в дальнейшем, при налаживании производства и массовом их выпуске, цены на них будут снижены. Если принять стоимость на 1 кг в 3 руб., то получим цену трансформатора 204 000 руб., или, с округлением, 200 000 руб., что и принято для дальнейших подсчетов. Для других мощностей трансформаторов на 220 кВ сделан пересчет, пользуясь соответствующими данными по трансформаторам на 110 кВ (т. е. зависимостью цены от мощности). Подсчитанные таким образом стоимости трансформаторов даны в табл. 3.

Высоковольтная аппаратура. Открытую высоковольтную подстанцию для целей экономических подсчетов целесообразно разбить на отдельные элементы — ячейки. Достаточно рассматривать ячейки двух типов — линейные и силовые трансформаторов. К каждой такой ячейке относится принадлежащая трансформатору или линии аппаратура, как-то: масляные выключатели, разрядники, изоляторы, шины, контрольная проводка, щит управления, а также строительная часть ячейки — фундаменты, конструкции и т. п. Кроме того, на подстанции имеется и вспомогательное оборудование, как-то: масляное хозяйство, подъемные и перевозочные устройства, железнодорожные пути и пр., которые не зависят от числа ячеек, а потому при сравнении варианта с различным числом и мощностью трансформаторов их можно не рассматривать (с известным, конечно, приближением).

Таблица 3

Мощность трансформатора MVA	Продажная цена трансформатора без масла руб.	Полная стоимость трансформатора с маслом, монтажом и накладными расходами	
		руб.	руб/кВА
Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 220 кВ			
15,0	150 000	243 000	16,2
20,0	180 000	295 000	14,75
31,5	268 000	440 000	13,95
Однофазные двухобмоточные трансформаторы 220 кВ			
10,0	126 000	200 000	20
13,5	158 000	253 000	18,7
20,0	200 000	324 000	16,2
28,0	270 000	435 000	15,5
37,5	360 000	580 000	15,4

Главнейшим и наиболее дорогим элементом ячейки является масляный выключатель. Ориентируясь на дальнейший рост мощности электрических станций Союза и постепенное увеличение интерконнекций сетей, следует для всех более или менее крупных подстанций применять масляные выключатели наибольшей разрывной мощности, т. е. порядка 2 000÷2 500 MVA. Масляники такой разрывной мощности в настоящее время уже изготавливаются заводом «Электроаппарат» (для Свирьстроя на 220 кВ), а потому и принимаются для дальнейших подсчетов. Стоимость их по предложению и поставкам текущего года такова: масляный выключатель разрывной мощности в 2 500 MVA на 110 кВ стоит 126 000 руб., а на 220 кВ—600 000 руб. По зарубежным же предложениям (европейским, американским несколько дороже) на такие же масляные выключатели цена для 110 кВ равна в среднем 15 000 руб. золотом, а на 220 кВ—50 000 руб. Таким образом коэффициент удорожания для 110 кВ равен 8,5, а для 220 кВ—12, т. е. ненормально высок по сравнению с найденным выше коэффициентом для трансформаторов (2,5÷3).

Поэтому во избежание неправильных экономических выводов его нужно снизить, да и по существу следует ожидать, что при налаживании производства масляных выключателей и массовом их выпуске цены на них сильно упадут. По этим соображениям для всех дальнейших сравнительных подсчетов коэффициент удорожания принят равным 5, т. е. все же значительно выше, чем для трансформаторов. Применение неодинакового коэффициента для масляных выключателей и трансформаторов, вообще говоря, является неправильным, но итти на коэффициент, меньший 5, казалось рискованным, так как по сравнению с существующим он снижен в 2-4-2,5 раза; повидимому аппаратные заводы труднее осваивают производство, чем трансформаторные.

Исходя из коэффициента 5, получаем следующие цены на масляные выключатели: на 110 кВ—75 000 руб. и на 220 кВ—250 000 руб., каковые и приняты для дальнейших подсчетов.

Стоимость разединителей для получения правильных соотношений для напряжений 110 и 220 кВ принята по зарубежным данным с коэффициентами вздорожания 4 и 5 и получилась равной для 110 кВ—10 000 руб., а для 220 кВ—50 000 руб.

Стоимость прочего оборудования подстанций, как-то: изоляторов, проводов, кабелей, шин и пр. принята по данным ВЭС, так как цены на эти изделия являются более или менее установившимися.

К стоимости всей аппаратуры на ячейку сделана добавка в размере 12% на запасные части и мелкий монтажный материал, а начисления приняты такие же, как и для трансформаторов, т. е. в 41%.

Строительная часть подстанции оценена в среднем в размере 12% от стоимости всего оборудования ячейки (включая и накладные расходы). Подсчитанные таким образом стоимости трансформаторных и линейных ячеек при металлических конструкциях даны в табл. 4.

Таблица 4

	110 кВ	220 кВ
Линейная ячейка	210 000 руб.	627 000 руб.
Трансформаторная ячейка	204 000 "	588 000 "

Следует отметить, что в настоящее время для подстанций напряжением 110 кВ находят применение деревянные конструкции. Так как на ответственных подстанциях предпочтительнее все же железо, да и разница в цене деревянных и металлических конструкций по отношению к общей стоимости подстанций невелика, то деревянные конструкции из рассмотрения исключены.

3. Выбор трансформаторов с точки зрения капитальных затрат и требований бесперебойности электроснабжения

При рассмотрении этого вопроса имеются в виду, главным образом, районные или заводские понизительные подстанции большой мощности. Повысительные подстанции из рассмотрения исключены, ибо для наиболее мощных тепловых или гидроэлектрических станций

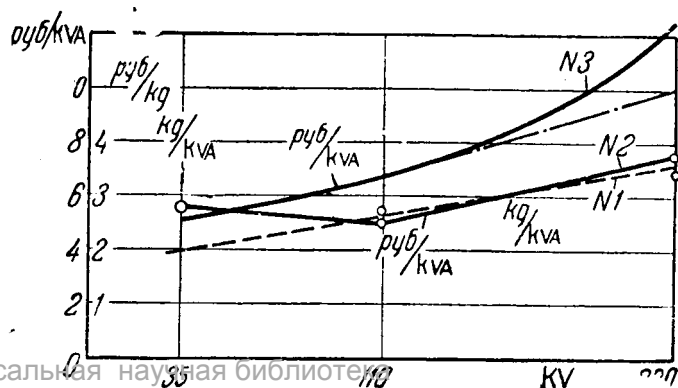


Рис. 2. Кривые стоимостей и весов однофазного трансформатора

Таблица 5

Число и мощность трансформаторов и их общая стоимость, включая ячейки, в тысячах рублей

Мощность подстанций	1-я категория			2-я категория		3-я категория	
	Полное обеспечение 100% мощности			Снижение обеспеченности при аварии до 67%			
				кратковременно		длительно	
Напряжени е 110 кВ							
15 MVA руб.	— —	$3 \times 7,5$ 972	2×15 [760]	— —	— —	— —	2×10 682
20 ÷ 22,5 MVA руб.	$4 \times 7,5$ 1 296	3×10 1 023	2×20 [818]	— —	$2 \times 15 + 1$ фаза 989	$3 \times 7,5$ 972	2×15 [760]
30 MVA руб.	4×10 1 364	3×15 1 140	$2 \times 31,5$ [978]	— —	$2 \times 20 + 1$ фаза 1 080	3×10 1 023	2×10 [818]
40 ÷ 45 MVA руб.	4×15 1 520	3×20 [1 227]	$2 \times 40,5$ 1 374	$3 \times 15 + 1$ фаза 1 442	$2 \times 31,5 + 1$ фаза [1 339]	3×15 1 140	$2 \times 31,5$ [978]
60 MVA руб.	4×20 1 636	$3 \times 31,5$ [1 467]	2×60 1 668	$3 \times 20 + 1$ фаза 1 572	$2 \times 40,5 + 1$ фаза [1 535]	3×20 [1 227]	$2 \times 40,5$ 1 374
80 ÷ 90 MVA руб.	$4 \times 31,5$ [1 956]	$3 \times 40,5$ 2 061	2×84 2 058	$3 \times 31,5 + 1$ фаза 1 942	$2 \times 60 + 1$ фаза [1 878]	$3 \times 31,5$ [1 467]	2×60 1 668
120 MVA руб.	$4 \times 40,5$ 2 748	3×60 [2 502]	— —	$3 \times 40,5 + 1$ фаза [2 222]	$2 \times 84 + 1$ фаза 2 333	$3 \times 40,5$ 2 061	2×84 [2 058]
Напряжени е 220 кВ							
15 MVA руб.	— —	3×15 2 493	$2 \times 31,5$ [2 056]	— —	— —	— —	2×20 1 766
40 ÷ 45 MVA руб.	4×15 3 324	3×20 [2 649]	$2 \times 40,5$ 2 694	— —	$2 \times 31,5 + 1$ фаза 2 376	3×15 2 493	$2 \times 31,5$ [2 056]
60 MVA руб.	4×20 3 532	$3 \times 31,5$ [3 084]	2×60 3 120	— —	$2 \times 40,5 + 1$ фаза 2 947	3×20 [2 649]	2×45 2 694
80 ÷ 90 MVA руб.	$4 \times 31,5$ 4 041	$3 \times 40,5$ 4 041	2×84 [3 786]	$3 \times 31,5 + 1$ фаза 4 294	$2 \times 60 + 1$ фаза [3 444]	$3 \times 31,5$ [3 084]	2×60 3 120
120 MVA руб.	$4 \times 40,5$ 5 388	3×60 4 680	$2 \times 112,5$ [4 656]	$3 \times 40,5 + 1$ фаза 4 294	$2 \times 84 + 1$ фаза [4 221]	$3 \times 40,5$ 4 041	2×84 [3 786]
180 MVA руб.	4×60 6 240	3×84 [5 679]	— —	$3 \times 60 + 1$ фаза [5 040]	$2 \times 112,5 + 1$ фаза 5 236	3×60 4 680	$2 \times 112,5$ [4 656]
225 ÷ 250 MVA руб.	4×84 7 572	$3 \times 112,5$ [6 984]	— —	$4 \times 60 + 1$ фаза 6 654	$3 \times 84 + 1$ фаза [6 114]	4×60 6 240	3×84 [5 679]

Примечания. 1. Чертой подчеркнуты варианты с трехфазными трансформаторами.

2. Рамкой обведен наивыгоднейший вариант данной категории.

обычно имеет место непосредственное соединение генератора с трансформатором, что предопределяет собой число и мощность трансформаторов повысительной подстанции 1).

При сравнении имеются в виду подстанции с двухобмоточными трансформаторами, что несколько упрощает их техническую и экономическую оценку. Однако выводы, полученные для последних, почти полностью могут быть распространены и на подстанции с трехобмоточными трансформаторами. Кроме того, предполагается, что на подстанции применена обычная двойная система шин и что последние не секционированы. Подстанции с секционированными шинами и влияние схем на выбор числа и мощности трансформаторов будут рассмотрены особо.

Вологодская областная университетская библиотека

Разбирая вопрос о числе и мощности трансформаторов в его общей форме, прежде всего необходимо указать, что выбор их определяется, главным образом, двумя факторами: требуемыми условиями непрерывности электроснабжения и величиной капитальных затрат. Влияние же потерь в трансформаторах невелико и будет разобрано особо. Специфические условия, как-то: ограниченность места и условия перевозки, не должны приниматься во внимание, ибо первый фактор является частным, а не общим случаем, а ограничения, создаваемые предельными весами и габаритами трансформаторов, применительно к условиям нашего Союза были, повидимому, учтены при разработке и утверждении стандарта. В дальнейшем же рассматриваются трансформаторы исключительно стандартных мощностей.

Совершенно очевидно, что чем выше требования к подстанции в отношении бесперебойности электроснабжения, тем больше стои-

1) Если же на станции имеются шины на генераторном напряжении,

для правильной оценки результатов исходить из одинаковых условий бесперебойности электроснабжения. С этой точки зрения подстанции можно, повидимому, разбить на три основных категории.

1-я категория. Обеспечение 100% мощности подстанции при аварийных режимах, т. е. при выпадении одного трансформатора или трансформаторной группы. Общая установленная мощность трансформаторов подстанции равна в этом случае максимальной нагрузке подстанции плюс резервный трансформатор или группа, которые нормально включены²⁾.

2-я категория. Кратковременная необеспеченность максимальной нагрузки подстанции во время аварии и замены поврежденного трансформатора. Такой случай имеет место при однофазных трансформаторах с резервной фазой. На время замены поврежденной фазы, что требует нескольких часов (при валиции джемпера срок может быть сокращен), обеспечивается $\frac{2}{3}$ рабочей мощности подстанции (т. е. максимальной нагрузки). Больше снижение мощности, например, до 50%, едва ли может быть допущено для более или менее ответственных подстанций. Имея в виду, что мало вероятно выпадение трансформатора именно в момент максимальной нагрузки подстанции и что в большинстве случаев без особого вреда может быть на короткое время произведено отключение небольшой части потребителей, рассмотренный случай в отношении надежности электроснабжения можно считать очень близким к первому. Это тем более справедливо, если на низшем напряжении данная подстанция связана с другими источниками мощности.

3-я категория. При аварии обеспечивается только $\frac{2}{3}$ нагрузки подстанции в течение периода замены поврежденного трансформатора или группы (резервной фазы на подстанции нет). Этот период может быть порядка нескольких дней, если резерв имеется на складе, или же достигать несколько недель или месяца, если поврежденный трансформатор или фазу приходится ремонтировать. Уменьшение числа трансформаторов на подстанции имеет ту выгоду, что при этом уменьшается число ячеек, стоимость единицы трансформаторной мощности при этом уменьшается. Однако при укреплении трансформаторов общая установленная мощность подстанции обычно повышается.

В табл. 5 на основании приведенных выше единичных цен сделаны подсчеты стоимости подстанций на напряжении 110 и 220 кВ для вышеуказанных трех категорий обеспеченности электроснабжения. При составлении этих таблиц было принято, что подстанция сразу сооружается на некоторую предельную мощность и что дальнейшего расширения ее не предвидится.

Из рассмотрения табл. 5 (подстанции на 110 кВ) следует, что для подстанций всех трех категорий почти во всех случаях (одно исключение), если сравнивать между собой подстанции с различным числом трансформаторов или только трехфазных, или только однофазных, выгоднее применять наименьшее число трансформаторов или групп, а именно два. Если же сравнивать между собой трехфазные и однофазные трансформаторы, то при одинаковой обеспеченности (т. е. при одной и той же категории) всегда выгоднее трехфазные трансформаторы. В том случае, если допустить, что подстанции 1-й и 2-й (однофазный резерв) категорий равноценны в отношении бесперебойности электроснабжения, то до мощностей подстанций в 60 MVA (включительно) выгоднее трехфазные трансформаторы; свыше этой мощности получают преимущество однофазные трансформаторы с резервной фазой. Для подстанций 3-й категории трехфазные трансформаторы выгоднее до мощности 90 MVA включительно.

Если обратиться к подстанциям на 220 кВ (табл. 5), то в отношении числа трансформаторов (рассматривая только трехфазные или только однофазные трансформаторы) вывод получается тот же, что и для 110-кВ трансформаторов, т. е. выгоднее наименьшее число их. Если же обратиться к сравнению однофазных или трехфазных трансформаторов, то при допущении одинаковой равноценности подстанций 1-й и 2-й категорий однофазные трансформаторы с резервной фазой оказываются выгоднее трехфазных. Для подстанций 3-й категории выгоднее трехфазные трансформаторы.

4. Влияние расширения подстанции

Произведенное сравнение трансформаторов для подстанций предельной мощности не дает, однако, полного освещения вопроса, ибо на практике обычно бывает так, что подстанция не строится сразу на ее предельную мощность, а развивается постепенно в течение нескольких лет. К сожалению, у нас отсутствуют систематические данные по этому вопросу, поэтому можно лишь сделать некоторые условные предположения относительно темпов развития, например допустить утроение или учетверение первоначальной мощности подстанций. Итти выше четырехкратной величины едва ли имеет смысл, ибо рациональнее будет строить новую подстанцию.

В табл. 6 сделаны подсчеты для различной начальной мощности подстанции для условий обеспеченности 1-й и 2-й категорий. При

²⁾ Если же резерв не включен, то условия обеспеченности при числе трансформаторов более двух меняются немного, так как при дистанционном управлении масляными выключателями и раздельными резервными трансформатором может быть очень быстро включен, и на это время остальные трансформаторы примут всю нагрузку подстанции. Можно также предусмотреть автоматическое включение

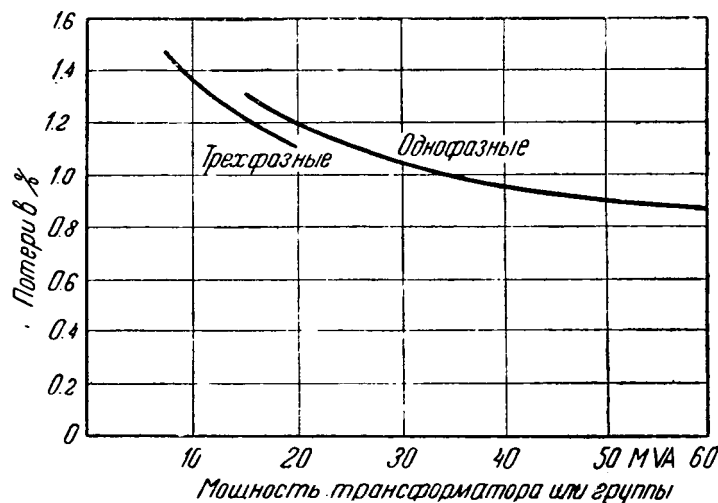


Рис. 3. Кривые потерь в трансформаторах напряжением 110 кВ по данным Электростроительного завода (двухобмоточные). Потери в железе составляют в среднем 27% от общих потерь

этом развитие подстанций предположено одинаковыми ступенями. Для окончательного суждения о наиболее выгодном варианте необходимо, однако, знать длительность каждой ступени развития. Для крупных чисто заводских подстанций можно, повидимому, предполагать, исходя из некоторых современных данных, что подстанция достигает своей предельной мощности в срок 3—5 лет.

Рассмотрение табл. 6 показывает, что наименьшая начальная стоимость получается, конечно, при трансформаторах наименьшей мощности, но зато для предельного развития наименьшая стоимость получается в большинстве случаев (одно исключение) для варианта с тремя трансформаторами, выбранными для предельной мощности подстанции; трехфазные трансформаторы выгоднее однофазных за исключением случаев, где число их более трех.

5. Способ включения резерва и учет потерь

Если на подстанции имеется резервный трансформатор, то вопрос о его включении должен решаться с двух точек зрения: бесперебойности электроснабжения и к. п. д. Для надежности снабжения для всякой ответственности подстанции нельзя иметь в работе меньше двух трансформаторов. Если на подстанции имеется три или четыре трансформатора, то при полной нагрузке резервный всегда должен быть включен.

Это следует из того, что по нашим условиям трансформаторы рассчитываются таким образом, что при своей номинальной мощности они имеют предельную допустимую температуру и, следовательно, не допускают никакой перегрузки. Если при трех трансформаторах на подстанции иметь в работе два, а при четырех—три, то при выпадении одного из них при режиме полной нагрузки—остальные перегружаются на 50 + 100% соответственно, что недопустимо. Отступление от этого может быть сделано в том случае, если предусмотрено автоматическое включение резервного трансформатора взамен поврежденного (непосредственно после того, как сработало дифференциальное реле).

Рассмотрение этого вопроса с точки зрения потерь приводит к тому же выводу: при работе трех трансформаторов вместо двух рабочих или четырех вместо трех они будут загружены на $\frac{2}{3} \div \frac{3}{4}$ своей номинальной мощности.

Из данных Электростроительного завода по 110-кВ трансформаторам следует, что к. п. д. достигает максимума при нагрузке 60 + 65% от номинальной (равенство потерь в железе и меди) и, следовательно, выгоднее работать всеми тремя (загрузка 67%) и всеми четырьмя и (загрузка 75%) трансформаторами.

Интересно отметить, что если на подстанции установлены однофазные трансформаторы (с резервной фазой) такой мощности, что при полной нагрузке подстанции они загружены на $\frac{2}{3}$ своей номинальной мощности, то в тепловом отношении они использованы приблизительно на 50% и, следовательно, имеют значительный запас. Поэтому при выпадении, например, одного из двух трансформаторов оставшийся перегружается на 50%; эту перегрузку он может выдержать в течение приблизительно $\frac{1}{4}$ часа, по истечении которого времени будет достигнута предельная допустимая температура. Это дает возможность постепенно, в организованном порядке, произвести сброс некоторой части нагрузки на время, пока не будет подключена резервная фаза.

Построенные по данным Электростроительного завода кривые рис. 3 дают величины потерь двухобмоточных однофазных и трехфазных трансформаторов различной мощности на 110 кВ. Из сравнения кривых следует, что потери в трехфазных трансформаторах приблизительно на 0,10% меньше, чем в однофазных такой же мощности (в группе) Это является вторым, хотя и небольшим их преимуществом в до-

Таблица 6

Стоимость подстанций (трансформаторы и их ячейки) в тысячах рублей при постепенном росте их нагрузки при различных вариантах трансформаторов

Тип трансформатора	Нагрузка подстанции (MVA)			
	15	30	40 + 45	60
Напряжение 110 kV				
Трехфазные трансформаторы	2 × 15; <u>760</u>	3 × 15; 1140	4 × 15; 1520	5 × 15; 1900
	2 × 20; 818	3 × 20; 1227	3 × 20; <u>1227</u>	4 × 20; 1636
	2 × 31,5; 978	2 × 31,5; <u>978</u>	3 × 31,5; 1467	3 × 31,5; <u>1467</u>
Однофазные трансформаторы	2 × 20; 984	2 × 20 + 1 фаза; 1080	3 × 20; 1476	3 × 20 + 1 фаза; 1572
	2 × 15; 906	3 × 15; 1359	3 × 15 + 1 фаза; 1442	4 × 15 + 1 фаза; 1895
Напряжение 110 kV				
Трехфазные трансформаторы	30	60	80 — 90	120
	2 × 31,5; <u>978</u>	2 × 31,5; <u>1467</u>	4 × 31,5; 1956	5 × 31,5; 2495
Однофазные трансформаторы	2 × 40,5; 1374	2 × 40,5 + 1 фаза; 1535	3 × 40,5; 2061	3 × 40,5 + 1 фаза; <u>2222</u>
	2 × 31,5; 1206	3 × 31,5; 1809	3 × 31,5 + 1 фаза; <u>1942</u>	4 × 31,5 + 1 фаза; 2545
Напряжение 110 kV				
Трехфазные трансформаторы	30	40 — 45	60	—
	2 × 31,5; <u>978</u>	3 × 31,5; 1887	3 × 31,5; <u>1467</u>	—
Однофазные трансформаторы	2 × 20 + 1 фаза; 1080	3 × 20; 1476	3 × 20 + 1 фаза; 1572	—
	2 × 31,5; 1206	2 × 31,5 + 1 фаза; 1439	3 × 31,5; 1809	—
Однофазные трансформаторы	2 × 40,5; 1374	2 × 40,5; <u>1374</u>	2 × 40,5 + 1 фаза; 1535	—
	60	80 — 90	120	160 — 180
Однофазные трансформаторы	2 × 40 + 1 фаза; <u>1535</u>	3 × 40,5; 2061	3 × 40,5 + 1 фаза; <u>2222</u>	4 × 40,5 + 1 фаза; 2909
	2 × 40; 1668	2 × 60 + 1 фаза; <u>1878</u>	3 × 60; 2502	3 × 60 + 1 фаза; <u>2712</u>
Напряжение 220 kV				
Трехфазные трансформаторы	30	60	80 — 90	120
	2 × 31,5; <u>2056</u>	3 × 31,5; 3084	4 × 31,5; 4112	5 × 31,5; 5140
Однофазные трансформаторы	2 × 31,5; 2376	3 × 31,5; 3564	3 × 31,5 + 1 фаза; <u>3764</u>	4 × 31,5 + 1 фаза; 4952
	2 × 40,5; 2694	2 × 40,5 + 1 фаза; <u>2947</u>	3 × 40,5; 4041	3 × 40,5 + 1 фаза; <u>4294</u>
Напряжение 220 kV				
Однофазные трансформаторы	60	120	180	240
	2 × 60; <u>3120</u>	3 × 60; 4680	3 × 60 + 1 фаза; 5040	4 × 60 + 1 фаза; 6240
Однофазные трансформаторы	2 × 84; 3786	2 × 84 + 1 фаза; <u>4221</u>	3 × 84; 5679	3 × 84 + 1 фаза; <u>6114</u>

Примечание. Рамкой обведен наивыгоднейший вариант данной категории.

