

1932

„Коммунизм—есть советская власть  
плюс электрификация всей страны“  
ЛЕНИН

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 6

МАРТ

В Ы П У С К II

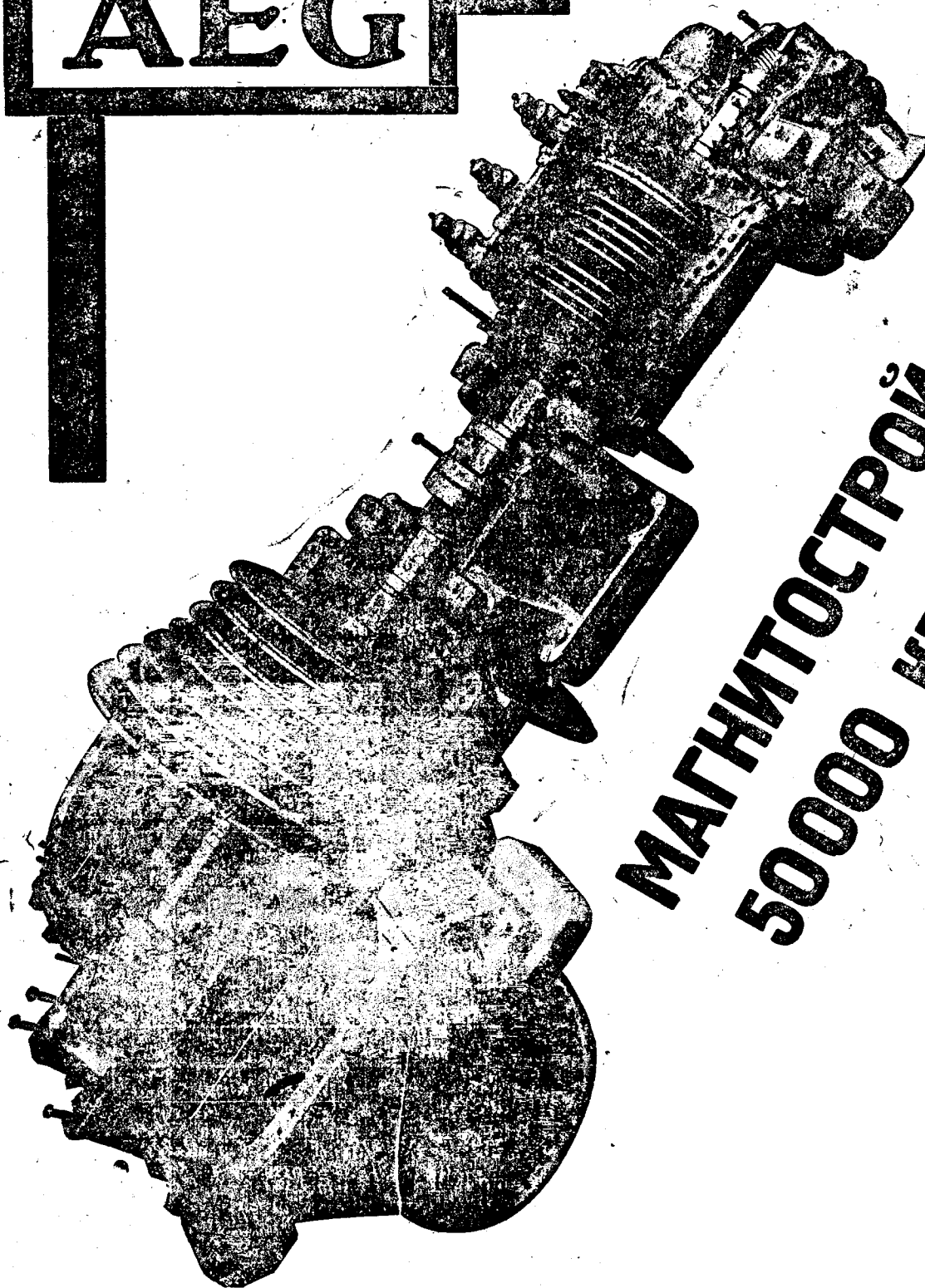


МОСКВА  
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека  
[www.booksite.ru](http://www.booksite.ru)

# AEG



**МАГНИТОСТРОЙ  
50000 НВ.**

**ALLGEMEINE ELEKTRICITÄTS-GESELLSCHAFT**  
**BERLIN NW 6, ABT. RUSSLAND**

6664

при всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталогов, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала  
Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли

Вологодская областная универсальная научная библиотека

[www.booksite.ru](http://www.booksite.ru)

# SPEZIALFABRIK ELEKTR. STARKSTROMAPPARATE und SCHALTANLAGEN

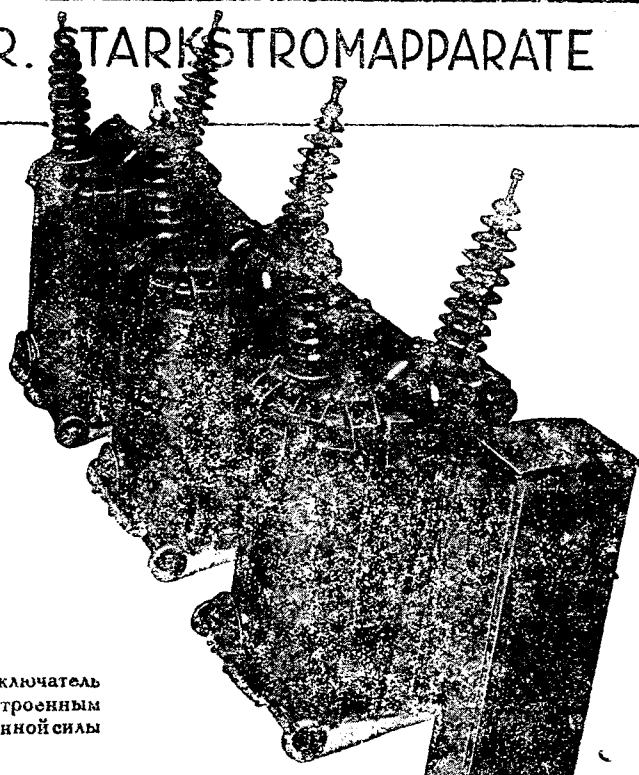
**Специальный завод электрических аппаратов и распределительных установок**

Наши масляные выключатели показали свою надежность во всех отношениях. Конструкция их является результатом 20-и летнего опыта в области фабрикации масляных выключателей и отвечают всем требованиям при всевозможных условиях.

6652



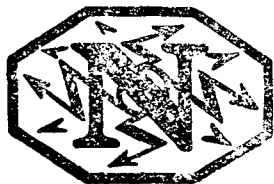
Масляный выключатель  
110 кВ. с пристроенным  
приводом магазинной силы



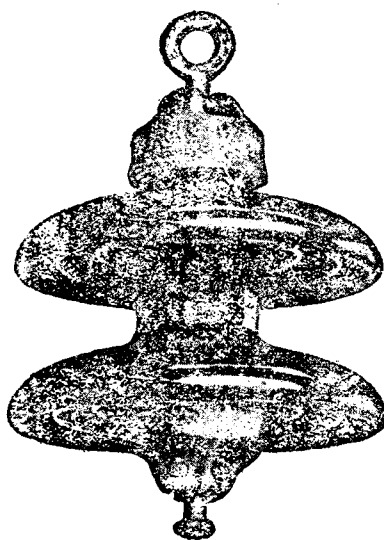
## EMAG ELEKTRIZITÄTS-AG FRANKFURT A M

# Porzellanfabrik N O R D E N A G København Dänemark (Дания)

БОЛЬШОЙ ПРИЗ



БАРСЕЛОНА 1929



СТАРЕЙШАЯ  
ФАБРИКА  
„МОТОРНЫХ  
ИЗОЛЯТОРОВ“

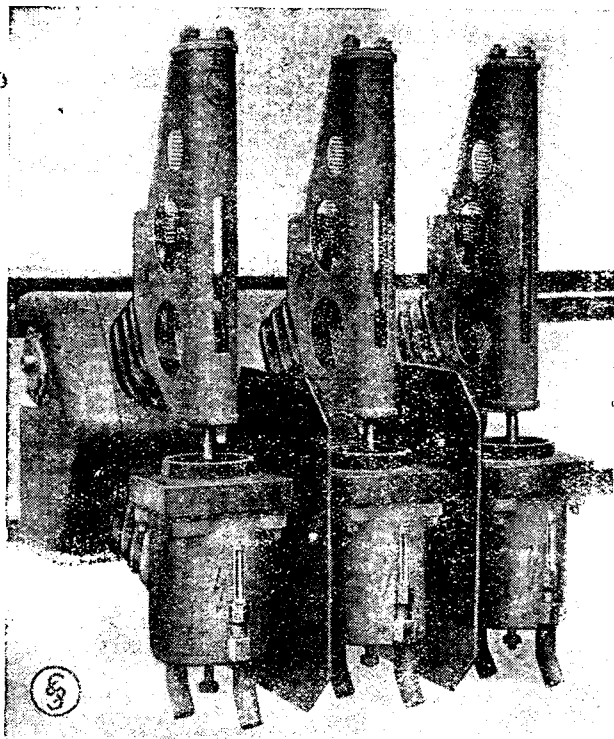
## Изоляторы высокого напряжения

6683

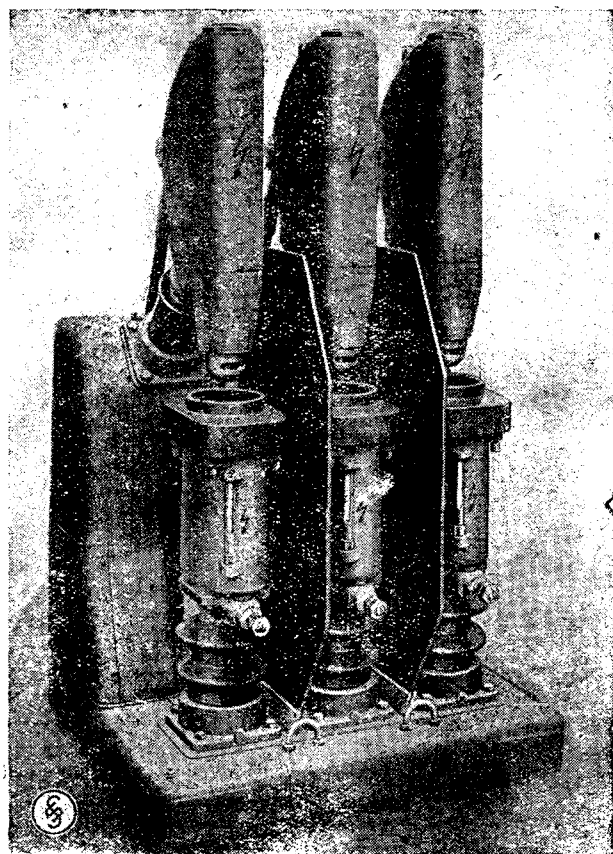
Выписка заграничных товаров может производиться на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При всех запросах к иностранным фирмам, производителям, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала.

# Экспансионные выключатели

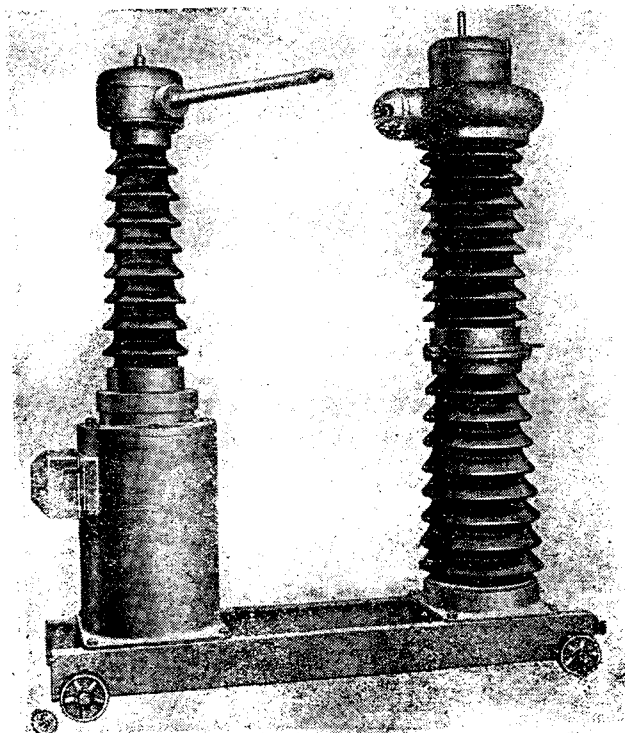
большой мощности без масла



10 kV, трехполюсный, разрывная сила тока 15000 А, для закрытых установок, настенный тип.



10 kV, трехполюсный, разрывная сила тока 30000 А, для закрытых установок, передвижной тип.



100 kV, однополюсный, разрывной ток 10000 А, для открытых установок.

## СИМЕНС-ШУККЕРТ

Печатный материал по первому требованию.

# Siemens-Schuckert-Werke A.-G.

Technisches Büro Ost

Berlin-Siemensstadt

6665

При всех запросах к иностранным фирмам с присылкой каталога, образцов и проспектов просим сослаться на № нашего журнала. Выписка зарубежных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

[www.booksite.ru](http://www.booksite.ru)

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

6

МАРТ  
1932

Орган Всесоюзного электротехнического объединения (ВЭО), Всесоюзного объединения энергетического хозяйства (Энергоцентр), Секции технической реконструкции и электрификации Института техники и технической политики Коммунистической академии ЦИК СССР и Всесоюзного энергетического комитета (ВЭК)

Адрес редакции:

МОСКВА, Ильинка, Ипатьевский пер., д. 2, 1-й этаж. Телеф. 72-46 и 1-57-19

## Содержание

|                                                                                                                    | Стр. |                                                                                                             | Стр. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <i>Передача</i> —Научно-технические проблемы единой высоковольтной сети . . . . .                                  | 313  | <i>В. В. Яворский</i> —Заземление опор линий электропередач и роль троса при прямых ударах молнии . . . . . | 341  |
| <i>Н. М. Мильштейн</i> —Важнейшие вопросы электростроительства в 1932 г. . . . .                                   | 318  | <i>Ф. Я. Гольдберг</i> —За строительство замкнутых сетей . . . . .                                          | 352  |
| <i>Ю. М. Гольденберг</i> —Электрификация Украины в 1932 г. . . . .                                                 | 324  | <i>Ф. В. Майоров</i> —Новый вибрационный и универсальный гальванометр . . . . .                             | 354  |
| <i>Н. П. Краснушкин</i> —Ограничение токов короткого замыкания и устойчивость параллельной работы . . . . .        | 329  | <i>А. Б. Карандеев</i> —Измеритель емкостей с непосредственным отсчетом . . . . .                           | 359  |
| <i>Н. Н.</i> —Устойчивость параллельной работы синхронных машин и метод площадей . . . . .                         | 335  | <i>П. В. Тимофеев</i> —О фотоэлектричестве . . . . .                                                        | 360  |
| <i>В. И. Воробьев, и В. Н. Глазанов</i> —Новый способ определения места повреждения линий электропередач . . . . . | 337  | <i>Хренника</i> . . . . .                                                                                   | 368  |
|                                                                                                                    |      | <i>Библиография</i> . . . . .                                                                               | 371  |
|                                                                                                                    |      | <i>Из книг и журналов</i> . . . . .                                                                         | 373  |

## Научно-технические проблемы единой высоковольтной сети

Прошел уже год после I Всесоюзной конференции по передаче энергии токами сверхвысокого напряжения. На этой конференции, собравшей лучших советских специалистов по технике высокого напряжения, впервые были поставлены научно-технические проблемы единой высоковольтной сети в Советском союзе.

Конференция приняла ряд важнейших решений, развивающих и конкретизирующих технические задачи, которые ставит перед нами единая высоковольтная сеть. Конференция четко подчеркнула, что одного переноса и освоения достижений иностранной техники нами уже недостаточно. Темпы роста нашего социалистического хозяйства и, в частности, его энергетической базы таковы, что уже в пределах ближайших 10 лет мы должны будем решать технические проблемы, которые не решены в капиталистических странах, переживающих сейчас всеобщий кризис и все более растущий развал.

Следует отметить в первую очередь проблемы передачи энергии постоянным током, создания соответствующей аппаратуры для этого рода тока (генераторов постоянного тока высокого напряжения, различного рода преобразователей, отклю-

чателей и т. п.), создания технически и экономически приемлемой конструкции мощного трансформатора на напряжения свыше 220 kV (380÷600 kV), разрешения вопроса о сверхмощных выключателях на 3÷5 млн. kVA, которых нигде в мире еще нет, проблема автоматизации станций и сетей, проблема селективной защиты в условиях единой чрезвычайно переплетенной сети, проблема получения высококачественных изоляционных материалов и конструкций из них (бумага, пластические массы, фарфор и т. п.), проблема связи с отдельными пунктами сети и влияния высоковольтных проводов на провода связи. Конференция не только наметила задачи, но и создала штаб, постоянное бюро для оперативного планирования работы наших научно-исследовательских организаций и заводов, включившихся в разрешение этих проблем. За истекший год нам не только удалось поставить ряд проблем в порядке научно-исследовательской работы, но уже и дать их частичные решения. Стоит упомянуть хотя бы производство кабеля на 220 kV, налаженное заводом Севкабель, постройку в первый раз масляного выключателя на 1,5 млн. kVA, осуществленную заводом „Электроаппарат“, мощных генераторов на 50 MVA заво-

дом „Электросила“, катодные осциллографы, тиратроны и т. д.

Наряду с этими успехами надо констатировать и ряд серьезных недочетов. Прежде всего планирование и координация работ между научно-исследовательскими институтами, заводскими лабораториями и другими ячейками научно-исследовательских работ оставляет желать много лучшего. Достаточно привести для примера хотя бы работу по постоянному току, которая ведется почти везде при недостатке материальных средств и кадров в данной области. До сих пор эти работы по постоянному току пребывают в самой начальной стадии, и материала для практического суждения о возможности использования этого рода тока для ближайших этапов электрификации (вторая пятилетка) мы попрежнему не имеем. Не лучшее обстоятельство и с проблемой сверхвысоковольтного трансформаторостроения. Разговоры о каскадной схеме, об однофазном и трехфазном трансформаторах остаются и на сегодняшний день сырыми идеями, не подкрепленными достаточными расчетами и экспериментами. Не создана до сих пор давно назревшая материальная база для наших

научно-исследовательских работ по высоковольтному аппаратостроению в виде лаборатории разрывных мощностей.

С другой стороны, ряд проблем после конференции подвергся изменениям в результате прогресса как иностранной, так и нашей советской техники. Самые контуры единой высоковольтной сети (ЕВС) приобрели сейчас в связи с работами оргкомитета по генплану электрификации значительно более реальные очертания, чем год тому назад. Назрела потребность в связи с этим подвести предварительные итоги за истекший год и наметить вехи дальнейшей работы.

Ниже мы помещаем краткий отчет о дискуссии, организованной 3 февраля с. г. секцией электрификации Института техники и технической политики Комакадемии совместно с редакцией журнала „Электричество“ по вопросу о технических проблемах ЕВС. Дискуссия открылась обстоятельным докладом проф. Чернышева и прошла под знаком большой активности и интереса со стороны московских и ленинградских работников в области высоких напряжений.

## Дискуссия о путях решения технических проблем ЕВС в Институте техники и технической политики Комакадемии

Докладчик проф. А. А. Чернышев в своем вступительном слове прежде всего отметил, что единая высоковольтная сеть всего Союза рассматривается как конечный план создания единого энергетического хозяйства страны.

Согласно предварительным подсчетам и для решения тех задач, которые ставятся народным хозяйством, необходимо повысить напряжение линий электропередач по крайней мере до 380 kV. Отсутствие на Западе и в Америке образцов такого рода сооружений ставит перед нами в полном объеме вопросы освоения как линий передач на соответствующее напряжение, так и аппаратуры и всех преобразующих устройств.

Это требует полной проработки вопроса о генерировании и преобразовании токов при системе передач энергии постоянным током высокого напряжения. Но, конечно, это не снимает вопроса о дальнейшей разработке систем переменного тока на более высокое напряжение. Можно считать установленным, что отдельные районы должны быть прежде всего соединены друг с другом линиями высокого напряжения, которые могут носить как маневренный, так и магистральный характер.

Напряжение в 380 kV пока не освоено, но в то же самое время расчеты показывают, что линии магистрального значения требуют напряжения 380 kV. Напряжением в 220 kV обойтись трудно, — получается очень громоздкая система.

Соединение отдельных районов друг с другом имеет чрезвычайно большое энергетическое значение. Прежде всего, если мы имеем линии, соответствующим образом построенные, достаточно надежные, то, вообще говоря, надежность с единой высоковольтной сетью необычайно увеличивается. Снабжение отдельных районов может быть осуществлено практически бесперебойно. Но самое создание этих связей может повести и должно повести прежде всего к значительному уменьшению резервов: с одной стороны, к уменьшению резервов обычного типа, а с другой стороны, тех резервов, которые носят название резервных мощностей. Так, например, для Урало-Кузбасского района резервная мощность может быть уменьшена на 600–700 MW.

### Устройство опор

Далее, переходя к элементам линий передач, докладчик остановился прежде всего на вопросе об устройстве опор. Еще очень недавно считалась общепринятой необходимость соору-

жения линий электропередач для передачи энергии при напряжениях выше 110 kV исключительно на металлических опорах. Но те изыскания, главным образом, в Америке, которые были произведены за последние годы, выяснили не только возможность применения деревянных опор для линий электропередач высокого напряжения, но и преимущество их применения перед металлическими опорами. При условии снабжения линий передач особыми защитными устройствами, линии были бы практически грозоупорными, т. е. при попадании удара молнии в линию разряд имел бы возможность пройти в землю, минуя деревянные опоры. Особенно хорошие результаты в этом отношении показало применение на концах изоляторов особых фибровых разрядников, быстро гасящих разряд (в течение одного полупериода) и отводящих молнию в землю, минуя опору. Примером является недавно построенная линия передачи на 132 kV на установке Ривер-Манс. Возможность применения дерева для создания электромагистралей, конечно, является для нас необычайно важной, и поэтому необходимо особенно форсировать работы в этом отношении.

Здесь особое внимание также нужно обратить на конструкции. Имеется ряд конструкций, которые позволяют отказаться от применения заземленных тросов, сохраняя в то же самое время достаточную грозоупорность линий почти в полном объеме.

### Изоляция

Очень серьезным вопросом является вопрос о необходимой изоляции линий высокого напряжения. Здесь имеются две точки зрения: за максимальное усиление изоляции и за перенесение центра тяжести в область улучшения специальных защитных устройств. В настоящее время имеется больше оснований считать правильным взгляды, рекомендуемые не усиливать чрезмерно изоляцию на линиях электропередач с тем, чтобы не иметь и тех колоссальных перенапряжений, которые могут появиться как следствие чрезмерной изоляции. Если это так, то тем самым изоляции линий электропередач на 380 kV и на 220 kV не должны очень сильно отличаться друг от друга.

Что касается типов изоляторов, которые можно рекомендовать для изоляции линий особо высокого напряжения, то



до самого последнего времени в Америке и в Европе взгляды были в этом отношении различны. Американцы применяли изоляторы малых размеров с малым диаметром, в настоящее время они начинают отказываться от этого взгляда и принимают европейскую точку зрения, т. е. переходят на изоляторы гораздо больших размеров. В этом отношении европейский тип изоляторов, несомненно, имеет значительные преимущества, так как он обладает лучшими электрическими и, что особенно важно, также гораздо лучшими механическими свойствами.

Теперь позвольте еще несколько слов сказать по поводу необходимого диаметра провода. Несмотря на сравнительно большое число исследований по выяснению потерь на корону при различных условиях, при напряжении, которое нас в частности интересует, т. е. порядка 400 kV, они сравнительно очень немногочисленны и фактически не дают вполне надежного материала. В этом отношении необычайно существенно выяснить тот минимальный диаметр провода, который должен применяться для такого рода установок.

При рассмотрении вопроса о передаче энергии напряжением 380 kV вопрос о линиях передач является, пожалуй, наиболее простым, и, несмотря на то, что затраты на сооружение линий электропередач необычайно велики, все-таки мы здесь имеем наиболее проработанное место.

### Трансформация сверхвысоких напряжений

Несколько ниже обстоит дело с вопросами перебрасывания электроэнергии, в частности при переменном токе с его трансформацией, для питания сети магистралей. Здесь можно идти различными путями. Во-первых, можно говорить о постройке трансформаторов трехфазного типа сразу на то напряжение, которое нас интересует. Можно говорить о группах однофазных трансформаторов, причем здесь могут быть два варианта. Первый вариант, обычный, когда мы имеем три однофазных трансформатора, так называемых каскадных, т. е. когда мы имеем каждую фазу составленной не из одного трансформатора, а, скажем, из двух трансформаторов. Причем, так как один из трансформаторов находится на гораздо более высоком напряжении по отношению к земле, то его питание в этом случае должно производиться не непосредственно, а через промежуточный изолирующий трансформатор.

Докладчик считает трехфазные трансформаторы неприемлемыми для 380 kV, поскольку их габариты при мощностях порядка 100 ÷ 200 MVA будут слишком большими.

### О каскаде трансформаторов

Таким образом, по мнению докладчика, будущее питание сверхмагистралей должно базироваться или на применении однофазных трансформаторов или однофазных трансформаторов в виде каскадной системы.

К достоинству каскадного типа докладчик относит его невысокую стоимость, так как вес не будет превышать веса аналогичной по мощности и напряжению группы трех однофазных трансформаторов. Охлаждение представляется возможным осуществить при помощи искусственной воздушной системы, которая получила за последнее время широкое распространение в Америке. Подсчеты, произведенные докладчиком, показывают, что при мощностях, больших 100 ÷ 150 MVA, выгодность каскадной схемы стоит вне сомнений, а при меньших мощностях стоимость каскада и группы однофазных трансформаторов примерно одинаковы даже при воздушном охлаждении.

Докладчик считает, что вопрос о постановке реакторов для ограничения токов короткого замыкания при каскадной схеме значительно упрощается, если идти на некоторое удорожание всей системы за счет постановки двух изоляционных трансформаторов.

Изоляция трансформаторов от земли при каскадной схеме не представляет также большого затруднения, поскольку механическая нагрузка на изоляторы в этом случае не превышает 60 ÷ 70 т.

Конечно, очень серьезным вопросом при каскадной системе трансформаторов является вопрос о к. п. д.

Несомненно, что к. п. д. таких групп будет несколько ниже — на 0,2, может быть, на 0,3%. Но в то же самое время нужно считать с тем, что применение каскадной системы может значительно понизить резервы, которые необходимы и которые тоже стоят денег.

Далее докладчик отметил еще одно преимущество каскадной системы, а именно, при каскадной системе трансформаторов всегда можно вначале использовать первую группу их, к которой непосредственно примыкает заземление, для более низкого напряжения; во всяком случае, при 380 kV первое звено работает при напряжении в 190 kV. Поэтому, может быть,

более рационально первые годы пользоваться напряжением вместо 220 kV 190 kV для маневренных целей; и лишь после того как мощность отдельных районов, отдельных станций повысится и снабжение отдельных районов потребует переброски мощностей, уже исчисляемых многими сотнями тысяч киловатт, как показывают расчеты Урало-Кузбасса, где переброска мощностей, приближается к 800 ÷ 900 тыс. kW, и к миллиону, — только тогда может быть и можно будет присоединить и вторую группу трансформаторов, и, таким образом, перейти непосредственно от 190 kV для маневренных целей к 380 kV, которые будут иметь в значительной степени магистральное значение.

### Перенапряжения

Очень большим вопросом при рассмотрении трансформаторов является вопрос о тех перенапряжениях, которые возникают в такого рода системах. В то время как в однофазных трансформаторах с непосредственным заземлением вопрос о распределении напряжения в достаточной степени выяснен, вопрос относительно того, каким образом будет распределяться перенапряжение в каскадной системе трансформаторов, особенно в том случае, если для улучшения распределения мы будем применять некоторые добавочные искусственные мероприятия, остается на сегодняшний день весьма неясным.

Докладчик считает необходимым вести эти исследования не на лабораторных моделях, а на промышленных образцах. Экстраполяция результатов лабораторных исследований на рабочие конструкции может привести, по мнению докладчика, к серьезным ошибкам. Поэтому докладчик приходит к выводу о необходимости постройки такого каскада, конструкция которого и в частности обмотки соответствовали бы эксплуатационным условиям.

### Коммутация

Далее, докладчик остановился на проблеме коммутационных операций и в частности выключении тех громадных мощностей, о которых идет речь уже в Урало-Кузбассе. Потребную, разрывную мощность выключателей докладчик определяет в 8000 MVA. Если сопоставить с этим тот факт, что самые лучшие современные выключатели имеют разрывную мощность порядка всего 2500 ÷ 3000 MVA, то опасности превращения этого элемента сети в узкое место развития нашей электрификации встает во весь свой рост.

Наиболее вероятными путями разрешения этой проблемы докладчик считает применение дейонных решеток, повышающих без увеличения объема бака мощность выключателей на 60 ÷ 70%, а также использование принципа масляного дутья, получившего широкое распространение за последние годы в Америке (фирма QEC) и обещающего значительное увеличение мощности современных выключателей.

Применяя деление сети на части и доводя тем самым разрывную мощность до 5000 MVA, докладчик надеется разрешить указанными выше методами и проблему ЕВС в тех масштабах, в которых ставится она во второй пятилетке.

Далее, проф. Чернышев остановился на проблеме параллельной работы системы и ее устойчивости, отметив трудности, стоящие на этом пути, и те преимущества в этом отношении, которые имеет постоянный ток высокого напряжения, радикально решающий вопрос об устойчивости любой системы.

### Постоянный ток

Докладчик считает, что целый ряд энергетических проблем Енисея, Ангара, Иртыша и др. едва ли может быть разрешен, если мы будем применять передачу энергии при напряжении 220—380 kV. Необходимо будет многие миллионы киловатт перебрасывать на Урал, и применять постоянный ток или может быть идти на еще более высокое напряжение переменного тока. Поэтому разработка вопросов о передаче энергии постоянным током является сейчас особенно существенной.

На проблеме постоянного тока докладчик остановился особенно подробно. Разрешение (в техническом и экономическом отношении) проблемы передачи энергии постоянным током не только удешевляет и упрощает высоковольтную сеть, но делает возможным осуществление ряда крупных проблем электрификации, выходящих уже за пределы второй и частично третьей пятилеток, как, например, проблемы Енисея, Ангара, Иртыша и т. д., решение которых на базе переменного тока представляется на сегодняшний день едва ли возможным.

Докладчик предлагает, однако, не ориентироваться на постоянный ток в пределах второй и даже третьей пятилеток при проектировании ЕВС, поскольку современное состояние

техники получения постоянного тока высокого напряжения стоит еще на очень низком уровне.

Этот скептицизм относительно постоянного тока докладчик базирует, главным образом, на том обстоятельстве, что, несмотря на довольно большой срок, прошедший со времени осуществления первой передачи на постоянном токе высокого напряжения (установка Тюри построена в 1896 г.), технический прогресс в этом деле весьма незначителен. Существующие в мировой технической печати проекты больших передач на постоянном токе также не нашли до сих пор своего осуществления.

Далее, докладчик подробно останавливается на различных видах преобразователей для получения постоянного тока высокого напряжения. В первую очередь докладчик остановился на трансвертерах, имеющих некоторые основания в связи с созданием ионных коммутационных устройств вновь всплыть как жизненная система, пригодная для целей практического использования, затем на различного вида ионных преобразователях, и особенно с магнитным контролем, имеющих все основания занять первое место среди ионных приборов при условии успешного разрешения проблемы с подводом тока внутрь прибора.

Большие успехи имеются сейчас в области ртутных выпрямителей и тиратронов (последние строятся уже на 1 000 kW при напряжении в 40 kV).

Проф. Чернышев перечисляет ряд препятствий, мешающих быстрому развитию преобразователей. Это прежде всего трудность удаления тепла, выделяющегося внутри преобразователя, несмотря на высокий в общем к. п. д. Вторым препятствием является быстрое изнашивание и распыление материала электродов, хотя это распыление различными мероприятиями может быть значительно уменьшено, но все же роль его в жизни прибора остается очень большой.

Третьим препятствием является трудность поддержания вакуума. Затем идут проблемы мешающих магнитных полей и разрушающего действия токов короткого замыкания.

В случае удачного разрешения этих вопросов и создания достаточного мощного ионного преобразователя одновременно разрешится и проблема сверхмощного выключателя. Дело в том, что такие устройства в силу того, что они могут быть контролирующими или напряжением, или потенциалом, или магнитное поле и то производить, то прекращать прохождение тока через них, сами являются и идеальными выключателями.

В заключение докладчик еще раз подчеркнул необходимость всячески форсировать разработку всех вопросов, связанных с передачей энергии при напряжении 380 kV, и с гораздо более высоким напряжением постоянного и переменного токов. Если мы не будем самым интенсивным образом разрабатывать эти проблемы, то существуют большие опасения относительно того, что вся наша будущая электрификация через 10 лет может быть существенно задержана в своем развитии.

#### Прения по докладу т. Чернышева

Выступивший первым в прениях проф. Круг отметил, что применение трехфазного тока в крупных сетях связано с весьма большими осложнениями благодаря наличию индуктивности и емкости линий, что приводит к необходимости регулирования напряжения для достижения устойчивости системы путем установки синхронного конденсатора, мощность которого на расстоянии 1 000 км будет такого же порядка, как и передаваемая мощность. Единственное разрешение вопроса передачи энергии будет лежать при этих условиях, по мнению проф. Круга, в применении постоянного тока. Если постоянный ток за последнее время не выдвинулся как ток, при помощи которого можно передавать энергию, и вся передача везде производилась на переменном токе и существовала лишь одна передача, устроенная давно (передача Тюри), то увеличение мощности, и расстояния настоятельно выдвинуло именно вопрос об использовании постоянного тока. Теперь во всех странах ускоренно работают над этой проблемой, и можно сказать, что все трудности, которые связаны с этой проблемой, так или иначе будут разрешены в ближайшее время.

Проф. Круг далее указывает на статью Гажебша, которая была напечатана в немецком журнале ETZ, где приведены сравнительные данные стоимости передачи энергии в 1 000 000 kW из Норвегии в Германию постоянным током и переменным. Из этого сравнения видно, что стоимость сооружения и стоимость передачи с учетом всех амортизационных расходов одного и того же порядка, причем там приводилась проблема, которая может быть осуществлена уже в настоящее время путем применения целого ряда синхронных машин постоянного тока аналогично тому, как это сделано в установке Тюри.

Особые успехи достигнуты сейчас в области ртутных выпрямителей, мощность которых в Америке достигает уже 10 000 kVA в одной единице при напряжении в 10 kV; имеются сведения о постановке небольшой мощности 80 000 kVA для радиостанции в Германии.

Таким образом вопрос о применении постоянного тока для электропередач больших мощностей на большие расстояния не является уже вопросом такого далекого будущего, как об этом говорил докладчик.

Проф. Круг полагает, что разрешение вопроса о получении напряжения 380 kV будет лежать если не в применении трехфазных трансформаторов в одной единице, то, во всяком случае, в применении трех однофазных трансформаторов, а не в каскаде, потому что каскадное соединение трансформаторов не делит напряжения, на котором должны быть основаны эти трансформаторы, пополам, как это предполагается, но трансформаторы эти должны быть построены примерно на напряжение, которое немного будет отличаться от напряжения в 380 000 В. Это, конечно, сводит на-нет заманчивую идею деления напряжения на части.

Неблагоприятным моментом для каскада является, по мнению проф. Круга, его относительно невысокий к. п. д., что при мощности каждой единицы в 100 MVA даст при 7 000—8 000 час. использования установленной мощности увеличение расходов на потери в каждой такой единице на 40 000 руб. в год.

Едва ли удастся, по мнению проф. Круга, совершить без больших затрат на переустройство сети переход от 190 к 380 kV.

Тов. Свиридов, возражая докладчику, считает, что приравнивать изоляцию линии на 220 kV к таковой на 380 kV ошибочно, так как вопрос здесь нельзя разрешить простым снижением испытательного напряжения.

Тов. Свиридов не согласен с указанным докладчиком лимитом для трансформаторов в 60 MVA и считает, что система однофазных трансформаторов позволяет этот предел увеличить весьма значительно.

Весьма не показательным, по мнению т. Свиридова, является указание докладчика на задержку развития установки Тюри во Франции, так как никакое капиталистическое предприятие в процессе кризиса не будет удаивать напряжения, это было бы для него в момент теперешнего кризиса непостижимой оплошностью и расточительством. Тов. Свиридов также подчеркивает серьезность затруднений при передаче энергии при переменном токе и в частности проблему больших реактивных мощностей, доходщих до 120% от передаваемой мощности. Будущее принадлежит постоянному току. Тов. Свиридов не согласен с докладчиком относительно трудностей, стоящих перед выпрямителями в отношении отвода тепла, так как для ртутных выпрямителей, например, эта проблема почти не существует благодаря принципу самой работы этого вида выпрямителя (см. работы В. Шульце).

Проф. Петров остановился, главным образом, на проблеме трансформации генераторного напряжения до 380 kV, подвергнув критике предложенную докладчиком схему каскадного трансформатора. Отметив преимущество каскадной схемы в отношении изоляции обмотки от земли, он полагает, однако, весьма сложным решение вопроса о внутривитковой изоляции, которую надо считать наиболее ответственной частью во всей изоляции трансформатора.

Проф. Петров считает недостатком каскадной схемы необходимость иметь для группы из 9 трансформаторов (полная трехфазная ячейка) еще 3 резервных, тогда как для трех однофазных трансформаторов достаточно иметь еще один резервный трансформатор, что очевидно будет стоить значительно дешевле. Значительно больше будет также и вес каскадного трансформатора по сравнению с группой однофазных трансформаторов. Исходя из американских данных, проф. Петров считает, что благодаря плечу к. п. д. каскадный трансформатор может иметь увеличение потерь, выражающееся в десятках тысяч долларов.

Тов. Плинтатус подчеркнул в своем выступлении необходимость ориентировки на постоянный ток высокого напряжения, который применялся до сих пор в установках незначительной мощности для радиоцелей и который теперь благодаря успехам вакуумной техники выходит на широкую арену ЕВС. Он выражает уверенность в скором разрешении этой проблемы, приводя в виде примера завод „Светла“, который сумел в течение одного года не только стать образцом Советского союза по выполнению промплана, но сумел наладить производство таких сложных приборов, как тиратроны, которых еще нет в Европе и производство которых не так давно возникло и в Америке.



Тов. Глазанов остановился прежде всего на понятии маневренной линии, которое он считает недостаточно проработанным, и полагает, что при уточнении вопроса едва ли придется говорить об этом, поскольку линии передачи неизбежно должны принять характер магистральных, т. е. имеющих большую загрузку в течение всего года и оправдывающих применение напряжения порядка 400 kV. Этим напряжением, по мнению выступающего, может обойтись ЕВС на ближайшие 10 лет.

Тов. Глазанов указывает, что проблема постоянного тока высокого напряжения не только не снимает с очереди вопрос о сверхвысоковольтном трансформаторе, но напротив, выдвигает его, так как самое получение постоянного тока высокого напряжения мы мыслим из трансформированного на высокое напряжение переменного тока. Наряду с этим нужно думать уже теперь о конструкциях проводов, об изоляции, о короне и т. п. Переходя к вопросу о каскаде, т. Глазанов отмечает все трудности и сложность этой проблемы и предлагает перейти к составлению проектов не только каскадного трансформатора, но и других конструкций (трехфазного, однофазного), так как окончательный вывод можно будет делать лишь после испытания и сравнения всех этих вариантов.

Тов. Цейтлин остановился на основных вопросах, затронутых докладчиком, и в частности высказал мнение о необходимости уделить больше внимания проблеме постоянного тока, ориентируя на нее уже теперь нашу научно-исследовательскую мысль. Особое внимание т. Цейтлин уделил вопросам автоматизации управления станций и сетей, которые в условиях нашего социалистического хозяйства приобретают особую актуальность, поскольку позволяют осуществлять индивидуальные качества обслуживаемого персонала заменить аппаратом.

Тов. Карасев считает, что пора уже от общей постановки вопроса о технических проблемах ЕВС перейти к отдельным звеньям этих проблем. Свое выступление т. Карасев посвятил, главным образом, вопросу трансформирования энергии переменного тока. Можно и в одной единице поставить трансформатор сверхвысокого напряжения, но возможно, что при этом придется построить маленький завод, потому что его не перевезешь. Можно построить трансформатор и по системе Фишера, но только трудно сказать, во что обойдется укрепление обмотки. И самый каскад технически возможен, но какую изоляцию придется ставить на каскад? Таким образом—это вопрос чисто экономического порядка. Тов. Карасев особенно подробно остановился на тех затруднениях, которые вызывает защита каскадного трансформатора от волн перенапряжения, из-за чего приходится рассчитывать каждое звено каскада не на половину общего напряжения, а практически на полное рабочее напряжение, это лишает каскад главного его преимущества. В заключение т. Карасев отметил ряд моментов, характеризующих отсутствие кооперированной работы по этим вопросам между нашими научно-исследовательскими организациями и в частности между ЛЭФИ и ВЭИ, что может привести в дальнейшем к серьезным потерям.

Тов. Рокотьян не согласен с т. Карасевым по вопросу о том, что мы все еще не перешли к конкретизации ЕВС. Полугодовая работа над проектом УКК позволила прощупать уже кое-какие вопросы и в частности установить, что УКК будет иметь 50% теплоцентралей и ряд дефицитных секций, которые будут питаться за счет энергии гидростанций, передаваемой по магистральным линиям.

Тов. Рокотьян считает, что существующий арсенал мероприятий по увеличению устойчивости системы при разумном его использовании делает вполне осуществимыми первые звенья ЕВС на переменном токе.

Тов. Палицын отметил исключительное значение, которое имеет проблема постоянного тока в цепи всех проблем ЕВС, поскольку от рода тока будет зависеть постановка и решение всех проблем, связанных с трансформацией, коммутацией, защитой от перенапряжений и токов короткого замыкания и т. д. и т. д. Только постоянный ток сможет дать наиболее простое и совершенное как технически, так и экономически решение проблем передачи энергии на большие расстояния.

Тов. Палицын считает поэтому установку докладчика на промышленное освоение постоянного тока в ЕВС только в четвертом пятилетии неправильной, дезориентирующей научно-исследовательскую работу, в планы которой нужно уже сейчас включить как боевое задание работ над постоянным током высокого напряжения. Слабые темпы продвижения этого вопроса в капиталистических странах (Сименс, Тюрин) нам не указ, поскольку там еще нет потребности, нет таких гигантов как УКК, там не мечтают всерьез и о ЕВС. Особенно

это топтание на месте характерно для вынешнего момента, для момента глубочайшего кризиса капитализма.

С другой стороны, выступающий предупреждает и от недооценки трудностей, связанных с 380 kV, которых еще нигде в мире на линиях передач нет. Беря курс на постоянный ток в наших научно-исследовательских работах, мы должны, однако, уделить поэтому значительное внимание и проблеме 380-kV переменного тока. Мы должны экономно и бережно расставить небольшие пока у нас научные силы, чтобы обеспечить быстрое продвижение по всему фронту проблем ЕВС. Мы не можем себе позволить дальше терпеть существующий разброд и несогласованность в работе наших институтов. Комкадемия и Госплан должны продумать вопрос об осуществлении действенного оперативного планирования научными организациями, работающими над вопросами ЕВС, и путем создания дружной коллективной работы обеспечить решение поставленных великих задач.

В своем заключительном слове проф. Чернышев, отвечая оппонентам, обвинявшим его в пессимизме по отношению к постоянному току, возражал против такой оценки его выступления и подчеркнул, что он считает победу постоянного тока в конечном счете обеспеченной.

Что касается предложений некоторых выступавших о необходимости, прежде чем начать строить опытную установку на 380 kV, дать расчет и проект ее, то проф. Чернышев не считает их целесообразными, так как, по его мнению, все основные вопросы каскада можно разрешить только при помощи экспериментов на действительной модели.

#### Резолюция по докладу проф. Чернышева

Собрание, заслушав доклад проф. Чернышева, отмечает громадное историческое значение поставленной перед советским социалистическим хозяйством задачи создания единой электроэнергетической базы и в частности практического осуществления уже в рамках второй пятилетки первых звеньев ЕВС. Собрание считает необходимым наряду с максимальным форсированием научно-исследовательских работ в области переменного тока напряжением в 220—380 kV также решительное развертывание работ по всему комплексу проблемы постоянного тока. Собрание считает неправильной имеющуюся у некоторых товарищей установку о полной нецелесообразности использования во второй пятилетке напряжений выше 220 kV, якобы не оправдываемых предварительными подсчетами. Эта установка в частности не мобилизует нашу электропромышленность на борьбу за более высокие качественные достижения, за 380 kV. Собрание, отмечая большую ценность предлагаемой проф. Чернышевым идеи каскадного трансформатора для 380 kV, вместе с тем отмечает недостаточную проработанность этого варианта теоретическими расчетами и экспериментальными данными. Наряду с дальнейшей работой по вопросам технической осуществимости и народнохозяйственной экономичности каскадного трансформатора необходимо также широкое развертывание научно-исследовательских работ в направлении других способов решения силовой трансформации на 380 kV (трехфазный и однофазный трансформаторы, изоляция сжатым газом и т. д.).

Собрание отмечает отставание и недостаточность организации научно-исследовательских работ, связанных с единой высоковольтной сетью. Хотя со времени ленинградской конференции по высоким напряжениям уже прошел почти год, основные технические проблемы: постоянный ток, каскадный трансформатор и пр.—продолжают трактоваться в общей постановке без достаточно конкретных материалов уже более детальных, а главное основанных на расчетах и частично уже на экспериментах. Такое положение в значительной мере является следствием того факта, что наши научно-исследовательские институты еще не перестроились в полной мере для выполнения новых задач на основе шести условий т. Сталина и создания коллективной и кооперированной работы. Чрезвычайно актуальное значение приобретает вопрос о создании единого центра научно-исследовательских работ в области электропромышленности и электрохозяйства.

Научно-техническая общественность институтов должна также повести решительную борьбу за изживание остатков известной групповщины, которые еще наблюдаются в работе отдельных институтов.

Собрание выражает уверенность, что советская научная мысль сумеет в кратчайший срок разрешить выдвигаемые программой технической реконструкции народного хозяйства СССР задачи в области передачи больших мощностей на большие расстояния токами высокого напряжения.

## В БОРЬБЕ ЗА ПЛАН ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ 1932 г.

### Важнейшие вопросы электростроительства в 1932 г.

**Н. М. Мильштейн**  
Энергострой

Огромные масштабы роста социалистического хозяйства последних лет потребовали прежде всего крупных сдвигов в создании новейшей электроэнергетической базы Союза, являющейся важнейшим элементом технической реконструкции.

Такие сдвиги, безусловно, имели место за последние 4 года, и характер их можно усмотреть из следующей таблицы, которая дает (в тысячах киловатт) представление о размере ежегодно вводимых мощностей на районных и крупных промышленных электроцентралях за указанный отрезок времени.

| Годы | Районные станции | Промышленные станции | Всего |
|------|------------------|----------------------|-------|
| 1928 | 101              | 100                  | 201   |
| 1929 | 149              | 321                  | 470   |
| 1930 | 410              | 190                  | 600   |
| 1931 | 758              | 242                  | 1 000 |

Таким образом прирост ввода мощностей на районных станциях по годам по отношению к каждому из предыдущих лет дает следующую картину: 1928 г.—15%, 1929 г.—19%, 1930 г.—60%, 1931 г.—60%.

В результате работ последних лет имеют место громадные успехи в области электростроительства, которые внесли коренные качественные изменения в энергетическую базу народного хозяйства и создали новые предпосылки для дальнейшего продвижения вперед социалистической реконструкции промышленности.

Программа электростроительства 1931 г. по районным электростанциям предусматривала капиталовложение в размере 734 млн. руб. при вводе мощностей в 980 тыс. kW (без промышленных станций). Выполнение плана истекшего года, как указано выше,—758 000 kW, т. е. около 77% намеченного плана.

Особенно следует отметить выполнение плана по вводу мощностей в 1931 г. Энергостроем—этой основной энергостроительной организацией Союза. Последняя из намеченной годовой программы введения мощностей в 740 тыс. kW выполнила 700 000 kW, или 95% этой программы.

Каковы были те тенденции, которые легли в основу плана электростроительства 1931 г.?

Основная задача этого плана заключалась прежде всего в том, чтобы снабдить электроэнергией такие наиболее важные районы Союза, как Донбасс и Урал.

Осуществление задачи превращения старого Донбасса в новый социалистический Донбасс с большевистско-несокрушимой механизированной базой\* до последнего времени упиралось в отсутствие мощной энергобазы, которая заменила бы собой разрозненные отсталые электрохозяйства отдельных предприятий.

Выход из создавшегося положения наметился в истекшем году, когда в деле энергетического перевооружения достигнут резкий и решительный перелом.

В 1931 г. в Донбассе вступили следующие мощности:

|                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|
| На Штеровской районной электростанции—88 000 kW<br>(2 турбогенератора по 41 000 kW).     |
| На „Донсоде“ . . . . . 44 000 kW<br>(2 турбогенератора по 22 000 kW).                    |
| На вновь выстроенной Зуевской грэс . . . 150 000 kW<br>(3 турбогенератора по 50 000 kW). |

К началу 1932 г. на Штеровской грэс установлено: 16 котлов фирмы Бабкок и Вилькоккс (8 котлов по 600 м<sup>2</sup> и 8 котлов по 1 500 м<sup>2</sup>) на давление 18 ат, турбогенератор мощностью 5 000 kW (турбина Ленинградского машиностроительного завода, генератор завода „Электросила“), 2 турбогенератора мощностью по 10 000 kW фирмы Метро-Виккерс, 2 турбогенератора мощностью по 22 000 kW (фирмы Броун-Бовери и 2 турбогенератора мощностью по 44 000 kW фирмы Сименс-Шуккерт.

Общая мощность, установленная на Штергрэсе, составляет, таким образом, 157 000 kW.

Установкой на станции в настоящее время дополнительных 3 котлов повышенного нагрева по 1 500 м<sup>2</sup> каждый (Таганрогского завода „Котлотурбины“) заканчивается оборудование этой электростанции, находившейся в постройке свыше 10 лет.

В 1931 г. закончена вторая очередь государственной районной электростанции „Донсоды“ с доведением ее мощности до 73 000 kW. Первая очередь грэс „Донсоды“ помимо старой станции мощностью 8 000 kW, состоит из 5 котлов фирмы Вальтер по 600 м<sup>2</sup> на давление 30 ат, 1 турбогенератора—3 000 kW, 1 турбогенератора—8 000 kW и 1 турбогенератора—10 000 kW фирмы АЕГ.

Для второй очереди смонтированы 7 котлов по 800 м<sup>2</sup>, 30 ат фирмы Меллер с топками для сжигания лисичанских углей в пылевидном состоянии и 2 турбогенератора по 22 000 kW, фирмы АЕГ.

Из общего количества 300 000 kW новых мощностей, введенных в истекшем году на электростанциях Донбасса, половина, т. е. 150 000 kW, установлена на вновь выстроенной Зуевской государственной районной электростанции „Зу-грэс“.

Сооружение этой новой районной электростанции на мощность первой очереди в 150 000 kW с доведением ее до полной мощности в 250 000 kW при наличии водных ресурсов Донбасса требовало трех условий: 1) расположения станции в центре потребляющего энергию района; 2) угольных массивов, дающих возможность использовать отбросы и низкие сорта топлива, и 3) достаточной мощности реки.

Все эти три фактора в более благоприятном их сочетании предопределили место сооружения Зуевской электростанции в районе р. Крынки.

Местоположение станции выбрано около хутора Дубового в центре потребителей нагрузки юго-западной части Донбасса, в узле трех основных районов: центрального (Константиновка-Щербиновка-Горловка), Сталино-Макеевского и Криндачевского.

Основным топливом для грэс выбран антрацитовый штыб, получаемый как отброс от шахт Чистиковского и Снежного рудоуправлений. Среднее расстояние станции от шахт, поставляющих для нее топливо, составляет около 40 км.

Основное оборудование первой очереди состоит из 8 котлов по 1 500 м<sup>2</sup> повышенного нагрева с паросъемом 120—150 t пара в час при 30 ат и 450°C перегрева (4 котла фирмы Ганномаг и 4 котла фирмы Шгейнмюллер), 3 турбогенераторов по 50 000 kW каждый фирмы Метро-Виккерс, напряжением 11 000 V с числом оборотов 150 в минуту.

Питание электростанции водой обеспечено созданным на р. Крынке искусственным водоемом в 8 000 000 м<sup>3</sup> с зеркалом до 2 000 000 м<sup>2</sup>.

Наиболее отсталым районом Союза в отношении электроснабжения до начала 1931 г. был Урал.

Достаточно сказать, что до этого времени вся мощность районных электростанций Урала составляла всего 6 000 kW сосредоточенных на Кизеловской электростанции.

1931 г. является годом решительного перелома в отношении электроснабжения и этой области Союза. Стало совершенно ясно, что успешное разрешение проблемы создания и развития на востоке СССР угольно-металлургического комбината на основе сочетания уральской руды и кузнецкого коксующегося угля находится в полной зависимости от выполнения плана электрификации УСК.

Разнообразие объектов и предприятий, сооружаемых и предположенных к сооружению на Урале, относящихся к цветной металлургии, угольной промышленности и машиностроению, организованные на базе черного и цветного металлов, электрификация тяги и целый ряд других отраслей народного хозяйства делают задачу организации энергетической базы УСК особо серьезной и ответственной.

Наличие на Урале богатейших энергетических ресурсов в виде каменного угля и торфа, возможность использования здесь в качестве топлива для электроцентралей отходов сортировки угля (штыб), коксовых отходов и промышленной продукции, получающихся в процессе коксования,—все эти условия создают предпосылки развития электроцентралей на Урале.

Согласно географическому размещению объектов предприятий Урала в наступающем 1932 г., потребность в установленной на электростанциях мощности по отдельным районам выражается следующей таблицей:

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| Магнитогорский район . . . . .      | 186 000 kW |
| Бакальский . . . . .                | 11 000 "   |
| Челябинский . . . . .               | 114 000 "  |
| Свердловский . . . . .              | 95 000 "   |
| Алапаевский и Егоршинский . . . . . | 27 000 "   |
| Нижнесалдинский . . . . .           | 38 000 "   |
| Нижнетагильский . . . . .           | 24 000 "   |
| Кушвинский . . . . .                | 17 000 "   |
| Чусовской . . . . .                 | 23 000 "   |
| Пермский . . . . .                  | 18 000 "   |
| Навигационный . . . . .             | 25 000 "   |
| Кизеловский . . . . .               | 14 000 "   |
| Березниковский . . . . .            | 60 000 "   |
| Соликамский . . . . .               | 7 000 "    |

Таким образом общая потребная мощность выражается суммой порядка 659 000 kW. Каковы же реальные возможности удовлетворения этой потребности?

Среди огромных технических и экономических задач, которые героически разрешают сейчас рабочие и инженерно-технический персонал Магнитостроя, видное место занимает создание надежной энергетической базы строящегося гиганта—его электростанции (Магнитогрэс).

В основу проекта сооружения Магнитогрэса положено задание снабдить электроэнергией следующих потребителей:

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| Рудники Магнитогорского комбината . . . . .   | 32 000 kVA |
| Доменные цеха . . . . .                       | 12 000 "   |
| Мартеновский и бессемеровский цеха . . . . .  | 6 000 "    |
| Прокатный цех (крупносортные станы) . . . . . | 12 000 "   |
| Коксовальный цех . . . . .                    | 6 000 "    |
| Химкомбинат . . . . .                         | 27 000 "   |
| Силикатный цех . . . . .                      | 6 000 "    |
| Электропередача на Белорецк . . . . .         | 25 000 "   |
| Насосная станция . . . . .                    | 6 000 "    |
| Город Магнитогорск . . . . .                  | 6 000 "    |
| Лесопилка и сортировочная станция . . . . .   | 6 000 "    |
| Окружные совхозы . . . . .                    | 12 000 "   |

В соответствии с указанными нагрузками находятся число и мощность выбранных агрегатов. Для первой очереди Магнитогрэса, т. е. до включения станции в общее южноуральское кольцо на параллельную работу с другими станциями Урала запроектировано установить: 4 турбогенератора по 50 000 kW (по 50 000 kW при  $\cos \varphi = 0,9$ ), 1 турбогенератор 24 000 kW и 2 турбогенератора по 12 000 kW для собственных нужд станции со всем необходимым котельным и теплосиловым оборудованием.

Высокий коэффициент мощности ( $\cos \varphi = 0,9$ ) принят для завода ввиду большого количества устанавливаемых на комбинате синхронных моторов, применение которых вообще исчерпывающе разрешает вопрос хорошего коэффициента мощности станции и связанный с ним вопрос хорошего использования топлива.

Основным топливом для станции являются кузнечный уголь и коксик, сжигаемый под котлами в пылевидном состоянии.

Всех котлов предусмотрено к установке 12, каждый нормальной производительностью по 130 t пара в час. Давление на котлах—31 at при температуре подогрева 415°C.

В последнее время Энергоцентром значительно повышена предельная мощность Мгрэса, которая в окончательном виде будет иметь мощность 348 000 kW с установкой: двух генераторов по 12 000 kW, одного турбогенератора 24 000 kW, четырех турбогенераторов по 50 000 kW и двух теплофикационных турбогенераторов по 50 000 kW.

Согласно предъявленным комбинатом требованиям в отношении очередности введения новых мощностей Мгрэса в настоящее время Энергостроем закончены и введены в эксплуатацию два турбогенератора по 12 000 kW и один турбогенератор 24 000 kW с необходимым котельным оборудованием.

В 1 квартале 1932 г. передается в эксплуатацию еще один агрегат в 50 000 kW.

Таким образом рабочая мощность Мгрэса в ближайшем времени составит 100 000 kW.

Второй районной электростанцией Южного Урала является Челябинская I. Запроектированная мощность станции 150 000 kW (6 турбогенераторов по 24 000 kW и 2 по 3 000 для собственных нужд).

В 1930 г. введен был в эксплуатацию один турбогенератор мощностью в 24 000 kW, в 1931 г. введена новая мощность 72 000 kW (3 турбогенератора по 24 000 kW). Таким образом в 1932 г. мощность I Челябинск достигла около 100 000 kW.

На 1932 г.—год доведения станции до полной мощности остается монтаж и пуск в эксплуатацию еще 2 турбогенераторов по 24 000 kW.

Следующей районной электростанцией Северного Урала, которая начинает играть значительную роль в энергоснабжении Урала, является Кизеловская (Губалинская) грэс. По времени постройки это одна из первых станций и строится она около 10 лет. Между тем до текущего года вся мощность станции составляла только 6 000 kW и лишь недавно мощность в 11 000 kW с соответствующим котельным оборудованием введена до 28 000 kW.

Таким образом Кизеловская электростанция, находящаяся на важнейшем участке угледобывающей и обрабатывающей промышленности, до последнего времени не была в состоянии удовлетворять предъявляемые к ней требования в электроэнергии.

Кроме того, основной вопрос, без решения которого нельзя говорить о нормальной работе электростанции, именно вопрос топливоснабжения, решен только в самое последнее время.

Здесь не лишне будет подчеркнуть, что плохое состояние котельной и электрического оборудования Кизелгрэс, которое имеет место даже в настоящее время, вскрывает чрезвычайно неблагоприятное отношение ряда организаций к этому строительству, приведшее к тому, что, несмотря на затраты громадного количества материальных и денежных ресурсов, установленная мощность станции и количество энергии, которое могло быть ею отпущено, ни в какой мере не покрывают нужд не только всего Северного Урала, но даже непосредственно прилегающего к ней района.

За последнее время стало совершенно очевидно, что дальнейшее экспериментирование не только не поведет в сторону действительного налаживания нормальной работы станции, но может еще больше ухудшить его.

Прежде всего надо было решить вопрос топлива. Сейчас окончательно установлено, что топливом для станции будет служить промежуточный продукт, который будет получаться в избытке от строящегося вблизи Кизелгрэс коксохимкомбината. Поэтому оборудование котлов следующих очереди расширения принято производить пылевидными топками.

Количество отбросного топлива, получаемого в процессе обогащения, в состоянии обеспечить станцию на весьма значительную мощность. Принято решение о доведении установленной мощности Кизелгрэса до 200 000 kW. В 1932 г. намечено довести мощность до 100 000 kW путем установки 3 турбогенераторов по 24 000 kW и соответствующего котельного оборудования.

Последней районной электростанцией, сооружаемой в настоящее время на Северном Урале, является Березниковская тэц.

При разрешении энергетической проблемы Урала, в частности, в отношении топливной базы, главным образом, имелся в виду переход на основе максимального использования отходов и отбросного топлива на нормальную выработку дешевой электрической энергии, что дает возможность развития электромеханики и теплоемких производств.

Сооружаемая Энергостроем Березниковская тэц—первая станция, осуществившая эти тенденции, представляет большой технический интерес: как первая станция Союза и одна из немногих в западной Европе.

Березниковская тэц высокого давления предназначена для снабжения электрической энергией и паром группы заводов Березниковского химического комбината, расположенного на берегу Камы, в 100 km севернее Перми.

Согласно заданию, тэц должна выработать:

- 1) электрической энергии 3-фазного тока 330 000 000 kWh при напряжении 6 300 V;
- 2) 33 000 000 kWh в год электроэнергии постоянного тока при напряжении в 270 V;
- 3) 800 000 t в час пара в год при давлении в 2,5 at

|           |   |   |   |   |   |   |      |
|-----------|---|---|---|---|---|---|------|
| 760 000   | " | " | " | " | " | " | 7,5  |
| 1 200 000 | " | " | " | " | " | " | 16,5 |

Предельная работа тэц—круглый год по 24 часа в сутки.

В соответствии с указанным заданием устанавливаются:

- 1) 5 котлов высокого давления (64 ат) максимальной производительностью каждый по 150 т пара в час.
- 2) 3 центральных пароперегревателя.
- 3) 3 форшальт-турбины по 12 800 kW при начальном давлении 56 ат и 400—435°C.
- 4) 1 форшальт-турбина мощностью 6 400 kW при том же давлении и температуре пара.
- 5) 3 конденсационных турбины с отбором на регенеративный процесс по 12 800 kW при начальном давлении 16 ат и 360°C.

Пар высокого давления поступает в форшальт-турбины и оттуда по особым паропроводам—в промежуточный центральный пароперегреватель, состоящий из трех пароперегревателей, каждый производительностью по 150 т пара в час, для увеличения температуры перегрева пара до 375°C.

Для обеспечения Березниковского комбината постоянным током установлены 3 турбогенератора постоянного тока на начальное давление в 14 ат и 325°C с промежуточным отбором пара на производительность до 35 т в час с давлением в 21 ат.

Подогретый пар поступает в турбину по длинному паропроводу (550 м) после промежуточного пароперегревателя.

По этой станции и в 1931 г. Энергостроем закончены монтажные работы:

- 1) форшальт-турбины высокого давления мощностью каждая по 12 800 kW.
- 2) 1 форшальт-турбина высокого давления мощностью 6 400 kW.
- 3) 2 котла высокого давления.
- 4) 2 центральных пароперегревателя.
- 5) Топливоподача на полную мощность всей теплоэлектроцентрали.
- 6) Электрическая части всей станции.
- 7) Машинный зал электростанции постоянного тока.

Монтаж и сдача в эксплуатацию всей остальной части теплоэлектроцентрали заканчивается в первом квартале 1932 г.

Из других электростанций, находящихся в постройке, или в виде новых сооружений, или в виде расширяемых, в 1931 г. и в настоящее время уже подготовленных к участию в электроснабжении страны, следует отметить: Дзержинскую, Нижегородскую, Ярославскую, Иваново-Вознесенскую и Брянскую станции.

Первая очередь Дзержинской станции состоит из 2 котлов по 850 м<sup>2</sup> фирмы Бабкок и Вилькоккс, 2 котлов той же фирмы по 675 м<sup>2</sup>, 2 турбогенераторов завода ЛМЗ по 24 000 kW. Топливом для станции служит антрацитовый штыб.