Пользуясь кривыми рис. 3 и нижеприведенным способом подсчета потерь, можно сравнить в отношении потерь выгодность различных вариантов трансформаторов, помещенных в табл. 5 и 6. Однако это влияние, как это было проверено на нескольких примерах, незначительно и не является решающим.

Для подсчета годовых потерь энергии в трансформаторах необходимо, вообще говоря, знать годовую и суточный графики нагрузки подстанции, а также режим ее работы, т. е. число работающих трансформаторов при различных нагрузках. Обычно при постройке новой подстанции все эти данные почти целиком отсутствуют, а имеются лишь данные о максимальной нагрузке подстанции и числе часов использования или взамен последней величины — годовой выработки энергии.

Как известно, потери в трансформаторах складываются из потерь в железе и потерь в меди. Потери в железе зависят исключительно от числа часов работы трансформатора. При более или менее значительном числе часов использования подстанции (что, по видимому, соответствует двухсменной работе промышленных предприятий) можно предположить, что $\frac{2}{3}$ суток по условиям большей обеспеченности подачи энергии работают все установленные на подстанции трансформаторы, а в ночные часы, т. е. в течение $\frac{1}{3}$ суток, выключается один трансформатор. Это понижает число часов работы всех установленных на подстанции трансформаторов до 7800; с некоторым запасом его можно принять равным 8000.

Что касается потерь в меди, зависящих только от величины на-

Томпкинсом³⁾ способом: если известно количество передаваемой через подстанцию энергии, то средняя ее нагрузка

$$f = \frac{\text{энергия за год}}{8760}$$

Отсюда находим коэффициент

$$f = \frac{\text{средняя нагрузка}}{\text{максимальная нагрузка}}$$

Пользуясь опытной кривой рис. 4 коэффициентом, находим постоянную C , выраженную в часах, на которую нужно умножить величину потерь при максимальной нагрузке подстанции. Это и дает годовые потери энергии.

Постоянную C можно также определить по той же кривой, если известно число часов использования подстанции, так как

$$f = \frac{\text{число часов использования максимума}}{8760}$$

Для удобства пользования кривой на оси абсцисс нанесено также число часов использования, так что можно найти C , не определяя f .

По сообщению авторов проверка указанного способа более точным, основанном на действительном графике нагрузки и построении квадратичной кривой тока, дала хорошую сходимость. Результаты проверки на некоторых наших графиках также дали удовлетворительные результаты (точность порядка 5 ± 6%).

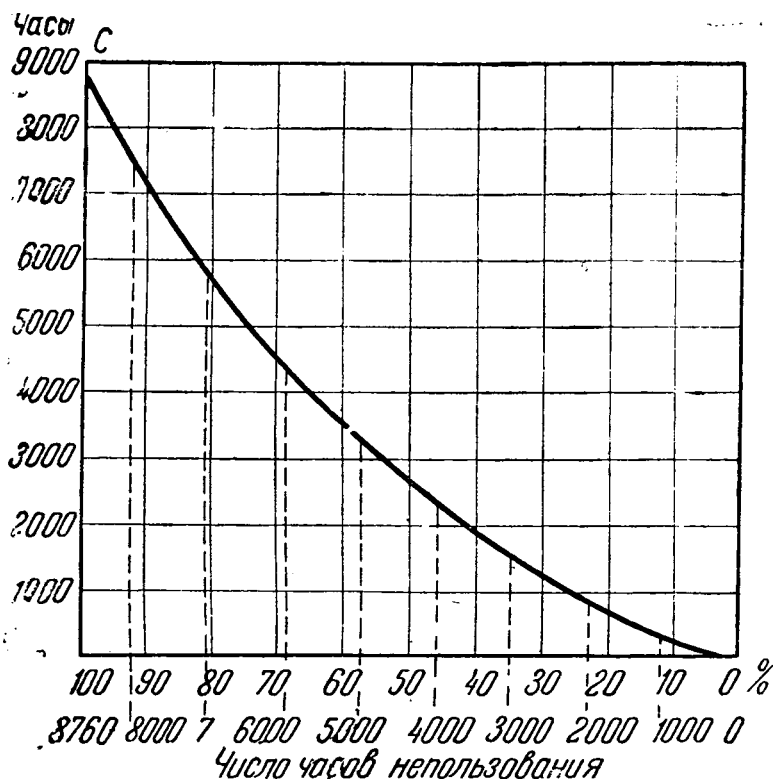


Рис. 4. Кривые для определения потерь в линиях передачи или в меди трансформатора

$$f = \frac{\text{средняя нагрузка}}{\text{максимальная нагрузка}} = \frac{\text{число часов использования}}{8760}$$

6. Влияние числа линий передачи и схемы подстанций на выбор трансформаторов

Выше был рассмотрен вопрос о числе и мощности трансформаторов безотносительно к тому, каким числом линий передачи питается данная подстанция. Для значительной части случаев такое решение вопроса является вполне правильным в частности, например, когда подстанция является проходной. В тех же случаях, когда подстанция получает питание по 1—2 линиям передачи большего протяжения и вся энергия целиком трансформируется на другое напряжение, целесообразно совместное рассмотрение вопроса, т. е. при выборе трансформаторов следует учитывать общие условия электроснабжения.

При передаче энергии возможны два характерных случая:

1. Линия передает энергию в обширную районную сеть с целым рядом электростанций, у которых всегда имеется известная резервная мощность в виде «вращающегося» резерва (недогруженные машины, работающие при своей экономической мощности).

В этом случае нет необходимости в применении двойных линий. Интерконнекционные линии в большинстве случаев могут, повидимому, применяться, исходя из этих соображений, как одиночные линии.

При передаче энергии по такой одиночной линии вполне можно применить один или одну группу трансформаторов, мощность коей соответствует полной пропускной способности линии. Следует отметить, что такое решение вопроса отвечает принципу агрегатности (генератор—трансформатор—линия—трансформатор), который в последнее время усиленно дискутируется в нашей технической литературе. Однако проведение этого принципа в чистом виде в отношении трансформаторов едва ли желательно, ибо необходимо иметь в виду, что аварии на линиях передачи обычно ликвидируются в короткий промежуток времени, измеряемый минутами или в крайнем случае часами, тогда как при аварии трансформатора требуется для ремонта несколько дней или даже месяцев.

Длительное прекращение подачи энергии, несмотря на наличие местного резерва, нежелательно по чисто экономическим причинам, так как при этом может оказаться необходимым работать менее экономическими станциями. Поэтому целесообразно остановиться или на двух трехфазных трансформаторах (мощностью $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ мощности передачи), или же на одной группе однофазных трансформаторов на полную мощность с резервной фазой. Это показано на схемах № 1 и 2 рис. 5. Как следует из схемы № 2, обычных шин не имеется, а есть только развилка, к которой присоединяется непосредственно линия.

При выпадении линии выключаются, конечно, и оба трансформатора. Схема с обычной системой шин и полным числом масляных выключателей показана как № 3, но, поскольку линия одиночная, к ней нет надобности прибегать. Этим избегается удорожание подстанции. На всех схемах рис. 5 подстанции на обоих концах линии

общие шины генераторного напряжения и вся энергия передается в одном направлении, то это целиком будет соответствовать изображенным на рис. 5 схемам передачи (т. е. включая повысительную подстанцию).

2. При современном состоянии наших районных сетей и при почти полном отсутствии в настоящее время межрайонных связей более общим является случай, когда магистральная линия передачи предназначена для электроснабжения отдельного пункта или района, не обеспеченного сколько-нибудь крупными источниками мощности, могущими хотя бы временно, но в достаточной степени заменить выпавшую линию передачи. Необеспеченность, несомненно, имеет место вследствие напряженности баланса мощности во многих районах и сниженной величины аварийного резерва. В таких случаях приходится идти на удвоение линий передачи или на двухстороннее питание подстанций от разных станций. Применение двойных линий часто бывает необходимым и независимо от вышеуказанных соображений, а именно, когда подлежащая передаче мощность настолько превышает натуральную мощность линии, что удвоение линий делается необходимым как с точки зрения регулирования напряжения, так и с точки зрения потерь энергии при нормальном режиме работы.

Из рассмотрения возможных аварийных режимов работы таких двойных линий легко видеть, что наиболее тяжелым требованием к линии является требование передачи всей мощности по одной цепи, когда вторая цепь выпадает, выполнение этого требования полностью в значительной мере удорожает передачу и может быть оправдано лишь в особых специальных случаях. Для обычных же условий передачи вполне достаточно ограничиться передачей по оставшейся в работе цепи $\frac{2}{3}$ максимальной мощности, причем нормально для этого не требуется каких-либо дополнительных расходов по линии или же подстанции.

Это вытекает из следующего: при выпадении одной цепи увеличивается в два раза реактивное сопротивление самой линии, но не всей передачи в целом, так как все трансформаторы на обоих концах линии, равно как и синхронные компенсаторы, остаются в работе, что суммарно и дает возможность передать по одной цепи приблизительно $\frac{2}{3}$ полной нормально передаваемой по двум цепям мощности. Такое снижение мощности является, однако, за исключением редких случаев кратковременным.

На основании этого можно сделать вывод, что если к одному из звеньев передачи—в данном случае к линии—предъявляется требование передачи при аварии $\frac{2}{3}$ полной мощности, то такое же требование следует распространить и на другое звено, т. е. на подстанцию; это приводит к выбору двух трансформаторов, могущих каждый нормально передать $\frac{2}{3}$ полной мощности подстанции.

Если при этом применяются однофазные трансформаторы, то при допущении лишь кратковременного снижения мощности (аналогично линии) следует применить резервную фазу. При трехфазных же трансформаторах необходимо применить либо два трансформатора на полную мощность подстанции, либо три трансформатора на половинную мощность.

Заграничная практика в отношении эксплуатации подстанций, оборудованных трансформаторами солидных фирм, показывает, что аварии с трансформаторами случаются сравнительно редко. Ориентируясь на это, можно было бы пойти на дальнейшее снижение и применять либо два трехфазных трансформатора, каждый на мощность $\frac{2}{3}$ мощности подстанции, либо две группы однофазных, но без резервной фазы.

В соответствии с вышесказанным на рис. 5 изображены различные схемы подстанций, питаемых двойными линиями. На схеме № 4 представлена подстанция или с трехфазными трансформаторами, каждый на полную мощность, или с однофазными на мощность группы $\frac{2}{3}$ мощности подстанции и с резервной фазой. Отличием схемы № 4 является наличие только трансформаторных выключателей, а вместо линейных—наличие раз'единителей.

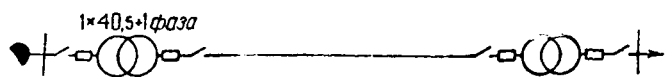
Благодаря наличию раз'единителя в перемычке, в случае выпадения одной из линий, размыкая раз'единитель на выпавшей линии и замыкая раз'единитель в перемычке, можно подключить помощью масляного выключателя второй трансформатор на здоровую линию. Схема № 4 не допускает, однако, подключения на ходу второй линии к первой при выпадении одного из трансформаторов; этого, впрочем, и не требуется. Применение масляника в перемычке решает и эту задачу.

Схема № 5 имеет два линейных масляных выключателя и масляник в перемычке, который может автоматически выключаться от линейной защиты и в случае выпадения одной из двух линий. В случае же выпадения трансформатора необходимо предварительно разомкнуть раз'единитель у поврежденного трансформатора, а затем уже включить масляник в перемычке.

Схема № 6 отличается от двух предыдущих наличием шин и линейных масляников и, следовательно, большей дороговизной. Схемы № 7 и 8 изображают подстанции с тремя трехфазными трансформаторами половинной мощности, причем на первой из них имеется перемычка вместо шин и отсутствуют линейные масляные выключатели, а на второй применены обычные шины.

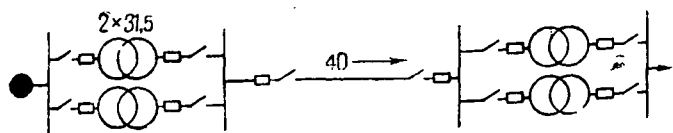
Стоимость подстанций при различных схемах для 110 kV и при передаче по линии по 40—60 MVA показана на самом чертеже. Окончательный выбор варианта зависит от индивидуальных условий дан-

Схема № 1 (854 000 р.)



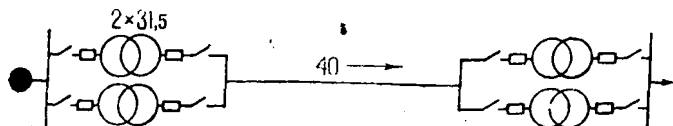
Одна группа однофазных трансформаторов с резервной фазой на полную мощность

Схема № 2 (990 000 р.)



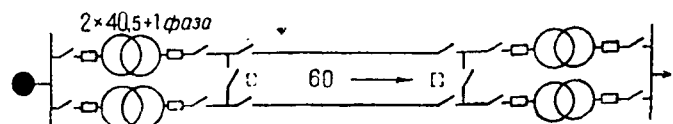
Две трехфазных группы мощностью $1/2 + 2/3$ полной мощности

Схема № 3 (1 188 000 р.)



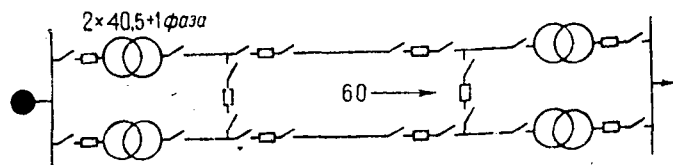
Две трехфазных группы мощностью $1/2 + 2/3$ полной мощности

Схема № 4 (1 547 000 р.)



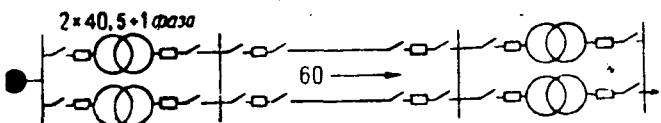
Два трехфазных трансформатора на полную мощность или две группы однофазных трансформаторов с резервной фазой на $2/3$ полной мощности

Схема № 5 (1 755 000 р.)



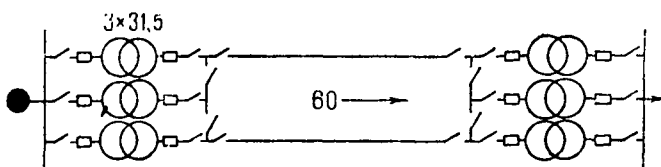
Два трехфазных трансформатора на полную мощность или две группы однофазных трансформаторов с резервной фазой на $2/3$ мощности

Схема № 6 (1 955 000 р.)



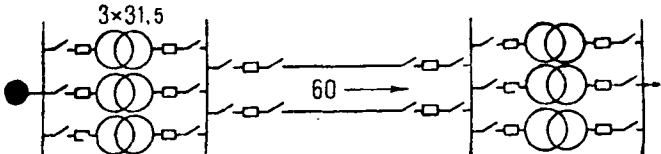
Два трехфазных трансформатора на полную мощность или две группы однофазных трансформаторов с резервной фазой на $2/3$ полной мощности

Схема № 7 (1 475 000 р.)



Два трехфазных трансформатора, каждый на $1/2$ полной мощности

Схема № 8 (1 887 000 р.)



Три трехфазных трансформатора, каждый на $1/2$ полной мощности

Рис. 5. Различные схемы передачи энергии

Цифры на схеме показывают мощность трансформаторов и передаваемую по линии мощность (MVA). Цифры в скобках указывают приближительную стоимость подстанции (без учета стоимости оборудования).

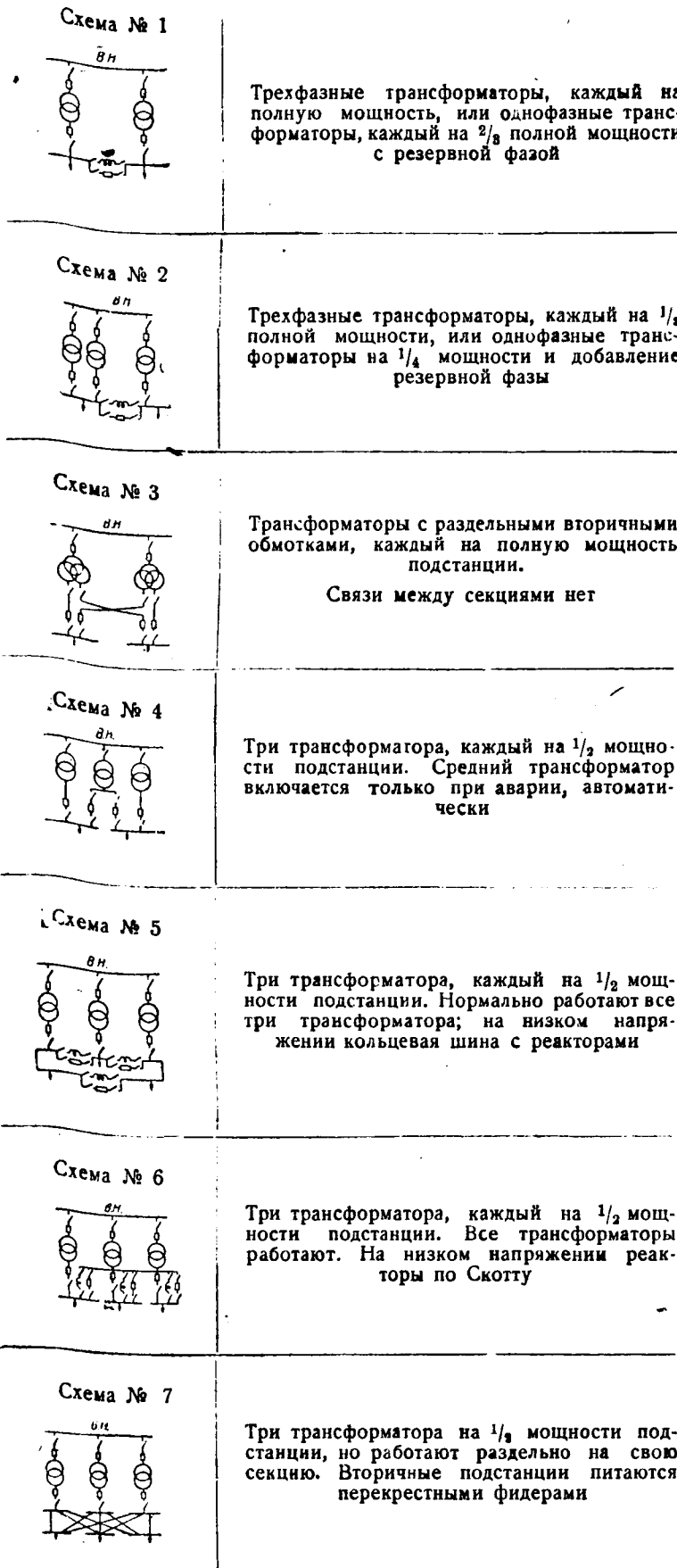


Рис. 6. Схемы подстанций

На приведенных схемах не показаны синхронные компенсаторы, которые для магистральных линий значительного протяжения, требующих искусственного регулирования напряжения, в наших условиях являются пока еще единственным способом.

В настоящее время у нас не налажено производство трансформаторов с регулировкой под нагрузкой, а также так называемых „поперечных“ трансформаторов, дающих возможность регулировать напряжение по величине и по фазе и, следовательно, регулировать реактивную мощность в соответ-

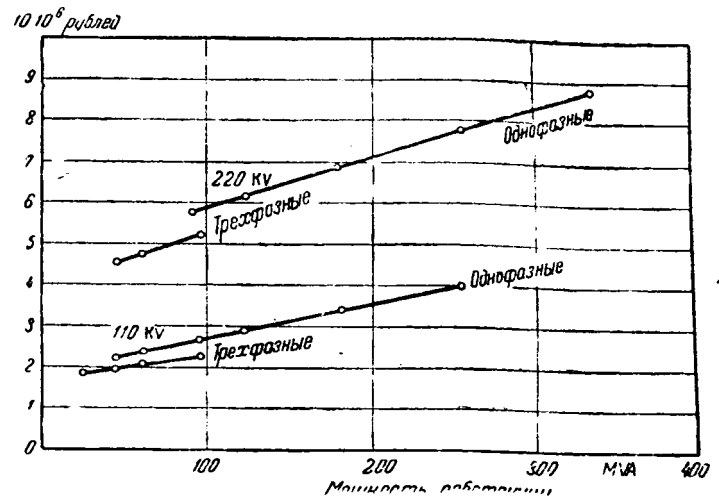


Рис. 7. Кривые стоимости подстанций. Подстанции из трех групп трансформаторов и двух воздушных линий. Точками на кривых обозначены стандартные мощности

Если при двойной линии передачи применяется по одному компенсатору на каждую цепь, то вариант с двумя трансформаторами имеет несомненные преимущества, ибо чрезвычайно упрощает коммутацию на низшем напряжении, позволяя избежать двойных шин с большим количеством масляных выключателей (в предположении, что синхронные компенсаторы присоединены к специальной третьей обмотке трансформаторов, а не включены на общие шины, от которых питается и нагрузка). По такому принципу осуществляется передача при напряжении 154 кВ от Днепровской станции на Днепропетровск и намечено также осуществление передачи с Днепра на Донбасс.