В процессе окончания постройки находится четвертая очередь Нижегородской грэс. В настоящее время на Нигрэсе установлено следующее основное оборудование: 10 котлов по 750 м<sup>2</sup> повышенного нагрева на давление 18 ат типа Стерлинг, фирмы Бабкок и Вилькоккс, 6 котлов по 1 500 м<sup>2</sup> Витковицкого завода на давление 30 ат, 3 котла той же фирмы по 1 660 м<sup>2</sup> на то же давление, 2 турбины по 10 000 kW фирмы АЕГ, 1 турбина—Броун-Бовери 22 000 kW, 1 турбина Эшер-Висс 22 000 kW, 2 турбины по 24 000 kW фирмы АЕГ и 1 турбина 46 000 kW фирмы Метро-Виккерс. Кроме того, на Нигрэсе устанавливаются 1 турбина 44 000 kW и 3 котла по 1 500 м<sup>2</sup> ЛМЗ.

Топливом для указанной станции в основном служит торф. В настоящее время часть котельной реконструируется на нефтяное отопление.

На Нигрэсе имеются сооруженными 2 подстанции: закрытая—мощностью 120 000 kVA (4 группы трансформаторов по 30 000 kVA) и открытая часть—120 000 kVA (2 группы трансформаторов по 60 000 kVA).

Основное оборудование Ярославской грэс состоит из 4 котлов фирмы Шихау повышенного нагрева 1 000 м<sup>2</sup> на давление 30 ат с перегревом пара до 450° С и 3 турбогенераторов фирмы Борзиг по 11 000 kW каждый. Топливом для станции служит кусковой и фрезерный торф.

Для снабжения электроэнергией Иваново-Вознесенского района в истекшем году закончена первая очередь сооружения Иваново-Вознесенской электростанции.

Оборудование состоит из 5 котлов Витковицкого завода по 1 500 м<sup>2</sup> повышенного нагрева и 2 турбогенераторов Метро-Виккерс по 24 000 kW, 660 V, 1 турбогенератора собственных нужд (турбина фирмы Вумаг, генератор завода „Электросила“, мощностью 3 000 kW).

Повысительная подстанция состоит из 2 групп однофазных трансформаторов 6,6/115 kV, общей мощностью 60 000 kW.

Брянская грэс выделена, как опытная станция по освоению фрезерного торфа.

Основное оборудование состоит из 5 котлов завода ЛМЗ и 2 турбогенераторов мощностью по 11 000 kW (турбина завода ЛМЗ, генератор завода „Электросила“).

Помимо этих станций в текущем году были расширены Каширская станция установкой 2 турбогенераторов на мощность 94 000 kW и Ленинградские станции мощностью 60 000 kW.

Наиболее слабым участком на фронте электростроительства 1931 г. было сооружение линий передач и подстанций.

Сооружением электростанции, подготовкой и введением в эксплуатацию мощностей решается только одна часть проблемы электрификации. За этой частью следует не менее важная задача, заключающаяся в доведении вырабатываемого на электростанциях тока до потребителей.

Введение в эксплуатацию одного мощного турбогенератора за другим требует в первую очередь освоения вырабатываемой энергии погребителями, и всю проблему энергетического перевооружения страны или отдельного района можно считать завершенной, когда вырабатываемые на электроцентралях киловатты обращаются в киловаттчасы у потребителей.

Отсюда задача полного освоения и использования заводами, шахтами, новостройками и прочими предприятиями вновь вступивших мощностей всецело зависит от успешности выполнения работ по сооружению сетей и подстанций.

Между тем недостаточное внимание, которое вплоть до последнего времени уделялось вопросам обеспечения оборудованием и кабелем сетей и подстанций, привело к тому, что в отдельных районах, наиболее ответственных (Донбасс, Урал и пр.), разрыв между установленной на станциях мощностью и фактической возможностью ее освоения потребителями, ввиду отсутствия целого ряда транзитных линий и подстанций, достигает до 50%.

По подстанциям, находящимся в ведении Энергостроя (почти все сооружаемые станции Союза без Могэса и Электроток), имеет место следующая картина:

Таблица 1

| По плану              |                   |                               | Введено в эксплуатацию, включая заканчиваемые монтажом, обеспеченные оборудованием |                                |                                   |
|-----------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Напряжение подстанций | Колич. подстанций | Общая мощность трансформатора | Колич. подстанций                                                                  | Общая мощность трансформаторов | Процентное выполнение по мощности |
| 115 kV . . . . .      | 51                | 694 500                       | 14                                                                                 | 211 700                        | 30,4                              |
| 38 . . . . .          | 73                | 287 800                       | 28                                                                                 | 136 700                        | 47,5                              |
| Всего . . . . .       | 124               | 982 300                       | 42                                                                                 | 348 400                        | 35,4                              |

По линиям электропередач (без Электроток и Северного Кавказа) план и выполнение можно усмотреть из таблицы 2:

Таблица 2

| По плану         |                    | Введено в эксплуатацию, включая заканчиваемые монтажом, обеспеченные кабелем и изоляторами |                    |
|------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Напряжение       | Протяженность в км | Протяженность в км                                                                         | Процент выполнения |
| 115 kW . . . . . | 3 176              | 855,3                                                                                      | 27                 |
| 38 . . . . .     | 933                | 511                                                                                        | 54                 |
| Всего . . . . .  | 4 109              | 1 366,3                                                                                    | 33,2               |

Таким образом вследствие вышеуказанной неувязки между строительством электростанций и сооружением линий электропередач и подстанций имеет место разрыв между введенной мощностью генераторных станций и возможностью передать электроэнергию приемникам тока.

\* \* \*

„(Обеспечение основных задач народнохозяйственного плана, особенно задач форсированного развития ведущих отраслей тяжелой промышленности, требует дальнейшего расширения энергетической базы“ (из резолюции XVII партконференции по докладу т. Орджоникидзе).

Из общих капиталовложений, предусмотренных контрольными цифрами в сумме 800 млн. руб., планом электростроительства 1932 г. намечается по линии районного электростроительства (станций, входящих в систему Энергоцентра) 522 млн. руб. Эти капиталовложения предполагают освоению 87 объектов на общую устанавливаемую мощность 5,5 млн. kW с объемом работ 427 млн. руб. и 24 объекта, вновь начинаемых, на общую мощность 2 млн. kW с объемом работ 95 млн. руб.

Общая мощность, намеченная к вводу в 1932 г., составляет 1 500 тыс. kW (из них на Днепрострое вводится 6 агрегатов мощностью по 62 000 kW каждый и на остальные районные станции падает свыше 1 млн. kW).

Народнохозяйственный план 1932 г. выдвигает перед энергетикой Союза основную проблему, заключающуюся в полном освоении и использовании уже введенных в эксплуатацию мощностей за предыдущие годы и в форсировании введения новых мощностей для обеспечения развертывания и бесперебойной работы на решающих участках последнего года пятилетки, а именно: в черной металлургии, в угольной промышленности и железнодорожном транспорте. Этой основной задаче подчинен план электростроительства Союза на 1932 г.

По обеспечению отдельных отраслей промышленности производственная программа 1932 г. по вводу мощностей разбивается следующим образом:

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| а) Металлургия . . . . .    | 839 000 kW, или 51% |
| б) Топливо . . . . .        | 2 0 000 „ „ 14%     |
| в) Машиностроение . . . . . | 283 000 „ „ 14%     |
| г) Химия . . . . .          | 43 000 „ „ 18%      |

Из указанного выше 1 млн. kW районных станций ввод мощностей по главнейшим районам и республикам разбивается так:

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| Ленинградская область . . . . . | 136 000 kW |
| Московская . . . . .            | 130 000 „  |
| Нижегородский край . . . . .    | 70 000 „   |
| Урал . . . . .                  | 96 000 „   |
| Украина . . . . .               | 378 000 „  |
| Северный Кавказ . . . . .       | 48 000 „   |

Что касается крупнейших промышленных станций, идущих по лимитам промышленности, то на протяжении 1932 г. подлежат вводу в эксплуатацию:

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| Магнитогорская . . . . .   | 112 000 kW |
| Кузнецкая . . . . .        | 98 000 „   |
| Дзержинская . . . . .      | 72 000 „   |
| Макеевка . . . . .         | 24 000 „   |
| Криворожье . . . . .       | 25 000 „   |
| Липецкая . . . . .         | 24 000 „   |
| Нижне-тагильская . . . . . | 24 000 „   |
| Баку . . . . .             | 48 000 „   |

Все эти станции не проходят по лимитам Энергоцентра, но подавляющая часть их строится Энергостроем, входящим в систему Энергоцентра.

1931 г., как уже было сказано выше, явился годом значительного сдвига в деле энергетического перевооружения Донбасса. В результате работы этого года положение здесь резко улучшилось, хотя еще и не совсем покрыт дефицит в электроэнергии. В 1932 г. должны быть произведены дальнейшие решительные сдвиги по созданию новейшей энергетической базы Донбасса.

В Кузнецком бассейне в 1932 г. будут введены следующие мощности: Кемерово—48 000 kW, Кузнецкстрой—108 000 kW.

В Карагандинском районе в 1932 г. будет построена временная станция на 12 000 kW, которая безусловно обеспечит электроэнергией шахты на текущий год и на начало 1933 г.

Кизеловский район является и в 1932 г. в отношении наличия мощностей наиболее неблагоприятным угольным райо-

ном, и отсюда совершенно безотлагательной является задача доведения мощности Кизелгреса в этом году до 100 000 kW.

Программа 1932 г., предусматривающая развертывание тепловых электростанций на общую мощность 1 743 000 kW, является программой, которая в значительной мере обеспечивает максимальное развитие строительства тепловых электростанций.

Наконец следующей особенностью программы 1932 г., которую следует подчеркнуть, является широкое развитие этого года строительства гидроэлектростанций.

В 1931 г. в постройке находилось 10 гидроэлектростанций, из коих наиболее мощными являются:

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| Днепрострой . . . . .   | 558 000 kW |
| Баксанстрой . . . . .   | 25 000 „   |
| Свирьстрой . . . . .    | 96 000 „   |
| Гизельдон . . . . .     | 22 000 „   |
| Дзорогэс . . . . .      | 22 000 „   |
| Рионгэс . . . . .       | 48 000 „   |
| Аджарис-Цхали . . . . . | 16 000 „   |

Всего на общую мощность 860 000 kW с общим объемом работ по плану в 134 млн. руб.

Кроме указанных 10 гидроэлектростанций, в 1931 г. находилось в постройке 7 гидростанций, которые шли по лимитам промышленности, на общую мощность 115 000 kW.

Кроме Днепровской станции, которая в 1932 г. даст 372 000 kW (6 агрегатов по 62 000 kW), от гидроэлектростанций должны быть получены еще мощности в 85 000 kW.

Для ликвидации имевшего место разрыва в предыдущие годы между введенными мощностями и сооружением для приема этих мощностей, линий электропередач и подстанций в контрольных цифрах 1932 г. предусматривается значительное расширение работ по транзитным линиям и подстанциям. Объем этих работ можно усмотреть из нижеследующих таблиц:

По подстанциям

| Напряжение подстанций | Количество подстанций | Общая мощность силовых трансформаторов в киловатт. |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|
| 115 kV . . . . .      | 91                    | 2 337 000                                          |
| 38 „ . . . . .        | 172                   | 1 011 100                                          |
| Всего . . . . .       | 263                   | 3 348 100                                          |

По линиям электропередач

| Напряжение       | Протяженность в километрах | В их числе потребителей км |
|------------------|----------------------------|----------------------------|
| 115 kV . . . . . | 5 187                      | 604                        |
| 38 „ . . . . .   | 1 767                      | 355                        |
| Всего . . . . .  | 6 954                      | 959                        |

Выполнение этого минимального плана в 1932 г. должно быть безоговорочно обеспечено, для чего должны быть теперь же устранены какие бы то ни были препятствия и случайности, которые могли бы сорвать эту программу, чем бы они ни были вызваны: недостаточностью ли оборудования или неудовлетворительностью организации работ.

Установка на безоговорочное выполнение утвержденной правительством программы электростроительства в 1932 г. для своего осуществления требует конкретной материальной базы в виде наличия проектов, соответствующего снабжения мате-

риалами, оборудованием и кадрами, требует рационального использования собственных ресурсов и правильной организации как строительства в целом, так и отдельных строений.

Помимо снабжения основными материалами, которыми должны быть обеспечены строительства, особое внимание при выполнении этой совершенно реальной программы должно быть сосредоточено на правильной организации работ, доброкачественности и комплектности поставки оборудования.

В 1931 г. монтажные работы выполнялись совершенно невиданными до этого года темпами.

Так, Дзержинская грэс была начата постройкой в октябре 1930 г. Пуск первой турбины состоялся 29 сентября 1931 г. Монтаж Магнитогорской станции и Штеровской грэс был произведен в сроки, которые до этого времени казались невозможными.

Правительственные сроки пуска турбоагрегатов Зуевской грэс были следующие: первая турбина 50 000 kW—1 декабря 1931 г., вторая турбина—1 января 1932 г. и третья турбина—1 февраля 1932 г.

Фактически же агрегаты пушены: первый турбогенератор—30 октября 1931 г., второй турбогенератор—28 декабря, третий турбогенератор—31 декабря, причем монтаж третьего турбогенератора начал 1 ноября и закончен 31 декабря 1931 г. Срок монтажа турбины 50 000 kW в 2 мес.—небольшой. Следует при этом особо подчеркнуть, что монтаж всех трех турбин произведен был без всяких временных устройств.

Основная задача, которая в настоящее время стоит перед энергостроительными организациями в интересах перестройки всей работы под углом зрения 6 условий т. Сталина, заключается: в приближении руководства стройками к самим стройкам путем организации районных отделений трестов и правильной организации работ, сводящейся к составлению предварительных планов, технологического процесса производства строительных и монтажных работ, рациональной организации труда и к увеличению механизации в деле производства работ.

Следующими весьма важными вопросами, от решения которых зависит успешное завершение программы энергостроительными организациями Союза, являются вопросы, связанные с поставкой оборудования.

1932 г.—переломный год в отношении снабжения наших электроустановок союзным оборудованием. До этого года, как уже было указано выше, строительство электростанций базировалось в значительной мере на импортном оборудовании, поскольку производство энергооборудования начало налаживаться в Союзе только за последнее время.

В 1929 и 1930 гг. строительство полностью базировалось на импортном оборудовании.

1931 г. в связи с развитием турбостроения, а также и котлостроения следует считать годом начала внедрения союзного оборудования в строительство крупных районных и промышленных станций.

Так, в общем объеме строительства удельный вес советских котлов был—10%, турбин—17%, генераторов—23%.

1932 г. в этом отношении должен дать значительное повышение удельного веса союзного оборудования, а именно: котлов—64%, турбин—64%, генераторов—90,5%.

В части же целого ряда подсобного и теплосилового оборудования соотношение между 1931 и 1932 гг. еще более резкое в сторону значительного увеличения продукции 1932 г. Целый ряд объектов вспомогательного оборудования, как, например, топки, экономайзеры, дымососы должны быть увеличены производством от 15 до 57 раз. Часть же производства оборудования устанавливается в Союзе впервые, как, например, мельницы и пылевидные топки.

Такой рост удельного веса союзного оборудования требует особенно внимательного анализа в части подготовки к строительству самой промышленности как в отношении налаженности, так и в отношении сроков выпуска продукции и, наконец, в отношении комплектности.

Мостовые краны, без которых не может производиться монтаж мощных турбогенераторов по 24 и 50 000 kW, до 1931 г. в подавляющем размере импортировались. Производство их в Союзе в нужном масштабе является самым необходимым, тем более, что само производство кранов в достаточной степени простое и является производством серийным.

Производство турбин ЛМЗ следует считать в основном достаточно налаженным в 1931 г., чего нельзя сказать о вспомогательном оборудовании. Не вызывает никакого сомнения готовность в нужные сроки турбин мощностью в 24 000 kW, но, к сожалению, подсобное к ним оборудование будет комплектоваться заводом со значительным опозданием во II и III и в начале IV кварталов 1932 г.

Основным затруднением для комплектования механической части электроустановок являются насосные агрегаты, перегреватели высокого и низкого давления, испарительные устройства, паро- и трубопроводы, воздухоподогреватели и пр.

Производство этого подсобного оборудования в значительной части уже налажено ЛМЗ, в другой части налаживается, но оно резко отстает по срокам от изготовления основного оборудования, делая последнее временно бесполезными и не допуская его использования.

Изготовление котлов отстает от сроков пуска и по целому ряду станций первостепенного значения; разрыв составляет от 2 до 5 мес., главным образом, из-за недостатка в барабанах.

Производство электрических генераторов является одним из наиболее налаженных и обеспечивающих осуществление плана 1932 г.

Комплектование котлов подсобным оборудованием в некоторой части будет производиться за счет импорта; в остальной части за счет нового производства в Союзе мельниц, топок, дымососов, вентиляторов и т. п.

Среди подсобного оборудования в отдельную группу следует вынести паропроводы, которые до сих пор импортировались. Форсирование этого производства в Союзе является настоятельно необходимым.

Последний вопрос, который следует затронуть, говоря о перспективах работ 1932 г.—это вопрос стоимости установленного киловатта.

Из прилагаемых при сем таблиц можно усмотреть стоимость установленного киловатта на некоторых европейских и американских электроцентралях, а также стоимость установленного киловатта на сооруженных электростанциях в нашем Союзе.

#### Стоимость установленного киловатта некоторых западно-европейских и американских станций

| Наименование станции                                                                                                                           | Стоимость установки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) Вест (228 000 kW) (Германия) <sup>1</sup>                                                                                                   | Силовая станция—94 руб. (при стоимости марки 40 коп.)<br>Новые устройства 16 руб.<br>110 руб.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Вся стоимость станций—<br>25 800 тыс. руб.<br>(64 645 000 марок)<br>Строительная часть<br>10 162 тыс. руб.<br>Оборудование<br>24 638 тыс. руб. | Котельная 26%<br>Машинный зал 20,7%<br>Трубопроводы 4,5%<br>Трансформаторное устройство 3,4%<br>Электрооборудование собственных нужд 3,0%<br>Водоочистка 6,0%<br>Трансф. и распределительное устройство 13,0%<br>Участок, склады 19,9%<br>109 руб. 272 марки при стоимости марки 40 коп.<br>Постройка 41 руб.<br>Котельная 31 руб.<br>Машинный зал 22 руб.<br>Распределительные устройства 15 руб.<br>Стоимость 1 kW 129 руб. (66,69 долл. при стоимости доллара 1 р. 94 коп.) |
| 2) Клингенберг (270 000 kW) (Германия) 1926 г.                                                                                                 | Стоимость 1 kW 109 долл. или 211 руб.<br>Здание и земляные работы 20%<br>Котельное водоснабжение 43%<br>Машинный зал 23%<br>Полное электрооборудование 14%<br>Стоимость 1 kW 180 руб.                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3) Морелл-Стрит в Детройте (60 000 kW) пред. мощн. 80 000 kW)<br>Вся стоимость станций—<br>4 001 537 долл. <sup>2</sup>                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 4) Кольфекс (270 000 kW) Полная стоимость<br>29 448 000 долл. <sup>3</sup>                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 5) Крауфорд (235 000 kW) Общая стоимость<br>42 300 тыс. руб.) <sup>4</sup>                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

<sup>1</sup> „ETZ“, № 14, 16, 1930.

<sup>2</sup> „Power“, 4/XI, 1928, стр. 402.

<sup>3</sup> „ETZ“, № 4, 1926.

<sup>4</sup> „Arch. für Warmwirtschaft“, № 1, 1929 г.



**Стоимость  
установленного киловатта на станциях Союза  
(по данным Энергоцентра)**

| Наименование станций             | Мощность в kW | Здания и сооруж., факт. стоим. на 1 уст. kW | Оборудование факт. стоим. на 1 уст. kW | Итого факт. стоим. на 1 уст. kW |
|----------------------------------|---------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
|                                  |               | в рублях                                    |                                        |                                 |
| Осинострой . . . . .             | 20 тыс.       | 101,75                                      | 157,2                                  | 330,5                           |
| Красный Октябрь . . . . .        | 111 тыс.      | 160,00                                      | 316,75                                 | 486                             |
| Шатура . . . . .                 | 136 тыс.      | 95,0                                        | 200                                    | 295,0                           |
| Кашира . . . . .                 | 86 тыс.       | 195                                         | 212                                    | 407                             |
| 1-я Мгэс . . . . .               | 107,5 тыс.    | 100,5                                       | 170,5                                  | 271                             |
| 2-я . . . . .                    | 38,5 тыс.     | 132,0                                       | 198                                    | 330                             |
| 1-я тэц Москва (3 850) . . . . . |               | 166                                         | 665                                    | 831                             |
| Красно-Пресн. тэц . . . . .      | 8,0           | —                                           | —                                      | 850                             |
| Орехово-Зуевская тэц . . . . .   | 8,6           | —                                           | —                                      | 1000                            |
| Тверская тэц . . . . .           | 4,0           | —                                           | —                                      | 750                             |
| 1-я Ленинградская гэс . . . . .  | 65,0          | 150                                         | 200                                    | 350                             |
| 2-я Ленинградская . . . . .      | 7,5           | 312                                         | 288                                    | 600                             |
| 3-я . . . . .                    | 15,8          | —                                           | —                                      | 369                             |
| 4-я . . . . .                    | 16,90         | 116                                         | 197                                    | 313                             |
| 6-я Волховстрой . . . . .        | 58,0          | 657                                         | 256                                    | 913                             |
| Шахтинская . . . . .             | 44            | 68                                          | 202                                    | 270                             |
| Киевская грэс . . . . .          | 21,3          | 130                                         | 232                                    | 362                             |
| Чугуевская . . . . .             | 45,5          | 181                                         | 181                                    | 362                             |

Прежде всего в союзных условиях районные станции строятся в большинстве случаев в отдаленных местностях без наличия под'ездных путей. Это обстоятельство требует значительных подготовительных работ как в части строительства, так и в части подготовки культурно-бытовых условий.

Несвоевременность и недостаточность снабжения, перебои финансирования, длительность производства работ, которая имела место до сих пор, также влияют на повышение себестоимости советских электростанций. Однако наибольшее влияние оказывает имеющая пока еще место дороговизна советского оборудования по сравнению с импортным.

Из нижеприведенных таблиц можно усмотреть стоимость котлов и генераторов, этих основных частей оборудования электростанций, за границей и у нас.

Из этой таблицы видно, что союзное оборудование по стоимости превосходит импорт в 2—3, а иногда и в 4 раза и, поскольку в стоимости строительства районных станций тепло-силовое оборудование составляет не менее 60%, такое удорожание безусловно отражается на стоимости установленного киловатта.

В интересах снижения стоимости установленного киловатта наших строящихся электроцентралей, должны быть с одной стороны, планомерность и четкость организации строительства и безостановочный его процесс, начиная от земляных работ и кончая пуском в эксплуатацию, а с другой,—усилия энергомашиностроительной промышленности Союза в отношении максимального снижения стоимости поставляемого оборудования и улучшения качества последнего.

Перед энерго- и машиностроительными предприятиями и энергостроительными организациями Союза партий и правительством поставлена серьезнейшая задача, заключающаяся в создании новейшей энергетической базы для социалистической реконструкции нашего народного хозяйства.

Выполнение этой основной задачи в целом и удовлетвори-

**Стоимость котлов**

| Союзное             |                             |                                                                                                       |                    | И м п о р т н о е             |                                                                                             |             |          |                   |
|---------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|-------------------|
| № по пор.           | Повыш. нагр. m <sup>2</sup> | Объем поставки                                                                                        | Стоим. в тыс. руб. | Повыш. нагр. в m <sup>2</sup> | Объем поставки                                                                              | Фирма       | Стр-во   | Валютн. стоимость |
| 1                   | 500                         | Дымососы, питательный вентилятор, дымовые трубы                                                       | 174                | 800                           | Воздухоподогрев. вентилят. Топ.-камер. регул. пит. пок. уровня                              | Мюллер      | Донсода  | 120               |
| 2                   | 750                         | Топки, воздушные экономайзеры, дымососы, вентилят., дымососы трубы                                    | 376                | 1 000                         | Регул. пер. питан. Воздухоподогрев., дымососы, воздухопроводы                               | Шихау       | Яргрес   | 122               |
| 3                   | 1 250                       | 3-б а р а б а н ы, Механические топки, экраны, возд. эконо. дымососы, вентиляторы                     | 905                | 15 000                        | Регулят. пер. (указать уровень), вентиляторы, дымососы, воздухопроводы без воздухоподогрева |             | Зуевгрэс | 250               |
| 4                   | 1 500                       | Питательные насосы Вод. эконо. насосы, дымососы с мотор. вентилятор. и с элек. мот. возд. экон. топки | 914                | 1 660                         | Топка механическая воздушный экономайзер, дымососы, вентиляторы                             | Витко-вицко | Нигрес   | 390               |
| Г е н е р а т о р ы |                             |                                                                                                       |                    | Т у р б и н ы                 |                                                                                             |             |          |                   |
| kW                  |                             | Союзные                                                                                               | Импортные          | Союзные                       |                                                                                             | Импортные   |          |                   |
| 12 000              |                             | 195 660                                                                                               | 90 000             | 350 000                       |                                                                                             | 100 000     |          |                   |
| 24 000              |                             | 360 000                                                                                               | 120 000            | 812 000                       |                                                                                             | 240 000     |          |                   |
| 60 000              |                             | 938 415                                                                                               | 250 000            | 1460 000                      |                                                                                             | 514 000     |          |                   |

Из этих таблиц ясно видно, что стоимость установленного киловатта у нас превышает стоимость европейских и американских станций в 2—3, а иногда и в 4 раза.

Такое резкое повышение объясняется следующими основными причинами.

тельное завершение программы энергостроительства, намеченной в 1932 г., безусловно возможны при установлении правильной организации работ как промышленностью, так и строительными и при правильных и четких взаимоотношениях между этими организациями.

## Электрификация Украины в 1932 г.

Ю. М. Гольденберг

Энергосектор НКТП Украины

1931 г. ознаменовался крупными победами на фронте социалистической электрификации Украины. Установлена 3-я очередь Штеровки, 2 агрегата по 44 MW; закончено строительство Зуевской электростанции и пущен в эксплуатацию 1-й агрегат 50 MW; закончено строительство станции при металлургическом заводе им. Дзержинского и пущен в эксплуатацию 1-й агрегат в 24 MW. Все перечисленные стройки закончены досрочно и по своим темпам и техническому оборудованию не уступают западным странам и САСШ. Так, 3-я очередь Штеровки смонтирована в 4 мес.; строительство станции при металлургическом заводе закончено в 12 мес. и, наконец, строительство Зуевской электростанции проектной мощностью 250 MW закончено в 1-й своей очереди в 17 мес.

Можно определенно сказать, что в 1931 г. Украина вступила в новый этап развития своего энергетического хозяйства, которое характеризуется, во-первых, вволом в эксплуатацию крупных централей и, во-вторых, короткими сроками их строительства.

Подводя итоги электрификации Украины в 1931 г., прежде всего необходимо отметить крупное усиление энергетического хозяйства в Донбассе. В 1931 г. мощность районных электростанций Донбасса усиливается на 252 MW, в том числе по Штеровке 88, Зуевке 100 и Донсода 64 MW.

Всего на Украине на протяжении 1931 г. вновь установлена на электростанциях мощность в 306 MW; в том числе.

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Донбасс .....      | 232 MW |
| Приднепровье ..... | 48 „   |
| Харьков .....      | 15 „   |
| Прочие .....       | 11 „   |

Всего.. 306 MW

На 1 января 1931 г. установленная мощность на Украине исчислялась в 700÷725 MW.

Таким образом на протяжении 1931 г. энергетический актив Украины увеличился на 45%, и на 1 января 1932 г. вся мощность электростанций Украины составляет свыше 1 000 MW.

Кроме окончания и пуска в эксплуатацию ряда мощных электростанций, продолжают и приближаются к своему окончанию новые крупнейшие стройки. К таким принадлежит Днепрострой, пуск которого встречным планом приурочивается к 1 мая 1932 г.

В 1931 г. приступлено к строительству двух крупных теплоэлектростанций: одной на строящемся Харьковском турбинном заводе, другой на Луганском заводе им. Октябрьской революции. Строительство мощных электростанций развернуто в 1931 г. на металлургических заводах, на строящемся Криворожском металлургическом заводе, на Азовстали, на Макеевском и Ворошиловском металлургических заводах. Наконец, в 1931 г. развернуто строительство ряда коммунальных электростанций: в Херсоне, Виннице, Бердичеве и пр., приспособлено к сооружению одной торфяной электростанции в Хореле.

Если, подводя итоги электрификации Украины 1931 г., представляется возможным констатировать значительное развертывание строительства мощных электростанций, то хуже обстоит дело с подготовкой потребителей к приему электроэнергии. Особенно ярко это обстоятельство отражается на электроснабжении Донбасса, где линии электропередачи и подстанции не подготовлены к приему электроэнергии от новых агрегатов Штеровки и Зуевки.

Большим недостатком в электрохозяйстве Украины является низкий коэффициент мощности станций. Для повышения коэффициента необходимо принять ряд срочных мероприятий и в первую очередь рационально расставить электромоторы по отдельным предприятиям и обеспечить работу электромоторов полной нагрузкой.

Серьезное внимание должно быть обращено на строительство сетей и подстанций (в особенности в Донбассе), что позволит поставить промышленность в нормальные условия эксплуатации.

Переходя к контрольным цифрам электрификации Украины на 1932 г., нужно отметить значительное увеличение потребности в электроэнергии, представляемое украинской промышленностью, превышающее двукратное потребности 1931 г. Этот рост, главным образом, должен произойти за счет новой промышленности, создаваемой на Приднепровье. Днепрокомбинат в конце 1932 г. потребует мощности около 270 MW, в том числе завод ферросплавов—108 MW, алюминиевый завод

100 MW и металлургический завод—14 MW. Для того чтобы судить об энергоемкости алюминиевого производства и производства ферросплавов, достаточно указать, что один алюминиевый завод потребует столько энергии, сколько сейчас потребляет Харьков, Киев, Днепропетровск и Одесса, вместе взятые.

Все Приднепровье, включающее Запорожский, Днепропетровский, Каменский, Криворожский и Никопольский районы, потребует в конце 1932 г. 468 MW против установленных в настоящее время 133 MW.

Огромные требования на электроэнергию в 1932 г. предъявляет Донбасс. По данным Донэнерго рост потребляемой мощности по Донбассу в 1932 г. по районам представлен табл. 1.

Таблица 1

| Наименование района                              | I кв.<br>MW | II кв.<br>MW | III кв.<br>MW | IV кв.<br>MW |
|--------------------------------------------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| Северодонецкий .....                             | 35,0        | 36,6         | 38,6          | 40,2         |
| Константиновский .....                           | 62,6        | 66,3         | 73,1          | 78,3         |
| Центральный .....                                | 60,6        | 61,1         | 67,8          | 69,5         |
| Сталино-Кадиевский .....                         | 136,0       | 142,0        | 158,1         | 163,4        |
| Криничавский .....                               | 21,6        | 27,3         | 28,5          | 52,3         |
| Кадиевский .....                                 | 51,5        | 53,3         | 59,5          | 51,5         |
| Серовино-Должанский .....                        | 7,7         | 7,4          | 8,4           | 8,5          |
| Всего .....                                      | 378,0       | 397,0        | 434,0         | 471,7        |
| С учетом коэффициента одновременности 0,85 ..... | 320,0       | 337,0        | 378,0         | 400,0        |

По отдельным потребителям Донбасса в IV кв. 1932 г. мощность распределяется следующим образом (табл. 2).

Таблица 2

| Вид промышленности                             | Потребная мощность MW |
|------------------------------------------------|-----------------------|
| Угольная .....                                 | 135,5                 |
| Металлургия .....                              | 101,0                 |
| Машиностроение .....                           | 56,0                  |
| Союзкокс .....                                 | 26,0                  |
| Прочая химическая .....                        | 47,0                  |
| Строительные материалы .....                   | 28,5                  |
| Стекольная .....                               | 3,4                   |
| Соляная .....                                  | 2,6                   |
| Ж-д. транспорт, включая тяговую нагрузку ..... | 27,0                  |
| Коммунальная нагрузка .....                    | 28,0                  |
| Прочие .....                                   | 16,7                  |
| Всего .....                                    | 471,7                 |

Первое место по потреблению электроэнергии в Донбассе занимает каменноугольная промышленность, второе—металлургия, третье—кокс химическая с прочей химией, четвертая—машиностроение и т. д. Потребная мощность Донбасса и Приднепровья составит около 80% от потребности всей Украины. В числе остальных районов большое место занимает Харьковский район. Если к концу 1931 г. потребная мощность Харькова с районом предполагалась в 45 MW, то к концу 1932 г. она возрастет до 75 MW. По отдельным потребителям эта мощность распределяется следующим образом (см. табл. 3, стр. 325).