7. Подстанции с секционированными на низшем напряжении шинами

Выше, в § 3, был рассмотрен вопрос о числе и мощности трансформаторов в предположении параллельной работы трансформаторов на высоком и низком напряжениях и несекционирования шин на низком напряжении. Для крупных ответственных подстанций весьма часто является целесообразным секционировать шины на низшем напряжении как по соображениям большей надежности снабжения при всякого рода авариях (в том числе аварии на шинах), так и для снижения величины токов короткого замыкания. Обычно шины секционируются на две части. При этом возможны следующие схемы, изображенные на рис. 6.

Схема № 1. На подстанции установлены два трансформатора, каждый на полную мощность подстанции. При выпадении трансформатора соответствующая секция остается без тока, а потому во избежание потери нагрузки необходимо между секциями включить реактор на мощность секции или на меньшую, если допускается сброс части нагрузки. Взамен этого возможно применить секционный масляный выключатель, автоматически выключающийся после того, как сработает дифференциальная защита поврежденного трансформатора. При однофазных трансформаторах можно установить

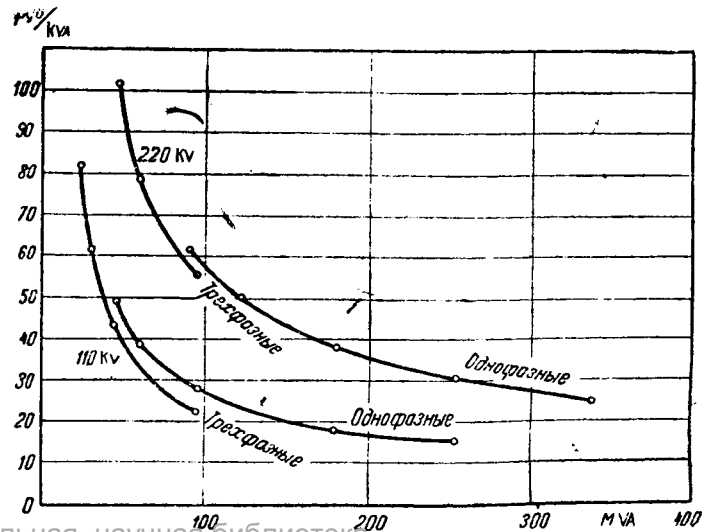


Рис. 8. Кривые стоимости 1 кВА подстанции. Подстанции из трех групп трансформаторов и двух воздушных линий. Точками обо-

две группы с резервной фазой, каждая на $\frac{2}{3}$ мощности подстанции.

Схема № 2. На подстанции установлены четыре трехфазных трансформатора, каждый на мощность $\frac{1}{3}$ полной мощности подстанции. Аналогично предыдущему между секциями можно включить либо реактор на 33% мощности секции (оставшийся трансформатор обеспечивает 67%), либо масляный выключатель, но включившийся не автоматически, так как трансформатор до включения масляника может выдержать перегрузку на 50%.

При однофазных трансформаторах мощность группы можно принять равной $\frac{1}{4}$ мощности подстанции и добавить резервную фазу.

Схема № 3. Два трансформатора, каждый на полную мощность подстанции (аналогично схеме № 1), но с разделенными вторичными обмотками. Связи между секциями нет.

Схема № 4. Три трансформатора, каждый на $\frac{1}{2}$ мощности подстанции. Третий трансформатор является резервным и нормально в схему не включен. Он должен автоматически включаться на ту секцию, где выпал трансформатор, от его дифференциальной защиты. На низком напряжении нет никакой связи между секциями.

Схема № 5. Три трансформатора, каждый на $\frac{1}{2}$ мощности подстанции. Все три трансформатора работают и приключены к кольцевой шине, разделенной на три секции реакторами. Реакторы имеют пропускную способность, равную половине мощности секции. Реакторы могут быть в случае необходимости шунтированы масляными выключателями.

Схема № 6. Аналогична предыдущей, но реакторы включены по схеме Скотта. Пропускная мощность реактора равна мощности секции.

Схема № 7. Три трансформатора, каждый на $\frac{1}{2}$ мощности подстанции. Каждый трансформатор работает совершенно отдельно на свою секцию шин. Вторичные подстанции питаются перекрестными фидерами.

Детальный разбор вышеуказанных схем и их технических и экономических преимуществ в отношении питания вторичных подстанций является вопросом специальным, а потому здесь и не рассматривается.

Заключение

Из вышесказанного следует, что при выборе числа и мощности трансформаторов подстанций весьма целесообразно принимать во внимание, с одной стороны, условия работы линий передачи, а с другой стороны, требования со стороны низшего напряжения подстанции в отношении секционирования и наиболее надежного питания вторичных подстанций.

Короче говоря, следует рассматривать всю схему электроснабжения в целом. Это тем более необходимо, что результаты подсчетов стоимости различных вариантов, приведенные в табл. 5 и 6, во многих случаях близки друг к другу по капитальным затратам; по техническим качествам они также почти равноценны.

В заключение для быстрых подсчетов стоимости подстанции на рис. 7 и 8 даны кривые общей стоимости 1° подстанций на 110 и 220 kV с тремя трансформаторами различной мощности в предположении питания их двумя линиями.

11/VIII 1933 г.

Об одном простом и наглядном методе изображения эквипотенциальных соединений в обмотках машин постоянного тока

Инж. М. З. Жиц
Москва, Динамо

При анализе тех или иных дефектов в обмотках машин постоянного тока, снабженных эквипотенциальными соединениями, анализ повреждения сильно затрудняется благодаря чрезвычайной трудности ясного представления электрических соотношений, возникающих в обмотках с этими соединениями. Предлагаемая нами ниже вниманию читателей схема дает простой и чрезвычайно наглядный метод анализа всевозможных могущих иметь место в таких обмотках повреждений. Попутно выявляются вместе с тем и некоторые общие заключения относительно эквипотенциальных соединений в обмотках.

Все эквипотенциальные коллекторные пластины как находящиеся на расстоянии $\frac{K}{p}$ пластин друг от друга расположатся, следова-

тельно, на одной образующей цилиндра, и соответствующее эквипотенциальное кольцо представится в виде стержня, расположенного по образующей пружины и припаянного к ее виткам. Концы стержня в свою очередь закорочены. На рис. 1 изображена шестиполусная обмотка с поставленными на нее тремя эквипотенциальными кольцами.

Для того чтобы теперь окончательно уяснить себе имеющие при таком методе изображения место электрические соотношения в обмотке, посмотрим еще, как на этой схеме располагаются щетки. Ясно, что, например, все положительные щетки, как отстоящие друг от друга на двойное полюсное деление, расположатся в данной схеме на одной образующей, ясно также, что все отрицательные щетки также расположатся на образующей, но диаметрально противоположной по отношению к первой. Отсюда получаем то расположение щеток, которое изображено на рис. 1.

Если мы теперь пожелаем представить себе те соотношения, которые имеют место во вращающемся якоре, то необходимо себе вообразить пружину с жестко к ней прикрепленными стержнями (эквипотенциальными соединениями) вращающейся, при этом система щеток остается неподвижной в пространстве.

Обратимся теперь к волновой обмотке. Как известно, эквипотенциальный шаг этой обмотки равен $\frac{K}{a}$, где a — число пар параллельных ветвей обмотки, представляющее собой число коллекторных пластин, на которое мы удаляемся от пластины № 1 при выходе из нее и после одного обхода по коллектору.

Совершенно подобно тому, как мы это сделали в петлевой обмотке, мы можем и волновую обмотку представить свернутой в пружину, но только каждый оборот пружины сделаем равным уже не $\frac{K}{p}$

пластинам, а $\frac{K}{a}$ пластинам. Вся волновая обмотка при этом представится в виде пружины из a оборотов. Очевидно, эквипотенциальные соединения аналогично предыдущему и здесь представятся стержнями, расположенными по образующим цилиндра.

Что же касается щеток, то последние здесь расположатся иначе. Так как при переходе по обмотке от какой-либо пластины № 1 к эквипотенциальной с ней пластине № $1 + \frac{K}{a}$, мы, очевидно, пройдем через все одноименные с нею щетки, ибо шаг по коллектору u_k

близок к двойному полюсному делению $\frac{K}{p}$, и так как каждая щетка

вместе с тем имеет контакт минимум с a пластинами коллектора, то щетки окажутся при этом расположенными, как показано на рис. 2. Мы видим, что группа положительных щеток расположена рядом

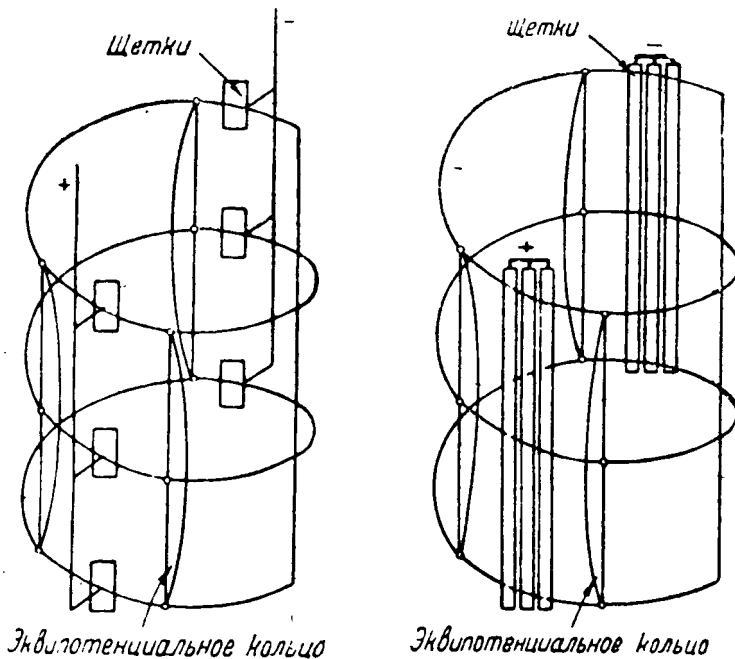


Рис. 1

Рис. 2

Пусть мы сначала имеем петлевую обмотку с шагом по коллектору $u_k = 1$. Как известно, шаг эквипотенциальных соединений в этой обмотке равен $\frac{K}{p}$, т. е. числу коллекторных пластин на пару полюсов.

Для построения искомой схемы начнем мысленно обходить обмотку, начиная с какой-либо коллекторной пластины. Вообразим себе, далее, обмотку при этом обходе свертываемой в пружину, как показано на рис. 1. Пусть каждый оборот пружины соответствует $\frac{K}{p}$ пластинам коллектора, т. е. обходу двойного полюсного деления.

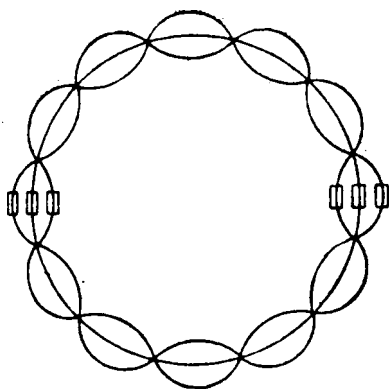


Рис. 3. Шестиполюсная петлевая обмотка с 12 эквипотенциальными кольцами

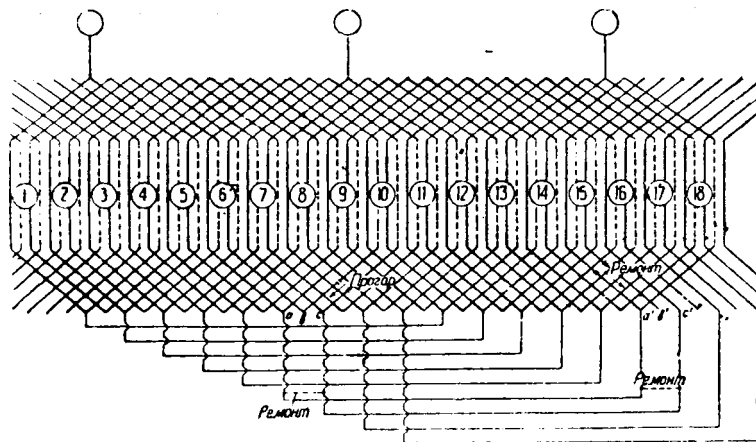


Рис. 4

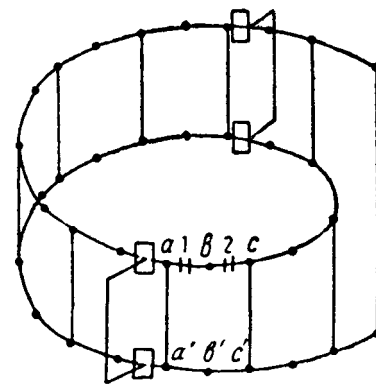


Рис. 5

друг с другом на окружности цилиндра по образующим его, а диаметрально по отношению к положительной группе щеток расположена отрицательная группа.

Аналогично петлевой обмотке и в этом случае, если желательно представить себе явления, имеющие место во вращающемся якоре, необходимо вообразить себе пружину-обмотку вращающейся относительно неподвижных щеток.

Из данной схемы обмотки с чрезвычайной наглядностью вытекает ряд известных из теории машин выводов. Например, непосредственно из чертежа видно, что число параллельных цепей в волновой обмотке равно $2a$, а в петлевой $2p$. Далее, опять-таки непосредственно из чертежа видна причина избирательного токораспределения между одноименными щетками волновой обмотки и отсутствие его в петлевой; видно также, что если петлевая обмотка снабжена достаточно густо расположенными эквипотенциальными соединениями, то и она приобретает свойство избирательного токораспределения и т. д.

Мы не можем здесь останавливаться более подробно на этих выводах и ограничимся поэтому лишь разбором вопроса об упрощенном электрическом представлении обмотки с эквипотенциальными соединениями. Как непосредственно видно из схемы (рис. 2), в результате постановки эквипотенциальных соединений всякая обмотка приобретает ячеистый характер и разбивается электрически на ряд ячеек общим числом $m(a-1)$, где a — число пар параллельных цепей (a — число эквипотенциальных колец). При достаточно малом сопротивлении соединений все точки обмотки, закороченные на нашей схеме эквипотенциальными кольцом-стержнем, могут быть соединены на схеме в один узел, и тогда вся снабженная эквипотенциальными соединениями обмотка представится в виде упрощенной схемы, изображенной на рис. 3. Мы видим, что благодаря этим соединениям всякая дисимметрия в обмотке локализуется здесь же на месте, не создавая вредных токов через щетки, что, кроме того, возникающее по закону Ленца выравнивающее действие на дисимметрию может проявлять себя более энергично.

В заключение рассмотрим следующий пример:

Пример. В 4-полюсной машине постоянного тока, снабженной, кроме того, тремя кольцами для получения трехфазного тока и снабженной эквипотенциальными соединениями на каждую третью пластину, сгорели от короткого замыкания их внутри обмотки две секции. Место повреждения находится в лобовой части якора со стороны коллектора в нижнем слое лобовых частей. После аварии

машина никаких симптомов в виде искрения не проявляла. Необходимо решить поэтому следующие связанные с аварией вопросы: 1) можно ли оставить машину работать без ремонта; 2) если этого нельзя сделать, то не следует ли, как это обычно делается в нормальных машинах, соответствующую пару пластин закоротить; 3) если этого нельзя почему-либо сделать, то какой можно выбрать метод ремонта, который не потребовал бы перемотки якора.

Данные обмотки: обмотка петлевая, шаблонная, 36 коллекторных пластин, 18 пазов, рычаг по пазам 1—10. Схема обмотки с указанием мест прогара дана на рис. 4. Задача кажется сложной. Однако достаточно лишь посмотреть на изображенную по предыдущему методу схему на рис. 5, чтобы решить задачу без всяких затруднений. Здесь для еще большей наглядности нанесены на схеме также и коллекторные пластины, обозначенные цифрами 1 и 2.

Из этой схемы мы видим, что, несмотря на обрывы двух секций, ни в одной параллельной ветви ток при работе машины обрываться не будет, так как поврежденные две секции зашунтированы эквипотенциальными кольцами a' и c' и здоровой частью обмотки $a'c'$. Этим и объясняется отсутствие искрения. Отсюда же следует, что, поскольку участок обмотки $a'c'$ нагружен двойным против нормального током (двух параллельных ветвей якора), то машина без ремонта может работать лишь с половинной нагрузкой.

На вопрос возможно ли (как это можно было бы сделать в нормальной машине) закоротить пластины, между которыми имеет место обрыв (a с b и b с c), ответ должен быть, очевидно, отрицательным, ибо из той же схемы видно, что тем самым оказались бы замкнутыми коротко участки обмотки $a'b'$ и $b'c'$, что привело бы к их немедленному прогару.

Наконец, та же схема показывает, что наиболее простым решением вопроса о том, как пустить машину в работу без перемотки якора, является, как это ни кажется парадоксальным, обрыв также и секций $a'b'$ и $b'c'$, что можно выполнить, разрубив лобовые части этих секций, расположенные в верхнем слое лобовых соединений, как это изображено на рис. 4. Останется лишь после этого закоротить пары пластин a и c , a' и c' , что можно сделать с торца коллектора, чтобы машина стала удовлетворительно работать.

Соответствующие передеди в обмотке нанесены на рис. 4. Полу-чающаяся при этом дисимметрия напряжения между обеими парами параллельных цепей большого значения иметь не будет, так как уравнивающий переменный ток должен протекать через всю обмотку, имеющую сравнительно большое индуктивное сопротивление.

11, VIII 1933 г.

ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТА

Режим работы вентиляльного двигателя при рекуперации

Инж. М. М. Беляев
ВЭИ

Как уже было рассмотрено, при работе вентиляльного двигателя (с разрезной обмоткой) на режиме тяги¹⁾ могут быть использованы (за один период э. д. с. вращения фазы) лишь участок a (рис. 1). На участках b будет тормозной режим короткого замыкания и на участках c ток пропускаться не будет вследствие вентиляльного свойства ртутного выпрямителя. Остаются еще участки d_1 и d_2 , на которых разность $e-u$ будет направлена от анода к катоду, что вызовет возникновение тока, совпадающего по направлению с э. д. с. фазы двигателя и противоположно направлению напряжения вторичной обмотки трансформатора (рис. 2), другими словами, фаза двигателя будет работать генератором, тогда как вторичная обмотка трансформатора будет работать на моторном режиме. Заряжая по-

ложительным потенциалом сетку только на этих участках, при вращении вентиляльного двигателя посторонним источником мы будем иметь рекуперативный режим торможения.

Рассмотрим возможность рекуперативного режима вентиляльного двигателя. Как видно на рис. 1, рекуперативные участки отличаются друг от друга по характеру изменения синусоиды напряжения сети соответственно возрастающей (участок d_1) и убывающей частей (участок d_2) используемого полупериода. В первом случае (d_1) разность $|e-u|$ (где e и u — абсолютные величины мгновенных значений э. д. с. двигателя и напряжения сети) в момент перехода напряжения сети через нуль имеет некоторое значение, уменьшающееся до нуля по мере возрастания абсолютного значения $|u|$.

Отправив сетку²⁾ (зарядив ее положительно по отношению к катоду) в точке 1 (рис. 1), будем иметь бросок тока, уменьшающегося до

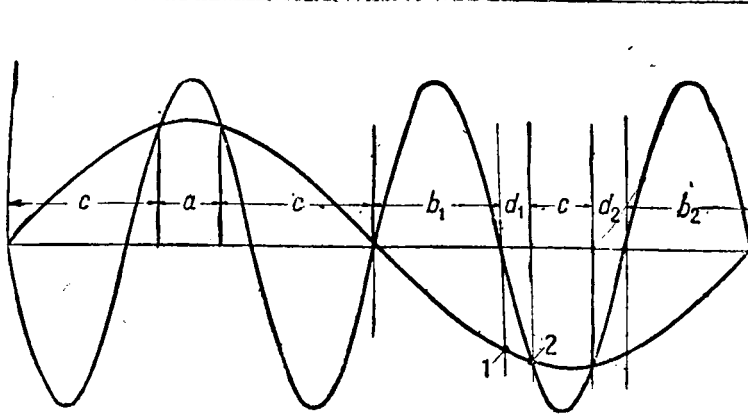


Рис. 1

Если несколько раньше этого момента „запереть сетку“ (зарядить ее отрицательно), ток в фазе прекратится до следующего „отпирания“ сетки, соответствующего следующему аналогичному рекуперационному участку. Оставив сетку заряженной положительно до участка d_2 , дадим возможность возникнуть току на этом участке (при достаточной самоиндукции фазы перерыва тока между обмотками участками d_1 и d_2 не будет). Однако в противоположность предыдущему случаю здесь ток будет постепенно увеличиваться от момента $|e| = |u|$, соответствующего порогу зажигания дуги анода ртутного выпрямителя, и должен бы перейти в ток короткого замыкания после изменения знака мгновенного значения u . Во избежание этого необходимо обеспечить переход тока с n -й фазы одной звезды на n -ю фазу другой, которая в этот момент времени будет занимать уже рассмотренное положение на участке d_1 .

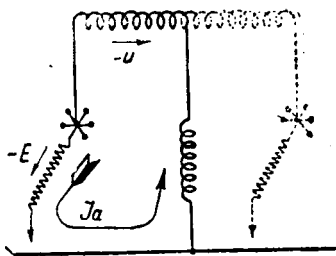


Рис. 2

Если отпереть фазу n' несколько раньше точки A (рис. 3) на какой-то угол α (определяющийся временем коммутации), в ней под влиянием разности $(e_n) - (u)$ в свою очередь должен будет возникнуть ток, и тогда будем иметь замкнутый контур: фаза n -катод-фаза n' -обе полуобмотки трансформатора. Алгебраическая сумма всех напряжений, действующих в этом контуре (рис. 4), должна создавать коммутирующий ток i_k , направленный против тока n -й фазы I_n . Так как фазы n и n' сдвига не имеют, то e_n и $e_{n'}$, направленные навстречу, взаимно уравновешиваются, и ток коммутации будет вызываться напряжением $2 U_m \sin(at + \alpha)$, где a —частота сети и

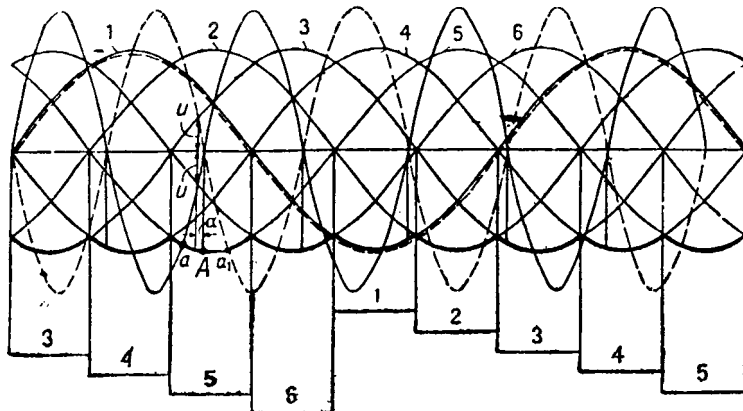


Рис. 3

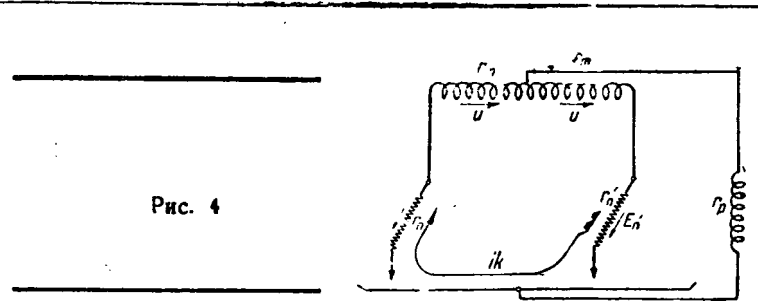


Рис. 4

угол α определяет сдвиг коммутатора сети соответственно времени коммутации. Уравнение электродинамического равновесия для этого контура будет:

$$2 U_m \sin(at + \alpha) = -I_n R + i_k R' + L \frac{di_k}{dt}$$

где

$$R = r_n + r_p + r_T \text{ и } R' = r_n + r_{n'} + 2r_T$$

(рис. 4) и L —индуктивность полуобмоток трансформатора. Коммутация тока с n -й фазы на n' -ю фазу должен закончиться в точке A (рис. 3), когда мгновенное значение $u = 0$, так как после этого момента коммутирующее напряжение $2 U_m \sin(at + \alpha)$, переменяя свой знак (рис. 5), будет вызывать ток i_k в одном направлении с током I_n и против тока $I_{n'}$, что вызовет переход фазы n на режим короткого замыкания.

Таким образом режим рекуперации вентильного двигателя возможен на протяжении отрицательного полупериода напряжения сети на участках, где $|e| > |u|$. На участках, где $|e| < |u|$, будут перерывы тока при $L = 0$ или же при достаточной величине самоиндукции L и контура фазы-вентиль-обмотка возбуждения-полуобмотки трансформатора будет поддерживаться за счет напряжения самоиндукции $L = L_\phi + L_{mp} + L_{mp}$.

Уравнение электродинамического равновесия для данного контура будет в каждый момент времени

$$e - u = IR + L \frac{dI}{dt} + \Delta u,$$

где $R = r_n + r_p + r_T$ (рис. 4) и Δu —падение напряжения в дуге вентиль. Как видно из этого уравнения, величина рекуперативного тока, главным образом, будет зависеть от разности $e - u$. Увеличивая значение этой разности, будем получать большие значения рекуперативного тока и, следовательно, больший тормозной момент.

Увеличение разности $e - u$ может быть достигнуто или повышением значения E_m путем увеличения ампервитков возбуждения двигателя, или снижением значения U_m напряжения вторичной обмотки трансформатора путем ее секционирования при малом числе оборотов.

Приводя к одинаковым результатам увеличения тормозного момента, эти способы в отношении эффективности рекуперации энергии не равноценны. В то время как в первом случае повыше-

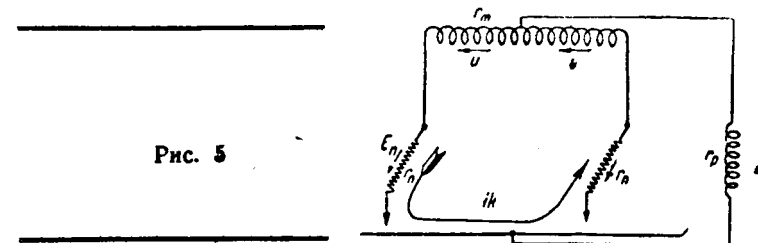


Рис. 5

ние значения E_m э. д. с. двигателя повлечет как повышение тормозного момента, так и увеличение количества отдаваемой энергии, во втором случае снижение U_m напряжения вторичной обмотки трансформатора путем ее секционирования, т. е. увеличения коэффициента трансформации, хотя и повлечет увеличение тормозного момента, однако количество отдаваемой энергии уменьшится пропорционально увеличению коэффициента трансформации.

В заключение надо отметить, что проведенные в машинном отделе ВЭИ предварительные опыты показали возможность использования вентильного двигателя для рекуперативного торможения, однако этот вопрос требует детального экспериментального исследования, которое предполагается к проведению для различных схем якорной обмотки на опытной модели вентильного двигателя.

ТРИБУНА ЧИТАТЕЛЕЙ

К вопросу о выборе напряжения для городских сетей¹⁾

(По поводу статьи инж. Л. Б. Гейлера в № 9 журнала „Электричество“ за 1933 г.)

Проф. С. А. Пресс
Ленинград

В технической литературе последних лет иногда встречаются указания на то, что степень опасности электрического тока для человеческого организма в отношении электрических ударов, т. е. внутренних повреждений нервной системы, органов дыхания и кровообращения, возрастает до известного предела величины тока; при дальнейшем же увеличении тока, проходящего через тело человека, опасность электрического удара, наоборот, уменьшается. В качестве предельной величины тока, соответствующей максимальной степени опасности электрического удара, приводятся различные величины—от 0,1 до 1 А. Такого же рода утверждения, причем в довольно категорической форме, содержатся и в статье инж. Л. В. Гейлера в № 9 журнала „Электричество“. Согласно кривой степени опасности электрического тока в зависимости от его величины, приведенной в этой статье (рис. 5, стр. 45), наибольшая 100% опасность, т. е. обязательный смертельный исход при всяком прохождении тока данной величины через тело человека, соответствует току 0,14 А; при дальнейшем возрастании тока степень опасности быстро падает, доходя до нуля при токе в 1 А. Таким образом все токи в 1 А и выше признаются совершенно безопасными с точки зрения электрических ударов.

Нетрудно показать, что подобные утверждения противоречат ни только общепринятым взглядам, но и фактическому положению вещей. Действительно, если принять, что токи более чем в 1 А безопасны в отношении электрических ударов, последние никогда не происходили бы при прикосновении к токоведущим частям высокого напряжения, поскольку на высоком напряжении, даже при относительно высоком сопротивлении тела человека, ток обычно превосходит 1 А. Между тем практика показывает, что хотя при несчастных случаях на высоком напряжении и наблюдаются сильные ожоги, все же смертельный исход вызывается большей частью не ожогами, а, как показывают данные вскрытия, именно внутренними поражениями, т. е. электрическими ударами. Сказанного достаточно, чтобы в корне опровергнуть положение о безопасности токов большой величины в отношении электрических ударов.

Если верно то, что токи в 1 А и выше могут вызывать и, действительно, часто вызывают электрические удары, то, с другой стороны, из этого не следует, что такие токи во всех случаях должны вызвать электрический удар со смертельным исходом. Степень опасности электрического удара зависит не только от величины тока, но и от очень многих других факторов, как-то: продолжительность прикосновения, путь тока в теле человека, психическое и физическое состояние человека и т. д.²⁾ Этим и объясняется то, что многие несчастные случаи на высоком напряжении оканчиваются сравнительно благополучно, несмотря на сильные ожоги. Таким образом токи в 1 А и выше, несомненно, жизнеопасны, хотя степень опасности в указан-

ном выше смысле этого слова (т. е. отношение числа смертных случаев ко всему числу несчастных случаев, соответствующих прохождению тока через тело человека) и значительно ниже 100%.

Сказанное относится не только к токам в 1 А и выше, но и к токам ниже 1 А, в частности, к токам в 0,1 ÷ 0,2 А, признаваемым согласно упомянутой диаграмме безусловно смертельными. Практика изучения несчастных случаев от электричества не дает оснований для того, чтобы оценивать степень опасности этих токов для людей в 100%. Равным образом и материалы, касающиеся применения смертной казни от электрического тока (в Америке), не могут привести к подобным заключениям, не говоря уже о том, что условия поражения током на электрическом стуле резко отличаются от условий поражения при несчастных случаях.

Таким образом следует признать, что токи выше чем в 0,03 ÷ 0,05 А являются жизнеопасными; статическая степень опасности тока той или иной силы вряд ли может быть определена на основании данных современной науки и практики. Установление того, какой ток—в 0,1 А, в 1 А или 10 А является более опасным, вряд ли имеет большое практическое значение для техники безопасности; вероятность смертельного исхода при всех указанных токах достаточно велика, чтобы признать недопустимость прохождения подобных токов через тело человека при любых условиях эксплуатации электрических установок.

Вероятность того, что ток, проходящий при прикосновении к токоведущим частям через тело человека, окажется больше 0,03 ÷ 0,05 А, т. е. больше безопасного предела, очевидно, растет по мере увеличения напряжения установки. Следовательно, степень опасности электрической установки в отношении поражения электрическим током будет тем больше, чем больше напряжение установки. Это положение лежит в основе всех кодексов безопасности электрических установок, изданных в различных странах; правила и меры безопасности, предписываемые этими кодексами, как общее правило, усиливаются по мере увеличения напряжения. Благодаря этому современные установки повышенного и высокого напряжения при условии соблюдения существующих правил сооружения и эксплуатации оказываются столь же безопасными, как и установки низкого напряжения.

Сказанное выше относится также к установкам, 380/220 В. Эти установки, несомненно, являются значительно более опасными, чем установки 220 В, с одной стороны, ввиду повышения рабочего напряжения, а с другой стороны, вследствие заземления нейтрали, что приводит к увеличению степени вероятности поражения электрическим током³⁾. Статистический материал, собранный в Англии, Франции и других странах, указывает на большую опасность напряжения 380/220 В (или напряжений, близких к указанному) по сравнению с другими низкими напряжениями, меньшими по величине. Что касается СССР, то статистический материал в отношении эксплуатации установок напряжением 380/220 В еще сравнительно невелик; однако же кое-какие заключения можно сделать и сейчас.

1) Статья рассматривается редакцией как положительное требование в отношении улучшения материалов, монтажа и эксплуатации сетей 380/220 В, а не как аргумент против 380/220 В. Ред.

2) Подробнее об этом см. книгу автора, Безопасность труда

В статье инж. Л. В. Гейлера приводится список населенных мест, которые имели к 1 января 1932 г. распределительные сети в 380/220 V. Наиболее крупным пунктом в этом списке является г. Витебск, относительно которого можно найти интересные данные в статье инж. Ф. Л. Школина „Смертельные случаи от электрического тока напряжения 380/220 V в Белоруссии“¹⁾. По данным этой статьи до введения в Витебске напряжения 380/220 V в связи с переходом на ток Осинстроя смертельных случаев от электрического тока в городе совсем не было. Левобережная часть города пользовалась постоянным током 220 V, правобережная часть — переменным током 220/120 V. Последнее напряжение сохранено и в настоящее время после перехода на ток Осинстроя, причем смертельных несчастных случаев в правобережной части теперь, как и раньше, не наблюдается. Что же касается левобережной части, то после перехода на напряжение 380/220 V в одном только 1931 г. было зарегистрировано 6 смертных случаев от электрического тока, не говоря о смертных случаях в других городах Белоруссии (Речица, Могилев и др.). Из приведенного в статье описания несчастных случаев можно усмотреть, что 5 смертных случаев произошли при прикосновении к токоведущим частям низкого напряжения, т. е. непосредственно связано с применением системы 380/220 V.

¹⁾ Журнал „Гигиена, безопасность и патология труда“ № 2, 1933.

Все указанные несчастные случаи были вызваны недостатками устройства или эксплуатации электрических сетей, главным же образом недостаточной квалификацией обслуживающего персонала. Как указано в статье, с улучшением условий эксплуатации кривая несчастных случаев от электричества в Белоруссии резко пошла вниз. Та же картина значительного электротравматизма в начальный период эксплуатации сетей 380/220 V наблюдалась и на некоторых вновь выстроенных в последние годы заводах.

Приведенные факты показывают, что установки на 380/220 V требуют для достижения безопасной эксплуатации тщательного технического выполнения, а также достаточно квалифицированного персонала. В этом отношении установки 380/220 V, несомненно, сильно отличаются от установок 220 V как переменного, так, в особенности, постоянного токов. Многие дефекты в отношении устройства и содержания установок, а также в отношении квалификации персонала, которые, так сказать, „сходят с рук“ в установках с более низким рабочим напряжением, дают себя остро чувствовать в установках 380/220 V. Игнорирование этого положения и стремление изобразить установки 380/220 V столь же, а иногда даже и более безопасными, чем установки 220 V, может лишь ослабить внимание к вопросам безопасности установок 380/220 V и тем самым увеличить число несчастных случаев. Делу же широкого распространения у нас установок 380/220 V таким образом может быть нанесен скорее вред, нежели польза.

Выбор мощного выключателя на 380 kV

Инж. Л. Б. Брауде
ВЭО

В статье инж. Л. Е. Машкиллейсона и проф. Г. Т. Третьяка, помещенной в № 6—7 журнала „Электричество“ за прошлый год, даны некоторые наброски будущих конструкций выключателя на 380 kV, которые требуют, однако, некоторых коррективов.

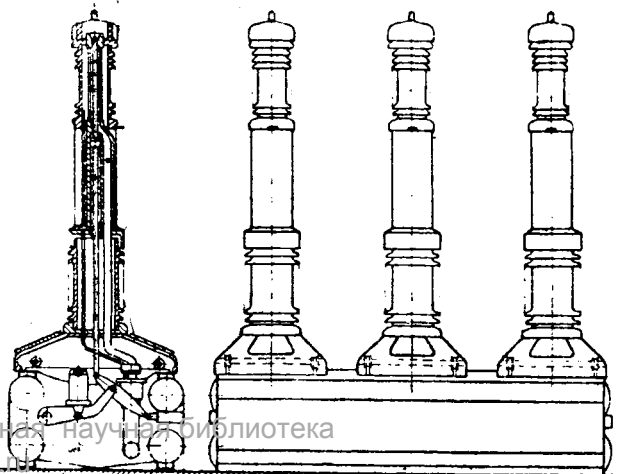
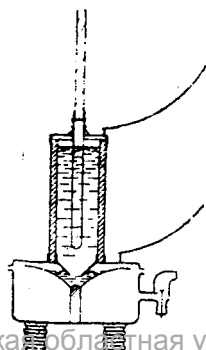
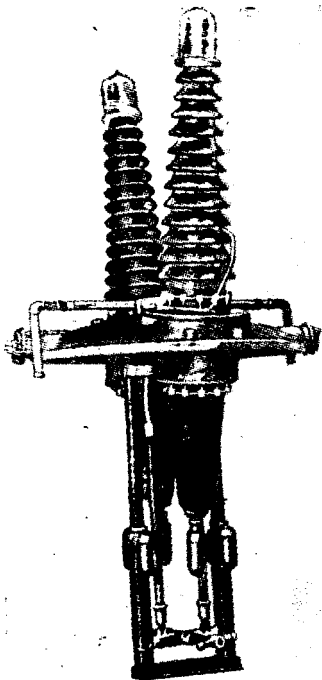
Путей для конструирования выключателя на 380 kV может быть четыре. Во-первых, можно экстраполировать в некоторых соотношениях размеры современных выключателей на 100 и 200 kV. Во-вторых, можно увеличить число разрывов в выключателе. Третьим решением является каскадное включение нескольких выключателей на меньшее напряжение. Наконец, в-четвертых, можно применить ка-

кой-либо совершенно новый способ гашения дуги, такой способ, который годился бы преимущественно для очень высоких напряжений.

Последнее решение вопроса, хотя и наиболее заманчивое, в расчет принимать сейчас не приходится, так как, с одной стороны, изобретение нового способа гашения дуги является делом случая, с другой стороны, даже самую блестящую идею гашения мощных вольтовых дуг необходимо предварительно проверить в мощной лаборатории, мощной же разрывной лаборатории у нас до сих пор, к сожалению, нет.

Третий способ, заключающийся в каскадном включении для получения более высоких напряжений, не нов и часто выплывает на сцену при переходе на более высокие, еще не освоенные напряжения, например, система Тюри постоянного тока, каскадные испытательные трансформаторы, каскадные трансформаторы тока и напряжения и в последнее время у нас проекты силовых каскадных трансформаторов на 380 kV. Для силовых выключателей каскадное включение трех шестибачковых выключателей типа ВМ-103 (американский тип Н) было предложено автором настоящей заметки еще в 1926 г. для получения 100-kV выключателя с малым количеством масла.

Все подобного рода предложения являются временными, вызванными желанием обойти трудности прямого решения вопроса, и



с дальнейшим развитием техники, когда является возможность прямого более правильного решения вопроса, каскады уступают свое место единицам на большее напряжение; так будет, очевидно, в ближайшее время с постоянным током высокого напряжения, так обстоит дело с трансформаторами тока и с испытательными трансформаторами.

Каскадное соединение выключателей, так как оно изображено на рис. 6 статьи Л. Е. Машкиллейсона и Г. Т. Третьяка, представляет собой также прыжок в неизвестность, так как нельзя еще сказать, удастся ли более или менее равномерно распределить напряжение между отдельными выключателями, если это окажется необходимым.

Правда, последние работы GE, опубликованные в августовском номере „СЕР“ за прошлый год, произведенные, кстати сказать, при линейном напряжении в 420 kV, дают как будто возможность решения вопроса о каскаде для выключателя, хотя и в другой форме.

Дело в том, что каскадное соединение выключателей, которое, как видно из упомянутого уже рис. 6, является весьма неуклюжим и громоздким решением вопроса, может быть произведено и в другой, более изящной форме, если, например, в варианте II убрать изолятор, соединяющий оба бака, и вместо двух баков сделать один, овальный или круглый. Тогда мы получим выключатель по рис. 5, т. е. известным типом выключателя с многократным разрывом. Неизвестно только, для чего нужно было для выключателя по рис. 5 удалять механизм, так как необходимости в этом нет никакой, и до сих пор многократный разрыв, даже с 6 и 10 разрывами, делался только с одним механизмом, и выключатели получались весьма изящными, как видно, например, из рис. 1, взя-

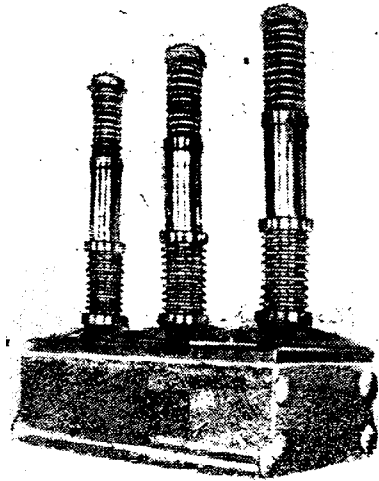


Рис. 4

того из „BBC-Mitteilungen“ № 1 за 1933 г.

Что касается существа дела, многократный разрыв является только одним из средств несколько уменьшить размеры баков обычных масляных выключателей и никаких существенных преимуществ сравнительно с двухкратным или однократным разрывом не имеет. Поэтому было бы целесообразно совершенно отойти от разрывов на фазу и перейти к принципиально новым конструкциям, допускающим только один разрыв на фазу или на бак, как то было, например, сделано в типе BM-101, предложенном автором еще в 1924 г. и Charpentier в 1925 г. (см. рис. 2, взятый из „RGE“ т. XVII, № 3, стр. 104; см. также журнал „Электричество“ № 3, 1926 г., стр. 145).

При возникновении новых принципов гашения дуги при помощи расширения и сжатого газа первоначальные конструкции делались, по старой привычке, с двумя разрывами на фазу, но затем второй разрыв оказывался излишним, и дальнейшие работы велись уже с одним только разрывом на фазу. Завод „Электроаппарат“ на основании своих опытов с деионными решетками в масляных выключателях обычного типа также пришел, насколько нам известно, к заключению, что второй разрыв является совершенно излишним.

Мы видели выше, что второй и третий способы получения выключателя на 380 kV являются по существу двумя различными вариантами многократного разрыва и как таковые применяются уже давно в выключателях более низкого напряжения. Поэтому применение того же принципа многократного разрыва для выключателей на более высокое напряжение, на напряжение в 380 kV, является не чем иным, как экстраполяцией существующих выключателей с многократным разрывом.

Следовательно, если исключить четвертый способ получения выключателя на 380 kV, у нас нет никакого другого пути для получения выключателя на 380 kV, кроме экстраполяции существующих в настоящее время типов выключателей, и весь вопрос заключается только в том, какому из существующих типов отдать предпочтение, какой из них взять в качестве объекта для экстраполяции.

Такие объекты могут быть масляные выключатели с двумя разрывами, выключатели с многократным разрывом, расширительные выключатели и выключатели со сжатым газом, т. е. все типы выключателей, применяющиеся в настоящее время.

Разберем каждый из этих типов в отдельности.

Поразительные успехи, достигнутые расширительным и газовым выключателями, казалось, должны были совершенно свести со сцены обычные масляные выключатели, однако, развитие теории и усиленное экспериментирование в лабораториях разрывной мощности и в сетях дало возможность масляным выключателям, выражаясь военным языком, отступать с боем. Действительно, масляные выключатели с деионными решетками и с масляным дутьем значительно уменьшились в размерах и сделались весьма надежными аппаратами.

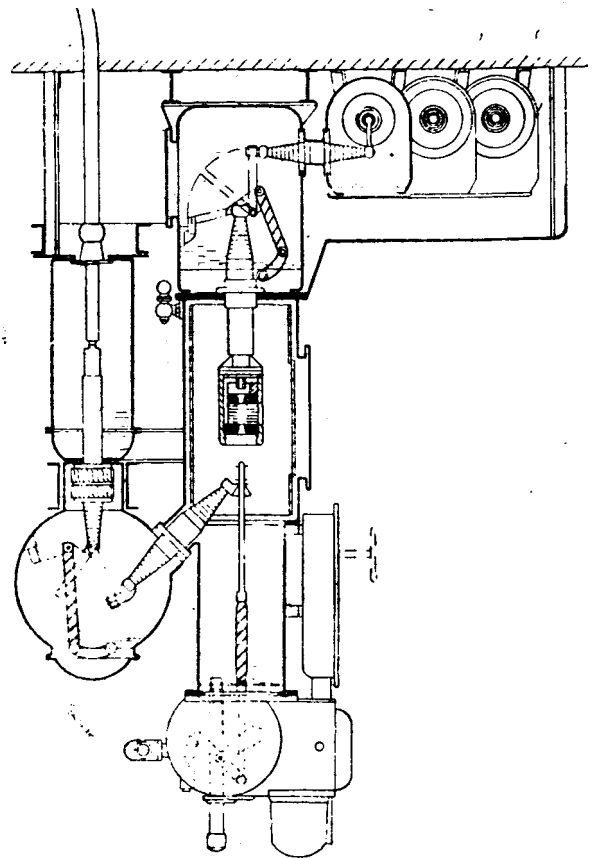


Рис. 5

этому в настоящий момент можно еще говорить об экстраполяции до 380 kV масляных выключателей, но исходить нужно при этом, конечно, не из тех устаревших и громоздких выключателей, для которых приведены кривые на рис. 3 статьи Л. Е. Машкиллейсона и Г. Т. Третьяка, относящимся к старым выключателям GE, а из выключателей, более современных, с габаритами и весами, уменьшенным благодаря масляному дутью, деионным решеткам, многократному разрыву и тому подобным средствам. Тогда масляные выключатели не будут, конечно, такими громоздкими, как показано на рис. 2, 3, 5 и 6 вышеуказанной статьи.