После Харькова следует Киевский район, увеличивающий свою потребность с 28 MW в конце 1931 г. до 35 MW в конце 1932 г. Крупным потребителем электроэнергии на Украине является Мариуполь с металлургическим производством. Потребность металлургического производства г. Мариуполя возрастает с пуском Азовстали с 12 до 30 MW к концу 1932 г. Потребность г. Мариуполя с портом исчисляется к концу 1932 г. в 5 MW. Одесса увеличивает свою потребность с 18 до 25 MW. Далее, г. Николаев с крупным судостроением и прочей городской нагрузкой потребует в конце 1932 г. 15 MW.

Таблица 3

| Потребители                                                            | Потребная мощность            |                          |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|                                                                        | 1931 г.<br>(конец года)<br>MW | 1932 г.<br>(I кв.)<br>MW |
| Бытовое потребление, трамвай, водопровод, канализация, освещение ..... | 28,0                          | 39,0                     |
| Харьковский паровозный завод ..                                        | 4,5                           | 7,0                      |
| Тракторный завод .....                                                 | 6,0                           | 9,0                      |
| Электромеханический завод .....                                        | 3,8                           | 4,7                      |
| Турбинострой .....                                                     | 1,3                           | 5,8                      |
| Авиострой .....                                                        | 0,8                           | 4,0                      |
| Серп и молот .....                                                     | 2,5                           | 8,7                      |
| Канатный завод .....                                                   | 2,2                           | 3,2                      |
| Прочие потребности Харькова ..                                         | 3,4                           | 5,3                      |
| Нагрузка района .....                                                  | 1,7                           | 8,0                      |
| Всего .....                                                            | 54,2                          | 94,7                     |
| С учетом коэффициента одновременности .....                            | 45,0                          | 75,0                     |

Наконец, следует целый ряд районов, значительно увеличивающих в 1932 г. потребление электроэнергии; сюда относятся Херсон, Кременчуг, Зиновьевск, Полтава, Винница, Бердичев и пр. Вся потребность в электроэнергии по Украине в целом, запроектированная на 1932 г., превышает  $5 \cdot 10^5$  kWh против потребления в 1931 г. в  $2,5 \cdot 10^6$  kWh.

В 1931 г. удельный вес промышленности в потреблении электроэнергии составлял 90%; в 1932 г. этот процент возрастает до 93, что объясняется строительством новых весьма энергоемких производств (алюминий, ферросплавы).

По отдельным отраслям народного хозяйства потребление электроэнергии распределяется согласно табл. 4.

Таблица 4

| Потребители                | Потребляемая электроэнергия |      |                     |      |
|----------------------------|-----------------------------|------|---------------------|------|
|                            | 1931 г.                     |      | 1932 г.             |      |
|                            | kWh·10 <sup>6</sup>         | %    | kWh·10 <sup>6</sup> | %    |
| Промышленность .....       | 2 275                       | 90,0 | 4 650               | 93,0 |
| Коммунальное хозяйство ..  | 225                         | 8,4  | 320                 | 5,4  |
| Сельская электрификация .. | 15                          | 0,6  | 30                  | 0,6  |
| Транспорт .....            | 25                          | 1,0  | 50                  | 1,0  |
| Всего .....                | 2 540                       | 100  | 5 050               | 100  |

Из  $4 650 \cdot 10^6$  kWh потребление электроэнергии промышленностью на союзную промышленность падает 91%, на республиканскую промышленность, подведомственную ВСНХ УССР, падает 5,5% и прочую промышленность—3,8%.

Первое место по потреблению электроэнергии в украинской промышленности занимает металлургия. В 1931 г. ее потребность исчислялась в  $700 \cdot 10^6$  kWh, в 1932 г. эта потребность повышается до  $1 650 \cdot 10^6$  kWh. Такой значительный рост объясняется, во-первых, большим потреблением электроэнергии заводом ферросплавов, который войдет в эксплуатацию во II квартале 1932 г., во-вторых, пуском ряда новых домен и увеличением выплавки чугуна до  $5,05 \cdot 10^6$  t и наконец реконструкцией Макеевского завода и завода им. Дзержинского.

Второе место по потреблению электроэнергии в украинской промышленности принадлежит каменноугольной промышленности, требующей в 1932 г.  $744 \cdot 10^6$  kWh против  $485 \cdot 10^6$  kWh в 1931 г. Потребность в электроэнергии в 1932 г. по каменноугольной промышленности исчислена применительно к запроектированной добыче каменного угля в 1932 г. по всему Донбассу в  $56 \cdot 10^6$  t и увеличению удельного расхода электроэнергии до 13,2 kWh/t против 11,5 в 1931 г.

Третье место по потреблению электроэнергии принадлежит машиностроению. Машиностроение на Украине охватывает 14 объединений союзного значения и 15 трестов республиканского значения, образовавшихся из состава прежнего республиканского объединения Укрмето. Потребность в электроэнергии по машиностроению запроектирована в  $670 \cdot 10^6$  kWh против  $404 \cdot 10^6$  kWh потребления 1931 г. Наиболее крупными потребителями являются предприятия Крамкомбината, объединения „Локомотив“, Сельмаша, ВАТО, Восхима, Союзверфи,

ВЭО, Горзавтреста. Из  $670 \cdot 10^6$  kWh электроэнергии по машиностроению на союзные объединения падает  $627 \cdot 10^6$ , т. е. 94%, и только 6% на республиканские.

К прочим энергоемким отраслям промышленности принадлежат следующие объединения: Союзкокс, Всехимпром, Союзалюминий, Огнеупорцемент и Руда.

Потребность в электроэнергии в 1931 и 1932 гг. по отдельным отраслям промышленности показана в табл. 5.

Таблица 5

| Виды промышленности        | Потребная электроэнергия       |                                |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                            | 1931 г.<br>kWh·10 <sup>6</sup> | 1932 г.<br>kWh·10 <sup>6</sup> |
| Металлургическая .....     | 700                            | 1 650                          |
| Каменноугольная .....      | 485                            | 744                            |
| Машиностроение .....       | 384                            | 670                            |
| Алюминиевая .....          | —                              | 350                            |
| Коксо-химическая .....     | 150                            | 300                            |
| Остальная химическая ..... | 180                            | 313                            |
| Огнеупорный цемент .....   | 53                             | 145                            |
| Рудная .....               | 80                             | 123                            |
| Пищевая и табачная .....   | 90                             | 150                            |
| Текстильная .....          | 32,5                           | 36,5                           |
| Стекло-фарфоровая .....    | 25,7                           | 38,8                           |
| Кожевенная .....           | 22,7                           | 28,3                           |
| Бумажная .....             | 20,8                           | 23,9                           |
| Стройматериалы .....       | 9,8                            | 19,3                           |
| Соляная .....              | 11,6                           | 12,0                           |
| Швейная .....              | 6,4                            | 10,7                           |
| Прочие .....               | 23,5                           | 35,4                           |
| Всего .....                | 2 275                          | 4 650                          |

Рост потребления электроэнергии промышленностью в 1932 г. связан с большим повышением энерговооруженности рабочего, ростом механизации и рационализации производства.

Так, например, по каменноугольной промышленности среднее потребление электроэнергии на одного рабочего в 1931 г. составляло 2 550 kWh; в 1932 г. этот показатель возрастает до 3 500 kWh, т. е. на 37%. По рудной промышленности имеем менее значительное повышение этого показателя, а именно, с 4 330 kWh в 1931 г. до 4 500 kWh в 1932 г. По машиностроению энерговооруженность растет в зависимости от основного производства. Наиболее высокий показатель падает на тяжелое машиностроение. Например, по Луганскому паровозному заводу энерговооруженность сейчас составляет 4 800 kWh. По среднему машиностроению энерговооруженность ниже: по сельхозмашиностроению удельное потребление электроэнергии на 1 рабочего составило в 1931 г. 1 400 kWh и возрастает до 1 800 kWh в 1932 г.

Самой высокой энерговооруженностью обладает металлургия—6 400 kWh на одного рабочего, что объясняется наличием весьма энергоемкого прокатного производства. Украинская металлургия потребует в 1932 г. столько электроэнергии, сколько вся украинская промышленность израсходовала в 1930 г. Потребность в электроэнергии украинской металлургии в 1932 г. составит 32% потребности всего народного хозяйства Украины и 35% всей украинской промышленности. В этом факте отражается тот удельный вес и то значение, которые украинская черная металлургия должна занять в построении контрольных цифр 1932 г.

Потребление электроэнергии коммунальным хозяйством и на освещение в 1931 г. составило  $225 \cdot 10^6$  kWh. Планом 1932 г. эта потребность увеличивается до  $320 \cdot 10^6$  kWh, т. е. на 40%.

Нужно отметить низкий уровень потребления электроэнергии на освещение и трамвай на Украине. Так, по данным 1930 г. рост электроэнергии на освещение на 1 жителя составил: (в киловатт-часах) в Харькове 45, Киеве 40, Одессе 30, Днепропетровске 21, Николаеве 15, Житомире 4. В мелких городах эта цифра еще ниже.

План 1932 г. предусматривает увеличение расхода электроэнергии в этой области на 50%.

Также недостаточно на Украине потребление электроэнергии трамваем: в Харькове он составляет 36 kWh на одного жителя, в Киеве—32, Одессе—33, Днепропетровске—23, Николаеве—13, Виннице—8, Зиновьевске—8, Житомире—5, Сталине—4.

По сельскому хозяйству в 1932 г. намечается потребление электроэнергии в  $30 \cdot 10^6$  kWh против  $15 \cdot 10^6$  kWh в 1931 г. Развитие сельской электрификации в 1932 г. намечается в области животноводства, пахоты и ирригации.

Наконец, железнодорожный и внутризаводской транспорт потребует в 1932 г. 50-100 kWh. Донэнерго запроектирована в 1932 г. электрификация линии Дебальцево-Зверево, для которой потребуются мощность в 22 MW. Необходимо отметить, что электрификация транспорта только начинается, поэтому развертывания ее в крупном масштабе можно ожидать не раньше 1933 г.

Рассмотрев по основным районам и по отраслям народного хозяйства потребность в электроэнергии Украины в 1932 г., переходим к электробалансам отдельных районов, мощностям их электростанций и запроектировкам нового электростроительства в 1932 г.

Начнем с Донбасса. При построении электробаланса Донбасса на 1932 г. нужно исходить из потребности в электроэнергии Донбасса в целом, принимая во внимание, что Донбасс в 1932 г. может рассматриваться как единая энергетическая система, объединяющая всех потребителей и все электростанции в одно целое.

Поквартальная потребность в электроэнергии в 1932 г. по данным Донэнерго предполагается (в мегаваттах):

| I кв. | II кв. | III кв. | IV кв. |
|-------|--------|---------|--------|
| 378   | 397    | 434     | 471    |

Максимальная нагрузка, которая должна быть обеспечена электростанциями Донбасса, получится введением коэффициента попадания в общий максимум нагрузок отдельных районов. Этот коэффициент на основании данных Донэнерго принимается равным 0,85; отсюда максимальная нагрузка по Донбассу соответственно составит (в мегаваттах):

| I кв. | II кв. | III кв. | IV кв. |
|-------|--------|---------|--------|
| 320   | 337    | 378     | 400    |

Мощность электростанций Донбасса на 1 января 1932 г. исчисляется 464 MW, в том числе промышленные станции 145 MW и районные 319 MW (Штеровка 157 MW, Зуевка 100 MW и Донсода 62 MW).

В течение 1932 г. вступает в эксплуатацию ряд новых промышленных электростанций: Краматорская мощностью 25 MW, теплоэлектроцентраль на Луганском паровозном заводе им. Октябрьской революции 18 MW, на Макеевском металлургическом заводе 24 MW и на металлургическом заводе им. Ворошилова 24 MW, итого 91 MW.

На Зуевке в I квартале 1932 г. должен войти в эксплуатацию 3-й агрегат мощностью 50 MW. Пуском этого агрегата заканчивается развитие Зуевки в 1932 г.; пуск турбин № 4 и 5 Энергоцентром переносится на 1933 г. Следовательно, суммарная мощность районных электростанций Донбасса в 1932 г. составит 369 MW, и эта мощность останется до 1933 г. без изменений.

Таким образом Донбасс будет располагать по кварталам 1932 г. следующей рабочей мощностью (табл. 6).

Таблица 6

| Наименование станций                          | Мощность станций в 1932 в MW |        |         |        |
|-----------------------------------------------|------------------------------|--------|---------|--------|
|                                               | I кв.                        | II кв. | III кв. | IV кв. |
| Промышленные . . . . .                        | 170                          | 170    | 212     | 236    |
| Районные . . . . .                            |                              |        |         |        |
| Штеровка . . . . .                            | 113                          | 113    | 113     | 113    |
| Зуевка . . . . .                              | 100                          | 100    | 100     | 100    |
| Донсода . . . . .                             | 62                           | 62     | 62      | 62     |
| Всего по районным станциям                    | 275                          | 275    | 275     | 275    |
| Всего, включая промышленные станции . . . . . | 445                          | 445    | 487     | 511    |

В Донбассе на промышленных предприятиях следует отметить очень низкий cos φ, доходящий в отдельных случаях до 0,5. Сейчас принимаются срочные меры к его улучшению. При построении электробаланса Донбасса на 1932 г. исходили из величины cos φ для IV квартала—0,7 и для I квартала—0,6.

Потери в сети и расход на собственные нужды станций принимаются 12÷15%, причем потребность в электроэнергии приведена к типам районных показателю подстанций.

Таким образом рабочая мощность электростанций Донбасса, которая может быть использована потребителем в 1932 г., будет составлять:

|                |     |                    |                    |    |
|----------------|-----|--------------------|--------------------|----|
| Для I квартала | 445 | $\frac{0,6}{0,8}$  | $\cdot 0,88 = 295$ | MW |
| „ II „         | 445 | $\frac{0,65}{0,8}$ | $\cdot 0,88 = 317$ | „  |
| „ III „        | 487 | $\frac{0,68}{0,8}$ | $\cdot 0,88 = 360$ | „  |
| „ IV „         | 511 | $\frac{0,7}{0,8}$  | $\cdot 0,88 = 394$ | „  |

Общий электробаланс Донбасса в 1932 г. представлен в табл. 7.

Таблица 7

|                                                                       | I кв.<br>MW | II кв.<br>MW | III кв.<br>MW | IV кв.<br>MW |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| Потребная мощность . . . . .                                          | 320         | 337          | 378           | 400          |
| Мощность электростанций, используемая на шинах потребителей . . . . . | 295         | 317          | 360           | 394          |
| Дефицит . . . . .                                                     | 25          | 20           | 18            | 6            |

Из рассмотрения электробаланса вытекает, что решение отсрочить пуск турбины № 4 Зуевской станции на 1933 г. делает электроснабжение Донбасса в 1932 г. весьма напряженным, так как дефицит в электроэнергии должен будет покрываться за счет резерва.

В 1933 г. потребность Донбасса в электроэнергии безусловно возрастает. Принимая во внимание это обстоятельство, а также учитывая соединение Донбасса с Приднепровьем и дефицит последнего в электроэнергии, необходимо предусмотреть проектирование новых электростанций в Донбассе: первой—в западной части Волчья у села Андреево-Клевцово, второй—на р. Каменка у с. Изварино.

Переходим ко второму крупному энергетическому району Украины—Приднепровью. Потребная мощность Приднепровья к концу 1932 г. составит около 470 MW, которая по отдельным районам распределяется следующим образом:

|                            |       |    |
|----------------------------|-------|----|
| Запорожский . . . . .      | 290,8 | MW |
| Днепропетровский . . . . . | 91,0  | „  |
| Каменский . . . . .        | 52,0  | „  |
| Криворожский . . . . .     | 33,0  | „  |
| Никопольский . . . . .     | 1,8   | „  |

С учетом коэффициента одновременности вся потребность Приднепровья на конец 1932 г. по данным Госплана намечается в 400 MW.

Электробаланс Криворожского и Никопольского районов в 1932 г. должен строиться самостоятельно, так как в этом году линия Кичкас-Никополь-Кривой Рог еще не будет построена и оба района не войдут в систему Днепровской гидроцентрали. В общую мощность электростанций Криворожского района включены 20 MW станции ЮРТ и 4,5 MW Рыковской станции, всего 24,5 MW. Из роста потребности в электроэнергии видно, что эта мощность уже в III квартале 1932 г. окажется недостаточной, а в IV квартале будет дефицит в 70 MW, причем резерва не будет. Поэтому планом 1932 г. необходимо предусмотреть окончание во II квартале расширения Криворожской электростанции установкой агрегата в 24 MW.

Никопольский район располагает станцией им. Чубаря мощностью 2,7 MW. Эта станция покрывает потребность района в течение всего 1932 г. Крупным потребителем электроэнергии в Никопольском районе должен стать строящийся трубопрокатный завод, вопрос электроснабжения которого должен быть разрешен в срочном порядке.

Весьма важной задачей является построение электробаланса трех крупных промышленных районов: Запорожского, Днепропетровского и Каменского, которые в 1932 г. должны быть соединены линией электропередачи и войти в систему Днепровской гидроцентрали. Потребность в электроэнергии этих трех районов к концу 1932 г. намечается, как указано выше, около 435 MW, что при потерях в сетях и расходе на собственные нужды станций в 15% и коэффициенте одновременности 0,85 потребная рабочая мощность на кольце превысит 400 MW.

Приднепровская система по этим трем районам в конце 1932 г. будет располагать рабочей мощностью всего лишь в 316 MW, в том числе Днепровская гидроцентрально 150 MW, станция металлургического завода им. Дзержинского 96 MW и существующие станции Днепропетровска и Каменского 70 MW.

Таким образом дефицит в электроэнергии этих районов составит в конце 1932 г. около 100 MW. Необходимо в кратчай-

ший срок уточнить потребность в электроэнергии Приднепровского комбината и всего Приднепровья, полностью увязав эту потребность со сроками пуска заводов Днепрокомбината, и, если уточненный подсчет подтвердит дефицит в электробалансе Приднепровья, необходимо будет поставить вопрос о дополнительных мощностях для покрытия этого дефицита. Приднепровье в 1932 г. предъявит новые требования в электроэнергию. Вопрос о постройке для Приднепровья мощной районной станции должен, наконец, найти свое окончательное решение.

Такая станция должна быть построена на бурых углях в Александрийском районе, которая будет соединена с системой Приднепровья через Кривой Рог. Запасы бурых углей в этом районе, условия водоснабжения, результаты практики сжигания бурого угля—все эти данные подтверждают возможность сооружения в этом районе мощной электростанции. Уже в 1932 г. необходимо приступить к подготовительным работам по строительству этой станции.

Потребная мощность для нужд г. Харькова и его района на основании данных Севукрэнерго на конец 1931 г. и на весь 1932 г. представлена табл. 8.

Таблица 8

|                                            | Конец 1931 г. MW | 1932 г.  |           |            |           |
|--------------------------------------------|------------------|----------|-----------|------------|-----------|
|                                            |                  | I кв. MW | II кв. MW | III кв. MW | IV кв. MW |
| Без учета коэффициента одновременности     | 54,25            | 57,0     | 54,0      | 67,5       | 89,7      |
| С учетом коэффициента одновременности 0,85 | 45,0             | 47,0     | 45,0      | 56,5       | 75,0      |

Мощность электростанций г. Харькова в настоящее время составляет 60 MW, в том числе ГЭС № 1 (городская станция) 18 MW, ГЭС № 2 (Эсхар) 22 MW (на Эсхаре установлено 44 MW, но по котлам станция располагает мощностью 22 MW), заводские станции 5 MW и Тэц Тракторного завода 15 MW. План развития электростанций Харькова в 1932 г. дан в табл. 9.

Таблица 9

| Станции            | I кв. MW | II кв. MW | III кв. MW        | IV кв. MW | Примечание                                      |
|--------------------|----------|-----------|-------------------|-----------|-------------------------------------------------|
| ГЭС № 1 . . . . .  | 20,5     | 20,5      | 20,5              | 20,5      | Врабoтyвoдитcя старая турбина                   |
| ГЭС № 2 . . . . .  | 22,0     | 22,0      | 44,0 <sup>1</sup> | 44,0      | Устанавливается 2 котла по 1 250 м <sup>2</sup> |
| Заводские станции  | 5,0      | 5,0       | 5,0               | 5,0       |                                                 |
| Тэц ХТЗ . . . . .  | 15,0     | 15,0      | 15,0              | 15,0      |                                                 |
| Тэц ХЭМЗ . . . . . | —        | —         | —                 | 30,0      |                                                 |
| Всего              | 62,5     | 62,5      | 84,5              | 114,5     |                                                 |

С учетом потерь в линиях электропередач и собственных нужд станций, а также с учетом поправки на cos φ, мощность, которая может быть использована на шинах потребителя в 1932 г. составит:

$$\begin{aligned}
 \text{В I квартале } 62,5 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,7}{0,8} &= 47 \text{ MW} \\
 \text{„ II „ } 84,5 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,7}{0,8} &= 47 \text{ „} \\
 \text{„ III „ } 84,5 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,7}{0,8} &= 64 \text{ „} \\
 \text{„ IV „ } 11,65 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,7}{0,8} &= 87 \text{ „}
 \end{aligned}$$

Таким образом электробаланс Харькова в 1932 г. представится следующими данными (табл. 10).

Таблица 10

|                                 | I кв. MW | II кв. MW | III кв. MW | IV кв. MW |
|---------------------------------|----------|-----------|------------|-----------|
| Потребность . . . . .           | 47       | 45        | 56,5       | 75        |
| Покрывание . . . . .            | 47       | 47        | 64         | 87        |
| Избыток (без учета резерва) . . | 0        | 2         | 8          | 12        |

В I и II кварталах 1932 г. электробаланс будет напряженным так как не будет резерва. В последующие кварталы резерв будет, но не полный. Чтобы обеспечить электроснабжение Харьковского района, необходимо не позже конца II квартала установить на Эсхаре котлы № 4 и 5, и не позже IV квартала закончить Тэц ХЭМЗ.

Потребная мощность в 1932 г. по Харьковскому району составит 160 MW, для покрытия которой необходимо в 1933 г. закончить строительство 2-й очереди Тэц ХЭМЗ на 30 MW и расширить ГЭС № 1 теплофикационной турбиной на 24 MW. С пуском этих единиц харьковский район будет располагать мощностью кругло 163 MW, в том числе: ГЭС № 1—44,5, ГЭС № 2—44, Тэц ХТЗ—15 и Тэц ХЭМЗ—60 MW.

Киев при потребной в настоящее время мощности в 28 MW располагает мощностью электростанций в 40 MW, в том числе: районная электростанция 21,3 MW, городские центральные станции 15 MW и промышленные станции 2,7 MW. В 1932 г. максимум нагрузки ожидается 35 MW. В 1931 г. в Киеве приступили к сооружению теплоэлектроцентрали Юго-западных железных дорог мощностью 12 MW. Дальнейший рост потребности в электроэнергии выдвигает необходимость внести в план 1932 г. расширение Киевской районной станции на 24 MW.

Одесса располагает сейчас мощностью электростанций в 26,7 MW при потребности в 18 MW. В 1932 г. потребность в Одессе возрастет до 25 MW, с дальнейшим ростом в 1933 г. Планом 1932 г. намечается строительство новой районной станции в Одессе мощностью 1-й очереди 24 MW. Проект этой станции уже разработан и принят ЦЭС. Новая станция должна будет обеспечить электроэнергией район Граденицы и Тирасполя с крупной ирригационной нагрузкой.

Мощность электростанции Николаева сейчас составляет 13 MW, в том числе построенная в 1930 г. новая городская станция в 6 MW, старая городская станция 1,5 MW и станции завода им. Андре Марти, Руссуда и прочие промышленные станции 5,5 MW. Потребность Николаева исчисляется в 15 MW. Планом 1932 г. предусматривается установка на новой паротурбинной станции двух агрегатов по 3 MW. Дальнейшее развитие Николаевской паротурбинной станции должно пойти по линии укрупнения агрегатов и параметров котельного хозяйства. Намечается установить 2 агрегата по 12 MW.

В Херсоне в 1932 г. заканчивается и пускается в эксплуатацию новая турбинная станция мощностью 1-й очереди 6 MW. Рост потребности в электроэнергии г. Херсона и его промышленности (завода Сельхозмашиностроения, мощного элеватора и пр.) потребует дальнейшего развития паротурбинной станции и установки двух агрегатов 2-й очереди по 3 MW.

В Зиновьевске в 1930 г. вступила в эксплуатацию новая турбинная станция в 6 MW, основным потребителем которой является завод Сельхозмашиностроения „Красная звезда“. Дальнейшее развитие электростанции должно предусмотреть электрификацию ряда сельскохозяйственных районов вокруг Зиновьевска. В связи с этим необходимо расширить Зиновьевскую станцию на 6 MW. Зиновьевскую станцию в 1932 г. намечено перевести на бурый уголь, залежи которого находятся в Зиновьевском районе.

Также переводится на бурый уголь в 1932 г. Кременчугская станция. Сейчас Кременчугская станция располагает мощностью около 4 MW. Основным потребителем электроэнергии Кременчугской станции является Крюковский вагоностроительный завод и крупная мукомольная промышленность. В 1932 г. на Кременчугской станции устанавливается агрегат 3 MW, намеченный еще планом 1931 г. Однако рост потребности в электроэнергии требует установки в 1932 г. 2-го агрегата в 3 MW, а при условии сооружения в Кременчуге завода искусственного каучука—3-й турбины в 3 MW.

К району Приднепровья тяготеют расположенные в степи Б. Токмакский, Молчанский и Мелитопольский районы. Сейчас каждый из этих районов имеет свое самостоятельное энергетическое хозяйство. В Мелитополе в 1928 г. построена новая дизельная станция на 1200 кВт. В связи с развитием потребности в электроэнергии в этих районах, особенно в Мелитопольском, предполагалось построить в этом районе паротурбинную станцию. Однако на основании последних данных мелитопольского рика сооружение такой станции затрудняется из-за неблагоприятных условий водоснабжения. Поэтому Днепрэнерго выдвинул вариант сооружения линии электропередачи Запорожье-Б. Токмак-Мелитополь с питанием от системы Приднепровья. Этот вариант необходимо срочно проработать и при положительном решении включить его в план 1933 г.

В южной полосе Мелитопольского района в порядке опытной установки 1932 г. сооружается небольшая станция с использованием природных горючих газов, наличие которых имеется у с. Покровки.

Бердянск обслуживается дизельной электростанцией мощностью около 500 kW, которые, однако, не в состоянии даже при условии своего расширения и установок новых дизелей создать энергетическую базу для района. С другой стороны, на присоединение Бердянска к Мариуполю в разрезе ближайшего времени рассчитывать не приходится. Поэтому местными организациями выдвигается вариант сооружения в Бердянске паротурбинной станции мощностью 1-й очереди в 6 MW, к проекту которой необходимо немедленно приступить.

В числе крупных энергетических центров Украины большое место занимает Мариуполь с металлургической промышленностью. Мощная электростанция строится на новом заводе Азовстали, 1-я очередь которой, 24 MW, заканчивается в 1932 г. Сейчас в эксплуатации находится построенная в 1930 г. электростанция на заводе Ильича мощностью 21,6 MW. Обе станции создадут мощную энергетическую базу для Мариуполя и его районов. С точки зрения плановой электрификации мариупольская энергетическая система должна быть соединена с Донбассом, и в 1932 г. необходимо проектирование этой линии электропередачи закончить.

Большого внимания заслуживает выдвинутый Донэнерго вопрос сооружения в Мариуполе сверхмощной централи, которая должна быть опорой электрификации Донбасса. Такой вариант выдвинут в связи с тем, что в Донбассе водные условия препятствуют развитию мощных районных электростанций. К проработке этого вопроса Донэнерго приступил. Закончить его необходимо в 1932 г.

В степной полосе Украины особенное энергетическое значение приобретает сооружение гидроэлектростанции по порожиистой части р. Южного Буга мощностью в 40 MW, проработка технического проекта которой сейчас заканчивается. Эта станция создаст энергетическую базу развития сельского хозяйства и промышленности Первомайского и Бугского районов.

К числу промышленных центров Левобережья, требующих усиления энергетического хозяйства в 1932 г., принадлежат Сумы и Полтава. В Сумах в 1930 г. построена теплоэлектроцентраль на рафинадном заводе мощностью в 2 MW, которая должна обеспечить электроэнергией г. Сумы и его промышленность. В связи с решением ВСНХ СССР о реконструкции и развитии сумского машиностроительного завода им. Фрунзе и вытекающей отсюда большой потребности в электроэнергии и паре, теплоэлектроцентраль рафинадного завода необходимо расширить, установив в 1932 г. теплофикационную турбину в 4 MW.

В Полтаве работает городская станция в 4 MW, которая требует своего расширения. Дальнейшее развитие Полтавской станции намечает установку теплофикационной турбины мощностью 4 MW.

На левобережье Украины в 1931 г. в г. Хороле приступлено к постройке электростанции на торфу мощностью 12 MW. В первую очередь устанавливаются 2 агрегата по 4 MW. Хорольская электростанция в развитии энергетического хозяйства Украины имеет большое значение, так как это первая электростанция на торфу. На ее опыте должны быть построены другие электростанции на торфу на левобережной и правобережной полосе. В силу этих соображений, а также принимая во внимание, что Хорольская электростанция создает энергетическую базу для развития сельского хозяйства и промышленности Лубенского, Миргородского и Хорольского районов, необходимо обеспечить строительство Хорольской станции соответствующим оборудованием.

Левобережное и правобережное Полесье богато торфяными ресурсами, на базе которых необходимо строить энергетическую базу этой части Украины. Построенные здесь в последние годы дизельные электростанции, в Ромнах, Конотопе, Чернигове, Коростени, Белой Церкви, Черкассах и др., не в состоянии удовлетворить растущую потребность в электроэнергии своих районов. Кроме того, эти станции требуют привозного топлива. Если в 1932 г. в отдельных случаях, учитывая срочную потребность в электроэнергии, и приходится соглашаться на усиление дизельных станций, то во всяком случае 1932 г. должен дать перелом в направлении развития энергетического хозяйства в районах левобережного и правобережного Полесья. Украинский научно-исследовательский институт торфяной промышленности располагает достаточными материалами для проектирования в ряде районов правобережья и левобережья Украины мощных торфяных электростанций, например Замглай в Черниговском районе, Иордынь в Черкасском, Теткино в Глуховском, а также в Роменском, Нежинском, Киевском, Коростенском и прочих районах. Данные Института промэнергетики, с другой стороны, располагают исчерпывающими данными в области сжигания торфа, особенно фрезерного. Нужно констатировать, что местные хозяйственные организации не в

достаточной степени проявляют инициативу в проектировании торфяных электростанций.

Проектирующие организации и местные органы должны со всей серьезностью приступить к проектированию торфяных электростанций и учесть то значение и роль, которую электростанция на торфу должна иметь в экономике развития района, создавая энергетическую базу для развития сельского хозяйства и промышленности. Необходимо в срочном порядке приступить к разработке проектов торфяных электростанций и на протяжении 1932 г. проработать хотя бы основные проекты.

Не менее важное значение в развитии промышленности и сельского хозяйства правобережья представляют бурные угли Звенигородского района, расположенные недалеко от Умани, на базе которых можно построить мощную электростанцию. Материалы Геолкома подтверждают наличие запасов бурых углей в этом районе, а исследовательские работы Института промэнергетики положительно разрешают вопрос сжигания бурого угля. Не выясненными остаются волные условия для постройки в этом районе мощной электростанции. Этот вопрос необходимо проработать немедленно и уже в 1932 г. приступить к проектированию Звенигородской бурогоульной электростанции.

На правобережье в 1931 г. приступлено к сооружению 2 паротурбинных электростанций в Виннице и в Бердичеве: первая мощностью 6 MW и вторая—8 MW. На Бердичевской станции, строящейся при кожевенном заводе, будут установлены теплофикационные турбины и в качестве топлива будут использованы горючие отходы производства. Винницкая станция в дальнейшем будет работать на торфу.

Мощность электростанций Украины в 1932 г. увеличивается на 715 MW. Вступает в эксплуатацию Днепропетровская гидроцентрала, по своей мощности не уступающая наиболее крупным станциям Европы и Америки.

Титульный список новых мощностей, устанавливаемых по плану 1932 г., следующий:

#### Донбасс:

|                                                |    |    |
|------------------------------------------------|----|----|
| Зуевка (турбина № 3) . . . . .                 | 50 | MW |
| Краматорка . . . . .                           | 25 | "  |
| Макеевский металлургический завод              | 24 | "  |
| Ворошиловский металлургический завод . . . . . | 24 | "  |
| Луганская теплоцентрала . . . . .              | 18 | "  |

#### Приднепровье:

|                                                             |     |    |
|-------------------------------------------------------------|-----|----|
| Днепропетровская гидроцентрала (6 агрегатов по 62 MW) . . . | 372 | MW |
| Металлургический завод им. Дзержинского (турбины № 3 и 4)   | 48  | "  |
| Криворожский металлургический завод . . . . .               | 24  | "  |
| Станция ЮРТ в Криворожье . . . .                            | 24  | "  |
| Мариуполь, металлургический завод Азовстали . . . . .       | 24  | "  |
| Харьков, Тэц ХЭМЗ . . . . .                                 | 30  | "  |
| Киев, Тэц Юго-западных жел. дор. .                          | 12  | "  |
| Николаев, городская станция . . . .                         | 6   | "  |
| Херсон, городская станция . . . . .                         | 6   | "  |
| Кременчуг, городская станция . . . .                        | 6   | "  |
| Винница, городская станция . . . . .                        | 6   | "  |
| Бердичев, станция кожевенного завода . . . . .              | 4   | "  |
| Суммы, Тэц рафинадного завода                               | 4   | "  |
| " дизельные станции . . . . .                               | 8   | "  |

Всего 715 MW

Анализ электробаланса отдельных районов сигнализирует о его напряженности в 1932 г. по ряду районов, в особенности Приднепровья, Донбасса и Харькова. Потребность в электроэнергии и по Приднепровью необходимо тщательно увязать со сроками пуска предприятий Днепрокомбината. Имеются все основания полагать, что уже к концу текущего года, при условии своевременного пуска Днепрокомбината, электроэнергия в Приднепровье будет недостаточна. Поэтому необходимо в срочном порядке поставить вопрос о дополнительных мощностях в Приднепровье, в том числе немедленно разрешить вопрос о сроке строительства Александровской электростанции на буром угле.

По Донбассу отсрочка пуска турбины № 4 на Зуевке на 1933 г. угрожает дефицитом электроэнергии по Донбассу в 1932 г.; этот дефицит придется покрывать за счет резервов. По Харькову необходимо принять решительные меры к установке котлов № 4 и 5 на Эсхаре не позже конца II квартала



и пуска в эксплуатацию Тэц ХЭМЗ не позже IV квартала 1932 г. В противном случае электроснабжение г. Харькова не будет обеспечено полностью.

Кроме ввода в эксплуатацию новой мощности в 690 MW в 1932 г. остается в строительстве 450 MW, переходящих на 1933 г. В том числе Днепровская гидроцентральный 186 MW (последние три агрегата по 62 MW), Зуевка 100 MW (турбины № 4 и 5), Тэц ХЭМЗ 30 MW (вторая очередь), Харьковская городская Тэц 24 MW, Славянская Тэц 72 MW и др.

Наконец, в 1932 г. необходимо закончить проектирование и подготовиться к строительству новой районной станции в Донбассе—Александровской станции на буром угле, Бугской электроцентрали и ряде торфяных электростанций, намечаемых на правобережье и в Полесье.

Табл. 11 дает динамику развития районных электростанций за последние 3 года (установленная мощность к концу каждого года).

Таблица 11

| Наименование станций                   | 1930 г.<br>MW | 1931 г.<br>MW | 1932 г.<br>MW |
|----------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Днепровская гидроцентральный . . . . . | —             | —             | 372           |
| Штеровка . . . . .                     | 69            | 157           | 157           |
| Зуевка . . . . .                       | —             | 100           | 150           |
| Донсоды . . . . .                      | 18            | 62            | 62            |
| Эсхар . . . . .                        | 44            | 44            | 44            |
| ХЭМЗ . . . . .                         | —             | 30            | 60            |
| Киевская . . . . .                     | 20            | 20            | 20            |
| Всего . . . . .                        | 151           | 413           | 865           |

Общее развитие электростанций на Украине за последние 3 года представлено в табл. 12 (установленная мощность к концу каждого года).

Таблица

| Род станций                                             | 1930 г. |      | 1931 г. |      | 1932 г. |    |
|---------------------------------------------------------|---------|------|---------|------|---------|----|
|                                                         | MW      | %    | MW      | %    | MW      | %  |
| Районные . . . . .                                      | 151     | 22,5 | 413     | 40,0 | 865     | 50 |
| Промышленные (включая новую им. Держинского) . . . . .  | 400     | 58,5 | 480     | 46,5 | 700     | 40 |
| коммунальные (включая Харьковскую и Киевскую) . . . . . | 130     | 19,0 | 135     | 13,5 | 175     | 10 |
| Всего                                                   | 681     | 100  | 1028    | 100  | 1740    | 10 |

Если мощность районных станций в 1930 г. составила 22,5% от суммарной мощности электростанций на Украине, то в 1932 г. их роль возрастет до 50,0%. Наоборот, промышленные станции снижают свой удельный вес в электробалансе Украины в 1932 г.: если в 1930 г. их мощность составила 58,5%, то в 1932 г. она снижается до 40%.

Эти показатели соответствуют основной предпосылке новой социалистической электрификации нашего Союза—развитие районных электростанций с мощными агрегатами. Мощность электростанций на Украине в конце 1932 г. превышает проектировку пятилетнего плана. По пятилетнему плану предполагается в 1932/33 г. иметь на Украине 1300 MW. Эта мощность с превышением на 30% будет установлена уже в 1932 г. и, таким образом, пятилетка электрификации в 4 года на Украине будет перевыполнена.

## ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

### Ограничение токов короткого замыкания и устойчивость параллельной работы

Н. П. Краснушкин

ВЭИ

Ограничение токов короткого замыкания является в настоящее время одной из самых актуальных задач советской силовоточной электротехники. Сооружение крупных силовых систем приводит к большим разрывным мощностям выключателей. Попытки ограничить величины этих мощностей установкой реакторов разрешают вопрос односторонне, так как реактор, увеличивая реактанс прямой последовательности

ного увеличения реактанса обратной последовательности системы<sup>1</sup>.

Ценное свойство этого способа заключается в том, что в цепи между генераторами, несмотря на сильное увеличение реактанса обратной последовательности, остается почти неизменным реактанс прямой последовательности, и, стало быть, устойчивость параллельной работы машин не ухудшается. В настоящей статье рассматриваются как принцип действия так и результаты аналитического и экспериментального исследования способа Щедрина в лаборатории сетей ВЭИ и А ВЭИ в Москве.

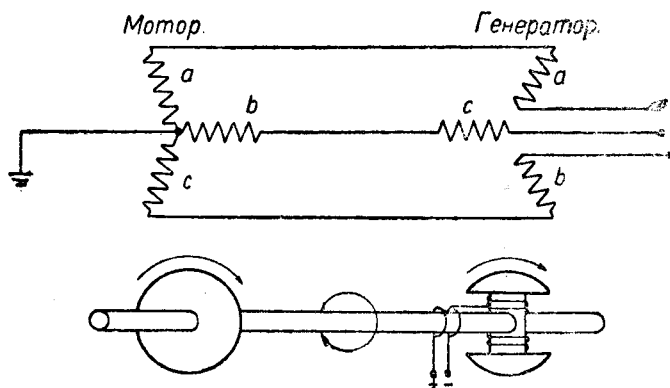
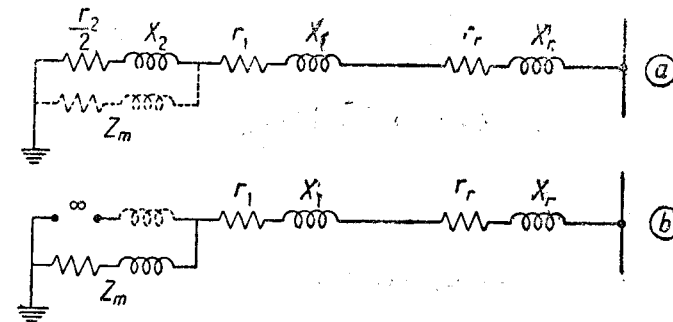


Рис. 1. Принципиальная схема агрегата Щедрина

Рис. 2. Эквивалентная схема замещения агрегата Щедрина: (а) при скольжении  $s = 2$ , (б) при скольжении  $s = 0$ 

между генераторами, может явиться причиной выпадения из синхронизма отдельных звеньев системы и тем самым нарушить работу всей системы. Таким образом приходится изыскивать новые способы ограничения токов короткого замыкания, не обладающие этим недостатком. К числу таковых и принадлежит предложенный инж. Н. Н. Щедриным новый способ ограничения токов короткого замыкания путем искусствен-

Принцип действия. Принцип нового метода чрезвычайно прост и заключается в следующем. Последовательно с обмотками статора генератора включаются обмотки статора асинхронного мотора, имеющего короткозамкнутый ротор. Ротор мотора, сцепленный непосредственно с генератором,

<sup>1</sup> Задатентован

вращается с синхронной скоростью в направлении, обратном вращению поля, вызванного протеканием нагрузочных токов по обмоткам статора мотора. Схема такого агрегата показана на рис. 1.

Так как мотор вращается с синхронной скоростью и против поля, то влияние этого мотора на установившиеся токи пря-

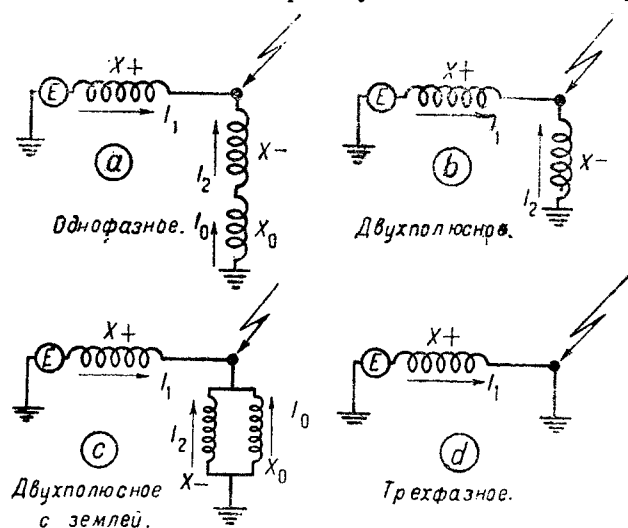


Рис. 3. Схема замещения для расчета симметрических составляющих тока к. з.:

- (а) однофазное к. з.  
 (б) двухполюсное к. з.,  
 (в) двухполюсное с землей к. з.,  
 (д) трехфазное к. з.

мой последовательности в системе можно получить, заменив его эквивалентной схемой замещения при скольжении  $s = 2$ , и, наоборот, влияние того же мотора на токи обратной последовательности в системе можно получить, заменив мотор эквивалентной схемой при скольжении  $s = 0$ .

Полная схема замещения системы для обоих случаев дана на рис. 2 (а и б).

ными сопротивлениями статора и ротора и током холостого хода, получим его равным  $x_1 + x_2$ , т. е. сумме реактансов рассеяния обмоток мотора (около 15%).

Во втором случае импеданс мотора есть импеданс холостого хода—величина большая (300%), и определяется главным образом величиной намагничивающего тока мотора. Из рассмотрения этих двух схем можно установить, что: а) мотор не дает возможности возникнуть в его статорных обмотках больших токов обратной последовательности и б) будет свободно пропускать токи прямой последовательности, т. е. явится своеобразным реактором только для токов обратной последовательности в системе. Что касается токов нулевой последовательности, то они смогут протекать через обмотки генератора и мотора только в том случае, когда имеется выведен-

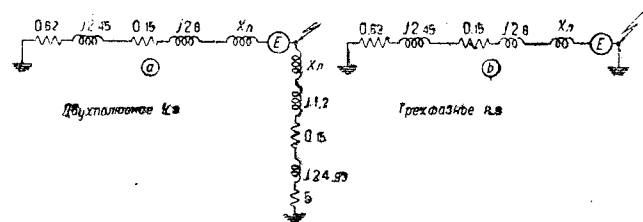


Рис. 6. Схема замещения опытного агрегата при двухполюсном и трехфазном к. з.:

- (а) двухполюсное к. з.,  
 (б) трехфазное к. з.

ная нейтраль, и они будут ограничиваться мотором в той же степени, как их ограничил бы сам генератор или трехфазный трансформатор. Эквивалентная схема системы для номинальной симметричной нагрузки будет включать в себя только импедансы прямой последовательности генератора и мотора (рис. 2, а). Как видно из этой схемы, для компенсации добавочного падения напряжения в моторе следует дать генератору несколько большее возбуждение и, кроме того, со стороны первичного двигателя турбины должен быть приложен несколько больший вращающий момент, чтобы покрыть тормозящий момент, обусловленный протеканием в статоре мотора нагрузочных токов.

Рассмотрим теперь всю систему в целом, сначала при работе ее вхолостую, а затем уже учтем и влияние нагрузки. Пусть теперь в такой системе при работе ее вхолостую (для простоты, например, на шинах) случилось короткое замыкание. Наиболее удобным способом анализа и расчета токов короткого замыкания является метод симметрических составляющих, которым и придется воспользоваться здесь для выяснения влияния мотора. Расчет токов короткого замыкания по этому методу может быть выполнен путем определения токов ( $I_1$ ) прямой, ( $I_2$ ) обратной и ( $I_0$ ) нулевой последовательностей в системе и подстановкой их величин в нижеследующие формулы:

$$\bar{I}_a = I_1 + I_2 + I_0$$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_a^2 + \bar{I}_2 + \bar{I}_0$$

$$\bar{I}_c = \bar{I}_a + \bar{I}_2^2 + \bar{I}_0 \quad [a = e^{-j120^\circ}; a^2 = e^{-j120^\circ}]$$

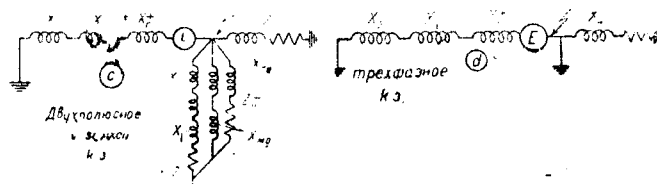


Рис. 5. Эквивалентная схема замещения для системы с мотором Щедрина при учете нагрузки постоянным импеданцем:

- (а) однофазное к. з.,  
 (б) двухполюсное к. з.,  
 (в) двухполюсное с землей к. з.,  
 (д) трехфазное к. з.

На рис. 2 генератор заменен эквивалентной схемой из последовательно соединенных активного и реактивного сопротивлений, причем в схеме 2, а введен синхронный реактанс прямой последовательности, и в схеме 2, б—реактанс обратной последовательности.

Как видно из рис. 2, а, общий импеданс мотора при  $s = 2$  получается довольно незначительным, и, пренебрегая актив-

Токи  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_0$  определены из схем замещения рис. 3 (а, б, в, д), где каждая схема соответствует определенному типу короткого замыкания<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Подробно расчет токов короткого замыкания методом симметрических составляющих изложен в книге Горюшко: «Расчет тока короткого замыкания методом симметрических составляющих» и Оберндорфера: «Расчеты по методу симметрических составляющих».

Подставляя в схемы рис. 3 соответствующие значения реактанцев из схемы рис. 2, а и 2, б, получим интересующие нас схемы замещения системы при разного рода к. з. (рис. 4).

Из анализа схем рис. 4 можно сделать следующие основные выводы:

1. Так как реактанц обратной последовательности системы очень велик, то токи прямой и обратной последовательностей при двухполюсном к. з. будут в несколько раз меньше, чем те же токи в системе без мотора Щедрина (рис. 4, б).

ток к. з. А

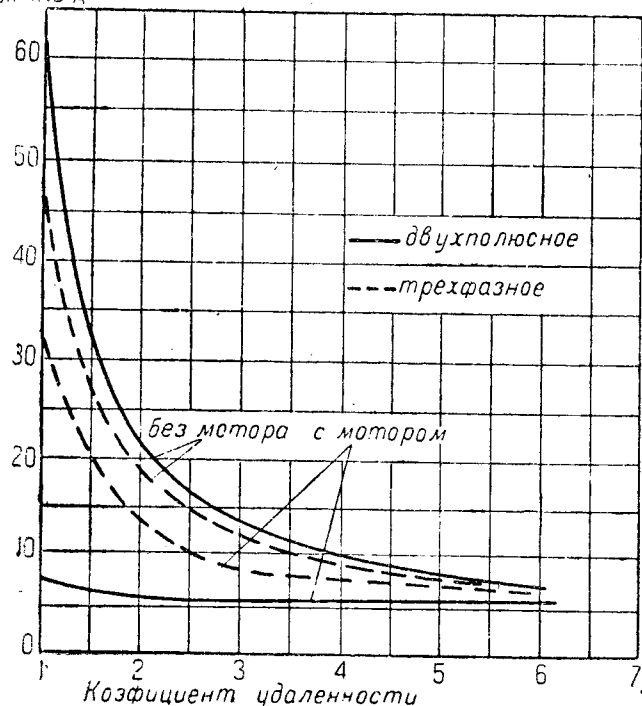


Рис. 7. Зависимость тока к. з. от коэффициента удаленности, полученного экспериментально.

2. Так как при трехфазном, симметричном к. з. (рис. 4, а) в системе текут только токи прямой последовательности, то ток трехфазного к. з. почти не снижается (если не считать частичного снижения за счет увеличившегося падения напряжения в реактанце рассеяния мотора).

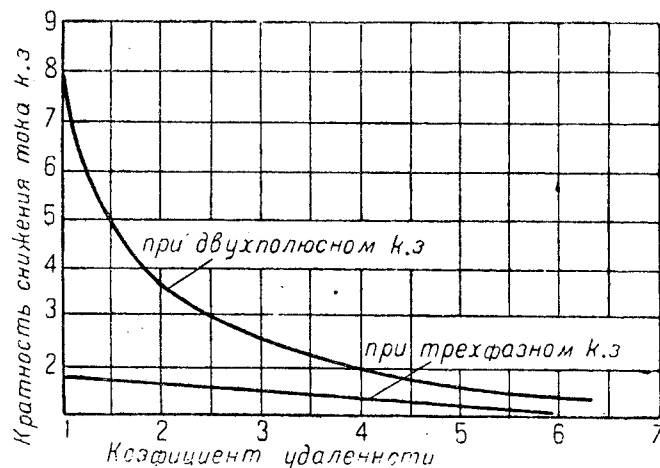


Рис. 8. Кратность снижения установившегося тока к. з. в зависимости от коэффициента удаленности, полученного экспериментально.

3. При однофазном к. з. на нейтраль получается сильное снижение полного тока к. з. благодаря тому же увеличению реактанца обратной последовательности системы (рис. 4, а).

4. При двухполюсном к. з. на нейтраль (рис. 4, б) добиться сильного снижения полного тока к. з. можно только в том случае, если одновременно удалось бы сильно увеличить реактанц нулевой последовательности системы. В противном случае большого снижения полного тока к. з. система Щедрина не даст.

Влияние нагрузки на эффект, даваемый мотором Щедрина, можно получить, вводя в эквивалентные схемы замещения нагрузочный импеданс. Получаемые расчетом по такой схеме величины, конечно, нельзя считать точными, так как импеданс нагрузки зависит от напряжения на зажимах нагрузки, но по ним можно, приблизительно, судить о качественной стороне

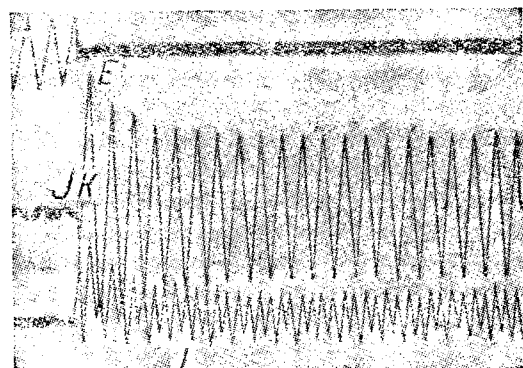


Рис. 9. Однофазное к. з. без мотора  $E_{кл} = 83$  В.  
Начальные условия:  $I_H = 2,2$  А,  
 $i = 2,28$  А.

влияния. Схемы замещения с учетом нагрузки показаны на рис. 5 (а, б, с, д), и из рассмотрения их можно сделать следующие заключения.

Во всех случаях нагрузка уменьшает эффект мотора Щедрина. В системе с учетом нагрузки нельзя добиться такого снижения токов прямой последовательности, какое получается при

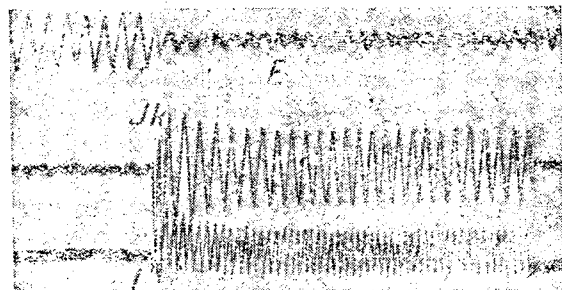


Рис. 10. Двухполюсное к. з. без мотора  $E_{кл} = 83$  В.  
Начальные условия:  $I_H = 2,2$  А,  
 $i = 2,28$  А.

холостом ходе, а следовательно, снижение полного тока к. з. будет обуславливаться, главным образом, снижением токов обратной и нулевой последовательностей. Как видно из схемы, импеданс в месте аварии определяется в сильной степени величиной импеданса обратной последовательности нагрузки, и в меньшей степени — величиной импеданса агрегата генера-

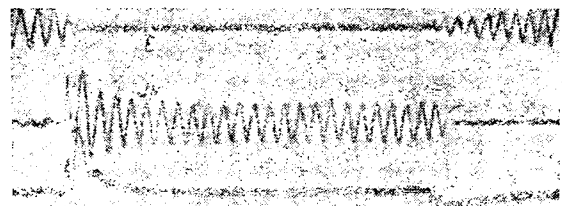


Рис. 11. Трехфазное к. з. без мотора  $E_{кл} = 83$  В.  
Начальные условия:  $I_H = 2,2$  А,  
 $i = 2,28$  А.

тора и мотора. Влияние „электрической удаленности“ места к. з. от генератора будет также уменьшать эффект снижения токов к. з., так как в случаях большой удаленности сам по себе ток к. з. будет в меньшей степени определяться реактанцем генератора и мотора, а в большей — реактансами линий передач и трансформаторов.

### Влияние на устойчивость параллельной работы

Вследствие относительно меньшей величины тока к. з. в такой системе, чем в системах без мотора Щедрина, генераторы будут размагничиваться реакцией якоря слабее, и напряжение в системе во время аварии будет снижаться меньше. Благодаря этому устойчивость параллельной работы отдельных машин в системе будет повышена; иначе говоря, применение мотора Щедрина не только не ухудшает, но значительно улучшает условия устойчивости параллельной работы.

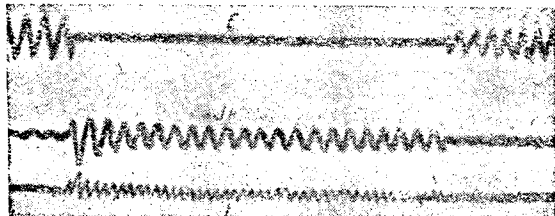


Рис. 12. Однофазное к. з. с мотором Щедрина  $E_{кл} = 82$  V.  
Начальные условия:  $I_H = 2,2$  A,  
 $i = 2,7$  A.

### Аналитическая и экспериментальная проверка

Все указанные выше положения были проверены аналитически и экспериментально. Для этого был произведен аналитический расчет токов к. з. для небольшого имевшегося в распоряжении опытного агрегата, считая, что агрегат рабо-

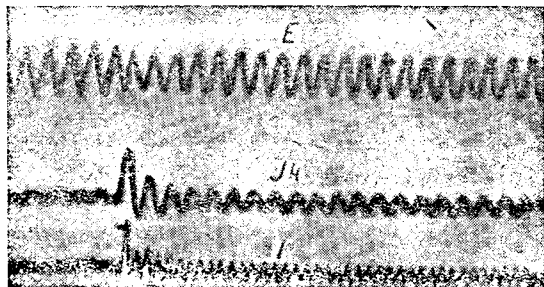


Рис. 13. Двухполюсное к. з. с мотором Щедрина  $E_{кл} = 82$  V.  
Начальные условия:  $I_H = 2,2$  A,  
 $i = 2,7$  A.

тает до аварии вхолостую. Расчет был произведен для разных коэффициентов удаленности, что попутно позволило выяснить влияние и этого фактора. Полученные результаты были затем проверены экспериментально и были сняты осциллограммы токов к. з. этого агрегата. Влияние нагрузки проверялось

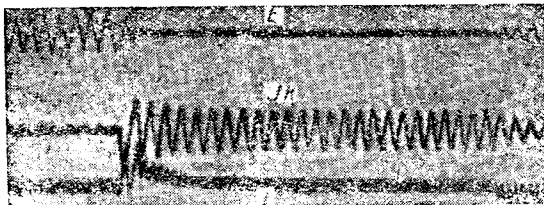


Рис. 14. Трехфазное к. з. с мотором Щедрина  $E_{кл} = 82$  V.  
Начальные условия:  $I_H = 2,2$  A,  
 $i = 2,7$  A.

аналитически для мощной системы, и в этом случае определялось наиболее выгодное с точки зрения ограничения токов к. з. соотношение мощности мотора и генератора и, наконец, последние подсчеты были сделаны для выяснения влияния реактора Щедрина на устойчивость параллельной работы станции.

### Проверка на опытном агрегате

Технические данные опытного агрегата были следующие. Синхронный генератор мощностью 7 kW с числом оборотов 1500, был сцеплен непосредственно с асинхронным мотором в 3 л. с. (2,2 kW), и весь этот агрегат приводился во вращение синхронным мотором, аналогичным генератору.

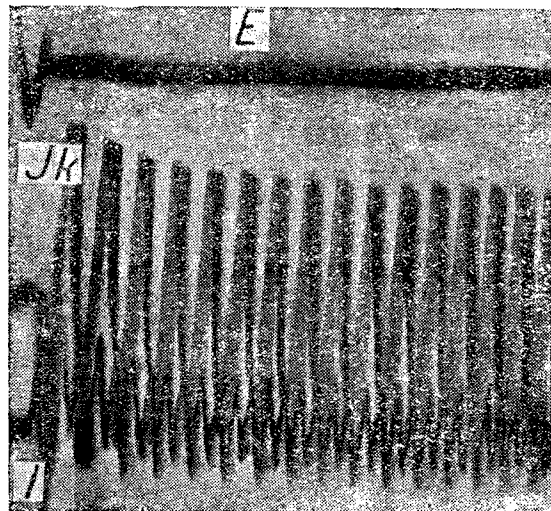


Рис. 15. Однофазное к. з. без мотора  $E_{кл} = 91$  V.  
Начальные условия:  $I_H = 2,5$  A,  
 $i = 2,7$  A.

Полученные опытами холостого хода и короткого замыкания константы агрегата были следующие:

генератор для прямой последовательности  $r_s = 0,15\Omega$ ,  $x_s = j2,6\Omega$ ;

генератор для обратной последовательности  $r_s = 0,15\Omega$ ,  $x_s = j1,2\Omega$ ;

мотор  $r_1 = 0,42\Omega$ ;  $r_2 = 0,42\Omega$ ;  $x_1 = j1,43\Omega$ ;  $x_2 = j1,07\Omega$ ;  $Z_m = 4,55 + j23,5\Omega$ ,

откуда для прямой последовательности  $Z = 0,63 + j2,5\Omega$

и для обратной  $Z = s + j24,93\Omega$ .

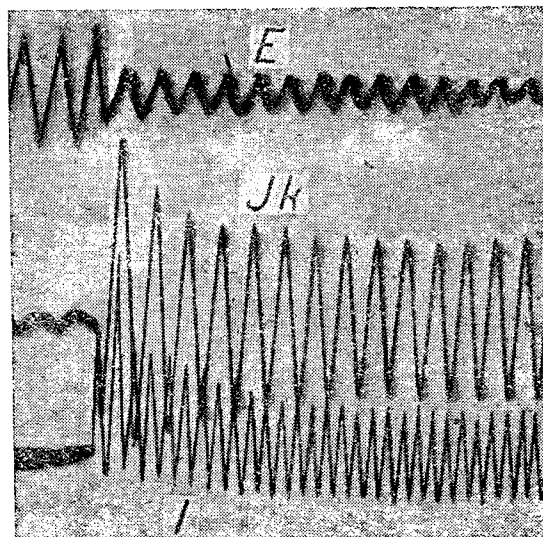


Рис. 16. Двухполюсное к. з. без мотора  $E_{кл} = 91$  V.  
Начальные условия:  $I_H = 2,5$  A,  
 $i = 2,7$  A.

Опыт проводился как для трехфазного, так и для двухполюсного к. з. на зажимах при холостом ходе. Схема замещения при двухполюсном и трехфазном к. з. приведена на рис. 6.

Для получения разных коэффициентов удаленности менялась величина  $x_A$  (реактанс линии)<sup>3</sup>.

Кривые рис. 7 и 8 представляют результаты непосредственного замера установившихся токов к. з. на этом агрегате. Как видно, опыт полностью подтвердил предположения и выявил резкое влияние мотора на снижение тока к. з.

Снятые с этого же агрегата осциллограммы токов к. з. представлены на рис. 9—17.

Осциллограммы снимались по схеме рис. 18 для трех случаев начальных условий и трех видов к. з.

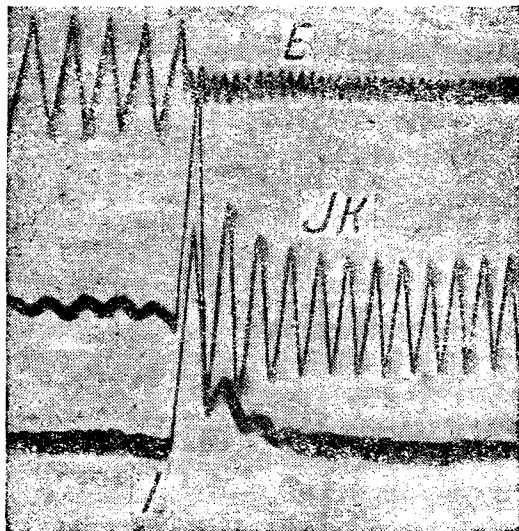


Рис. 17. Трехфазное к. з. без мотора  $E_{кл} = 91$  В.

Начальные условия:  
 $i = 2,5$  А,  
 $i = 2,7$  А

Сравнение осциллограммы рис. 9, 10, 11 с рис. 12, 13, 14—дает соотношение аварийных токов при постоянстве начального напряжения на зажимах. Сравнение осциллограммы рис. 12, 13, 14 с рис. 15, 16, 17 дает соотношение аварийных токов при постоянстве начального возбуждения генератора,

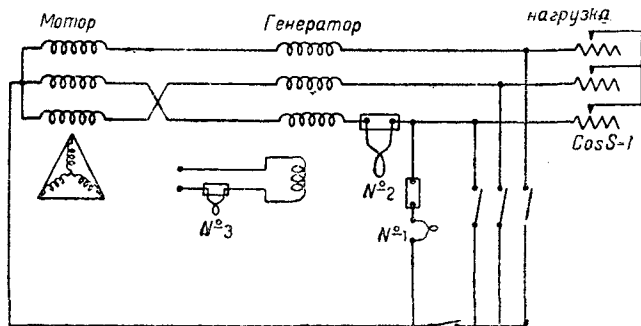


Рис. 18. Схема опытов к. з. на агрегате Щедрина

что позволяет учесть влияние реактанта рассеяния мотора в схеме прямой последовательности. Верхние кривые—напряжение, шлейф № 1, средние—ток в поврежденной фазе—шлейф № 2 и нижние—ток возбуждения генератора—шлейф № 3.