Однако, несмотря на то, что нельзя еще в настоящий момент совершенно отказываться от экстраполяции масляных выключателей с большим количеством масла, кажется маловероятным, чтобы этим выключателям принадлежало даже ближайшее будущее. Поэтому наиболее серьезное внимание нужно обратить на расширительные и газовые выключатели.

Одно время казалось, что из двух новейших типов выключателей—расширительного выключателя SSW и выключателя с газовым дутьем AEG, победа решительно и окончательно окажется на стороне первого. Однако газовый выключатель не сдал своих позиций и очень скоро настолько усовершенствовался, что, в особенности при очень высоких напряжениях, не только догнал, но, возможно, и перегнал экспансионный выключатель как по простоте конструкции, безопасности, так и по габаритам, весу и стоимости (рис. 3 и 4).

Поэтому кажется весьма странным, что в статье Л. Е. Машкиллейсона и Г. Т. Третьяка упоминаются совершенно нереальные в данный момент пустотные выключатели, но ни слова ни говорится о возможности экстраполяции выключателей с газовым дутьем, трудности изготовления которого были бы, вероятно, не больше трудностей изготовления расширительного выключателя на 380 kV.

Что касается последнего, нам кажется, что не следует останавливаться на двух разрывах на фазу и что нужно вести работу в направлении именно экстраполяции, а не каскада одного разрыва, так как навряд ли при соответствующей конструкции могут быть большие затруднения с изготовлением фарфора.

Резюмируя все сказанное выше, приходим к заключению, что главную работу по конструированию выключателя на 380 kV нужно вести в двух направлениях—в сторону экстраполяции расширительного выключателя и выключателя с газовым дутьем, не выпуская, однако, совершенно из вида масляного выключателя с применением к нему всех достижений современного аппарата и трансформаторостроения.

В заключение даем рисунок нового выключателя Metropolitan-Vickers на 66 kV с одним разрывом на фазу (рис. 5). В выключателе, предназначенном для бронированных устройств, применено поперечное масляное дутье¹⁾.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

О методе построения энергетических показателей¹⁾

Проф. С. А. Кукель-Краевский
Москва МЭИ

Система показателей, характеризующих производственную мощность, выработку, использование мощности, удельный расход топлива и удельные капитальные затраты, применяемые при перспективном и оперативном планировании электрификации, была в свое время разработана для изолированных конденсационных паровых электростанций.

На современном этапе развития электрификации СССР, при объединении электроцентралей в крупные энергоснабжающие системы сложной структуры, включающие гидростанции, а в особенности при все более широком значении тэц эта привычная система показателей не удовлетворяет своему назначению и часто не только не дает правильной оценки результатов электростроительства и эксплуатации, но дезориентирует экономистов и плановиков, пользующихся ими.

Это имеет место как для системы в целом, так и для изолированной теплоснабжающей электроцентрали (тэц).

Показатели, применяемые при планировании энергоснабжения, должны давать возможность: 1) сравнивать между собой различные энергоустановки (например, сравнивать производственные мощности или результаты эксплуатации); 2) сравнивать мощности или результаты эксплуатации одной и той же установки за ряд последовательных плановых периодов (месяц, квартал, год, пятилетка).

Ощущается большая потребность в синтетическом показателе производственной мощности тэц, отражающем не только ее возможности покрытия электрического графика потребления, но и ее возможности покрытия теплового потребления.

Наряду с электрической мощностью и произведенной энергией в планах и в статистических таблицах указывается величина отпуска с тэц тепла для теплоснабжения, выраженная либо в мегакалориях, либо в тоннах пара. Эти показатели, если к ним прибавить иногда отсутствующие указания на величину параметров теплоносителя, достаточны для характеристики потребления тепла. Но для анализа работы энергоснабжающей системы эти показатели совершенно недостаточны.

С энергетической точки зрения далеко не безразлично, каким путем получено отпущенное тепло. В плановых материалах, в статистических данных и даже в отчетах наших объединений приводится без всяких оговорок суммарная величина мегакалорий или тонн пара, отпущенного потребителю с тэц, отобранного от турбины и непосредственно дросселированного из котлов.

Для потребителя происхождение тепла безразлично, но для электроснабжающей системы в одном случае могло быть получено некоторое количество электроэнергии за счет добавочного топлива, в три раза меньше, чем на конденсационных центрах, а в другом случае от этого тепла электроэнергии могло быть вовсе не получено.

Здесь качественно — полная аналогия со случаем гидроэлектростанции, пропустившей часть водотока через турбину, а часть — через плотину. Для судоходства ниже плотины важно иметь некоторое количество,

воды, и совершенно безразлично, каким путем эта вода туда попала, но для энергохозяйства вода, прошедшая через турбины, дала некоторое количество энергии, а вода, перелившаяся через плотину, бесполезно потеряна.

Для планирования энергоснабжения совершенно необходимо знать, какая величина электроэнергетики была получена от отпущенного потребителям тепла, т. е. так называемая „выработка электроэнергии по тепловому графику“. Знание этой величины важно не только для оценки результатов эксплуатации тэц, но и для планирования распределения производства электроэнергии по отдельным центрам сложной системы, включающей гидроэлектростанцию. Необходимо знать и мощность по тепловому графику (теплофикационную).

Наличие этих двух показателей наряду с обычными электрическими показателями дает возможность оценивать значение и влияние работы центральных теплоснабжения и притом именно с точки зрения электроэнергетических систем.

В табл. 1 дан иллюстративный пример, показывающий, как нужно правильно исчислять показатели использования оборудования тэц.

Таблица 1

	Установленная электрическая мощность тэц 100 MW		
	1-й год	2-й год	3-й год
„ теплофикационная ²⁾ „	„	„	70 MW
Выработка электроэнергии (MWh/год)	500 000	500 000	500 000
В том числе теплофикационных	200 000	280 000	315 000
Головое использование электрической мощности (MWh/MW)	5 000	5 000	5 000
То же, теплофикационной	2 850	4 000	4 500
Годовой коэффициент использования электрической мощности (%)	57,2	57,2	57,2
То же, теплофикационной мощности (%)	32,5	45,7	51,4

Недостатком показателей теплофикационной мощности и теплофикационной годовой выработки является невозможность получения этих показателей непосредственно из наблюдений за исключением случаев наличия на тэц только турбин с противодавлением, когда теплофикационная мощность и выработка соответственно равны электрической мощности и выработке.

При обычном случае наличия турбин КО оба теплофикационных показателя должны быть вычислены по заданным величинам отпуска тепла и параметров пара, для чего, например, может служить приведенная на рис. 1 диаграмма³⁾.

В тех же случаях, когда по какой-либо причине часть необходимого для тепловых потребителей пара отпускается непосредственно из котельной путем дросселирования без предварительного пропуска через турбины, это сейчас же отразится на величине теплофикационных показателей, так как теплофикационная выработка централи понизится и соответственно понизится теплофикационный коэффициент использования.

При анализе отчетов станций в плановых органах, когда будут введены в практику предлагаемые пока-

²⁾ Максимальная электрическая мощность по тепловому графику.

³⁾ При проектировании тэц широко пользуются графиками теплового потребления, выраженными в электрических единицах, но в практике планирования, в отчетах и в статистических данных до настоящего времени ограничиваются указанием величины отпуска

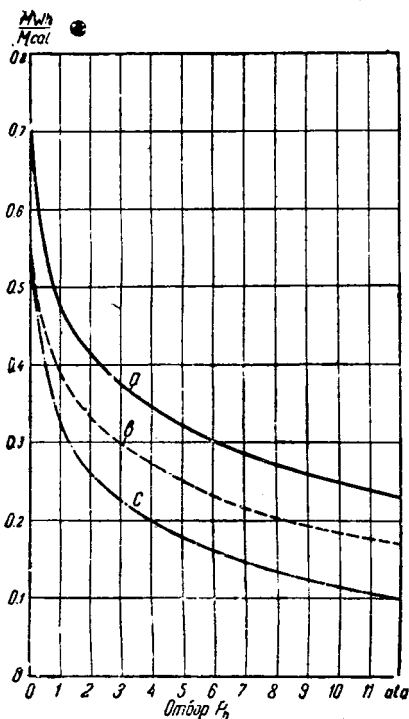


Рис. 1.

Кривые выработки энергии на зажимах генераторов на 1 Mcal отпуска тепла турбиной.

Начальные параметры пара у впуска в турбину:

- a—105 ата, 450° С (пром. перегрев 33 ата, 425° С),
- b—55 ата, 450° С,
- c—29 ата, 425° С.

затели, нетрудно оценить ухудшение использования тэц как источника комбинированной тепловой и электрической энергии от непосредственного отпуска тепла потребителя из котлов, даже если величина такого отпуска в отчете отсутствует.

Отношение показателя теплофикационной производственной мощности установки к показателю электрической производственной мощности можно назвать коэффициентом теплофикации. Он равен нулю для электроцентралей с одними турбинами К, единице для теплоэлектроцентрали с турбинами П или ПО и имеет промежуточное значение для электроцентралей с турбинами КО или с комбинацией турбин К и П (или ПО).

Введение в практику планирования системы теплофикационных показателей, аналогичной системе электрических показателей, наряду с ней (причем соответствующие показатели обеих систем выражаются в одних и тех же электрических единицах) устранил много недоуменных вопросов, на которые приходится отвечать энергетикам. Но тем не менее совершенно естественно возникает проблема выработки таких синтетических показателей, которые могут характеризовать процесс комбинированного производства электроэнергии и тепла в целом. Эта задача исключительно трудна и вообще может быть разрешена только путем допущения ряда условностей, так как тэц вырабатывает энергию различного качества.

На предложение автора следует смотреть только как на попытки найти отправные пункты для дальнейшей углубленной работы в этой области.

Имеются два пути для разрешения этой задачи:

1. Для технико-экономического сравнения различных типов и моделей оборудования, служащего одновременно для выполнения обеих функций тэц, можно исходить из условного выражения электроэнергетической производственной мощности котлов и частей турбин, рассматривая их как элементы энергетической цепи, т. е. как части комплектного агрегата котел-турбина⁴).

⁴ Этот метод применялся автором в нескольких работах, из которых укажем: 1) 1-ю главу книги «Принципы проектирования типовых электростанций» коллектива авторов под ред. проф. Н. И. Сукина, Энергоиздат, 1933 г. и 2) «Теоретические основы стандартизации энергооборудования», «Известия Энергетического института

Один и тот же котел может быть использован в качестве первого звена энергетической цепи в сопряжении с турбогенераторами типа К, КО, или П. В первом случае номинальной часовой производительности пара будет соответствовать наибольшая электрическая мощность сопряженного с котлом турбогенератора, в последнем случае наименьшая.

Предлагается оценивать электроэнергетическую производственную мощность котла по электрической мощности конденсационного турбогенератора стандартного типа, с которым этот котел мог бы быть сопряжен в одном комплектном агрегате.

Если впоследствии у нас будет осуществлен принцип агрегатности котел-турбогенератор, условность такого определения будет снята, но и в настоящее время такая оценка котельной мощности в электрических единицах в ряде случаев может быть полезна. Мы в настоящее время выполняем задачу изжить имеющуюся на многих станциях несоответствие котельной и генераторной мощностей. Для плановой работы с этой точки зрения очень удобно, если котельная мощность и генераторная мощность выражены в одних и тех же электрических единицах.

Электроэнергетическая производственная мощность котла могла бы быть принята в качестве синтетического показателя полной производственной мощности электроцентрали любого типа.

У конденсационной электроцентрали без котельного резерва энергетическая мощность при таком способе определения была бы равна электрической. У тэц с одними турбинами с противодавлением энергетическая мощность была бы больше электрической и тем больше, чем меньше величина теплового перепада в турбинах. Разность между энергетической и электрической мощностями характеризовала бы ту величину котельной мощности, которую пришлось поставить специально для теплоснабжения и которую можно было бы сравнивать с мощностью центральной котельной, необходимой для централизованного теплоснабжения тех же потребителей.

На этом принципе можно было бы построить систему энергетических показателей, параллельную привычной системе электрических показателей. Эта система энергетических показателей базировалась бы на котельной мощности, подобно тому как система электрических показателей базируется на мощности электрического генератора.

Принципиальным недостатком этого первого пути к построению системы энергетических показателей является определение производственной мощности энергетической цепи по таковой же мощности одного из звеньев, как это имеет место и в нашей системе электрических показателей.

Однако система энергетических показателей, таким образом построенная, обладает тем преимуществом, что она базируется на мощности того звена энергетической цепи (котла), которое является общим и для электроснабжения и для теплоснабжения, и потому динамика таких показателей несравнимо лучше отражала бы работу тэц, чем динамика электрических показателей.

2. Второй возможный способ для составления системы энергетических показателей для анализа работы электроцентралей и планирования сложных электроэнергетических систем заключается в соединении электрических показателей мощности (или выработки) и теплофикационных показателей мощности (или выработки). Поскольку оба показателя, электрический и теплофикационный, относятся к продукции различного качества, такое объединение их в один показатель чрезвычайно условно и может быть допу-

для практических целей и не приведет к тем ложным заключениям, которые получаются при применении лишь одних электрических показателей, и если таким путем удастся получить синтетические показатели, отражающие совокупное влияние всех факторов.

Простейший способ объединения электрических и теплофикационных показателей в один энергетический—простое арифметическое суммирование этих показателей—удовлетворяет всем вышеуказанным требованиям для получения синтетического показателя, оценивающего использование полной производственной мощности тэц (и по теплоснабжению и по электроснабжению).

Условимся считать мощность и выработку тэц по тепловому графику энергетическими эквивалентами работы тэц на теплоснабжение и вернемся для иллюстрации метода к примеру тэц на 100 MW, работающей в системе в течение трех лет с одной и той же годовой выработкой электроэнергии. Эта тэц может дать при полной электрической нагрузке 100 MWh/h, но сверх того она может дать тепло для потребителей и может быть нагружена до предела тепловой нагрузкой, если она в течение одного часа выработала по тепловому графику 70 MWh.

Будем считать ее максимальную энергетическую мощность равной сумме электрической и теплофикационной мощностей, т. е. $100 + 70 = 170$ MW. В течение года при полной нагрузке как электрической, так и тепловой она могла бы дать при отсутствии всяких простоев (даже для ревизии) $100 \cdot 8760 = 876\,000$ MWh электрической энергии и некоторое количество тепла, энергетическая ценность которого для системы оценивается выработкой по тепловому графику $70 \cdot 8760 = 612\,000$ MWh.

Синтетическим показателем потенциально возможной выработки электроэнергии и тепла на этой тэц, т. е. энергетической выработки, будем считать сумму $876\,000 + 612\,000 = 1\,488\,000$ MWh (условно, поскольку условен самый процесс сложения).

В течение первого года тэц выработала 500 000 MWh и в том числе 200 000 MWh по тепловому графику. Принимая условно эту последнюю величину за эквивалент теплоснабжения, получаем суммарную энергетическую выработку в 700 000 MWh и годовое использование энергетической производственной мощности $700\,000 : 170 = 4\,120$ MWh/MW или годовой коэффициент использования энергетической мощности $700\,000 : 1\,488\,000 = 0,47$.

Во втором году энергетическая выработка составит $500\,000 + 280\,000 = 780\,000$ MWh. Головое использование энергетической мощности $780\,000 : 170 = 4\,580$ MWh/MW. Коэффициент использования $780\,000 : 1\,488\,000 = 0,525$. За третий год энергетическая выработка будет $500\,000 + 315\,000 = 815\,000$ MWh. Годовое использование энергетической мощности $815\,000 : 170 = 4\,800$ MWh/MW. Коэффициент использования $815\,000 : 1\,488 = 0,546$.

В табл. 2 сопоставлены коэффициенты использования, получаемые по трем системам показателей: электрических, теплофикационных и энергетических.

Таблица 2
Годовые коэффициенты использования

	Г О Д А		
	1	2	3
Электрооборудования	57,2%	57,2%	57,2%
Оборудования для теплоснабжения	32,5	45,7	51,4

В отчетах и планах в настоящее время для нашего примера применялся бы только первый ряд коэффициентов, который, естественно, ничем не отразил изменений, происшедшего за три года в использовании той части основного фонда, который предназначается для теплоснабжения. Второй ряд коэффициентов, наоборот, отразил только эти изменения, и на его величину не повлияло постоянство в течение трех лет годовой выработки электроэнергии. Третий ряд коэффициентов—энергетических—отразил совокупное влияние динамики электроснабжения и теплоснабжения рассматриваемой тэц.

Вышеописанным способом можно построить стройную систему синтетических энергетических показателей для станции в целом и для объединения электроцентралей.

Энергетическая производственная мощность, полученная как сумма электрической и теплофикационной мощностей электроцентрали, всегда будет равна электрической для чисто конденсационных электроцентралей и будет равна удвоенной электрической мощности для комбинированных агрегатов котел-турбогенератор, если турбина чисто теплофикационная, и для тэц с одними такими турбинами. Для смешанных тэц, состоящих из турбин различных типов (К, КО, П и т. п.) и для агрегатов КО энергетическая производственная мощность будет больше электрической и меньше удвоенной электрической мощности. Соотношение между электрической и энергетической производственной мощностями для тэц, имеющей турбины КО, будет изменяться в зависимости от параметров отбора пара, что отражает фактическое изменение возможной роли такой тэц в теплоснабжении при одной и той же электрической мощности. Для тэц с полным отсутствием конденсационных частей соотношение между энергетической и электрической мощностями остается одинаково равным двум независимо от параметров. Между тем, чем выше тепловой перепад, тем при одной и той же электрической мощности тэц может дать меньше тепла для теплоснабжения. Это несоответствие является следствием нашей основной предпосылки, по которой мы оцениваем теплоснабжение не с точки зрения потребителя, для которого решающим фактором является количество тепла, а с точки зрения производителя комбинированной энергии, для которого наибольшее значение имеет величина электроэнергии, полученной от каждой мегакалории отпущенного тепла.

Рассмотрим теперь, каким образом можно было бы устранить противоречие, возникающее при оценке удельных капитальных затрат у тэц по величине электрической мощности. Зная количество пара, которое дает тэц, и приняв величину удельных капитальных затрат на тонну пара для центральной котельной низкого давления, мы должны вычесть эту величину из общего размера капитальных затрат на тэц и эту разность разделить на величину установленной электрической мощности.

Однако оперировать с центральной котельной во многих случаях для ориентировочных расчетов слишком сложно. Применение, указанное выше, энергетических показателей производственной мощности дает правильное соотношение между удельными капитальными затратами на 1 MW энергетической мощности.

Несмотря на то, что второй способ составления системы синтетических энергетических показателей, по-видимому, вполне пригоден для целей практического планирования, эта система требует еще большей дополнительной подготовки. Эту систему показателей когда она будет разработана, нужно применять не

однако, применение системы электрических показателей для оценки только электроснабжения.

В результате мы будем оперировать тремя параллельными системами показателей: старыми электрическими, главным образом, для оценки условий потребления электроэнергии, системой теплофикационных показателей для оценки условий потребления тепла и системой энергетических показателей для оценки комбинированного производства электроэнергии и тепла, т.е. всего производственного процесса в целом.

Ниже приводится сводка определений предлагаемых показателей.

Производственная мощность оборудования агрегата или электроцентрали (в мегаваттах)

1. Электрическая N_e —номинальная максимально длительная мощность, которая может быть фактически развита:

для электрического генератора—его номинальная мощность;

для конденсационного агрегата в целом—номинальная мощность электрического генератора;

для электроцентрали любого типа—сумма номинальных мощностей установленных электрических генераторов.

Этот показатель производственной мощности до настоящего времени применяется как единственный для всех агрегатов и электроцентралей.

2. Электроэнергетическая N_{en} : а) элементы оборудования—условная максимально длительная мощность, которая могла бы быть развита, если бы данный элемент оборудования составлял часть стандартного конденсационного агрегата котел-турбогенератор.

Он численно равен для котлов: номинальная часовая паропроизводительность (по стандарту без форсировки), деленная на часовой расход пара стандартного конденсационного агрегата, который был бы полностью нагружен до номинальной электрической мощности от такого котла. Для элементов турбины: максимальный часовой пропуск пара, деленный на часовой расход пара конденсационного агрегата, часть которого этот элемент теоретически мог бы составлять.

Для турбины в целом: электроэнергетическая мощность ее части высокого давления (у конденсационного агрегата, как правило, электроэнергетическая мощность равна номинальной мощности электрического генератора).

б) То же для электроцентрали: сумма электроэнергетических мощностей всех установленных котлов.

3. Теплоэнергетическая (для элементов турбин, целых турбин, агрегатов и электроцентралей $N_{in} = N_{en} - N_e$ —электроэнергетическая мощность за вычетом электрической—характеризует для частей турбин и целых турбин величину производственной мощности, которую пришлось установить специально для теплоснабжения.

Для целой электроцентрали этот показатель характеризует избыточную для электроснабжения производственную мощность; а) необходимую для теплоснабжения, б) необходимую для создания некоторого превышения резерва котельной мощности над резер-

вом генераторной мощности: в) неиспользуемую котельную мощность вследствие несоответствия котлов турбогенераторам⁵⁾.

4. Теплофикационная N_t —максимальная электрическая мощность, получаемая от данного элемента или комплекса по тепловому графику нагрузки при максимально возможной нагрузке его для целей теплоснабжения.

5. Энергетическая—(для агрегатов и электроцентралей) N_s —сумме электрической и теплофикационной производственной мощности ($N_s = N_e + N_t$).

Величина продукции агрегата или электроцентрали (в мегаватт-часах):

1. Электрическая W_e —суммарная выработанная за данный плановый (отчетный) промежуток времени величина электрической энергии, отнесенная к борнам электрического генератора.

2. Теплофикационная W_s —суммарная выработанная за данный плановый отчетный промежуток времени электрическая энергия по тепловому графику, отнесенная к борнам электрических генераторов.

3. Энергетическая W_s —суммарная выработка по электрическому и тепловому графикам, отнесенная к борнам электрических генераторов ($W_s = W_e + W_t$).

4. Конденсационная W_k —разность электрической и теплофикационной $W_k = W_e - W_t$.

Показатели годового использования оборудования или электроцентрали:

- 1. Электрический $h_e^{всм} = W_e : N_e$
- 2. Теплофикационный $h_t^{всм} = W_t : N_t$
- 3. Энергетический $h_s^{всм} = W_s : N_s$

Показатели удельных капитальных затрат на единицу производственной мощности:

- 1. Электрический
капитальные затраты / электрическая производственная мощность = $\frac{K}{N_e} = k_e$
- 2. Энергетический
капитальные затраты / энергетическая производственная мощность = $\frac{K}{N_s + N_t} = \frac{K}{N_s} = k_s$

Показатели удельных расходов топлива:

- 1. Электрический
расход топлива / выработка электроэнергии = $\frac{B}{W_e} = b_e$
- 2. Энергетический
расход топлива / энергетическая выработка = $\frac{B}{W_s} = \frac{B}{W_e + W_t} = b_s$

⁵⁾ 1. Отрицательное значение этого показателя сигнализирует наличие на данной централи недостатка котельной мощности и неиспользуемой по этой причине генераторной мощности.

2. Для комплектного конденсационного агрегата котел-турбогенератор этот показатель равен нулю (котельный резерв создается путем форсировки сверх нормальной паропроизводительности).

Х Р О Н И К А

Всесоюзный электротехнический институт (ВЭИ)

Несколько новых достижений в области электроизоляционных материалов

Элефантайд—многослойная прессованная бумага, производимая специальными машинами. Испытания показали замечательную однородность в структуре и очень стойкие величины электрической прочности, доходящей до 1450 В/мм при температуре 90° С после сушки и пропитки маслом. Однородность бумаги, вероятно, достигается центробежной сепарацией и фильтрацией дезинтегрированной бумажной массы при высоких скоростях и многослойностью при изготовлении элефантайда. Элефантайд применяется для производства трансформаторных цилиндров и трубок, газовой изоляции якорей и статоров и т. п.

Алкидные смолы—некоторое время известные под маркой „глиптала“—применялись сперва только в качестве клейких веществ и отделок. Лишь недавно получен опыт применения литых или твердых разновидностей этого материала. Алкидные смолы получают путем этерификации многоатомного спирта с многоосновными кислотами, причем свойства этих смол в некоторых отношениях сходны со свойствами льняного и тунгового масла, желатинизирующихся под влиянием тепла, если в соответствующих устройствах бывает предусмотрен выход улетучивающихся продуктов. Исследовательской работой лабораторий GE длительный процесс сушки алкидных смол (до 3 мес.) сокращен до нескольких часов. Получаемый продукт может формоваться, выдавливаться, строгаться, причем этих результатов достигают смешиванием 25% смолы, полученной в начальной стадии процесса, с 75% смолы конечной стадии с дополнением некоторых заполнителей. Красивого цвета продукт имеет электрические свойства, сходные со свойствами продуктов из феноло-формальдегидных смол, однако с тем отличием, что у алкидных смол не имеется тенденции к обугливанню под действием дуги.

Новые резиноподобные маслостойкие материалы, обладающие упругостью и вязкостью, свойственными резине, применяются ныне в качестве маслостойких прокладок. Этой цели служат различные резиновые компаунды, как например „тиокол“ (Thiokol) и „этанит“ (Ethanit), применяемые так же, как и специальные асбестовые листы, пропитанные алкидной смолой. На таблице приведены результаты сравнительного испытания маслостойких прокладок, погруженных в трансформаторное масло при температуре 100° С в процентах по сравнению с обыкновенной высококачественной резиной

Материал	Изменение в весе		Изменение в толщине	
	24 часа	7 дней	24 часа	7 дней
	В процентах			
Резиновые прокладки . .	34,38	10,1	26,14	53,79
Тиокол (амер.)	— 4,6	— 7,9	— 2,4	+ 6,7
Тиокол (англ.)	— 1,4	— 1,88	0,85	1,81
Патент Е. О.	— 1,13	— 1,23	0,16	1,0
Этанит	— 0,9	— 29,34	— 5,10	— 6,12
Алкидная смола	— 0,5	— 19,7	— 0,15	+ 0,3

БИБЛИОГРАФИЯ

ПРОБЛЕМЫ ИОНИФИКАЦИИ. Теоретические основы ионификации. Ионификация в птицеводстве. Редактор проф. А. Л. Чижевский. Книгоизд. Коммуна, Воронеж, 1933, ц. 2 р., тираж 2700 экз. стр. 485.

Хорошо изданный, солидный том под редакцией директора Центральной научно-исследовательской лаборатории по ионификации проф. А. Л. Чижевского производит с внешней стороны неплохое впечатление. Однако уже самый поверхностный его просмотр показывает, что его внутреннее содержание далеко не отвечает тем средствам, которые затрачены на его издание.

Так, например, на стр. 3 мы узнаем, что „внешним выражением богатейшей динамической жизни глубоких недр материи является вечное, самостоятельное, до известных пределов независимое от внешних причин движение молекул газа и жидкости“. Таким образом автор (А. Л. Чижевский) повидимому считает, что такие внешние причины, как давление и температура, не оказывают действия на движение молекул газа или жидкости, которые впрочем никак нельзя отнести к динамике глубоких недр материи. На следующей странице электромагнитные колебания отождествляются с потоком световых корпускул или фотонов, а на стр. 12 утверждается, что о присутствии ионов в газе по физическим свойствам этого газа судить нельзя, а только по его электропроводности. Если, таким образом, электропроводность не является физическим свойством газа, то что же она собой представляет? Такое утверждение, как будто бы

Алкидная смола не вызывала никакого обесцвечивания горячего трансформаторного масла.

Ролики, изготовленные из алкидной смолы и примененные в литографии, работают весьма долго и не обнаруживают каких-либо дефектов разбухания, свойственных резине.

Изоляция для магнитных проволок изготавливается из твердой алкидной смолы. Эта катушечная изоляция обертывается или опрессовывается вокруг медного провода в виде тонкого слоя, впоследствии подвергаемого обработке. Известен сорт изоляционной магнитной проволоки под названием „котапа“ (Cotopa), изолированный особо приготовленной хлопчатобумажной тканью, подвергаемой процессу двухдневного погружения в смесь (британский патент 280493) из 3 частей уксусного ангидрида, 5 частей уксусной кислоты при 15° С и 0,0025 части серной кислоты при 15° С и последующему выжиманию и сушке. Испытания в сырых сырых условиях показали, что котоба сохраняет цифру в несколько тысяч мегомов сопротивления изоляции, тогда как сопротивление изоляции натурального шелка, шелка „тусса“ (Tussah) или обыкновенного хлопчатобумажного покрытия быстро падает до нескольких сот мегомов. Проволока с бумажной изоляцией, получаемой в результате процесса „сваривания“ двух параллельных лент бумаги, под давлением в момент их прохождения между двумя особой формы валками, является более дешевой, нежели проволока со спирально обмотанной бумажной изоляцией.

Новая огнеупорная жидкая изоляция „пиранол“ была получена синтетическим путем в Америке. Обладая всеми преимуществами признанных минеральных изоляционных масел, применяемых для электрического оборудования в качестве изоляционной и охлаждающей среды, пиранол является также невоспламеняющимся и невзрывающимся. Эта жидкость сопротивляется окислению и не образует эмульсии с водой, причем, имея удельный вес, больший единицы, пиранол выгоняет воду в верхнюю часть сосуда. Эта изоляция не рекомендуется для прерывателей вследствие образования хлористого водорода под действием электрической дуги; применение же пиранола для трансформаторов должно учитывать известное растворяющее действие этой жидкости на некоторые материалы.

Материалом с низкими потерями, необходимым для высокочастотных аппаратов некоторых видов радиотехники, включая телевизию, служит „стирол“ или фенилоэтилен, вырабатываемый в виде белой смолы, водо- и кислотоупорной. Обычными растворителями являются этил-ацетат, тетрагидрид или бензолные продукты, как например, „тротилит“. Возможно, что потери в стиrole, действительно, уменьшаются с увеличением частоты ($\epsilon = 2,9$ и $\text{tg} \delta = 0,0002$).

Дерево для высоких механических напряжений, например, пропитанный бук, изготавливается в Голландии под названием „лигнастона“ (Lignastone). Получаемый в виде массы, этот бук имеет выдающиеся механические свойства, в некоторых случаях превышая 35 000 фунтов на 1 кв. дюйм (английские меры) при сопротивлении на разрыв и 11 000—18 000 фунтов на 1 кв. дюйм при сопротивлении на сжатие, в зависимости от направления волокна. Указывают на сходство свойств лигнастона со свойствами железного дерева (Lignum vitae).

А. П. Примаковский

конденсации и т. п. у ионов иная, чем у не ионизованных молекул. Через несколько строк далее говорится, что ионы будут иметь на правленную подвижность, т. е. будут двигаться в определенном направлении с определенной скоростью в газе без наложения электрического поля; на стр. 15 говорится, что ток насыщения в газе может длиться только некоторый промежуток времени, что, конечно, дает совершенно превратное представление о токе насыщения. На стр. 41 мы встречаем совершенно непонятные и неверные соображения о балансе энергии в индуктории, не говоря уже о том, что в формуле мощности забыт косинус угла между током и напряжением. На стр. 80 преподносится отнюдь не вытекающий из текста и противоречащий теории Тоусенда результат, что сила ионизационного тока пропорциональна квадрату приложенного напряжения и т. д. и т. п.

Этим, конечно, не исчерпываются все ошибки и погрешности, которые в изобилии заполняют эту книгу, не говоря уже о громадном количестве неточных выражений и формулировок, как, например, скорость всех молекул принимается равной 425 м/сек (стр. 3), вместо заряд говорится поток (стр. 70), неточно изображено изменение первичного и вторичного токов индуктории (стр. 41, рис. 1), встречается, например, в изобилии такие выражения „понижающий трансформатор кенотрон“ (стр. 49), мощная под-

Я думаю, что приведенного достаточно, чтобы охарактеризовать качества того материала из области физики, который содержится в трудах проф. Чижевского. Не будучи биологом, я затрудняюсь сказать, что испытывают цыплята, когда такой физический эфлювий вытекает на них из люстр проф. Чижевского, но на всякого понимающего читателя он производит весьма неблагоприятное впечатление.

Проф. В. Романов

NATIONAL ELECTRIC LIGHT ASSOCIATION, UNDERGROUND SYSTEMS REFERENCE BOOK, Изд. National El. Light Association, New-York, 1931, X, 377 стр., с многочисленными рисунками и таблицами в тексте, цена в переплете 4 долл.

В 1927 г. Американской осветительной ассоциацией был выпущен под названием „Overhead Systems Reference Book, капитальный труд, всесторонне охватывающий технику воздушной проводки и ставший необходимым справочным пособием всякого инженера, ведущего серьезную работу в области проектирования, постройки и эксплуатации воздушных линий. Рецензируемое издание, пожалуй, даже превосходящее эту прекрасную книгу солидностью и широтой охвата материала, преследует аналогичные цели в отношении подземных кабельных линий и призвано занять столь же почетное место в соответствующей специальной литературе. Книга является плодом шестилетней работы особого комитета (выделенного для ее издания в 1925 г. Американской осветительной ассоциацией), в состав которого вошли лучшие кабельные специалисты США. В результате перед нами 377 страниц убористого (по три столбца на странице) текста, с совершенно исключительной полнотой трактующего буквально все вопросы проектирования, монтажа и эксплуатации кабельных линий.

Содержание отдельных глав книги следующее: глава I—введение, глава II—кабели и кабельная изоляция, глава III—трубопроводы и кабельные колодцы, глава IV—укладка кабелей, глава V—соединение концов кабелей и ответвлений, глава VI—эксплуатация кабельных линий, глава VII—различное оборудование для подземных линий, глава VIII—техника безопасности. В приложении помещены данные о физических, химических и других свойствах материалов для изготовления кабелей.

Огромную ценность представляет помещенный в конце книги подробнейший (объемом около 1½ печатного листа) систематический указатель литературы не только по всем вопросам кабельного дела, но и по многим другим отделам техники электрических сетей. Наиболее ценно в книге то, что наряду с теорией всюду особое внимание уделено практической стороне проблемы. Авторы входят везде в мельчайшие детали кабельных линий, давая массу ценнейших указаний по технике монтажа, эксплуатации и испытанию кабелей. Достаточно подробное освещение получили в изложении и различные проблемы специальной кабельной техники—подводные, рудничные кабели и т. п. Вообще книга представляет неоценимый справочник, дающий исчерпывающий ответ на любой вопрос из области теории и практики кабельного дела. Конечно, применяемая на европейском континенте укладка кабелей непосредственно в земле затронута лишь вскользь; преимущественное внимание в книге уделено кабельным линиям, продолженным в блоках и трубопроводах—этому излюбленному американскому способу прокладки, который до последнего времени не находил применения для постройки кабельных линий сильных токов в СССР. Однако в процессе разработки проектов некоторых крупных объектов нашего строительства электротехнические круги Союза заинтересовались этим способом выполнения подземных линий (пока, главным образом, для промышленных сетей некоторых наших гигантских новых заводов).

Рецензируемая книга поможет нам использовать достижения американской техники в этой области, приспособив их к специфическим нуждам социалистического строительства.

По примеру других американских изданий книга отпечатана на прекрасной бумаге, иллюстрирована массой удивительно четких, наглядных рисунков (поясняющих все мелочи производства, устройства и монтажа кабелей) и снабжена роскошным переплетом. Цену книги надо назвать поэтому очень невысокой.

Проф. В. Хащинский

M. MALTI, ELECTRIC CIRCUIT ANALYSIS, Изд. John Wiley & Sons, New-York, 1930, 389, V стр., с многочисленными рисунками и таблицами, цена 4,50 долл.

Автор рецензируемой книги является одним из ближайших сотрудников известного американского (ролившегося в России и получившего в ней высшее техническое образование) электротехника В. Карапетова. Книга представляет собой курс теории переменных токов в весьма серьезной математической трактовке. Первые три главы посвящены изложению основ изображения величин в цепи переменного тока помощью комплексных количеств, векторных и синусоидальных диаграмм; глава IV содержит единицы и размерности, главы V—XI—исследование простых и сложных цепей; глава XII—трактует энергию и мощность в цепях переменного тока, главы XIII—XIV—несинусоидальные кривые, главы XV—XVI—многофазные системы, главы XVII—XVIII—неустойчивый режим; наконец, в главе XIX автор занимается цепями с распределенными самоиндукцией и емкостью.

В приложении помещены различные вспомогательные формулы и таблицы математических и физических величин.

Разбираемая книга характеризуется удивительной ясностью и наглядностью изложения, присущей американским книгам вообще и школе Карапетова в особенности.

Особенно исчерпывающей полнотой отличается изложение последних глав (XIII—XIX). Издана книга прекрасно; бумага, печать и рисунки не оставляют желать ничего лучшего. Многие рисунки заслуживают особого внимания по своей выдающейся наглядности.

Изложение теоретических положений иллюстрируется многочисленными вопросами для контроля усвоения и числовыми примерами. Следует пожалеть, что для последних в книге не приведены ни решения, ни, хотя бы, конечные результаты. Методические качества курса весьма высоки.

Книга представляет большую ценность для аспирантов, молодых преподавателей и других лиц, ищущих более глубокого усвоения теории переменных токов.

Проф. В. Хащинский

О КАТАЛОГАХ КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ВЭО ИЗДАНИЯ 1932—1933 гг.

Всесоюзное электротехническое объединение (ныне ВЭТ) последние 2—3 года проводит большую работу по подготовке и изданию каталогов, охватывающих все виды продукции ВЭО; значительная часть этих каталогов уже вышла в свет. С появлением этих каталогов должны отпасть справедливые и многочисленные жалобы клиентуры ВЭО на полное отсутствие информации о продукции отечественной электропромышленности. Однако качество каталогов как технического информационного материала находится не на должной высоте. В только что вышедшем из печати выпуске „Крановые электродвигатели переменного тока“ (издание ОНТИ, май 1933 г., тираж 10 000 экз.) приходится отметить небрежность, переходящую в техническую безграмотность.

В этом каталоге на стр. 7 авторы с последовательным упорством смешивают ток холостого хода электродвигателя с пусковым током. Они пишут: „ток холостого хода, или как еще говорят, пусковой ток“. Не смущаясь тем, что с точки зрения основ учения об электрических машинах понятие о токе холостого хода, именно как бы диаметрально противоположно понятию о пусковом токе, и что величины эти совершенно разные, авторы далее приводят для пускового тока формулу, как раз дающую величину тока холостого хода. Наконец, чтобы устранить у читателя всякое сомнение в том, что здесь не опечатка, на стр. 8 непосредственно за термином „пусковой ток“ следует в скобках „ток холостого хода“, как вполне равноценный ему синоним.

Нам кажется, что уже один приведенный ляпсус заслуживает того, чтобы данный каталог, или, по крайней мере, злополучные страницы 7—8 были изъяты из обращения. Однако дефекты издания этим не ограничиваются: печать небрежности лежит на всем его содержании. В тексте фигурируют такие словечки, как „шлиц паза“ вместо более принятого русского термина „щель паза“, „периодичность (?)“ вместо „число периодов в секунду“, „припад давлений“—очевидно, вместо „перепад давлений“ и т. д. В формулировках нет точности; например, на стр. 14 указывается, что под грузом синхронное число оборотов уменьшается, в то время как было бы правильнее просто сказать, что „при нагрузке число оборотов в минуту уменьшается“. Двумя строками ниже авторы предлагают „по особому заказу“ изготовлять электродвигатели с максимальным числом оборотов, в 2,5 раза превышающим синхронное число оборотов (!).

На фиг. 5 дана подпись „Значение коэффициента ускорения“ вместо „укорочения“. Векторные диаграммы на фиг. 7 и 9 неправильны. Надпись на фиг. 9 „Страна кольцевого коллектора“ может вызвать толкование недоумения. На стр. 23 даны две характеристики двигателей, причем кривые моментов обращены выпуклостями в разные стороны, чего в действительности не может быть.

Ничего кроме путаницы не может внести фраза „слишком большое насыщение приводит к увеличению скольжения и пускового тока, так что обмотка электродвигателя быстро нагревается и электродвигатель не дает мощности (?)“ (стр. 8).

В каталоге даются некоторые советы по уходу за электродвигателями. Так, например, на стр. 11 говорится: „железные кольца требуют большого ухода во время эксплуатации. Частая смазка и осмотр колец повышают надежность работы двигателя“. Нам думается, что в таком виде без указания вещества для смазки это наставление неприемлемо, и смазка контактных колец, например, маслом может привести к совершенно нежелательным результатам.

Для полноты картины остается еще только указать, что содержание каталога частично посвящено изложению дискуссионных, т. е. еще не вполне установившихся понятий, как, например, вопросу о наиболее выгодной степени укорочения двухслойной секционной обмотки; вполне очевидно, что такому материалу не место в каталоге, рассчитанном на широкое распространение в кругах потребителей, желающих знать проверенные данные о приобретаемом электрооборудовании и надежные характеристики его.

Рецензируемый выпуск по имеющимся сведениям не составляет исключения. Так, например, в несколько ранее вышедшем выпуске каталога по крановым электродвигателям постоянного тока (каталог КЭО № 1, октябрь 1932 г.) на стр. 7 и 8 находим грубо упрощенную трактовку вопроса о пересчете мощности кранового двигателя при изменении относительной продолжительности включения. Здесь рекомендуется во всех случаях пересчитывать мощность двигателя прямо пропорционально корню квадратному из обратного отношения соответствующих продолжительностей включения (tD). В то время как этот ориентировочный прием с известной натяжкой можно допускать для использования при небольших колебаниях величины tD , т. е. внутри и тервала 15—40%, авторы каталога выходят далеко за этот интервал, иллюстрируя свои положения примером на пересчете мощности с 25% ED на 100% ED , т. е. для длительного режима работы. Неудивительно, что получаемая, таким образом, мощность

$$N_{100} = N_{25} \sqrt{\frac{25}{100}} = 0,5 \cdot N_{25}$$

ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ

Новый способ изготовления кабелей для высоких напряжений, кабели под давлением, RGE, 24 июня 1933 г., стр. 838.

Чтобы получить кабель вполне устойчивым при повышении температуры, можно идти двумя путями: пропитывать материал диэлектрика веществом, настолько хорошо заполняющим все каналы в кабеле, чтобы вся изоляционная масса расширилась совершенно одинаково, или же изготовлять кабели так, чтобы вся масса кабеля находилась под некоторым давлением, которое доводило бы количество газов, заключенных в массе диэлектрика, до возможно малого предела.

Идя по второму пути, стали изготовлять кабели под давлением, помещая кабель обыкновенной конструкции в стальную трубку, наполненную газом под давлением. Секции такого кабеля длиной от до 10—14 м свариваются друг с другом автогеном в куски по несколько сот метров и в таком виде идут в дело. В известных местах ставятся компенсаторы расширения. Каждый кусок испытывается давлением и затем окрашивается специальной массой для защиты от коррозии. Когда такая секция положена на место, в нее вводится заранее приготовленный кабель. Для того чтобы он свободно входил в оболочку, достаточно иметь зазор между трубкой и кабелем в 5—10 мм. Когда кабель введен в трубку, туда впускают газ под давлением около 1,5 ат. При колебаниях температуры кабеля под действием протекающего тока его свинцовая оболочка играет роль эластичной мембраны, которая следует за изменениями объема изоляционной массы.

Лабораторные исследования показали, что свинцовая оболочка кабеля выносит без вреда такие изменения и что она до разрыва выдерживала 100 000 упругих деформаций с амплитудой в 0,16 мм. Продолжительная жизнь кабелей под давлением подтверждена практикой.

Для наблюдения за колебаниями давления газа в кабеле на нем в определенных местах устанавливаются манометры.

Опыты показали, что подобные кабели имеют большие преимущества перед обыкновенными, а именно: по ним можно пускать ток в 1,4—1,6 раза больший, чем по обыкновенным того же сечения, при этом напряжение может быть безопасно удвоено; перегрузка в 50—60° нисколько не вредит такому кабелю.

Инж. И. И. Тихонов

O. ZEIER, Пробой сжатых газов и жидкой углекислоты, „Annalen d. Physik.“, 5 Folge, Bd. 4, S. 415.

Работы предшествовавших Цейеру экспериментаторов почти исключительно относились к изучению диэлектрической прочности газов при давлениях до 50 kg/cm^2 . Цейер работал с воздухом, азотом и углекислотой, причем доходил до давления 120 kg/cm^2 .

С точки зрения лабораторной техники представляет довольно большой интерес описание экспериментальной установки Цейера. Однако эта установка здесь не затронуется, и лишь излагаются важнейшие результаты работы Цейера.

Как известно, основным законом для пробоа сжатых газов является закон Пашена:

$$U = f(ps),$$

где U —пробойное напряжение, p —давление и s —расстояние между электродами. При передаче p и ps в логарифмическом масштабе графики этой зависимости имеют прямолинейный вид.

Работа Цейера показала, что для воздуха (электроды—стальные шары диаметром 15 мм) при давлении $p = 1 \div 50 \text{ kg/cm}^2$ и $s > 0,3$ мм закон Пашена соблюдается точно. При возрастании p наблюдается отклонение в том, что рост пробойной крепости замедляется. На

значительно превосходит действительно допустимую, поскольку речь идет о крановых двигателях закрытого типа. Нам известно, что данная упрощенная трактовка в практике пользования рассматриваемым каталогом в проектных организациях уже несколько раз приводила к недоразумениям.

Ввиду изложенного нужно рекомендовать Редбазе ВЭО тщательно пересмотреть содержание как уже вышедших в свет каталогов, так и подготавливаемых к печати с тем, чтобы избежать брака в этом по существу правильно задуманном и полезном издании.