Осциллограммы наглядно показывают, что, во-первых, благодаря присутствию мотора снижаются как ударный, так и установившиеся токи к. з. и, во-вторых, что форма кривой тока и напряжения не искажаются. Заметная из осциллограмм третья гармоника в напряжении объясняется не влиянием мотора, а конструкцией генератора (явно выраженные полюсы и схемы—звезда с выведенной нейтралью).

Вывод, который можно сделать, таков: при аварии на холостом ходу под влиянием мотора ток асимметричного к. з. может быть снижен до 8-кратной величины (к. з. на зажимах).

Влияние нагрузки. Аналитическая проверка влияния нагрузки и выбора наивыгоднейшей, с точки зрения величины

токов к. з., мощности мотора была проведена для системы со следующими данными (рис. 19).

Генератор мощностью  $P = 1 = 160$  МВ;  $E = 1 = 220$  кВ; синхронный реактанс  $x_+ = 110\%$ ,  $r = 1\%$ , реактанс обратной последовательности  $x_- = 14\%$ .

Трансформатор: реактанс прямой и обратной  $x_t = 7,4\%$ ,  $z_t = 0,48\%$ ; линия передачи  $x_A = 12,7\%$ ,  $r_A = 5,8\%$

Нагрузка:  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $Z = 80 + j60\%$ ,  $P = 1$ .

Мотор при  $P = 1$  }  $r_1 = r_2 = 2\%$ ,  $x_1 = 12\%$ ,  $x_2 = 9\%$ ,  
"  $P = 0,2$  }  $x_m = 400\%$ ,  
"  $P = 0,1$  }

(все величины относятся к мощности мотора).

Результаты расчетов приведены в табл. 1 и иллюстрируются кривыми рис. 20.

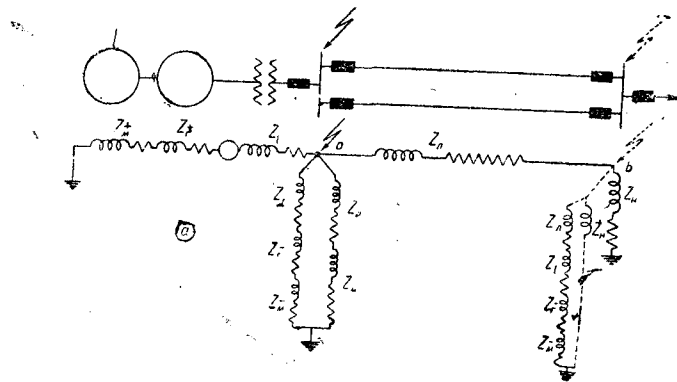
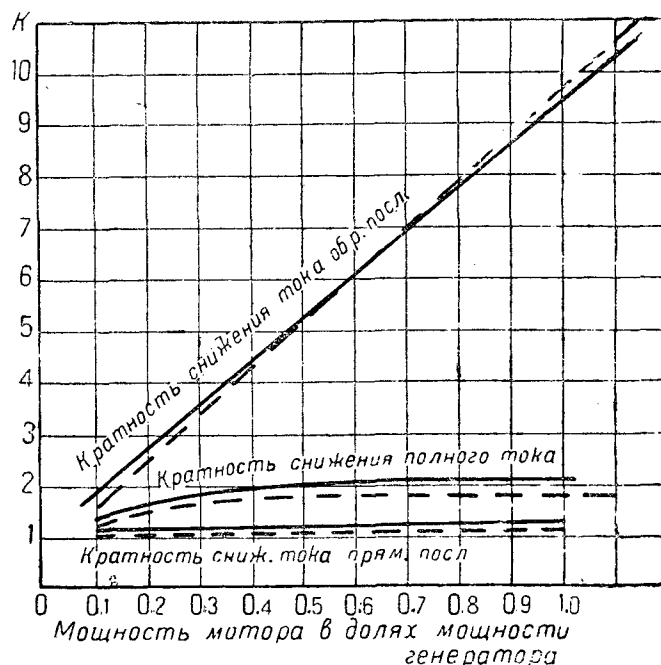


Рис. 19. Схема замещения при учете нагрузки:

При расчете без мотора } (а) двухполюсное к. з. на шинах станции,  
 $Z_M^+ \text{ и } Z_M^- = 0$  } (б) тоже на шинах нагрузки



Авария на шинах

Рис. 20. Снижение величины установившегося тока к. з.:  
1—кратность снижения тока обратной последовательности,  
2—кратность снижения полного тока,  
3—кратность снижения тока прямой последовательности

Как видно из полученных результатов, нагрузка позволяет снижать ток двухполюсного к. з. только за счет снижения тока обратной последовательности.

Максимальное снижение полного тока к. з. получается только в 2 раза, а не в 8—6 раз, как это имело место при холостом ходе. Из кривой рис. 20 вытекает, что наивыгоднейшей мощностью мотора является мощность  $P_M = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) P_{ген}$ .

Пунктирная кривая рис. 20 дает условия аварии на зажимах нагрузки, т. е. при несколько отличном коэффициенте удаленности.

<sup>3</sup> На модели длинной линии в лаборатории сетей ОВН и А ВЭИ.

Таблица 1

Результаты расчета тока двухполюсного к. з.

| Место аварии             | Мощность мотора Щедрина | Полный импеданс во время аварии $\Omega$ | э.д.с. генератора за синхронным реактансом kV | Ток прямой последовательности во время аварии А | Ток обратной последовательности во время аварии А | Полный ток к. з. во время аварии А | Кратность уменьшения по величине токов |           |         |       |       |       |       |
|--------------------------|-------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|
|                          |                         |                                          |                                               |                                                 |                                                   |                                    | Прямого                                | Обратного | Полного |       |       |       |       |
| Шины гидростанции        | 1                       | 569,2                                    | 77°36'                                        | 476                                             | 32°29'                                            | 484                                | —46°07'                                | 46,9      | —82°07' | 510   | 1,21  | 9,42  | 2,02  |
|                          | 0,2                     | 501                                      | 81°03'                                        | 445                                             | 30°25'                                            | 513                                | —50°28'                                | 169,4     | —90°43' | 650   | 1,14  | 2,6   | 1,578 |
|                          | 0,1                     | 480,5                                    | 83°12'                                        | 440                                             | 30°23'                                            | 521                                | —52°49'                                | 244,1     | —75°59' | 770   | 1,105 | 1,815 | 1,332 |
|                          | 0                       | 431                                      | 87°36'                                        | 435                                             | 30°20'                                            | 583                                | —57°16'                                | 442,5     | —69°26' | 1 025 | 1,00  | 1,00  | 1,00  |
|                          |                         |                                          |                                               |                                                 |                                                   |                                    |                                        |           |         |       |       |       |       |
| Шины приемной подстанции | 1                       | 593                                      | 77°14'                                        | 476                                             | 31°29'                                            | 468                                | —45°45'                                | 33,5      | —97°15' | 480   | 1,105 | 9,67  | 1,73  |
|                          | 0,2                     | 535                                      | 79°54'                                        | 445                                             | 30°35'                                            | 480                                | —49°29'                                | 137       | —99°50' | 579   | 1,07  | 2,37  | 1,44  |
|                          | 0,1                     | 519                                      | 81°30'                                        | 440                                             | 30°23'                                            | 490                                | —51°07'                                | 192,5     | —79°40' | 680   | 1,05  | 1,685 | 1,22  |
|                          | 0                       | 489,2                                    | 84°50'                                        | 435                                             | 30°20'                                            | 514                                | —54°30'                                | 324,1     | —73°13' | 830   | 1,00  | 1,00  | 1,00  |
|                          |                         |                                          |                                               |                                                 |                                                   |                                    |                                        |           |         |       |       |       |       |

## Влияние на устойчивость параллельной работы

Влияние агрегата Щедрина на устойчивость параллельной работы определялось путем аналитического расчета для схемы, представленной на рис. 21 при двухполюсном к. з. Схема замещения дана на рис. 22. Значения реактанцев приведены в табл. 2.

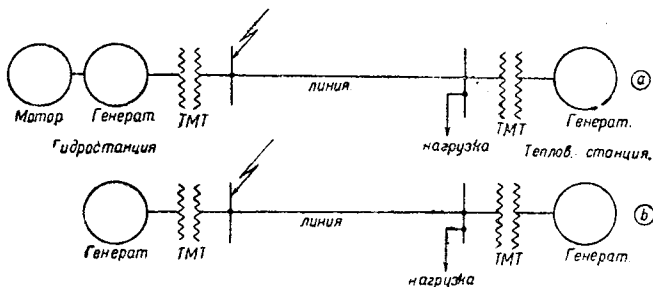
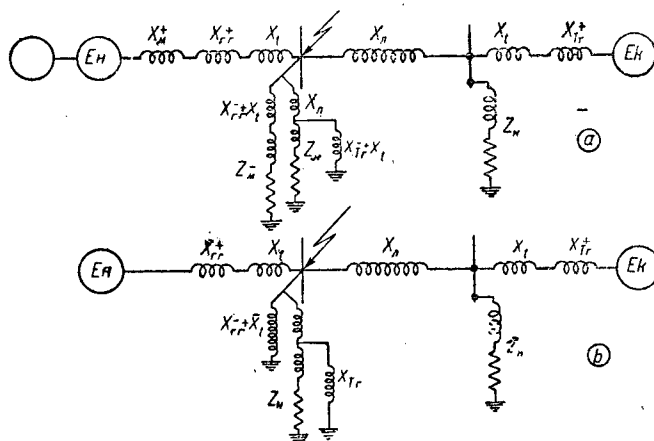
Рис. 21. Электрическая схема системы для расчета устойчивости.  $\Sigma$  — место двухполюсного к. з.

Рис. 22. Схема замещения для расчета динамической устойчивости: (а) с мотором Щедрина, (б) без мотора

Расчет проводился исходя из того, что левая станция, равная по мощности правой, снабжена мотором. Левая станция считалась гидростанцией, а правая тепловой. Местом аварии взяты шины гидростанции, а переменным параметром — длина линии передачи, связывающей станции между собой. Расчет проводился методом площадей и дал результаты, представленные на рис. 23. Кривые рисунка показывают коэффициент запаса динамической устойчивости в системах (а) с мотором и без мотора (б). Пунктирная кривая дает кратность увеличения коэффициента запаса, полученную за счет мотора Щедрина. Как видно, коэффициент запаса динамической устойчивости увеличивается в 2—6 раз. Этот результат является крайне ценным свойством предложенной системы, так как

позволяет путем введения мотора отказаться от целого ряда дополнительных сооружений, обеспечивающих устойчивость, как-то: параллельные линии и т. п.

Мотор Щедрина, как видно из осциллограмм и кривых, снижает только токи асимметричного короткого замыкания и почти не реагирует на токи трехфазного симметричного к. з.

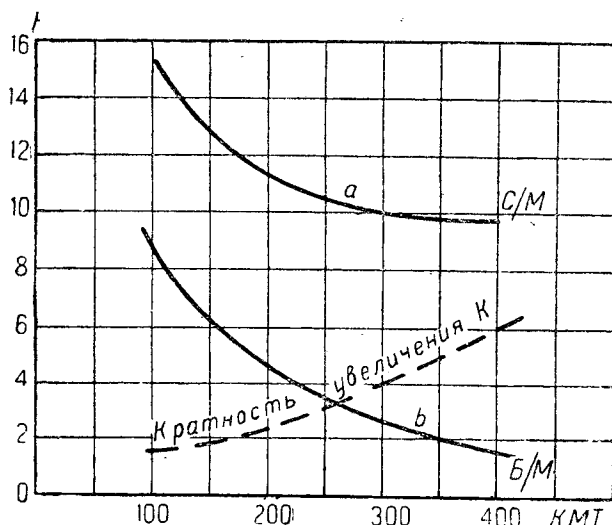


Рис. 23. Зависимость коэффициента от длины линии: (а) с мотором Щедрина, (б) без мотора

Таблица 2

## Значения реактанцев, принятых для расчета устойчивости

|                                      |                                       |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Генератор гидростанций . . . . .     | $x_{zz}^+ - 30\%$ , $x_{zz}^- - 40\%$ |
| Генератор тепловой станции . . . . . | $x_{m2}^- - 30\%$ , $x_{m2}^+ - 14\%$ |
| Трансформаторы . . . . .             | $x_t - 12\%$                          |
| Линия передачи . . . . .             | $x_A = 16, 32, 48$ и $64\%$           |
| Нагрузка . . . . .                   | $40 + j 30\%$                         |

(Не отнесено к мощности станции, принятой за 1)

|                         |                                          |
|-------------------------|------------------------------------------|
| Мотор Щедрина . . . . . | $x_m^+ - 194\%$ , $x_m^- - 63 + j 390\%$ |
|-------------------------|------------------------------------------|

(Отнесено к той же мощности генератора)

Однако сам по себе случай трехфазного к. з. является довольно редким в эксплуатации. При анализах устойчивости параллельной работы обычно случаи трехфазного к. з. не рассматриваются, и требуется проектировать систему из расчета асимметричных аварий. Что же касается величины тока к. з.



то при трехфазном к. з. в обычных системах она меньше, чем при однофазном и двухполюсном к. з., но в системе с агрегатом Шедрина она будет являться наибольшей и определяющей величину разрывных мощностей масляных выключателей.

На основании всех полученных результатов можно сказать, что введение такого реактора обратной последовательности позволит снизить аварийные мощности и повысить в несколько раз надежность параллельной работы системы. Рассмотренное выше исследование способа Шедрина по причине отсутствия специально сконструированного агрегата не может претендовать на полноту. Решение вопроса экономичности применения такого способа, а также влияние мотора на переходные режимы можно будет дать только после того, как будет сконструирован и построен мотор, специально предназначенный для работы в качестве реактора. В этом и должен заключаться сейчас очередная задача научно-исследовательских институтов на данном участке электропромышленности.

## Устойчивость параллельной работы синхронных машин и метод площадей

Н. Н.

Метод площадей дает весьма удобный критерий динамической устойчивости в тех случаях, когда удастся привести рассматриваемую систему электростанций и их потребителей эквивалентной, содержащей не более двух параллельно работающих синхронных машин. Между тем основы этого метода, по существу правильного, излагаются почти всеми авторами ошибочно: работа результирующего момента, действующего на ротор синхронной машины, смешивается с работой его в относительном движении.

Для выяснения сущности вопроса сделаем ряд допущений, которые обычно делаются при приближенном его рассмотрении. Важнейшие из этих допущений будут:

1. Синхронная машина эквивалентна источнику постоянной э. д. силы  $E_i$ , совпадающей по направлению с поперечной осью ротора и имеющему между этой э. д. силой и зажимами постоянную реактивность и нулевое сопротивление.

2. Изменением  $E_i$  при колебаниях ротора машины около положения установившегося движения пренебрегаем вследствие того, что скорость этих колебаний мала по сравнению с угловой скоростью машины.

Рассмотрим движение ротора такой синхронной машины, работающей параллельно с сетью, в которой напряжение  $E$  и частота поддерживаются постоянными.

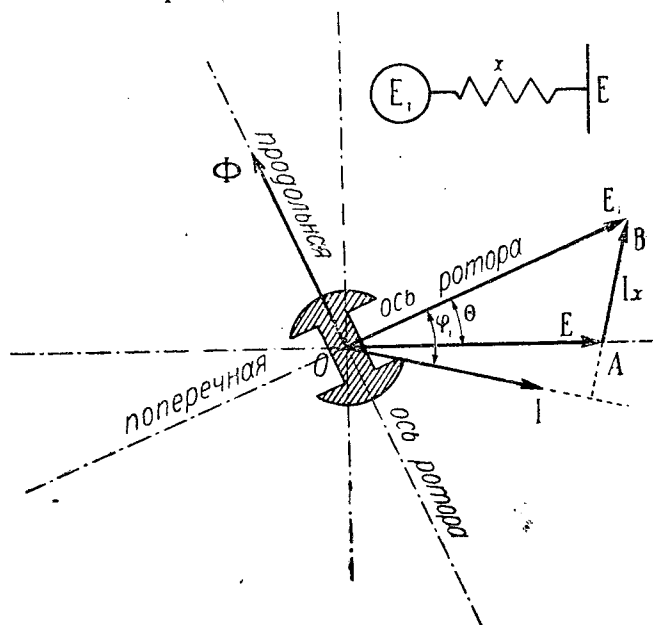


Рис. 1

Если машина является генератором, электрическая активная мощность, ею развиваемая, равна (рис. 1),

$$W_A = -\frac{E_i E}{x} \sin \theta, \quad (1)$$

где  $E_i$  индуктированная в генераторе э. д. сила,  $E$  — напряжение сети,  $x$  — реактивность связи между  $E_i$  и  $E$  (активным сопротивлением пренебрегаем),  $\theta$  — угол, составляемый векторами  $E_i$  и  $E$ , или, что то же самое, угол, составляемый поперечной осью ротора с осью, вращающейся равномерно с угловой скоростью  $\omega_0$  (ось  $OA$  на рис. 1).

1 Все величины относятся к одной фазе трехфазной машины.

При установившемся движении угловая скорость вращения машины  $\omega = \omega_0$  и сумма моментов, действующих на ротор, равна нулю

$$M_m + M_e = 0, \quad (2)$$

где  $M_m$  есть вращающий генератор момент двигателя, а  $M_e$  — тормозящий вращение момент электромагнитных сил:

$$M_e = -\frac{W_A}{\omega_0} = -\frac{E_i E}{\omega_0 x} \sin \theta. \quad (3)$$

Следовательно

$$M_m = \frac{E_i E}{\omega_0 x} \sin \theta \quad (4)$$

будет уравнением установившегося движения. На рис. 2 кривая  $A_1$  изображает синусоиду  $\frac{E_i E}{\omega_0 x} \sin \theta$ , а прямая  $M_m$  отсекает на оси ординат момент двигателя; точка 1 изображает начальный режим установившегося движения. Допустим, что связь внезапно изменилась (вследствие, например, выключения одной из двух параллельных линий, связывающих  $E_i$  и  $E$ ) и стала равной  $x_2 > x_1$ , причем момент  $M_m$  и прочие параметры системы сохранили свое прежнее значение. Уравнение нового режима будет

$$M_m = \frac{E_i E}{\omega_0 x_2} \sin \theta_2, \quad (5)$$

оно изображено точкой 2 синусоиды  $A_2$  на рис. 2. Сохранит ли система устойчивость при переходе от 1-го режима к 2-му?

Движение ротора синхронной машины в переходный период можно рассматривать как сумму двух движений: равномерного вращения с угловой скоростью  $\omega_0$  (переносного движения) и относительного движения, по отношению к этому равномерному вращению, с угловой скоростью  $\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$ .

Абсолютное движение ротора представляет собой алгебраическую сумму этих двух движений со скоростью

$$\omega = \omega_0 + \dot{\theta}. \quad (6)$$

Угол поворота ротора в абсолютном его движении —  $A$  также сложится из двух углов поворота: угла поворота при равномерном его вращении —  $\omega_0 t$  и угла поворота в относительном движении

$$\int_0^t \dot{\theta} dt = \int_{\theta_0}^{\theta} d\theta = \theta - \theta_0, \quad (7)$$

так что

$$A = \omega_0 t + \int_0^t \dot{\theta} dt = \omega_0 t + \theta - \theta_0. \quad (8)$$

В переходный период на ротор действует результирующий момент

$$M = M_m - \frac{W_A}{\omega} \neq 0, \quad (9)$$

меняющийся по закону, изображенному разностью ординат прямой  $M_m$  и синусоиды  $A_2$  на рис. 2.

Работа этого момента за промежуток времени  $t$ , в течение которого угол  $\theta$  получает приращение  $\theta - \theta_0$ , есть

$$[R = \int_0^A M dA = \int_0^t M \frac{dA}{dt} dt.$$

Но  $\frac{dA}{dt} = \omega_0 + \dot{\theta}$  см. формулу (8), откуда

$$R = \int_0^t M \omega_0 dt + \int_{\theta_0}^{\theta} M d\theta. \quad (10)$$

Работа, следовательно, складывается из двух слагаемых: работы в переносном движении

$$R_p = \omega_0 \int_0^t M dt$$

и работы в относительном движении

$$R_0 = \int_{\theta_0}^{\theta} M d\theta.$$

На рис. 2 момент  $M$  изображается разностями ординат прямой  $M_m$  и синусоиды  $A$ ; так как по оси абсцисс отложены

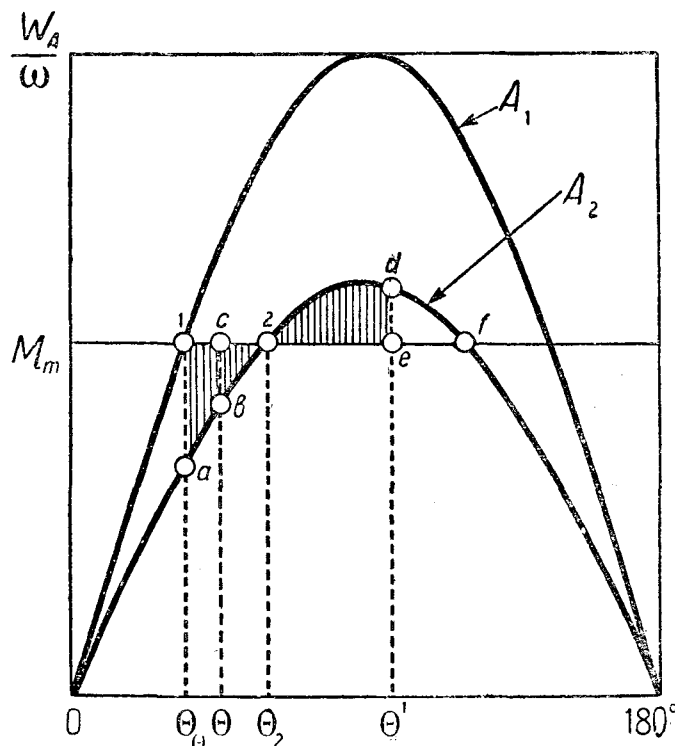


Рис. 2

углы поворота ротора, то работа в относительном движении изобразится площадью 1  $abc$ .

Работа в переносном движении может быть легко вычислена при любом виде зависимости  $M_0$  от  $\theta$ .

Действительно, в выражении для  $R_p$  под знаком интеграла стоит импульс момента сил —  $Mdt$ . Импульс момента сил равен приросту момента количества движения, который в данном случае будет

$$Id\omega,$$

где  $I$  — момент инерции вращающихся масс. Следовательно,

$$R_p = \omega_0 \int_0^t M dt = \omega_0 I \int_{\omega_0}^{\omega} d\omega = I\omega_0 (\omega - \omega_0). \quad (11)$$

Работа в абсолютном движении равна, как известно, приросту живой силы ротора:

$$R = \frac{1}{2} (\omega^2 - \omega_0^2). \quad (11)$$

Отсюда легко найти и величину интеграла  $\int_{\theta_0}^{\theta} M d\theta = R_0$

$$R_0 = R - R_p = \frac{1}{2} (\omega - \omega_0)^2, \quad (12)$$

т. е. когда переносное движение равномерное, работа в относительном движении равна живой силе в этом относительном движении ( $\omega - \omega_0$  — скорость относительного движения).

При изменении режима на ротор будет действовать момент  $M$ ; вначале его величина  $> 0$  и движение ротора будет ускоренным движением в положительном направлении.

Относительная скорость ротора будет при этом равна (12)

$$\omega - \omega_0 = + \sqrt{\frac{2 R_0}{I}} = + \sqrt{\frac{2 \text{ (пл. 1 } abc)}{I}}. \quad (13)$$

Она достигнет максимума при  $\theta = \theta_2$  и затем начнет убывать; когда ротор придет в такое положение  $\theta'$ , что

$$\text{пл. 1 } a 2 = \text{пл. 2 } de,$$

угловая скорость относительного движения обратится в нуль:

$\theta = 0$  и  $\omega = \omega_0$ ; так как это возможно только при  $M < 0$ , то ротор начнет двигаться в противоположном направлении.

Критерием устойчивости является, следовательно, обращение в нуль интеграла

$$\int_{\theta_0}^{\theta} M d\theta. \quad (14)$$

Если существует такое значение угла  $\theta$ , при котором это имеет место, переход будет устойчив; в противном случае нет.

Иначе: движение будет устойчиво, если

$$\text{пл. (2 } df) \geq \text{пл. (1 } a 2).$$

Это и есть критерий площадей.

Выполняя интегрирование (14), можно дать пределы изменения параметров системы, при которых устойчивость перехода будет обеспечена.

Обычно при изложении метода площадей делается ряд утверждений, ошибочность которых будет ясна после вышеизложенного.

Так например, Longley (Tr. AIEE, July 1930, p. 1131), излагая метод площадей говорит: „Площадка  $abc$  есть энергия, введенная в ротор вследствие избытка вращающего момента над моментом сил, сопротивляющихся движению. Если машина остается в синхронизме, та же самая энергия должна быть отдана ротором, и это имеет место при движении ротора от  $c$  к  $d$ , когда ротор отдает системе энергию, изображенную площадью  $cde$ “.

Park and Bancker (Tr. AIEE, January 1930, p. 176) пишут: „Уско-

рение пропорционально  $T_1 - \frac{\psi_a \psi_b}{x} \sin \delta$  и работа, переданная ротору и сообщаемая ему скорость, равна интегралу этой величины по  $\delta$ , или площадке между  $T$  и кривой зависимости момента (электрического) от угла. Со временем угол возрастает до  $\delta_1$ , ротор приобрел скорость пропорциональную совершенной над ним работе и по этому будет двигаться дальше, пока не отдаст всю полученную им работу или пока площадка выше  $T$  не сравняется с площадкой ниже  $T$ “.

Вслед за американскими авторами Лебедев („Электричество“, март 1931 г., стр. 256) пишет: „При перемещении ротора генератора избыток мощности совершает элементарную работу  $\frac{\Delta P \Delta \theta}{\Omega_m}$ . За период уско-

рения совершенная работа будет  $\frac{f_1}{\Omega_m}$ , где  $f_1$  — площадь ускорения (рис. 3). Эта работа пойдет на увеличение кинетической энергии. В период замедления ротор генератора отдает запасную кинетическую энергию, и совершаемая ею работа будет  $\dots = \frac{1}{\Omega_m} f_2$ , где  $f_2$  — площадь замедления.

Исходя из закона сохранения энергии (демперным действием мы пренебрегаем), работа за один цикл должна равняться друг другу и, следовательно,  $f_1 = f_2$ “.

В приведенных выдержках содержится ряд неясностей и прямых ошибок. К их числу, во-первых, относится утверждение, делаемое всеми цитируемыми авторами, что работа результирующего момента изображается площадью на диаграмме

$$M = f(\theta).$$

На самом деле эта площадь изображает только часть этой работы, а именно работу результирующего момента в относительном движении ротора.

Далее утверждается (Park und Bancker), что ротор приобретает скорость, пропорциональную совершенной над ним работе. На самом деле приобретаемая ротором скорость, т. е. скорость его в относительном движении, пропорциональна корню квадратному из той работы, о которой говорит автор и которая выражается площадями диаграмм  $M = f(\theta)$ .

Наконец, вывод критерия площадей из закона сохранения энергии в той форме, в какой его делает Лебедев, совершенно не убедителен. В его изложении отброшено не только

„демпферное действие“, но и работа в переносном движении, во много раз превышающая работу в относительном движении. Эти ошибки не влияют однако на окончательный вывод; действительно, как это видно из формул (11) и (12)

$$R \text{ и } R_0$$

обращаются в нуль одновременно, откуда следует, что за-

мена величины  $R$  через  $R_0$ , которую допускают вышецитированные авторы, не искажают окончательного результата, который сводится в сущности к тому условию, чтобы  $R_0$  обращалась в нуль на пути движущегося под влиянием начального импульса ротора.

## ЛИНИИ ПЕРЕДАЧ И СЕТИ

### Новый способ определения места повреждения в линии передачи

В. И. Воробьев, В. Н. Глазнов  
ЛЭФИ

Описанный ниже способ определения места повреждения в линии передачи основан на явлении собственных колебаний провода. Применение этого явления для указанной цели было предложено проф. А. А. Чернышевым.

В практике эксплуатации может быть несколько видов повреждений. Простейший из них — так называемый чистый обрыв, когда происходит разрыв провода при хорошей изоляции оборванных концов. Для определения места повреждения в этом случае в настоящее время существует несколько способов, как, например, метод емкостного мостика или баллистического гальванометра. Метод проф. А. А. Чернышева не обладает в этом отношении особыми преимуществами.

на другом. Именно последнее будет иметь место, если возбуждать колебания при помощи разрядника, присоединенного одним концом к проводу, а другим к земле (см. схему рис. 1 при короткозамкнутом конденсаторе  $C_1$ ). При некоторой скорости проскакивания искр в разряднике получится ряд затухающих колебаний, причем длина волны каждого из них связана с длиной провода соотношением  $\lambda = 4l$ .

При этих условиях легко можно измерить  $\lambda$  с помощью волномера и, следовательно, найти длину провода  $l$ .

Здесь следует отметить, что при испытании кабеля, где скорость распространения электромагнитных возмущений  $v$  не равна скорости  $v_0$  распространения в пустоте, волномер, при

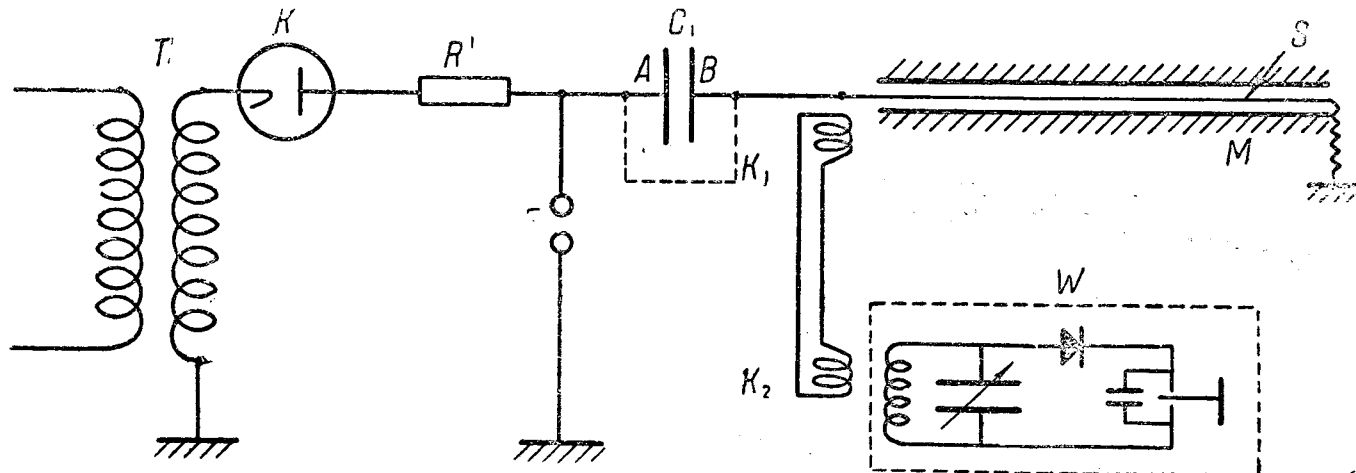


Рис. 1

То же можно сказать и в случае короткого замыкания одной из фаз трехфазной линии. В этом последнем случае обычно применяются схемы мостов. Однако в практике эксплуатации наиболее неприятным является так называемый обрыв с заземлением, когда оборванные концы провода соединяются между собой через сопротивление заземления. В этом случае не представляется возможным отыскать место повреждения. Настоящая работа и была предпринята с целью выяснения возможности применения метода проф. А. А. Чернышева для определения места повреждения провода в различных случаях и, главным образом, при обрыве с заземлением.

В теории переходных режимов даны известные соотношения между длиной волны  $\lambda$  собственных колебаний и длиной линии  $l$ :

$$T = \frac{nl}{v},$$

где  $T$  — период собственных колебаний,  $v$  — скорость распространения, равная  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ . Скорость распространения  $v$  равна

приблизительно для воздушной линии 300 000 km/sec и для кабеля — 150 000 km/sec.