В каталогах ВЭО сравнительно широко развита вступительная описательная часть, так называемая „Технические пояснения“. Сделано это, очевидно, умышленно с целью придать каталогам характер руководств, которые бы позволили как многочисленным кадрам электриков в провинции, так и учащимся сознательнее подходить к вопросам, связанным с монтажом, эксплуатацией и ремонтом электрооборудования ВЭО. И эта вполне разумная цель, конечно, не будет достигнута, если остальные выпускаемые каталоги ВЭО по своему содержанию будут подходить на уже упомянутый выпуск „Крановые электродвигатели переменного тока“.

Инж. Л. Гейлер

при $p = 120 \text{ kg/cm}^2$ пробиваются при одном и том же напряжении 80 kV (все измерения пробойной крепости велись при постоянном напряжении). Сжатый до больших давлений воздух имеет большую диэлектрическую крепость, превосходящую крепость многих твердых диэлектриков; например, при $p = 120 \text{ kg/cm}^2$ и $s = 0,1$ мм диэлектрическая крепость составляет 2 500 000 V/cm (на рис. 1 приведена зависимость диэлектрической крепости воздуха от длины искрового промежутка). В тех случаях, когда электродами служили шары большего диаметра, отступления от закона Пашена начинались уже с более низких давлений. Наименьшее разбрасывание полученных значений (расхождение отдельных снятых точек—не свыше 1 ÷ 1,5%) наблюдались при шарах диаметром 15 мм; при увеличении диаметра шаров обнаруживалось и большее разбрасывание.

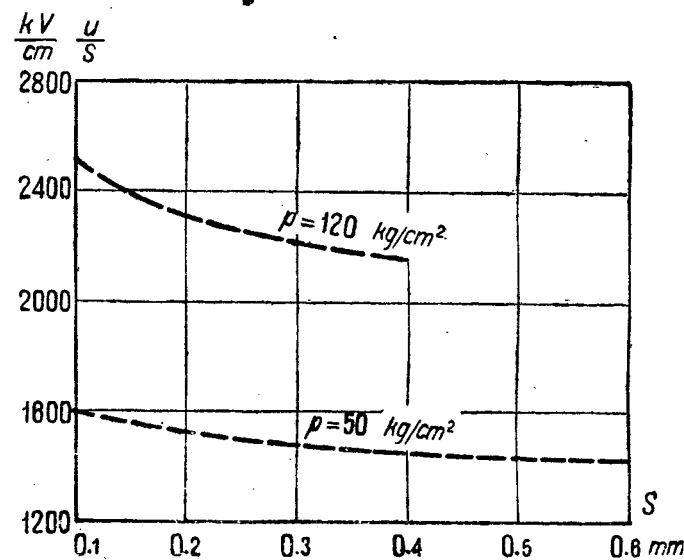


Рис. 1. Зависимость диэлектрической крепости воздуха от длины искрового промежутка при диаметре шаров 15 мм:

$$\frac{U}{s} = f(s)$$

При опытах с пробоем азота отклонения от закона Пашена отмечались уже для давлений p , начиная с 30 kg/cm^2 ; эти отклонения более значительны, чем для воздуха. Например, промежутки $s = 0,2$ мм при $p = 40 \text{ kg/cm}^2$ пробиваются напряжением 22 kV, а при 120 kg/cm^2 —напряжением 26 kV; как видно, разница в пробойных напряжениях незначительна. Следствием этого является то, что в сжатом азоте нельзя получить столь высокой пробойной крепости, как в сжатом воздухе.

Для углекислоты закон Пашена соблюдается строго лишь при давлении $p = 58,5 \text{ kg/cm}^2$, когда она при температуре опыта (20° C) переходит уже в жидкое состояние. При дальнейшем повышении давления до 120 kg/cm^2 пробойная крепость получает значения, близкие к значениям для газообразной углекислоты, причем закон Пашена продолжает соблюдаться с теми отклонениями, как и для воздуха, диэлектрическая крепость доходила до 1 000 000 V/cm.

Одинаковость диэлектрической прочности при пробое в жидкой

случае пробой происходит в газе—в каналах и пузырьках, образование которых подтверждалось непосредственными наблюдениями.

По мнению автора отступления от закона Пашена объясняются влиянием искажений поля при образовании объемного заряда у электродов ввиду малой диффузии.

Инж. Б. И. Тареев

Электрификация транспорта

Новые данные об электрификации железных дорог в Германии, „RGE“ 29 августа 1933 и „ETZ“ 17 августа 1933.

Закончены работы (начатые в 1931 г.) по электрификации участка длиной в 180 км от Аугсбурга до Штутгарта на магистрали Мюнхен-Штутгарт. Участок этот уже сдан в эксплуатацию. Его решено было электрифицировать, с одной стороны, ввиду международного значения названной магистрали, а с другой,—очень большого движения, объясняемого тем, что этот участок входит в состав большой артерии, соединяющей Вену с Мюнхеном и Парижем. Каков здесь размер движения, видно из следующих данных: в ходу ежедневно 67 пар поездов, пробег грузов в год—около $2,1 \cdot 10^9$ tkm

Благодаря введению на указанном участке электрической тяги получился следующий выигрыш во времени пробега поездов между Мюнхеном и Штутгартом (расстояние 242 км): для поездов экспресс — в 47 мин., а для скорых поездов — в 80 мин.

Электрификация указанного участка дорог стоила около 25 млн. руб., из которых приблизительно 67% израсходовано на неподвижные сооружения (линии электропередачи, трансформаторы, усиление мостов и пути, сигнализация), а около 33%—на тяговую и эксплуатационную части.

28 июня этого года здесь на участке между Мюнхеном и Аугсбургом была достигнута максимальная скорость в 151,5 км/ч, причем на более длинном участке до Ульма эта скорость равнялась 140 км/ч, а на более трудном участке Ульм-Штутгарт поезд проходил со скоростью от 130 до 125 км/ч. На подъеме в 25,5% длиной в 5 км у Гейсменгена его постоянная скорость выражалась 65 км/ч. Поезд состоял из 7 вагонов общим весом в 310 т. Опыт показал, что при скорости поезда около 141 км/ч тормозной путь равен приблизительно 1170 м. Из этого видно, что при ныне применяемом расстоянии между предварительным и главным сигналами машинист, ведущий поезд, должен быть очень внимателен, но тот же опыт показал, что скорость до 150 км/ч при наличии хорошего верхнего строения пути вполне допустима.

Инж. И. И. Тихонов

Реле и измерительные приборы

Н. А. WINNE, Радиационный пирометр с фотоэлементом, „Blast Furnace and Steel Plant“ № 1, 1933, стр. 36.

Контроль за температурой прокатки стали играет серьезную роль, в особенности при прокатке специальных сталей. Колебания температуры при прокатке могут повлечь нарушение размеров и конечной формы материала. Для измерения температуры металла, движущегося по рольгангу, и занесения ее на диаграмму необходим пирометр с очень малой собственной выдержкой времени. Радиационный пирометр с фотоэлементом удовлетворяет этому требованию; он использует излучающееся тепло горячего металла. Это излучение является весьма точным показателем температуры. В то время как полная энергия излучения раскаленного твердого тела изменяется пропорционально четвертой степени температуры, энергия излучения внутри видимого спектра фотоэлемента изменяется пропорционально одиннадцатой степени температуры при измерениях до 1100°C .

Фотоэлектрический пирометр состоит из фотоэлемента вакуумного типа и усилительной трубки пентатрона, предназначенной для усиления тока фотоэлемента, измеряемого микроамперами, до тока, измеряемого миллиамперами; при этом может быть применен любой миллиамперметр, градуированный в градусах температуры, или регистрирующий амперметр. Кроме того, аппаратура может содержать одно или более реле-тиратрон, при помощи которых можно осуществлять автоматическое управление различными цепями тока. Прибор может работать, как от сети в 60 пер/сек, так и при 25 пер/сек переменного тока, преобразуемого в постоянный при помощи выпрямительной трубки.

Пирометр с фотоэлементом применяется только для измерения температуры выше 820°C . Прибор необходимо смонтировать так, чтобы при измерении температуры поле зрения прибора было полностью закрыто поверхностью металла. Пока это условие выполняется, изменение расстояния между фотоэлементом и металлом не оказывает влияния на результаты измерения. Скорость реагирования фотоэлемента, усилителя (пентатрон) и реле (тиратрон) практически мгновенна. Только амперметры реагируют с опозданием, которое, однако, может быть доведено до незначительной величины.

C. V. DRYSDALE, Намечающийся прогресс электроизмерительных приборов, „JIEE“, № 437, мая 1933, стр. 365—384, 20 рис, 5 табл.

Известно, что электроизмерительные приборы почти все основываются на принципах, данных лордом Кельвином, Айртоном и Герри, но они не дали обобщенной основной теории их, которая дала бы возможность определить степень совершенства каждого прибора. Введение новых материалов: кобальтовой стали для постоянных магнитов, сплава никель-железо с высокой проницаемостью и низким гистерезисом, синтетической резины с ее ценными электрическими и формовочными характеристиками—дало громадный толчок к развитию эффективности и прогресса электроизмерительных приборов, все это привело автора к возможности дать обобщенную теорию и принципы расчета, приборов подобно тому, как это обычно делается для расчета динамомашии или двигателей.

Он рассматривает наиболее существенные требования, предъявляемые к электроизмерительным приборам, и приходит к заключению, что почти все они должны быть заполнены маслом или какой-либо другой жидкостью с высокой электрической крепостью и подходящей вязкостью, что дает надлежащее демпфирование без специального демпферного устройства, кроме того, получается автоматическое смазывание осей прибора; последние предохраняются от ржавчины, увеличивается охлаждение, что дает возможность безопасно увеличивать перегрузку; увеличивается также изоляционная крепость прибора. Недостатки его вследствие заполнения маслом (увеличение веса и недостаточная герметичность) в настоящее время частично преодолены.

Приложение разработанной автором теории к различным типам приборов, а именно: магнитоэлектрическим, электродинамическим, электромагнитным и электростатическим приводит его к чрезвычайно оригинальным выводам (в частности, например, для приборов с постоянными магнитами, автор предлагает совсем устранить подвижную катушку, заменив ее куском железа). Ставится вопрос относительно полного отказа от понижающей чувствительности прибора стрелки, для некоторых типов и заменой ее таким устройством, которое дало бы возможность получить показания прибора при помощи пучка света, бросаемого на шкалу плоским миниатюрным зеркальцем, укрепленным на оси подвижной системы. Такое устройство не только облегчает подвижную систему прибора, но и делает возможным дублировать отклонение подвижной системы, так что легко получить шкалу с углом около 270° ; кроме того, для одной и той же подвижной системы можно приспособить какую угодно большую шкалу без того, чтобы это дало какие-либо затруднения, обычно вытекающие вследствие необходимости устройства соответствующих длинных стрелок.

Из данной автором теории вытекает, что магнитоэлектрические приборы сейчас дошли до такой степени совершенства, что они еще надолго останутся наилучшими для точных измерений постоянного тока, так же как и для высокочастотных измерений переменных токов с применением к ним термопар и выпрямительных вставок. Затем следуют электромагнитные приборы, имеющие такой громадный успех, что могли бы вытеснить все остальные, если бы не их малая чувствительность к малым токам. Электродинамические приборы, вероятно, еще долго будут наиболее подходящими для ваттметров, употребляемых для стандартных измерений переменного тока, но они еще могут быть усовершенствованы введением сплава никель-железа; однофазные приборы с прецизионными трансформаторами могут практически быть употреблены почти для всех измерительных целей.

Электростатические приборы остаются для измерений очень высоких напряжений и для тех лабораторных измерений, где необходимо, чтобы потребление энергии было наименьшим.

Индукционные приборы могут быть улучшены и упрощены употреблением никель-железа для магнитных сердечников и введением для подвижной системы сплавов, имеющих небольшое сопротивление и низкий температурный коэффициент; но он, вероятно, останется стандартным типом для счетчиков.

Термические приборы имеют тенденцию исчезнуть и заменяются термопарами, употребляемыми совместно с магнитоэлектрическими приборами. Употребление для защиты магнитных полей сплава из никель-железа делает особенно необходимым его использование для всех точных электромагнитных приборов. Кроме того, заполнение прибора маслом дает последнему чрезвычайно высокие качества в смысле демпфирования, изоляции, хорошего охлаждения, смазки осей, защиты их от ржавчины и механических ударов.

Весьма популярными становятся логарифмические шкалы для обычных технических приборов; то же нужно оказать о миниатюрных типах приборов с длинной шкалой и рефлекторных приспособлений для больших шкал, все эти данные стоят того, чтобы быть принятыми во внимание.

Наконец, желательно, чтобы все, что касается электроизмерительных приборов, было вновь ревидировано с тем, чтобы число типов приборов уменьшить до минимума и дать возможность развернуться массовой продукции.

Инж. Л. Брауде

G. REBORA, Сопротивление воды и жидкостные реостаты с морской водой, „Elettrotechnica“, 1933, 15 июля, 466 стр.

Автором произведены измерения удельного сопротивления различных проб воды — естественной и искусственным образом очищенной — в зависимости от температуры.

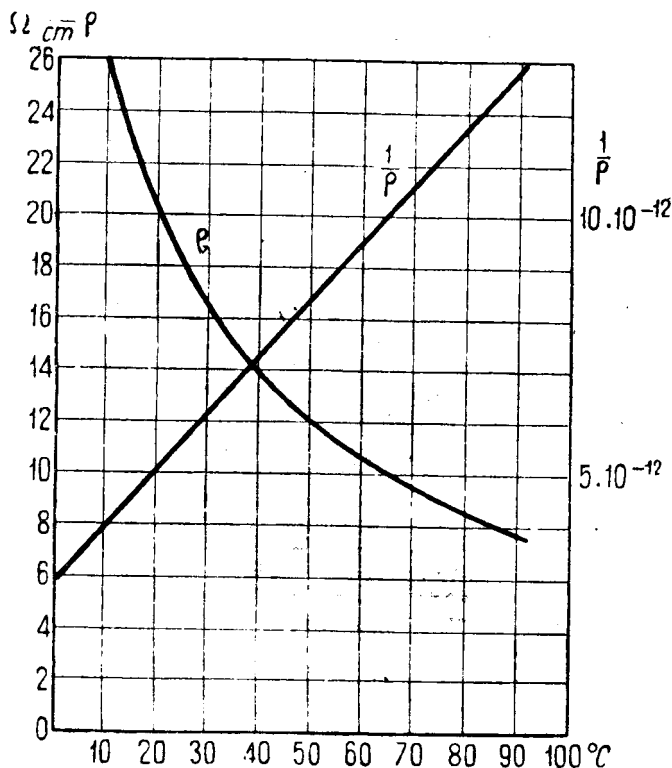


Рис. 1. Удельное сопротивление и проводимость морской воды в функции температуры

Для зависимости удельного сопротивления ρ от температуры t может быть применена приближенная формула

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + kt}$$

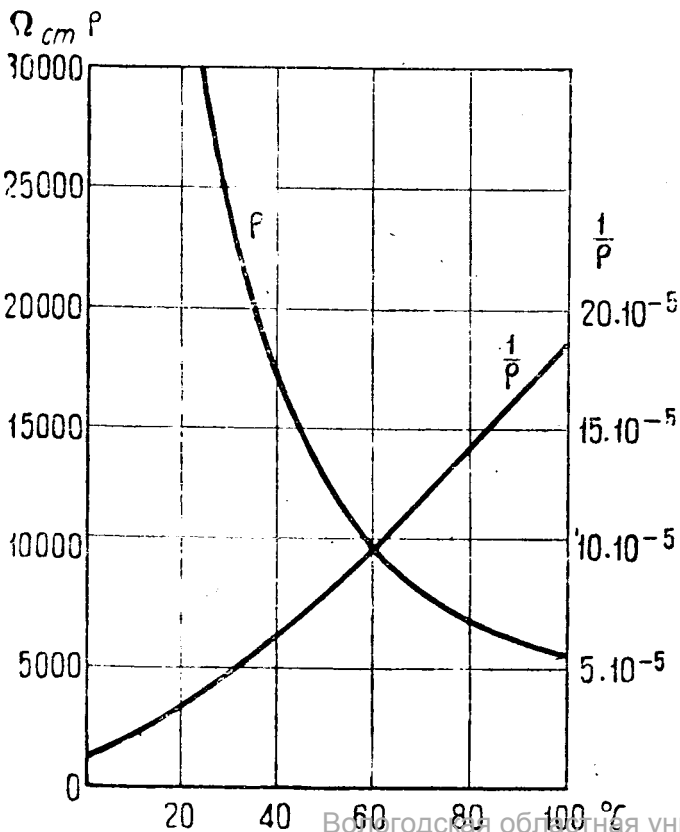


Рис. 2. Удельное сопротивление и проводимость технического

Здесь ρ_0 — удельное сопротивление при $t = 0$; для различных проб воды разного происхождения $k = 0,035 \div 0,065$. Из этой формулы для проводимости получается прямолинейная зависимость от температуры:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_0} + \frac{k}{\rho_0} t.$$

Сопротивление воды чрезвычайно колеблется в зависимости от ее чистоты. Наибольшие величины сопротивления для тщательно дистиллированной воды, как известно, были получены Кольраушем: $10^8 \Omega \text{cm}$ при 0°C и $2,5 \cdot 10^7 \Omega \text{cm}$ при 18°C . Отметим, что измерение электропроводности воды может служить удобным средством для контроля ее чистоты*). На рис. 1 приведены снятые автором зависимости ρ и $\frac{1}{\rho}$ от температуры для морской воды (Палермо), а на рис. 2 — то же для технического конденсата.

В качестве любопытного примера применения морской воды как предельно дешевого реостатного материала автор описывает опытное сопротивление, установленное на станции Porto Empedocle в Сицилии. Это — трехфазное сопротивление, соединенное в звезду; напряжение 3150 V, мощность, поглощаемая в сопротивлении, 3000 kW, частота 50 Hz. Конструктивно сопротивление выполнено из шести деревянных просмоленных стоящих на изоляторах ванн. Длина этих ванн — по 14 м, высота 0,4 м, ширина 0,8 м. Электроды железные, каждый состоит из трех пластин $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$; расстояние между электродами по длине ванны 9 м. Морская вода перекачивается в ванны небольшим насосом. Температура входящей в ванны воды при испытании была 19° , выходящей — 30° . 29 июля 1933 г.

Инж. Б. И. Тареев

Электроматериалы

Натрий как проводник электрического тока, „ETZ“, 29 июня 1933 г., стр. 626.

Один химический завод в Мидленде (САСШ) с 1 января 1931 г. имеет в эксплуатации электропровод для тока большой силы (4000 A), состоящий из железных труб, наполненных металлическим натрием. Провод состоит из двух железных труб диаметром 100 мм, наполненных натрием. Как этот электропровод устроен, как подвешен и как трубы наполнялись расплавленным натрием при применении азота, подробно доложил R. H. Boundy в Электрохимическом о-ве в Мидленде в сентябре 1932 г., причем он привел и данные подсчетов, сделанных им с целью сравнения натриевого проводника с медным кабельным. Как известно, сопротивление току у натрия почти в 3 раза больше, чем у меди, но за то его удельный вес в 9 раз меньше. В результате указанных подсчетов оказывается, что в данном случае при проводе длиной в 259 м натриевый провод дает около 9% экономии.

31 августа 1933.

Инж. И. И. Тихонов

Разное

Выбор наиболее выгодных размеров втяжных электромагнитов¹⁾ Эрик Яссе, „E. и M.“, № 45, 1932.

Втяжные электромагниты на постоянном токе, имеющие форму горшка, получили в технике сильных токов за последний десяток лет большое распространение. В цилиндрический кожух горшкообразной формы, обычно литой, помещена обмотка возбуждения. В основании кожуха имеется отверстие для сердечника. Сверху кожух закрывается крышкой с приливом, выполняющим назначение полюсного наконечника. В книге того же автора „Электромагниты“²⁾ приведен целый ряд построенных магнитов с указанием их размеров (у нас в СССР такие магниты известны под названием втяжных электромагнитов с замкнутой магнитной цепью).

Эти магниты обычно применяются в тех случаях, когда требуется развить определенную силу тяги. При этом имеется в виду ее значение в начальный момент, увеличение же силы при втягивании сердечника значения не имеет.

Подобные магниты привлекают внимание конструктора возможностью в очень широких пределах варьировать выбор отдельных размеров. При этом оказывается, что в известных случаях при постоянной силе тяги вес и размеры активной части и потребляемая мощность получаются меньше, чем в других.

Естественно возникает вопрос, как выбрать размеры электромагнита, чтобы при заданной подъемной силе получить наименьший вес и наименьший расход энергии. Очевидно, что это решение должно быть найдено, сохраняя заданный объем всего магнита.

*) См., например, J. Vassilière-Arlac, Le contrôle continu des eaux d'alimentation de chaudières, „L'industrie électrique“, 25 июня 1933, стр. 280 (Б. Т.).

¹⁾ Почти полное отсутствие на русском языке материалов по расчету магнитов побудило редакцию вместо краткого реферата на указанную статью Яссе дать ее обработанный перевод. Прим. ред.

В указанной книге приведено соотношение отдельных размеров, дающее наибольшую силу тяги при заданной мощности, или, что то же, минимальный расход энергии при заданной силе тяги.

Этой же задачей занимался Нейчед³⁾. В несколько иной форме ставил вопрос Гельмунд⁴⁾, но как доказал автор⁵⁾, его задачу можно свести к упомянутой выше.

Пфифнер⁶⁾ дает расчет ампервитков подъемного электромагнита, для которого при заданных силе тяги и потребляемой мощности стоимость будет минимальной. Это получается по его расчету в том случае, когда стоимость обмотки и железа равны. При этом им не принято во внимание, что средние длины должны изменяться, чтобы при постоянной потребляемой мощности менялся поток.

Дальнейшие исследования в этом направлении автору неизвестны, что и побудило его заняться этим вопросом.

На рис. 1 дан эскиз втяжного электромагнита, причем указаны только те размеры, которые нужны для расчета.

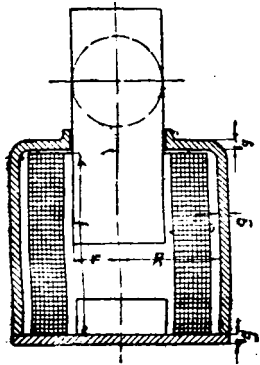


Рис. 1. Эскиз электромагнитов

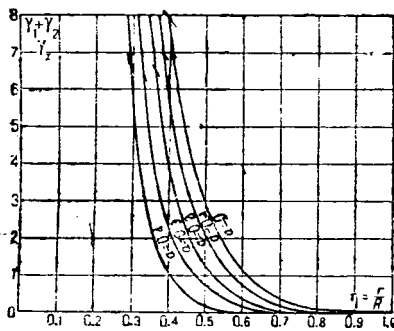


Рис. 2. Наиболее выгодные размеры при постоянных потерях

Если пренебречь потоком рассеяния и рассматривать только основной поток, то сила тяги, выраженная в абсолютных единицах, равна

$$K = 2 \pi \delta^2 \frac{\pi r^2}{y^2}, \quad (1)$$

где y —воздушный зазор, величина которого принимается постоянной, $\delta = I_m$ —ампервитки, I —сила тока и n —число витков.

Обозначим здесь через

$$x^2 = (\delta r)^2. \quad (1a)$$

Мощность, потребляемая обмоткой, равна

$$P = \frac{\rho l_m \delta^2}{\varphi Q}. \quad (2)$$

где l_m —средняя длина витка, Q —поперечное сечение, φ —коэффициент заполнения и ρ —удельное сопротивление.

Обмотка занимает не весь объем между сердечником и кожухом, так как должно быть оставлено место для изоляции, выводов и каркаса катушки. Обозначим через a необходимую для этого радиальную ширину, тогда поперечное сечение обмотки

$$Q = (R - r - a) l. \quad (3)$$

Если примем, что обмотка лежит посередине между кожухом и сердечником, то средняя длина витка

$$l_m = \pi \cdot (R + r). \quad (4)$$

Подставляя в уравнение (1a), имеем

$$x^2 = k \cdot \frac{r^2 (R - r - a)}{R^2 (R + r)}, \quad (5)$$

где k принимаем постоянным.

Определим теперь вес. Следует рассмотреть отдельно четыре части: обмотку, сердечник, кожух и, наконец, дно и крышку, которые мы объединим под названием крышек. Вес обмотки, состоящей, главным образом, из меди, равен

$$G_k = Q l_m \gamma_k = \pi l [R^2 - r^2 - Q (R + r)] \gamma_k$$

Вес сердечника при длине l равен

$$[G_i = \pi r^2 l_1 \gamma_i.$$

Для кожуха можно с достаточной точностью принять вес равным

$$G_Q = 2 \pi R b l \gamma_Q$$

и, наконец, вес обеих крышек

$$G_a = \pi R^2 2 b_A \gamma_a.$$

Величины b и b_A можно определить, исходя из того, что индукция в железе не должна превышать определенного характерного для данного материала значения. Считая величину магнитного потока постоянной, можно написать следующее равенство:

$$\pi r^2 B_i = 2 \pi r b_1 B_a = 2 \pi R b B_a.$$

Тогда полный вес электромагнита

$$G = \pi l [R^2 - r^2 - Q (R + r)] \gamma_a + \pi r^2 l_1 \gamma_i + \pi r^2 l \frac{B_i}{B_a} \gamma_o + \pi R^2 r \frac{B_i}{B_a} \gamma_d. \quad (6)$$

Для упрощения выражения введем следующие обозначения:

$$\gamma_1 = \frac{l_1}{l} \gamma_i; \quad \gamma_2 = \frac{B_i}{B_a} \gamma_o; \quad \gamma_3 = \frac{B_i}{B_a} \gamma_d.$$

и подставив их в уравнение (6), получим

$$G = \pi l [R^2 - r^2 - Q (R + r)] \gamma_k + \pi r^2 l (\gamma_1 + \gamma_2) + \pi R^2 r \gamma_3 \quad (6a)$$

Условимся под наиболее выгодными размерами понимать такие, при которых при заданном расходе энергии электромагнит имеет максимальную силу тяги и одновременно минимальный вес.

Это приводит к тому, что отношение $x^2 \cdot G$ должно быть по возможности большим. Для этого, очевидно, производная этого отношения должна равняться нулю. За независимую переменную примем радиус сердечника r ; остальные величины в этом случае имеют постоянные значения.

Другими словами

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{x^2}{G} \right) = \frac{1}{G^2} \left[G \frac{dx^2}{dr} - x^2 \frac{dG}{dr} \right] = 0$$

или после преобразования

$$\frac{1}{x^2} \cdot \frac{dx^2}{dr} = \frac{1}{G} \cdot \frac{dG}{dr}. \quad (7)$$

Из уравнения (5) после некоторых преобразований и подставляя обозначения $\eta = \frac{t}{R}$ и $d = \frac{Q}{R}$, имеем

$$\frac{1}{x^2} \cdot \frac{dx^2}{dr} = \frac{2}{R} \cdot \frac{1 - \eta - \eta^2 - d - \left(\frac{d}{2}\right) \eta}{\eta (1 + \eta) (1 - \eta - d)} \quad (8a)$$

и из уравнения (6a) имеем

$$\frac{1}{G} \cdot \frac{dG}{dr} = \frac{2}{R} \cdot \frac{-\left(\eta + \frac{\alpha}{2}\right) \gamma_k + \eta (\gamma_1 + \gamma_2) + \frac{R}{2} l \gamma_3}{[1 - \eta^2 - d (1 + \eta)] \gamma_k + \eta^2 (\gamma_1 + \gamma_2) + \frac{R}{l} \gamma_3 \eta} \quad (8b)$$

Приравняв эти два выражения, можем определить значение, удовлетворяющее вышеупомянутому условию.

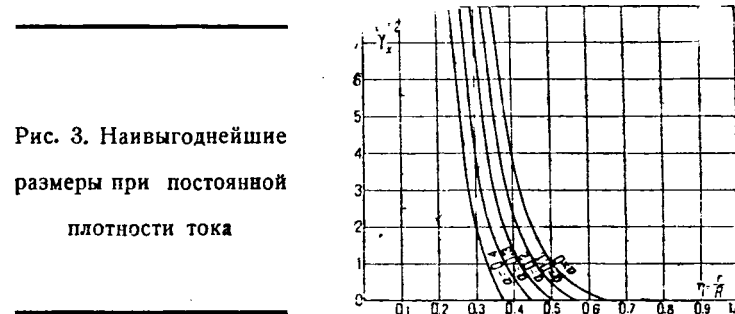


Рис. 3. Наиболее выгодные размеры при постоянной плотности тока

Мы несколько упростим задачу. Дело в том, что вес крышек, вообще говоря, составляет незначительную часть всего веса, и мы исключим его из дальнейших расчетов тем, что приравняем $\gamma_3 = 0$. Тогда после некоторых преобразований получим следующее выражение:

$$\frac{(\eta - 1 + \alpha) (1 + \eta)}{\eta^3 \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right)} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\gamma_k}. \quad (9)$$

На рис. 2 правая часть этого уравнения дана в зависимости от η для различных значений α .

Пренебречь весом крышек можно не всегда, так, например, у подъемных электромагнитов он составляет уже значительную часть общего веса, так как форма их обычно очень плоская и широкая. В этом случае следует рассматривать выражение (8b) полностью, так что кроме α войдет еще параметр $\frac{R \gamma_3}{l \gamma_k}$.

Если не будем задаваться требованием минимального веса, то следует приравнять нулю выражение (8a) или, что то же, числитель его правой части. При этом

$$\eta = \frac{t}{R} = \frac{2}{2} \left[\sqrt{5 - 3\alpha + \frac{d^2}{4}} - 1 - \frac{\alpha}{2} \right]. \quad (10)$$

3) „El. W.“, № 50, 1907.

4) „ETZ“, № 24, 1903.

5) „E. и M.“, № 28, 1910.

6) „ETZ“, № 33, 1912.

Для случая $\alpha = 0$ получим уже известное значение

$$\frac{r}{R} = \frac{1}{2} \gamma_5 - \frac{1}{2} = 0,618.$$

Некоторые конструкторы при расчете обмотки электромагнитов исходят из значений допустимых плотностей тока. Если исходить из этого фактора, то можно выставить требование найти размеры электромагнита, имеющего максимальную силу тяги при минимальном весе и при заданной плотности тока. Если плотность тока обозначить через S , то

$$\vartheta = SQ = S(R - r - Q) b$$

или
$$x = \vartheta r = S(R - r - Q) = SR^2 l \eta (1 - \eta - \alpha), \quad (11)$$

далее имеем

$$\frac{1}{x^2} \frac{dx^2}{dr} = \frac{2}{R} \cdot \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{d\eta} = \frac{2}{R} \cdot \frac{1 - 2\eta - \alpha}{\eta(1 - \eta - \alpha)}. \quad (12)$$

Согласно равенству (7) приравняем выражение (12) выражению (8b). После некоторых преобразований получаем

$$\frac{1}{\eta^3} (1 - \eta - \alpha) \left(1 - \eta - \frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2} \eta \right) = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\gamma_k}. \quad (13)$$

Зависимость правой части этого уравнения от η для различных значений α приведена на рис. 3.

Сравнение рис. 2 и 3 показывает, что для постоянной плотности тока получается меньшее сечение сердечника, чем для постоянной потребляемой мощности. На что же следует ориентироваться?

Решающее значение имеет в конце концов температура обмотки, так как нагрев для заданной изоляции не может превышать определенной величины. Поверхностью охлаждения для катушки будет при естественном охлаждении поверхность кожуха, радиус которого мы условились считать постоянным. Следовательно, потери можно считать постоянными и ориентироваться на рис. 2, если нет особых требований, предъявляемых к плотности тока. Определим, чему равны численные значения правой стороны уравнений (9) и (13). Обычно

длина сердечника берется больше длины катушки, для того чтобы возможно лучше использовать силу тяги.

Возьмем для простоты $l_1 = l$.

Удельный вес стального сердечника $\gamma_1 = 7,8$. Если кожух также стальной, то и $\gamma_2 = 7,8$, и индукции в сердечнике и кожухе равны. При медной проволоке

$$\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\gamma_k} = \frac{7,8 + 7,8}{8,9} = 1,75.$$

Для этой величины и следует подбирать отношение радиусов.

Если кожух чугунный, то индукция в нем в два раза меньше, чем в сердечнике и

$$\gamma_2 = 2 \cdot 1,5 = 15.$$

Тогда

$$\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\gamma_k} = \frac{7,8 + 15}{8,9} = 2,56.$$

При алюминиевой проволоке $\gamma_k = 2,7$; следовательно, правая часть уравнений при стальном кожухе равна $\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\gamma_k} = 5,8$, и при чугунном

$$\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\gamma_k} = 8,5.$$

Отсюда следует, что выбор материала имеет большое влияние на значение наилучших размеров.

В заключение отметим, что вышеприведенный расчет может быть также применен для выбора магнита, исходя из его стоимости.

Для этого вес отдельных деталей следует умножить на коэффициент, представляющий собой стоимость единицы веса материала. При этом уравнения (9) и (13), а также рис. 2 и 3 остаются без изменений. Следует только все удельные веса, которые все равно пересчитаны с учетом длины сердечника и величины индукции, умножить еще на коэффициент, учитывающий их стоимость.

Инж. М. Б. Левин

К XVII СЪЕЗДУ ВКП (б)

ВЫПУЩЕН СБОРНИК

„СИЛЬНОТОЧНАЯ ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТЬ НА РУБЕЖЕ 2-й ПЯТИЛЕТКИ“

Сборник посвящен вопросам производства и техники высокопроизводительной электропромышленности и работе ее по технической реконструкции народного хозяйства, давая освещение состояния всех основных ее отраслей и особенно ее новых производств.

СБОРНИК СОСТОИТ ИЗ СЛЕДУЮЩИХ РАЗДЕЛОВ:

1. Электропромышленность сильных токов к началу 2-й пятилетки (Экономический обзор).
2. Электропромышленность—база электрификации.
3. Электрификация промышленности.
4. Электрификация транспорта.
5. Светотехника.
6. Научно-исследовательская работа.

В СБОРНИКЕ ПРИНЯЛИ УЧАСТИЕ:

П. Д. Алаторцев, Александров, А. Е. Алексеев, О. Е. Аронов, Н. И. Борисенко, О. Б. Вильнер, В. А. Витке, Н. Е. Герман, Л. И. Гольдмерштейн, Е. Ф. Добролюбов, П. Н. Иванов, И. Ю. Каплан, Н. Ф. Карпычев, В. К. Крапивин, Б. И. Луговской, Р. А. Лютер, Д. К. Минов, М. И. Московский, А. М. Николаев, Н. Ф. Перевозский, В. И. Поз, В. Г. Прелков, С. И. Рубинштейн, А. Д. Степанов, С. С. Стукалов, М. Д. Суховольский, А. М. Харин, М. А. Шевцов и В. А. Шибакин.

Объем сборника—372 стр., 224 иллюстрации. — Цена в коленкорном переплете — 5 руб.

ЗАЯВКИ НАПРАВЛЯТЬ в Редбазу ВЭТ—Москва, Ильинка, Ипатьевский пер, 2.

ОНТИ—ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Технич. редактор Г. Г. Андреев

РЕДКОЛЛЕГИЯ: инж. Е. С. Аватков, проф. В. И. Вейц, инж. В. Н. Глазнов, инж. М. Н. Грановская, инж. Я. А. Климовидкий, акад. Г. М. Кржижановский, инж. И. С. Палацын, М. И. Рубинштейн, инж. Н. А. Сазонов, проф. М. А. Шателен, проф. Я. Н. Шильрейн.

ОТВ. РЕДАКТОР инж. Н. А. Сазонов.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

ОНТИ**ЭНЕРГОИЗДАТ**

ОТКРЫТА ПОДПИСКА НА 1934 ГОД
на ежемесячный научно-технический журнал

Электрические станции

ОРГАН ГЛАВЭНЕРГО

5-й ГОД ИЗДАНИЯ

12 НОМЕРОВ В ГОД

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА: Общие технико-экономические проблемы планирования. Освещение отдельных планов электрификации наиболее характерных районов Союза. Общий план электрификации. Технические проблемы электрификации. Критический анализ отдельных проектов крупного электростроительства. Стандартизация и типизация. Описание и критический разбор строительных и монтажных работ. Новые типы и конструкции оборудования. Описание аварий и методы их ликвидации. Организация эксплуатации. Подготовка кадров. Организация ремонтного хозяйства. Режим работы станций. Распределение нагрузки. Регулирование напряжений. Распределение энергии в крупных городах. Вопросы расхода на собственные нужды. Обеспечение надежности параллельной работы станций. Организация диспетчерской службы и опыт ее работы. Централизация управления и применение автоматических приборов. Статистика, информация, библиография, хроника.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН: на инженеров, квалифицированных техников, учащихся вузов, научно-исследовательские институты, проектирующие организации.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. Отдельный номер 1 р. 50 к.

ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ и ДЕНЬГИ НАПРАВЛЯЙТЕ ПО АДРЕСУ: Москва, Центр, Ильинка, проезд Владимирова (Юшков пер.), 4, Главной конторе периодических и подписных изданий ОНТИ „Техпериодика“.

ПОДПИСКА ПРИНИМАЕТСЯ: отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими удостоверениями, общественными сборщиками подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а, всеми почтовыми отделениями и письмомоносами.

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ 1934 г.: с 1 января 1934 г. Главной конторой Техпериодики ОНТИ организована специальная экспедиция для обеспечения аккуратной и своевременной рассылки журналов подписчикам.

С жалобами на неаккуратное получение журнала 1934 года обращайтесь непосредственно в адрес конторы. В 1934 году все журналы ОНТИ будут экспедироваться по ярлычной (адресной) системе.

ОНТИ**Энергоиздат**

ОТКРЫТА ПОДПИСКА НА 1934 ГОД

на ежемесячный научно-технический журнал Главэнерго

ТЕПЛО и СИЛА

ГОД ИЗДАНИЯ 10-й

ЗАДАЧИ ЖУРНАЛА:

Борьба за создание советского энергооборудования, борьба за освоение энергоустановок и рациональную постановку их эксплуатации, помощь ИТР в деле повышения своей квалификации и помощь студентам вузов, основанная на увязке работ научно-исследовательских институтов, работы заводов-изготовителей и опыта эксплуатации станций и промстановок.

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА:

Советское энергооборудование и пути его развития. Освоение оборудования и нормальные режимы его эксплуатации. Эксплуатация энергоустановок, ее организация и обмен эксплуатационным опытом. Оценка конструкций оборудования с точки зрения надежности, экономичности и удобства эксплуатации. Потребление энергии и тепла в промышленности и разрешение проблемы тепломатроснабжения промкомбинатов. Комбинированное производство тепла и энергии, теплоэлектроцентрали и тепловые сети. Топливо СССР и особенности его сжигания. Освоение местных топлив. Вопросы экономии топлива. Аварии, их предупреждение и ликвидация.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. Отдельный номер—1 р. 50 к.

Подписку на журнал и деньги направляйте по адресу: Москва, Центр, Ильинка, проезд Владимирова (Юшков пер., 4.) Главной конторе периодических и подписных изданий ОНТИ „Техпериодика“.

ПОДПИСКА ПРИНИМАЕТСЯ отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими удостоверениями, общественными сборщиками подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а, всеми почтовыми отделениями и письмомоносами.

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ 1934 года: с 1-го января 1934 г. Главной конторой Техпериодики ОНТИ организована специальная экспедиция для обеспечения аккуратной и своевременной рассылки журналов подписчикам.

С жалобами на неаккуратное получение журнала 1934 г. обращайтесь непосредственно в адрес конторы. В 1934 году все журналы ОНТИ будут экспедироваться по ярлычной (адресной) системе.

ОНТИ ЭНЕРГОИЗДАТ

ОТКРЫТА ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ на 1934 год

ИЗВЕСТИЯ ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ СЛАБОГО ТОКА

Орган Всесоюзного объединения электро-слаботочной промышленности (ВЭСО).

Расчитан на инженеров, техников, студентов и высококвалифицированных рабочих.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—12 р., на 6 мес.—6 р. Отдельный номер—1 р. 20 к.

10 номеров в год

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Орган Главэнергопрома
ВЭНИТО и Энергетического
института академии наук СССР.

Расчитан на квалифицированных работников электропромышленности и электрохозяйства.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—25 р., на 6 мес.—12 р. 50 к., на 3 мес.—6 р. 25 к.
Отдельный номер—1 р. 25 к.

20 номеров в год

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ОРГАН
ГЛАВЭНЕРГО

Расчитан на инженеров-энергетиков и учащихся вузов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. Отдельный номер—1 р. 50 к.

12 номеров в год

ИЗВЕСТИЯ ВСЕСОЮЗНОГО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

имени
Ф. Дзержинского
Орган ВТИ имени Ф. Дзержинского.

Расчитан на инженеров, техников, студентов вузов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—20 р., на 6 мес.—10 р., Отдельный номер—2 р.

10 номеров в год

ДИЗЕЛЕСТРОЕНИЕ

Орган Всесоюзного дизельного объединения, научно-исследовательского института дизельостроения и научно-технических обществ дизельостроителей.

Расчитан на ИТС заводов, сотрудников институтов, преподавателей вузов и техникумов и инженерно-технический персонал дизельных установок и судов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—10 р. 80 к., на 6 мес.—5 р. 40 к., Отдельный номер—1 р. 80 к.

6 номеров в год

ТЕПЛО и СИЛА

ОРГАН
ГЛАВЭНЕРГО

Расчитан на инженеров-энергетиков, инженерно-технических работников электростанций и студентов вузов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к.
Отдельный номер—1 р. 50 к.

12 номеров в год

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Орган Гидроэлектропроекта, Сектора водных ресурсов Госплана СССР, Гидронте, Института гидротехники и гидроэнергетики, исследовательского института строительной гидротехники и инженерной гидрологии, Союзводострой и Средволгострой

Расчитан на инженерно-технических работников, занятых производством и эксплуатацией гидротехнических сооружений.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—15 р., на 6 мес.—7 р. 50 к. Отдельный номер—1 р. 50 к.

10 номеров в год

ВЕСТНИК КОЧЕГАРА

Ежемесячный массовый журнал Государственного центрального бюро по обучению рабочих теплосилового хозяйства.

Расчитан на кочегаров стационарных и судовых котельных установок, на машинистов, на низший и средний административно-технический персонал.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—3 р. 80 к., на 6 мес.—1 р. 80 к., на 3 мес.—90 к. Отдельный номер—30 к.

12 номеров в год

ВЕСТИК ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ ОРГАН ГЛАВЭНЕРГОПРОМА

Расчитан на инженерно-технический персонал заводов ВЭТ и инженеров электротехников.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. Отдельный номер—1 р. 50 к.

12 номеров в год

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОЗРЕНИЕ Выпуск ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ РЕФЕРАТНЫЙ ОРГАН ГЛАВЭНЕРГО

Расчитан на инженеров и техников.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—12 р., на 6 мес.—6 р. Отдельный номер—1 р. 20 к.

10 номеров в год

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ и ЭЛЕКТРОМОНТЕР

Орган Главэнергопрома

Расчитан на квалифицированного электромонтера, младший и средний персонал и прорабов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—8 р. 40к., на 6 мес.—4 р. 20к., на 3 мес.—2р. 10к. Отдельный номер—70к.

12 номеров в год

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОЗРЕНИЕ Выпуск ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РЕФЕРАТНЫЙ ЖУРНАЛ ГЛАВЭНЕРГО.

Расчитан на инженеров-теплотехников.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—12 р., на 6 мес.—6 р. Отдельный номер—1 р. 20 к.

10 номеров в год

ВЕСТИК КОТЛОТУРБИНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Орган Всесоюзного научно-исследовательского института тепло-гидротехнического оборудования, Центрального котельного конструкторского бюро МТУ и заводов Главэнергопрома.

Расчитан на инженерно-технический персонал заводов и научно-исследовательских институтов котлотурбостроения

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—12 р., на 6 мес.—6 р. Отдельный номер—2 р.

6 номеров в год

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА

Орган Главэнергопрома и постоянного бюро с'ездов по электрификации жел. дорог.

Расчитан на квалифицированного рабочего, техника, студента, мастера и инженера, работающих по электрической тяге.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—12 р., на 6 мес.—6 р. Отдельный номер—2 р.

6 номеров в год

СВЕТОТЕХНИКА

Орган Главэнергопрома и Светотехнической секции ЭНИА

Расчитан на инженеров, техников, студентов, квалифицированных рабочих и мастеров.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—6 р., на 6 мес.—3 р. Отдельный номер—1 р.

6 номеров в год

МАШИНИСТ

Ежемесячный массовый журнал Государственного центрального бюро по обучению рабочих теплосилового хозяйства.

Расчитан на машинистов стационарных и подвижных теплосиловых установок.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—4 р. 20 к., на 6 мес.—2 р. 10 к., на 3 мес.—1 р. 05 к. Отдельный номер—35 к.

12 номеров в год

Подписку на журналы и деньги направляйте по адресу:
Москва, Центр, Ильинка, проезд Владимирова (Юшков пер.), 4, Главной конторе периодических и подписных изданий ОНТИ „ТЕХПЕРИОДИКА“.

Подписка принимается отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими удостоверениями, общественными сборщиками подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а, всеми почтовыми отделениями и письменносами.

Внимание подписчиков 1934 г.: С 1-го января 1934 г. Главной конторой „Техпериодика“ ОНТИ организована специальная экспедиция для обеспечения аккуратной и своевременной рассылки журналов подписчикам.

С жалобами на неаккуратное получение журнала 1934 г. обращайтесь непосредственно в адрес конторы.

В 1934 г. все журналы ОНТИ будут экспедироваться по ярлычной (адресной) системе.

ПОДПИСКА МЕНЬШЕ ЧЕМ НА 3 МЕС. НЕ ПРИНИМАЕТСЯ. ☉