Так как  $v = \frac{\lambda}{T}$ , то  $\lambda = nTl$ , где  $n = 2$  для случая линии разомкнутой или короткозамкнутой на обоих концах и  $n = 4$  для линии короткозамкнутой на одном конце и разомкнутой

помощи которого определяется длина волны колебаний, покажет не действительную длину волны  $\lambda$ , а некоторую другую  $\lambda'^{-1}$ , большую, чем  $\lambda$ , в  $\frac{v_0}{v}$  раз, так что

$$\lambda' = \lambda \frac{v_0}{v}.$$

Действительно, волномер, показания которого пропорциональны периоду колебаний, градуируется на длины волн при скорости их распространения  $v_0$ . Так как в кабеле мы имеем скорость  $v$  меньшую, чем  $v_0$ , и соответственно больший период, то волномер покажет волну, соответствующую этому большему периоду, т. е. не действительную длину волны, а увеличенную в  $\frac{v_0}{v}$  раз. Таким образом для определения длины  $l$  кабеля по показаниям волномера мы имеем соотношение:

$$\lambda' = 4 \frac{v_0}{v} l \approx 8l.$$

В рассмотренных случаях положения концов провода (короткое замыкание и открытый конец), кроме основной волны, имеются еще и кратные ей высшие гармонические, которыми также можно воспользоваться для определения длины провода.

В более сложных случаях, как, например, при заземлении оборванных концов провода, мы не в состоянии при помощи простой схемы (рис. 1 без конденсатора  $C_1$ ) возбудить коле-

бания провода, так как провод не может зарядиться до пробивного напряжения разрядника, ибо другой конец его соединен с землей. Для возбуждения собственных колебаний провода надо разорвать соединительный проводник  $AB$  (рис. 1) и в расщелку включить конденсатор  $C_1$ . Однако при этом в колебаниях будет участвовать не только провод, длину которого надо определить, но и этот конденсатор  $C_1$ . В этом случае выведенные выше соотношения между длиной волны и длиной провода не будут иметь места, и высшие гармонические не будут кратны основной волне. Для выяснения необходимых соотношений надо более подробно рассмотреть теорию колебаний в подобном контуре.

Если обозначить через  $R, L, C, G$  соответственно сопротивление, самоиндукцию, емкость и утечку на единицу длины линии, то электромагнитный процесс в ней может быть выражен следующими дифференциальными уравнениями:

$$-\frac{\partial e}{\partial x} = Ri + L \frac{\partial i}{\partial t}; \quad -\frac{\partial i}{\partial x} = Ge + C \frac{\partial e}{\partial t}, \quad (1)$$

где  $e$  и  $i$  — напряжение и сила тока,  $at$  и  $x$  — переменные время и расстояние. Из последнего уравнения видно, что  $e$  и  $i$  можно представить в виде частных производных от некоторой функции  $W = f(t, x)$

$$e = \frac{\partial W}{\partial x}; \quad i = -C \frac{\partial W}{\partial t} - GW, \quad (2)$$

так что задачу можно свести к определению только этой функции, по которой далее, путем дифференцирования, найдутся  $e$  и  $i$ . По (1) и (2) для  $W$  получается уравнение:

$$\frac{d^2 W}{dx^2} = LC \frac{d^2 W}{dt^2} + (GL + RC) \frac{dW}{dt} + RGW. \quad (3)$$

После решения это уравнение может быть написано в такой форме:

$$W = e^{-\alpha t} A' \sin(\omega t + \varphi_1) \sin(kx + \psi_1), \quad (4)$$

где коэффициент затухания

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( \frac{R}{L} + \frac{G}{C} \right), \quad (5)$$

а круговая частота  $\omega$  связана с величиной  $k$  соотношением

$$k^2 = LC(\omega^2 + \delta^2), \quad (6)$$

где  $\delta = \frac{1}{2} \left( \frac{R}{L} - \frac{G}{C} \right)$ .

Постоянные интегрирования  $A', \varphi_1, \psi_1$  в уравнении (4) определяются по начальным и пограничным условиям. Так как мы имеем линейные дифференциальные уравнения в частных производных, то общий интеграл уравнения (3) будет выражаться суммой уравнений вида (4). Каждое такое уравнение, как видно из (4), представляет собой стоячую волну.

Выражение (4) для  $W$  можно представить и в другой форме, а именно в виде двух проходящих волн:

$$W = e^{-\alpha t} [A \sin(kx - \omega t + \varphi) + B \sin(kx + \omega t + \psi)], \quad (7)$$

из которых первая движется в сторону положительных  $x$ , а вторая — в обратную сторону со скоростью

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\delta^2}{\omega^2}}}. \quad (8)$$

Если при движении волна не изменяет своей формы, то скорость распространения для каждой волны частоты  $\omega$  должна быть независима от последней; это будет при  $\delta = 0$ , и тогда

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (8a)$$

при этом имеет место соотношение  $\frac{R}{L} = \frac{G}{C}$ . Если далее магнитным полем внутри провода можно пренебречь, то  $LC = \epsilon \mu$  и  $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$ .

Обычно диэлектрическую постоянную  $\epsilon$  выражают в электростатических единицах, а магнитную проницаемость  $\mu$  — в электромагнитных. В этом случае в выражение для  $v$  войдет скорость распространения в пустоте  $v_0$ :

$$v = \frac{v_0}{\sqrt{\epsilon \mu}}. \quad (8b)$$

Из (8) мы имеем:

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{2\pi f}{k} = \frac{2\pi v}{k\lambda},$$

откуда

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (9)$$

Выражение для волны (7) можно рассматривать также состоящим из бегущей и стоячей волны:

$$W = e^{-\alpha t} \left[ (A - B) \sin(kx - \omega t') + 2B \sin\left(kx + \frac{1}{2}\gamma\right) \cos\left(\omega t' + \frac{1}{2}\gamma\right) \right] \quad (10)$$

или

$$W = e^{-\alpha t} \left[ (A + B) \sin(kx - \omega t') + 2B \cos\left(kx + \frac{1}{2}\gamma\right) \sin\left(\omega t' + \frac{1}{2}\gamma\right) \right],$$

где  $t' = t - \frac{\varphi}{\omega}$  и  $\gamma = \varphi + \psi$ .

Посмотрим, как зависят коэффициенты  $A$  и  $B$ , имеющие те же значения, что и в выражении (7), от величины включенного на конце линии сопротивления. Для этого мы, пользуясь формулой (2), найдем из (7), выражения для напряжения  $e$  и тока  $i$ ; при этом  $e$  и  $i$  представятся также в виде двух неодинаковых волн, движущихся в противоположные стороны.

Здесь необходимо отметить, что в случае, если конец линии заземления — через активное сопротивление  $R$ , то от него будет зависеть только амплитуда бегущей и стоячей волн фазы же их от этого сопротивления не зависит.

Действительно, в теории переходных режимов доказывается что при таком положении между коэффициентами  $A$  и  $B$  будет существовать соотношение:

$$B = A \frac{R\omega C - k}{R\omega C + k} = A \frac{R - Z}{R + Z}. \quad (11)$$

Здесь  $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$  есть волновое сопротивление линии. Так как в данном случае коэффициент при  $A$  является числом существенным, то, следовательно, он влияет только на амплитуду  $B$  волны, фаза же остается без изменения.

$B$  может иметь тот же или противоположный знак, что и  $A$  или же он может быть равен нулю. При  $R > Z$   $B$  имеет тот же знак, что и  $A$ ; при  $R < Z$   $B$  имеет обратный знак и, наконец, при  $R = Z$   $B = 0$ .

Из рассмотрения уравнения (10) можно прийти к следующим выводам, если  $R = \infty$  (разомкнутая линия), то по (11)  $B = A$  и из первого выражения (10) следует, что мы будем иметь только стоячую волну.

$$2B \sin\left(kx + \frac{1}{2}\gamma\right) \cos\left(\omega t' + \frac{1}{2}\gamma\right).$$

В случае короткозамкнутой линии ( $R = 0$ ),  $B = -A$  и по второй формуле (10) следует, что остается опять только стоячая волна

$$-2B \cos\left(kx + \frac{1}{2}\gamma\right) \sin\left(\omega t' + \frac{1}{2}\gamma\right).$$

Если  $R = Z$ , то  $B = 0$ , стоячей волны в проводе вовсе не возникает и вся энергия, доставляемая только бегущей волной  $A \sin(kx - \omega t')$ , целиком поглощается включенным на конце активным сопротивлением  $R$ .

В общем случае часть энергии рассеивается в колебательном процессе, а остальная ее часть, доставляемая к сопротивлению  $R$  бегущей волной, поглощается этим сопротивлением.

Таким образом мы приходим к выводу, что когда на конце линии включено активное сопротивление, то в линии возникают собственные колебания, следующие закону колебаний при открытом или короткозамкнутом конце с тем, однако, отличием, что величина амплитуды колебаний зависит от соотношения между волновым сопротивлением линии  $Z$  и включенным на конце активным сопротивлением  $R$ , и что кроме стоячей волны имеется остающаяся без отражения бегущая волна, амплитуда которой тоже зависит от этого соотношения.

Отсюда следует, что когда на конце линии включено активное сопротивление, то для выяснения связи между длиной волны собственных колебаний, которую можно измерить волномером, и длиной провода надо считать тот конец провода, который заземлен через сопротивление (открытым или короткозамкнутым), в зависимости от того, будет ли  $R \geq Z$ . При

этом для установления этой зависимости (между  $\lambda$  и  $l$ ) можно воспользоваться первым или вторым выражением стоячей волны в уравнении (10). Но очевидно, что мы должны получить тот же результат, если воспользуемся одним из общих уравнений (4), (7) или (10). Воспользовавшись (4), из которого следует, что если пренебречь величинами, умножаемыми на  $\alpha$  и на  $G$ , по сравнению с величинами, умножаемыми на  $\omega$  и на  $C$ , то

$$\left. \begin{aligned} e &= \frac{\partial W}{\partial x} = e^{-\alpha t} k A' \sin(\omega t + \varphi_1) \cos(kx + \psi_1), \\ i &= -C \frac{\partial W}{\partial t} = -e^{-\alpha t} \omega C A' \cos(\omega t + \varphi_1) \sin(kx + \psi_1) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

мы перейдем к рассмотрению колебаний открытой и короткозамкнутой линии.

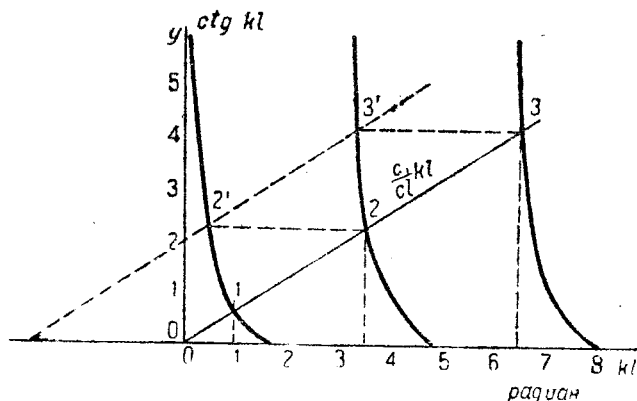


Рис. 2

**Короткозамкнутая линия.** В нашем случае (рис. 1) один конец линии будет короткозамкнут, а на другом конце линии провода соединены через конденсатор  $C_1$ .

Введя оба эти условия при  $x = 0$ ,  $e = 0$  и при  $x = l$ ,  $i = C_1 \frac{\partial e}{\partial t}$  в уравнение (12), легко получить соотношение:

$$\operatorname{ctg} kl = k \frac{C_1}{C}. \quad (13)$$

Из опыта, при помощи волномера, мы можем определить длину волны  $\lambda$ , а следовательно, и величину  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ .

Таким образом в уравнении (13) будет содержаться только неизвестная длина линии  $l$ .

Решение этого уравнения проще всего выполнить графически. В координатах  $(kl, \operatorname{ctg} kl)$  нанесены кривые котангенса, но так как котангенс—функция периодическая, то мы получим бесконечный ряд таких кривых. Из опыта мы также найдем несколько длин волн  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ , в соответствии с чем можем вычислить ряд значений правой части уравнения (13), и значит по соответствующим кривым  $\operatorname{ctg} kl$  можем найти несколько значений  $kl, k_1 l, k_2 l, k_3 l, \dots$ , откуда по известным  $k_1, k_2, k_3, \dots$  должна получиться одна и та же длина  $l$ .

На рис. 2 проделано соответствующее графическое построение. Следует указать на то, что для определения длины  $l$  согласно (13) достаточно было бы определить длину одной какой-либо волны, порядок которой известен, например, можно было бы взять длину основной волны (это будет наибольшая из всех). Однако практически легко пропустить одну или несколько волн, и тогда будет взят неправильно порядок волны и, следовательно, будет неправильно определена длина линии. Поэтому необходимо взять несколько—желательно 6—7—волн и по ним определить длину линии.

Возникает вопрос, как же правильно нанести точки на соответствующие котангенсоиды при пропуске одной или нескольких волн. Уравнение (13) показывает, что при правильном нанесении точек все они должны расположиться на одной прямой и притом проходящей через начало координат. Если благодаря пропуску волны точки не расположились на такой прямой, то для правильного определения  $l$  надо их снести на другие котангенсоиды так, чтобы указанное условие их расположения было выполнено.

На рис. 2 показан случай, когда пропущена первая волна. При этом точки 2 и 3 ошибочно попали в положение 2' и 3', и прямая, их соединяющая, пересекла ось  $kl$  на расстоянии, равном приблизительно  $\pi$ . Аналогичным приемом можно правильно найти длину  $l$ , когда пропущена какая-либо другая волна.

**Разомкнутая линия.** Если линия на конце разомкнута, то, введя условия в уравнение (12) при  $x = 0$ ,  $i = 0$  и при  $x = l$ ,  $i = C_1 \frac{\partial e}{\partial t}$ , получим соотношение

$$-\operatorname{tg} kl = k \frac{C_1}{C}. \quad (14)$$

Из этого уравнения длина  $l$  может быть найдена при помощи такого же графического приема, как и выше, только теперь нужно иметь кривые  $-\operatorname{tg} kl$  (рис. 3). Здесь также надо иметь в виду, что точки  $k_1 \frac{C_1}{C}, k_2 \frac{C_1}{C}$  при правильном нанесении их на соответствующие тангенсоиды должны расположиться на одной прямой, проходящей через начало координат.

#### Опытное определение длины линии передачи в различных случаях

**Схема установки.** Опыты производились по схеме рис. 1, причем объектом исследования служил однофазный 35-kV кабель. Схема работает следующим образом. Заряд, поступающий от кенотрона  $k$ , заряжает батарею конденсаторов  $C_1$  до разности потенциалов, определяемой искровым промежутком  $F$  разрядника. При достижении пробивного напряжения конденсаторы начинают разряжаться через искру разрядника, землю и жилу  $S$  кабеля. Длины волн возникающих при этом собственных колебаний можно определить по волномеру  $W$ , связанному с колебательным контуром непосредственно или через катушки связи  $k_1$  и  $k_2$ . Применение последних представляет большое удобство в отношении как более точного определения длины волны, так и освобождения от мешающего треска искры разрядника; последнее достигается применением достаточно длинных соединительных проводов между катушками связи, так что работать с волномером можно в другом помещении.

**Сопротивление в конце линии.** Опыты производились с различными кусками 35-kV кабеля по схеме рис. 1, причем в конце кабеля в качестве сопротивления  $R$  применялось переменное водяное сопротивление. В табл. 1 приведены результаты опытов с куском кабеля длиной 147 м и емкостью  $C = 205$  см/м. Для данного кабеля специальным опытом было установлено, что скорость распространения в нем  $v = 1,58 \cdot 10^8$  м/сек.

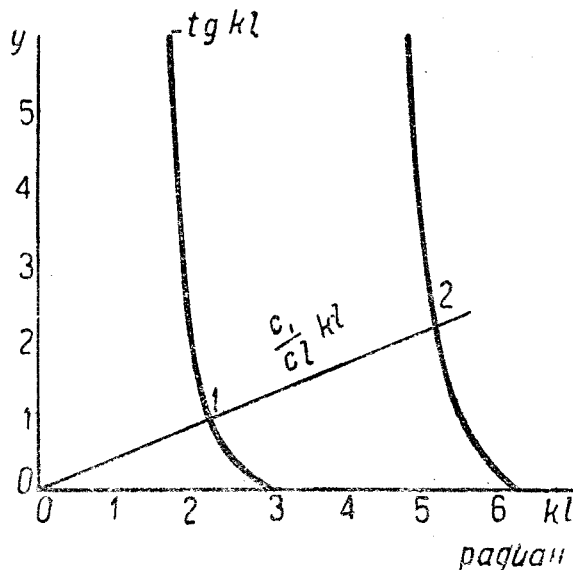


Рис. 3

Таблица 1

| № п/п | Емкость конденсаторов см | Сопротивление на конце $\Omega$ | Длины волн в метрах |     |     |     |     |     | Вычисленная длина |
|-------|--------------------------|---------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|
|       |                          |                                 | 800                 | 350 | 220 | 160 | 120 | 149 |                   |
| 1     | 19 500                   | —                               | 800                 | 350 | 220 | 160 | 120 | 149 |                   |
| 2     |                          | 100                             | 800                 | 350 | 220 | 160 | 120 | 149 |                   |
| 3     |                          | 50                              | —                   | —   | 220 | 160 | —   | —   |                   |
| 4     |                          | 5                               | 1 800               | 550 | 280 | 200 | 150 | 158 |                   |
| 5     |                          | 0                               | 1 750               | 490 | 275 | 190 | 150 | 152 |                   |

Из таблицы видно, что при сопротивлениях больших некоторого (порядка 40—50  $\Omega$ )—расчет длины кабеля можно вести так, как если бы его конец был разомкнут; при меньших сопротивлениях расчет надо вести, исходя из условия короткого замыкания конца кабеля, причем, чем больше будет отличаться заземляющее сопротивление от нуля, тем меньшая точность получится при определении длины  $l$ . При некотором сопротивлении, лежащем в пределах от 40 до 50  $\Omega$ , колебаний в кабеле вовсе не наблюдалось. Так как это значение сопротивления  $R$  должно быть равно волновому, то отсюда получается возможный способ определения волнового сопротивления.

### Сопротивление между двумя участками линии

Если одно или несколько сопротивлений включены между двумя отрезками линии так, как указано на рис. 4, или в какой-либо еще другой комбинации, то рассуждения о колебаниях, приведенные выше, применимы и к этим случаям.

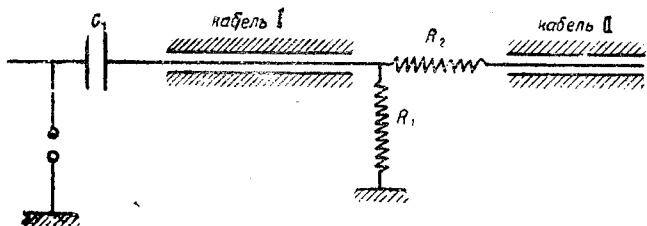


Рис. 4

В электромагнитном процессе, происходящем в участке I, длину которого надо определить, также можно выделить стоячие волны, длины которых будут зависеть от длины этого участка, а их величина—от сопротивлений, включенных на его конце. Если сопротивления имеют величины выше некоторых значений, то колебания следуют закону разомкнутого конца данного участка; при величинах сопротивлений ниже некоторых значений—колебания следуют закону короткозамкнутого конца, и наконец при некоторых значениях сопротивлений два отрезка линии варьируются как одно целое. Эти значения сопротивлений были установлены опытным путем. В табл. 2 приведены результаты опытов с двумя кусками кабеля длиной 147 и 246 м.

Таблица 2.

| №  | Емкость конденсатора $C_1$<br>см | Сопротивление на землю $R_1$<br>$\Omega$ | Сопротивление между жилами $R_2$<br>$\Omega$ | Длины волн в метрах<br>(показания волномера) |     |     |     |         | Вычисленная длина $l$ | Вычисление производилось по кривым |
|----|----------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----|-----|-----|---------|-----------------------|------------------------------------|
| 1  | —                                | 200                                      | 200                                          | 800                                          | 350 | 220 | 160 | —       | 149                   | $\text{tg } kl$                    |
| 2  | —                                | 200                                      | 50                                           | 800                                          | 350 | 220 | 160 | —       | 149                   |                                    |
| 3  | —                                | 200                                      | 10                                           | 1 800                                        | 850 | 570 | —   | 330 270 | 396                   | "                                  |
| 4  | —                                | 200                                      | 0                                            | 1 750                                        | 850 | 570 | —   | 330 270 | 396                   | "                                  |
| 5  | —                                | 100                                      | 200                                          | (800)                                        | 340 | 320 | 160 | —       | —                     | "                                  |
| 6  | —                                | 100                                      | 50                                           | —                                            | —   | 200 | —   | —       | —                     | "                                  |
| 7  | —                                | 100                                      | 10                                           | —                                            | 550 | 330 | 190 | 160     | —                     | "                                  |
| 8  | —                                | 100                                      | 0                                            | 1 750                                        | —   | 550 | —   | —       | —                     | "                                  |
| 9  | —                                | 10                                       | 200                                          | 1 750                                        | 500 | 280 | 190 | —       | 158                   | $\text{ctg } kl$                   |
| 10 | —                                | 10                                       | 50                                           | 1 750                                        | 500 | 280 | 190 | —       | 158                   |                                    |
| 11 | —                                | 10                                       | 10                                           | 1 750                                        | 500 | 280 | 190 | —       | 158                   |                                    |
| 12 | —                                | 10                                       | 0                                            | 1 750                                        | 500 | 280 | 190 | —       | 158                   |                                    |

Из таблицы видно, что если сопротивление на землю  $R_1 > 200 \Omega$ , то при сопротивлениях  $R_2$  между жилами, больших 50  $\Omega$ , и телефоном волномера слышны колебания первого куска, длина которого, следовательно, может быть определена. При  $R_1 < 10 \Omega$  при всяких значениях сопротивления между жилами, колебания первого участка, следуя закону колебаний короткозамкнутого конца, легко обнаруживаются; длина этого участка также может быть найдена. При промежуточных значениях сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  слышны отдельные волны разных участков кабеля, а потому безошибочное определение длины кабеля является сомнительным.

Отметим, что вышеуказанный предел значений сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , когда точное определение длины участка невоз-

можно, может быть несколько сужен путем надлежащего подбора соотношения между емкостью включенных конденсаторов и емкостью всей линии.

Очевидно, что возможны частные случаи повреждения линии, когда одно из сопротивлений  $R_1$  или  $R_2$  отсутствует. Табл. 2 дает возможность сделать необходимые выводы о возможности определения длины поврежденного участка кабеля, без приведения отдельных опытных данных.

В случае, если  $R_2 = 0$ , а  $R_1 \neq 0$  (пробой изоляции кабеля) определить длину кабеля до места повреждения можно только при малых (меньше 10  $\Omega$ ) сопротивлениях  $R_1$ .

В случае неполного обрыва между жилами при хорошей изоляции относительно земли ( $R_1 = \infty$ ,  $0 < R_2 < \infty$ ) можно определить длину поврежденного участка кабеля при  $R_2 > 50 \Omega$ .

Численный пример. В доказательство практического применения указанного выше способа определим длину кабеля на конкретном примере. Для этого возьмем, например, точку № 4 из табл. 2. Так как приходится пользоваться двумя различными семействами кривых ( $\text{ctg } kl$ ) или ( $-\text{tg } kl$ ) в зависимости от величины сопротивлений  $R$ , то предварительно следует определить порядок этих сопротивлений, что может быть легко выполнено, например, при помощи мостика.

В рассматриваемом случае нужно пользоваться кривыми ( $-\text{tg } kl$ ). Здесь мы получили следующий ряд отсчетов по волномеру:

$$\lambda' = 1\,750\,850\,570\,330\,270.$$

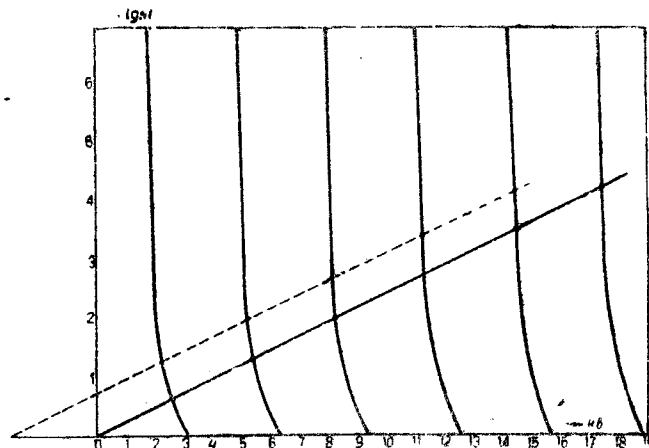
Отсюда по выражению

$$-\text{tg } kl = k \frac{C_1}{C} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{C'}{C} = \frac{2\pi v_0}{\lambda' v} \frac{C_1}{C} = \frac{2\pi \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 19500}{\lambda' \cdot 1,58 \cdot 10^8 \cdot 205} = \frac{1\,132}{\lambda'}$$

получаются такие значения величины ( $-\text{tg } kl$ ):

$$-\text{tg } kl = 0,648\,1,33\,1,99\,3,44\,4,2.$$

На кривых ( $-\text{tg } kl$ ) (рис. 5) эти точки нанесены в виде крестиков. Если по этим точкам попытаться провести прямую проходящую через начало координат, то увидим, что на эту прямую укладываются только первые три точки; прямая, проведенная через последние две, проходит не через начало а влево от него на расстоянии приблизительно  $\pi$ . Это пока зывает, что последние две точки нанесены ошибочно не на

Рис. 5. Кривые  $\text{tg } kl$  для определения длины линии

Построение рис. 5. Точки наносятся на предварительно построенные тангенсоиды по следующим данным:

| На кривую (тангенсоиду) № | 1     | 2    | 3    | 4    | 5   | 6 |
|---------------------------|-------|------|------|------|-----|---|
| Наносится значение        | 0,648 | 1,33 | 1,99 | 3,44 | 4,2 |   |

На рис. 5 эти точки помечены крестиками (x). Кроме того на тангенсоиды № 5 и № 6 соответственно нанесены значения 3,44 и 4,2. Эти точки помечены на рис. 5 крестиками с кружками (x). Затем через три точки, помеченные (x), две точки, помеченные (x), и через начало координат проводится прямая (обозначена на рисунке сплошной линией). Пунктирная прямая проводится через те две точки на тангенсоидах № 4 и 5, которые отмечены крестиками (x)

соответствующие им тангенсоиды и что при измерениях была пропущена волна, длина которой (по волномеру) лежит между 570 и 330 м. Следовательно, две последние точки должны быть сдвинуты вправо на соответствующие им кривые ( $-\text{tg } kl$ ), что на рис. 5 отмечено крестиками с кружками. В этом по-



ложении они вместе с остальными тремя точками достаточно хорошо укладываются на прямую, проходящую через начало координат. Теперь можно найти длину кабеля  $l$ . Для этого воспользуемся либо вычисленными выше значениями ( $-\lg k$ ), где при известных  $k$  содержится только одна неизвестная  $l$ , либо по наклону  $s$  полученной прямой. Последний способ быстрее ведет к цели и автоматически дает среднее из всех наблюдений. Из формулы (14) видно, что наклон  $s$  прямой, определяемый как тангенс угла прямой с осью абсцисс, равен  $\frac{C_1}{Cl}$ . В нашем случае  $s = \frac{C_1}{Cl} = 0,24$ , откуда  $l = \frac{C_1}{0,24 C} = \frac{19\,500}{0,24 \cdot 205} = 396$  м.

В указанном способе нанесения точек на тангенсоиды может показаться странным несколько свободное обращение с выбором их местоположения. Однако, как показала практика, нужно весьма непродолжительное время для того, чтобы научиться правильно наносить точки на соответствующие кривые.

### Заключение

В настоящей статье теоретическими рассуждениями, подтвержденными на опыте, показана возможность определения

длины линии передачи способом возбуждения собственных колебаний линии. При этом выяснено, что при включении сосредоточенных активных сопротивлений между отдельными участками линии колебания следуют закону короткозамкнутой или разомкнутой на конце линии, в зависимости от величин включенных сосредоточенных активных сопротивлений. Для 35-kV однофазного кабеля эти величины сопротивлений здесь приведены. Для линий передач, имеющих другие постоянные, эти значения сопротивлений будут другие.

Описанный способ является, повидимому, единственным практически применимым и дешевым для определения места повреждения в наиболее тяжелых случаях, в смысле трудности определения длины поврежденного участка, в частности в случае обрыва с заземлением.

Следует указать также, что благодаря возможности применения этого метода для всех практически известных случаев повреждения, за исключением замыкания через сопротивления на землю, без повреждения жилы, он обладает ценным качеством — универсальностью.

Данный способ определения места повреждения передан Электроток (аварийный отдел), который применяет его при авариях в кабельной сети.

## Заземление опор линий электропередач и роль троса при прямых ударах молнии

В. В. Яворский

МОГЭС

Среди мер защиты линий от грозových перенапряжений малое сопротивление заземления опор является несомненно одной из наиболее существенных. Несмотря на общее признание значения малого сопротивления, относительно необходимых численных величин последнего существует значительная недоговоренность, нашедшая себе отражение в дискуссиях по докладу Спорна (Sporn) на весенней конференции Американского института электриков 1931 г. В значительной степени эту недоговоренность следует отнести за счет того, что до сих пор еще нет достаточной четкости в вопросе, как и от чего должно защищать малое сопротивление заземления опор. Целью настоящей статьи является внести некоторую ясность в этот вопрос и дать ориентировочные величины сопротивления заземления опор, достаточные с точки зрения защиты от грозových перенапряжений. Кроме того, рассмотрена также вкратце теория троса при прямых ударах и показано, что существующая теория не учитывает ряда факторов, существенно влияющих на результат. Попутно рассмотрены также богатый статистический материал Спорна и некоторые данные практики электропередач СССР с изложенной точки зрения.

В дальнейшем роль сопротивления заземления  $R$  рассматривается только при прямом ударе молнии в линию. Для линий 100 и 200 kV только эти разряды и представляют опасность.

Для линий 30 kV и ниже повидимому опасны и индуктивные перенапряжения, поэтому некоторое пренебрежение, которое в последнее время стали проявлять к их изучению, кажется нам недостаточно обоснованным, так как не надо забывать, что во всех современных объединениях главная масса грозových аварий падает именно на сего 30—20 kV. Однако роль сопротивления заземления опор при индуцированных перенапряжениях, как показали работы Фортезью<sup>[8]</sup> (Fortescue), Кокса<sup>[9]</sup> (Kox), Слэпьяна<sup>[9]</sup> (Slepian) и Бьюлея<sup>[1]</sup> (Bevley), относительно невелика, и те значения  $R$ , которые существуют на практике, достаточны. При рассмотрении действия сопротивления заземления и тросов при прямых ударах нужно иметь в виду следующие положения, основанные на экспериментальных работах и эксплуатационных наблюдениях.

1. Облако при разряде бывает заряжено как положительно, так и отрицательно.

2. В первом случае ствол молнии, нарастая от облака к земле, обычно разветвляется, и линию поражает лишь одна из ветвей, имеющая относительно небольшой ток, порядка не более 50 000 А. Это обстоятельство подтверждается тем, что среди сотен показаний регистраторов прямого удара, снятых за период 1929—1930 гг., не было показаний, соответствующих положительному разряду<sup>[16]</sup>. Отсюда следует, что ток положительных ударов был недостаточен для действия регистраторов.

3. Во втором случае ствол молнии нарастает от земли и через пораженное место проходит весь ток прямого удара, достигающий 200 000 А (см. ниже). По данным последней конвенции Американского института электриков зарегистрирован ток прямого удара 680 000 А, подсчитанный как сумма токов во всех соседних с пораженной опорах. Однако, как показано ниже, такой способ определения силы тока в стволе молнии неправилен, он дает значительно преувеличенные результаты, так как максимальные значения токов в соседних опорах не совпадают по времени.

4. При разрядах первого рода попадание в опору вероятнее, чем в трос или провод, однако и последнее, повидимому, не является исключением. Относительная вероятность попадания разряда в провода и трос зависит от габарита подвески тросов и высоты облака. При этом обычно степень экранирующего действия тросов подсчитывается, исходя из высоты облака, принимая, что молния избирает кратчайший путь. Однако это очень грубое приближение, так как по фотографиям видно, что путь молнии бывает весьма извилист, со многими боковыми ответвлениями. Поэтому вероятность попадания бокового удара прямо в провод больше вычисленной. Увеличение габарита подвески тросов уменьшает вероятность бокового удара.

5. Во втором случае, когда ствол молнии развивается от земли к облаку, даже при существующих системах подвески тросов со сравнительно небольшими габаритами вероятность того, что разряд молнии начнется с провода, крайне незначительна; обычно разряд начинается с вершины опоры.

6. Как в случае разрядов первой, так и в случае разрядов второй группы вероятность поражения той или иной опоры совершенно не зависит от сопротивления ее заземления, а зависит исключительно от поля облака, высоты опоры, геологического строения почвы и т. п.; сопротивление опоры влияет только на зону распространения разрушительного действия перенапряжения.

7. Всякого рода диверторы имеют гораздо больший радиус действия при отрицательных ударах (разряд второго рода), что экспериментально доказано Пиком (Peek).

8. Большинство неразветвленных молний следует, повидимому, отнести к разрядам второй группы — от положительной земли к отрицательному облаку. При этом разветвления ствола молнии в верхней части, по всей вероятности, просто не видны из-за облака<sup>[16]</sup>.

9. Все волны прямого удара, регистрируемые обычно осциллографом на линиях, в большинстве случаев бывают сильно искажены следующими факторами: а) неприкрытием изоляторов, б) многократным отражением и преломлением волн в местах заземления тросов, в) затуханием, г) искажением формы, которое обусловлено рядом причин, из коих главные перечислены ниже.

<sup>1</sup> Цифра в скобках указывает на литературу в конце статьи.



(рис. 3). Точно так же ясно, что после перекрытия изоляции опор пораженного пролета, когда эквивалентная схема изображена рис. 4, преломленная волна  $e''$ , отражаясь от места заземления провода и возвращаясь обратно к месту попадания молнии, даст ряд преломленных волн, переходящих в ствол молнии, и сумма этого ряда равна

$$\frac{2Z_0}{2Z_0 + Z} \sum_m e_m.$$

Таким образом если бы мы рассматривали ствол молнии безоговорочно как волновое сопротивление  $Z_0$ , то мы неизбежно пришли бы к выводу, что отраженные и преломленные волны, накладываясь на начальный ток молнии  $I_m$ , увеличивают его. Однако такая картина явления с точки зрения физической кажется нам неверной и безоговорочное применение законов блуждающих волн к стволу молнии недостаточно обоснованным. Действительно, сила тока в стволе молнии зависит в первую очередь от характера разряда, состояния воздуха, от длины ствола молнии, энергии облака, силы его поля и других причин, совершенно не зависящих от свойств того места, в которое ударяет молния. Поэтому считать, как мы вынуждены делать это при допущении безоговорочной замены молнии блуждающей волной, предполагая, что установившийся ток молнии определяется в конечном итоге суммой набегающей, отраженной и вторичных преломленных волн, достаточных оснований нет.

Нам кажется, что реальной физической картине лучше отвечает допущение, что ток в стволе молнии зависит только от характера самого разряда и совершенно не зависит от переходных процессов установления тока молнии в линии. Чтобы иметь все же возможность исследовать процесс многократного преломления и отражения волны прямого удара в самой линии, что возможно только при замене молнии некоторым волновым сопротивлением, и сохраняя в то же время условие независимости тока молнии  $I_m$  от процессов в линии, необходимо прежде всего сделать допущение, что в момент удара  $Z_0 = \frac{Z}{2}$ .

При этом  $e' = 0$  и  $e'' = \frac{I_m Z}{2}$ . Однако это допущение удовлетворяет условию независимости  $I_m$  только в течение того промежутка времени, пока к месту удара не дойдет волна, отраженная от ближайшего заземления (перекрытой гирлянды). После этого на ток молнии опять наложится ряд волн, следующих одна за другой с интервалами  $\frac{2x}{v}$ , где  $x$  — расстоя-

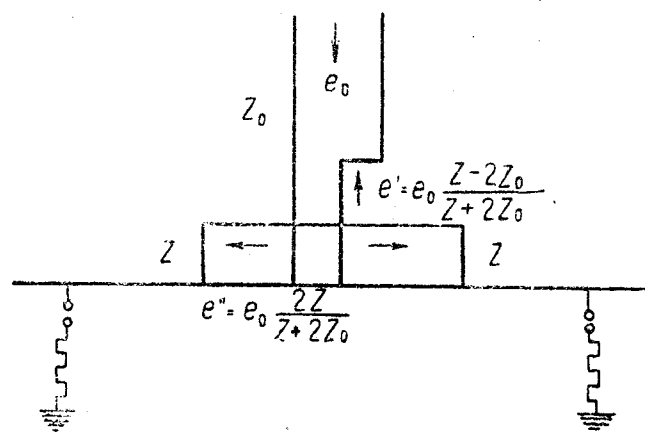


Рис. 3

ние от места удара до ближайшей перекрытой опоры. В случае если удар молнии попал в середину пролета и перекрыты обе опоры этого пролета, сила тока в стволе молнии изображается ступенчатой кривой с шагом  $T = \frac{L}{v}$  ( $L$  — пролет)

$$I = I_m \left\{ 1 \cdot \varphi(t) + \left( \frac{2Z_0 - Z}{2Z_0 + Z} \right) \varphi(t) + \frac{8Z^2 Z_0}{(2Z_0 + Z)^2 (2R + Z)} \left[ 1 \cdot \varphi(t - T) + \left( \frac{Z}{Z + 2R} \right) \left( \frac{Z - 2Z_0}{Z + 2Z_0} \right) \varphi(t - 2T) + \right. \right.$$

$$\left. + \left( \frac{Z}{Z + 2R} \right)^2 \left( \frac{Z - 2Z_0}{Z + 2Z_0} \right)^2 \varphi(t - 3T) + \dots + \left( \frac{Z}{Z + 2R} \right)^n \left( \frac{Z - 2Z_0}{Z + 2Z_0} \right)^n \varphi[t - (n + 1)T] + \dots \right\},$$

где  $\varphi(t - nT)$  показывает, что волна сдвинута во времени на  $nT$ . Отсюда видно, что построение диаграмм многократного отражения, основанное на замене молнии некоторой фиктивной блуждающей волной с волновым сопротивлением  $Z_0$ ,

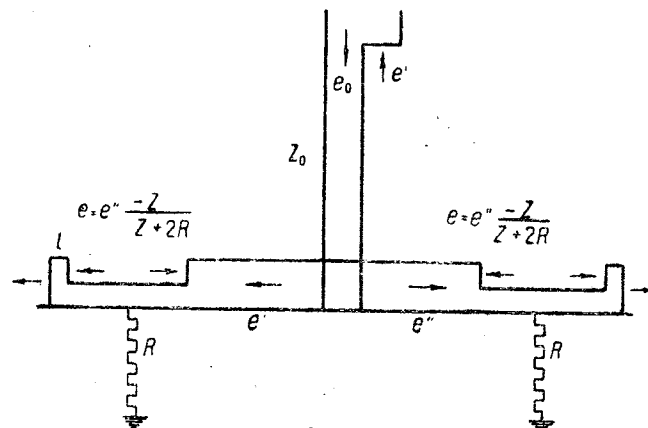


Рис. 4. Пик обусловлен запаздыванием перекрытия изоляции

даже с чисто формальной стороны вносит в расчет элемент неточности, так как удовлетворяет условию независимости  $I_m$  лишь в начале процесса. Тем не менее эта замена весьма удобна, и в дальнейшем мы сознательно допускаем известную неточность, полагая  $Z_0 = 250 \div 200 \Omega$ .

Итак, в момент удара молнии в провод в обе стороны пойдет волна  $e'' = \frac{I_m Z}{2}$ . Ясно, что даже для относительно слабых боковых ветвей с током порядка  $10\,000 \div 20\,000$  А это напряжение окажется достаточным ( $2\,500 \div 5\,000$  kV), чтобы на линии с заземленными местами подвески гирлянд перекрыть изоляцию на обеих опорах пораженного пролета. Для линий на чисто деревянных опорах благодаря их высокой изоляции вполне возможно попадание слабых боковых ветвей молнии прямо в провод, не вызывая перекрытия.

Благодаря запаздыванию разряда, до того как гирлянды пораженного пролета будут перекрыты, в линию пройдет короткая волна с высокой амплитудой; само собой разумеется, что она не представляет для линии опасности и благодаря короткой длине весьма скоро затухает и деформируется до совершенно ничтожных значений. После того как гирлянды пораженного пролета будут перекрыты, диаграмма многократных отражений для волны напряжения примет вид, изображенный на рис. 5. При этом мы, в отличие от Бюлея, строим диаграмму для обеих волн, идущих вправо и влево от места удара, для того чтобы иметь возможность исследовать случай несимметричного удара. Коэффициенты отражения и преломления соответственно равны

$$a = -\frac{Z}{2R + Z}, \quad a_0 = -\frac{Z}{2Z_0 + Z};$$

$$b = \frac{2R}{2R + Z}, \quad b_0 = \frac{2Z_0}{2Z_0 + Z}.$$

Легко видеть, что коэффициент

$$\alpha = \frac{2Z_0 R - Z_{11}(Z_0 + R)}{2Z_0 R + Z_{11}(Z_0 + R)},$$

который вводит Бюлей для того, чтобы при построении диаграммы для волны, идущей только в одну сторону от места удара, учесть также и вторую волну, представляет собой не что иное, как сумму преломленной и отраженной волны для случая удара в опору.

На рис. 6 изображен характер волн, идущих вправо и влево от пораженного пролета при  $R = 20$ ,  $Z = 500$ ,  $Z_0 = 200 \Omega$  для частного случая бесконечно-длинной волны с прямоугольным фронтом и  $x = \frac{1}{3} L$  (для этого же значения  $x$  построена и диаграмма рис. 5). Очевидно, что при достаточно большой

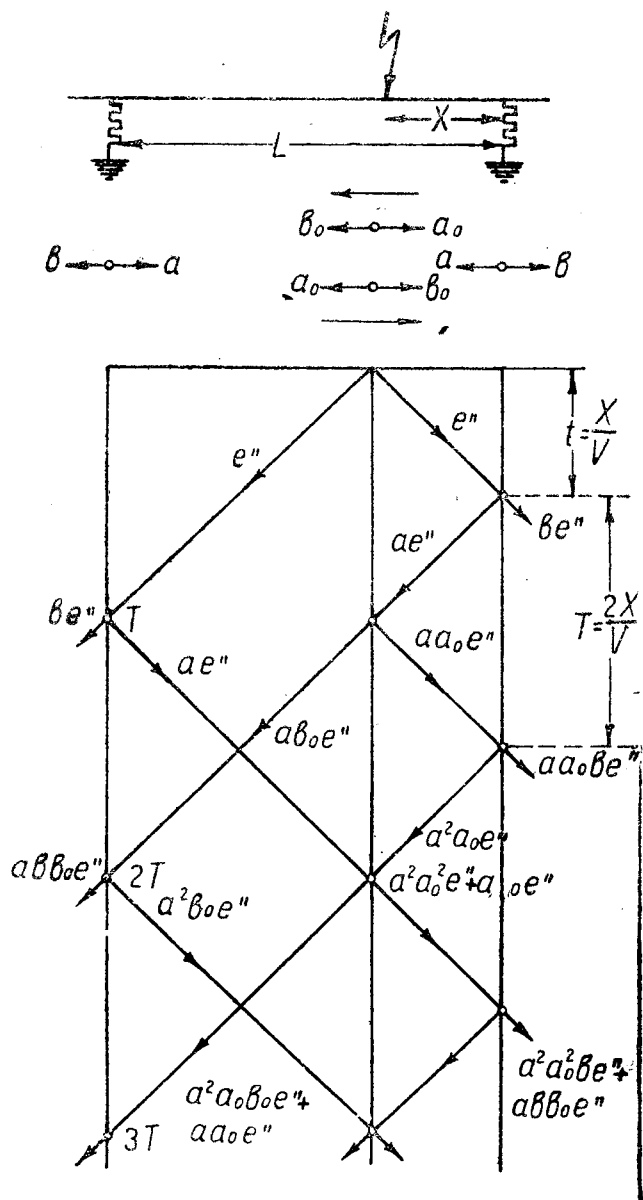


Рис. 5

величине  $R$  перекрытой опоры волна, прошедшая место перекрытия, может оказаться достаточной амплитуды для перекрытия изоляции на второй опоре и т. д. Из рис. 6 видно, что, в случае, если молния ударяет не в середину пролета, волны, идущие вправо и влево от пораженного пролета, неравны между собой. Это неравенство, еще более резко проявляющееся, в случае если сопротивления заземления опор пораженного пролета неравны между собой, весьма просто объясняет непонятное на первый взгляд явление, когда перекрывается подряд несколько опор с убывающей в одну сторону силой. Например, опоры 11 и 12 перекрыты сильно, опора 13 слабее, 14 еще слабее и т. д., между тем как опоры влево от 11 совершенно не повреждены; это свидетельствует о том, что разряд молнии произошел в пролете 11—12 и сопротивление заземления опоры 11 относительно мало. Подобное явление бывает особенно рельефно на линиях с большим сопротивлением заземления, как, например, на линиях с деревянными опорами, где перекрытие с убывающей силой, подряд 7—8 опор в одну сторону от места удара молнии,—не редкость. Подобные случаи описаны в одной из наших предыдущих работ.

Итак, при попадании более или менее сильного удара в провод перекрытия опор пораженного пролета неизбежно. В этом случае роль сопротивления заземления опор сводится к тому, чтобы ограничить зону повреждения одним пролетом и избежать перекрытия на соседних опорах. Нашей задачей является найти соответствующее максимально допустимое значение  $R$ . Из рис. 5 видно, что чем меньше  $x$ , тем больше амплитуда волны, проходящей в эту сторону. В пределе для волн с фрон-

том, меньшим или равным  $\frac{2L}{v}$  микросекунд, максимальной амплитуда проходящей волны равна

$$\lim e'' \rightarrow e''b (1 + aa_0 + a^2a_0^2 + \dots) = \frac{R}{R + \frac{ZZ_0}{2Z_0 + Z}} e'' = ke''.$$

При  $Z = 500$  и  $Z_0 = 200 \Omega$

$$k \approx \frac{R}{R + 111}.$$

Для того чтобы при прямом ударе молнии в провод перекрытие ограничилось только пораженным пролетом, необходимо, чтобы

$$ke'' \leq e_{\text{пер}}. \quad (1)$$

Для более точных подсчетов можно было бы воспользоваться для каждого конкретного случая импульсными характеристиками изоляторов. Нам, однако, важно определить скорее лишь порядок величины  $R$ , а потому мы берем две крайние, имеющие практическое значение величины импульсного напряжения перекрытия, которые равны:

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| для линий 220 kV . . . . . | 1 400 ÷ 2 400 kV |
| " " 110 " . . . . .        | 1 000 ÷ 1 400 "  |
| " " 33 " . . . . .         | 160 ÷ 300 "      |

Отсюда значение  $R$  найдем из табл. 1.

Таблица 1

| Напряжение     | $e'' = 15\,000 \text{ kV}$ | $e'' = 10\,000 \text{ kV}$ | $e'' = 5\,000 \text{ kV}$ |
|----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Линия 220 kV . | $R = 12 \div 18 \Omega$    | $18 \div 27 \Omega$        | $45 \div 90 \Omega$       |
| " 110 " .      | $R = 8 \div 12 "$          | $13 \div 18 "$             | $27 \div 45 "$            |
| " 33 " .       | $R = 1,2 \div 2 "$         | $2 \div 2,8 "$             | $4 \div 5,6 "$            |

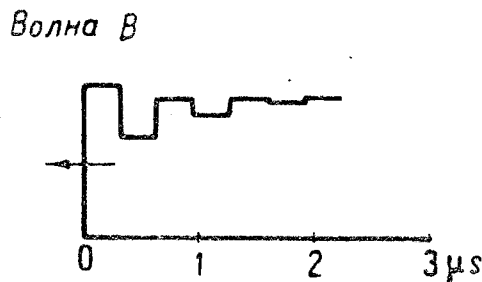
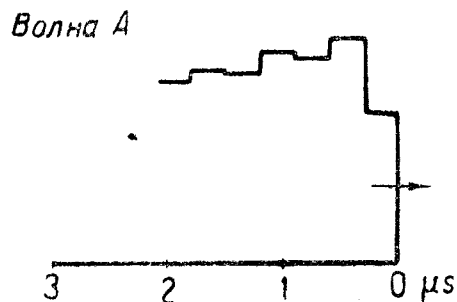
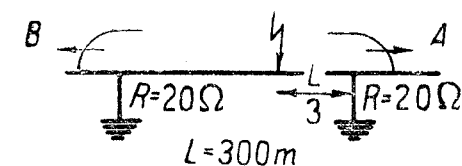


Рис. 6

Полагая, что для ударов первого рода (от облаков к земле) сила тока в ветви, поражающей линию, не превосходит 50 000 А, что соответствует значению  $e = \frac{50\,000 \cdot 500}{2} = 12\,500 \text{ kV}$ , получим для случая удара молнии в провод соответствующую

щую максимальную величину сопротивления заземления опор порядка

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| 15 $\Omega$ для линий . . . . . | 220 kV |
| 10 " " " . . . . .              | 110 "  |
| 1,5 ÷ 2 " " " . . . . .         | 33 "   |

## 2. Удар молнии в опору линии без троса

Поскольку в данном случае, очевидно, приходится говорить о разрядах второго рода, правильнее было бы сказать „начало молнии с опоры“.

После того как образуется устойчивый ствол молнии между вершиной мачты и облаком, разность потенциалов между вершиной столба и землей составит

$$V_m = I_m R,$$

где  $I_m$  — ток молнии, проходящий через опору, а  $R$  — сопротивление заземления. Однако считать, как это часто делают, что разность потенциалов между проводом и опорой также равна  $V_m$  было бы неправильно; действительно, при разряде молнии через опору в проводе освобождается индуцированный потенциал  $-V_u$ , и разность потенциалов между проводом и опорой будет

$$V = V_m - (-V_u) = V_m + V_u \approx I_m R + gh\alpha, \quad (2)$$

где  $g$  — градиент потенциала поля облака, учитывающий и местные поля молнии,  $h$  — высота подвеса провода,

$$\alpha = f[F(t), \psi(x)],$$

где  $F(t)$  — закон протекания разряда, а  $\psi(x)$  — закон распределения поля облака. Законы разряда облака изучены недостаточно, равным образом нет достаточно точных данных о значениях  $g$  непосредственно под местом разряда (с учетом местных полей), поэтому величина  $V_u$  представляется весьма неопределенной и требующей дальнейшего уточнения и разработки. Для линий с высотой подвеса 10 + 15 м принимаем в дальнейшем  $V_u = 200 + 300$  kV. Этой величиной можно пренебречь для линий 110 + 220 kV. Однако для линий порядка 30 kV значения  $V_u$  сами по себе, вероятно, достаточны, чтобы вызвать перекрытие (или во всяком случае близки к напряжению перекрытия), а потому величина  $R$  отступает на второй план, так как практически каждый более или менее сильный удар молнии в опору вызывает перекрытие, обусловленное в значительной степени наличием индуцированного потенциала  $V_u$ .

Для линий же 110 и 220 kV, исходя из приведенных значений  $e_{пер}$  и принимая  $V_u = 200$  kV,  $R$  определится соответственно для  $I_m = 100\,000$  и  $200\,000$  А из табл. 2.

Таблица 2

| Напряжение     | $I_m = 200\,000$ А     | $I_m = 100\,000$ А      |
|----------------|------------------------|-------------------------|
| Линия 220 kV . | $R = 6 \div 11 \Omega$ | $R = 12 \div 22 \Omega$ |
| " 110 " .      | $R = 4 \div 6 "$       | $R = 8 \div 12 "$       |
| " 33 " .       | ниже практически осущ. | ествимых значений       |

Итак, для линий без тросов значения сопротивления опор следует выбирать порядка 10  $\Omega$  при 220 kV и 5  $\Omega$  — при 110 kV. Для линий 33 kV защитные значения сопротивления заземления лежат ниже практически осуществимых величин; эти линии, проложенные на металлических опорах без тросов, следует считать совершенно незащищенными и применение диверторов в этом случае особенно желательным.

## Б. Линии с тросом

Действие троса можно рассматривать с двух точек зрения: во-первых, как фактор, предотвращающий попадание прямого удара в провод линии, и, во-вторых, как фактор, снижающий разность потенциалов между проводом и опорой при ударе молнии в опору или трос.

Как было сказано выше, с точки зрения экранирующего действия троса сопротивление заземления не играет роли, а имеет значение только габарит подвески тросов. Точно так же не играет роли и то, подвешен ли трос на опорах линии или на отдельных опорах (диверторы). Экранирующая роль троса имеет значение, главным образом, при разрядах

первого рода — от облака к земле. При наиболее же опасны для линии разрядах второго рода габарит подвески тросов и вероятность поражения провода разрядом, повидимому, существенного влияния не оказывает, и за тросом остается лишь роль фактора, понижающего напряжение между проводом и мачтой при поражении мачты или троса молнией. В этом случае ясно, что роль сопротивления заземления опор весьма велика. Теория троса при прямом ударе, выдвинутая впервые Коксом, Слепьяном [4], Фортестью [5] и развитая Бьюлеем [1], заключается вкратце в следующем: всякая волна  $f_1$ , появляющаяся на тросе, индуцирует на проводе волну того же знака

$$f_2 = f_1 \frac{Z_{12}}{Z_{11}},$$

где  $Z_{12}$  — взаимное волновое сопротивление троса и провода, а  $Z_{11}$  — волновое сопротивление троса.

Когда ствол молнии поражает опору, волна, идущая по тросу в обе стороны от пораженной опоры, определится по схеме замещения, изображенной на рис. 7.

$$e_1 = \frac{2}{1 + Z_0 Y} \cdot e_0,$$

$$Y = \frac{1}{R} + \frac{1}{Z_{11}} + \frac{1}{Z_{11}},$$

откуда

$$e_1 = \frac{2Z_{11}R}{Z_{11}(R + Z_0) + 2RZ_0} \cdot e_0. \quad (3)$$

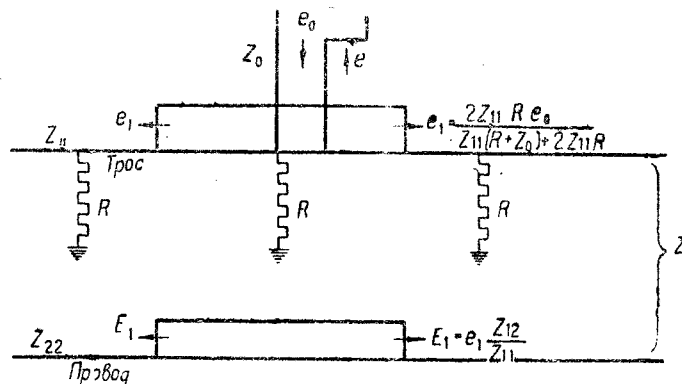


Рис. 7.

Эта волна создает в проводе волну того же знака:

$$E_1 = e_1 \frac{Z_{12}}{Z_{11}}.$$

Разность потенциалов между тросом (или, что все равно, вершиной опоры) и проводом равна:

$$e = e_1 \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right). \quad (4)$$

Чем больше расстояние между проводом и тросом, тем меньше  $Z_{12}$  и тем большему напряжению подвергнутся изоляторы линии. Отсюда ясно, что при вертикальном расположении проводов большей опасности перекрытия подвергается нижний провод. Нагрузка изоляции, определяемая уравнением (4), длится в течение времени  $\frac{2L}{v}$ , пока к месту раз-

ряда не дойдет волна, отраженная заземлением троса на соседней опоре при пролетах  $L = 150 \div 300$  м, это время равно 1 ÷ 2 микросекундам. Так как волны прямого удара имеют длину фронта этого же порядка, то основным фактором, влияющим на работу изоляции линии, является именно напряжение в течение этих 1—2 микросекунд. В дальнейшем процесс протекает следующим образом (рис. 8): от места удара волна  $e$  распространяется по тросу, причем каждая опора с заземлением троса служит узловой точкой, где волна  $e_1$  испытывает отражение и преломление с коэффициентами

$$a = -\frac{Z_{11}}{2R + Z_{11}} \text{ и } b = \frac{2R}{2R + Z_{11}}$$

соответственно. Каждая отраженная волна в тросе создает в проводе волну того же знака, распространяющуюся в обе стороны и равную отраженной волне в тросе, уменьшенную

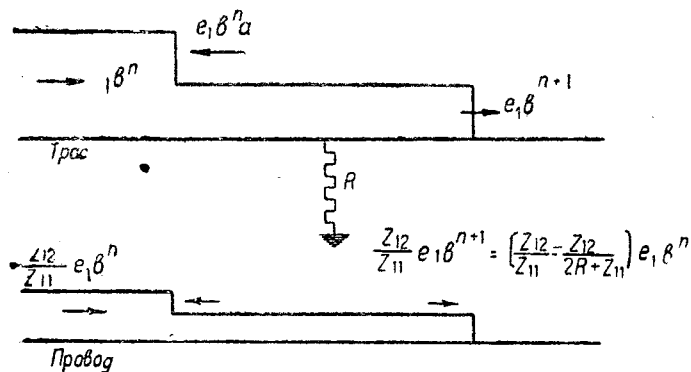


Рис. 8.  $\frac{Z_{12}}{Z_{11}} e_1 b^n a = -\frac{Z_{12}}{2R + Z_{11}} e_1 b^n$ .

в отношении  $\frac{Z_{12}}{Z_{11}}$ . Таким образом соответственно каждому месту заземления троса, на которое набежит волна  $e_1 b^n$ , мы имеем индуцированные в проводе:

- 1) набегающую волну  $\frac{Z_{12}}{Z_{11}} e_1 b^n$ ,
- 2) отраженную волну  $-\frac{Z_{12}}{2R + Z_{11}} e_1 b^n$ ,
- 3) преломленную волну  $\left(\frac{Z_{12}}{Z_{11}} - \frac{Z_{12}}{2R + Z_{11}}\right) e_1 b^n$ .

Если, кроме того, в каком-либо месте провода возникла собственная волна, она распространяется независимо, накладываясь на индуцированные волны. Для опоры, пораженной молнией, коэффициенты отражения и преломления будут вместо  $a$  и  $b$  соответственно:

$$a_0 = -\frac{Z_{11}(Z_0 + R)}{2Z_0R + Z_{11}(Z_0 + R)} \quad \text{и} \quad b_0 = \frac{2Z_0R}{2Z_0R + Z_{11}(Z_0 + R)}.$$

Для удара молнии в середину пролета задача решается совершенно аналогично, но в месте удара молнии коэффициенты отражения и преломления будут:

$$a_0' = -\frac{Z_{11}}{2Z_0 + Z_{11}} \quad \text{и} \quad b_0' = \frac{2Z_0}{2Z_0 + Z_{11}}.$$

Соответственные диаграммы многократного отражения для случая удара молнии в опору представлены на рис. 9. На рис. 10 приведены заимствованные из работы Бьюлея кривые, представляющие напряжения провода, троса и разность между ними для ряда соседних опор для различных сопротивлений заземления опор  $R$ . На рис. 10 сплошная кривая соответствует удару в опору, пунктирная—удару в середину пролета (дополнено нами). Эти кривые представляют напряжение на каждой мачте в течение периода времени, пока волна, отраженная от соседней опоры, не дойдет обратно, т. е. для волн с фронтом меньшим или равным  $\frac{2L}{v}$ . Протекание напряжений по времени на трех соседних опорах для прямоугольной

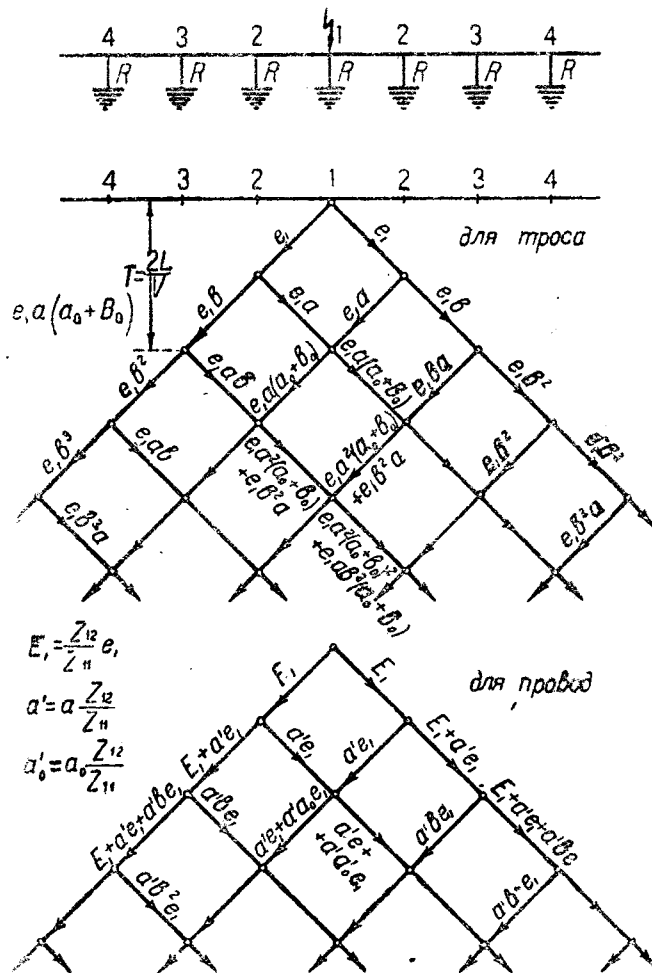


Рис. 9.  $E_i = \frac{Z_{12}}{Z_{11}} e_i$ ;  $a' = a \frac{Z_{12}}{Z_{11}}$ ;  $a_0' = a_0 \frac{Z_{11}}{Z_{11}}$ .

волны и волны с фронтом представлено на рис. 11, заимствованном из той же работы.

Такова изложенная вкратце современная теория действия троса при прямом ударе. Однако нам представляется, что, не говоря уже о заведомо произвольной замене ствола молнии некоторой блуждающей волной, о чем говорилось выше, этой теорией не учитываются факторы, изменяющие общую картину и увеличивающие напряжение, приходящееся на изоляцию.

Первым фактором, который не учитывается существующей теорией, является индуцированный потенциал. Бьюлей [1] считает, что индуцированный заряд облегчает условия работы изоляции линии. Ход его мысли таков: и на тросе и на про-

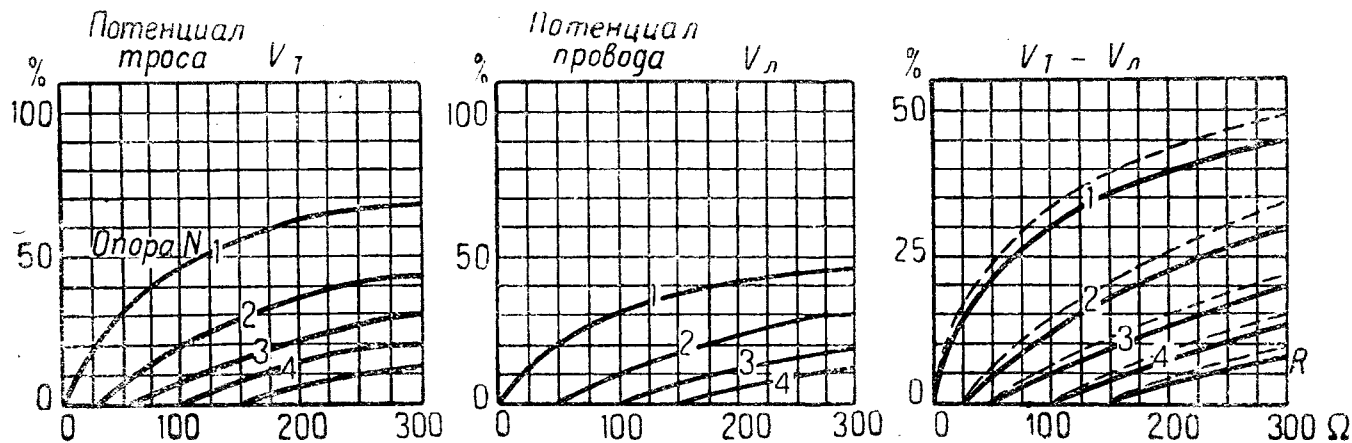


Рис. 10



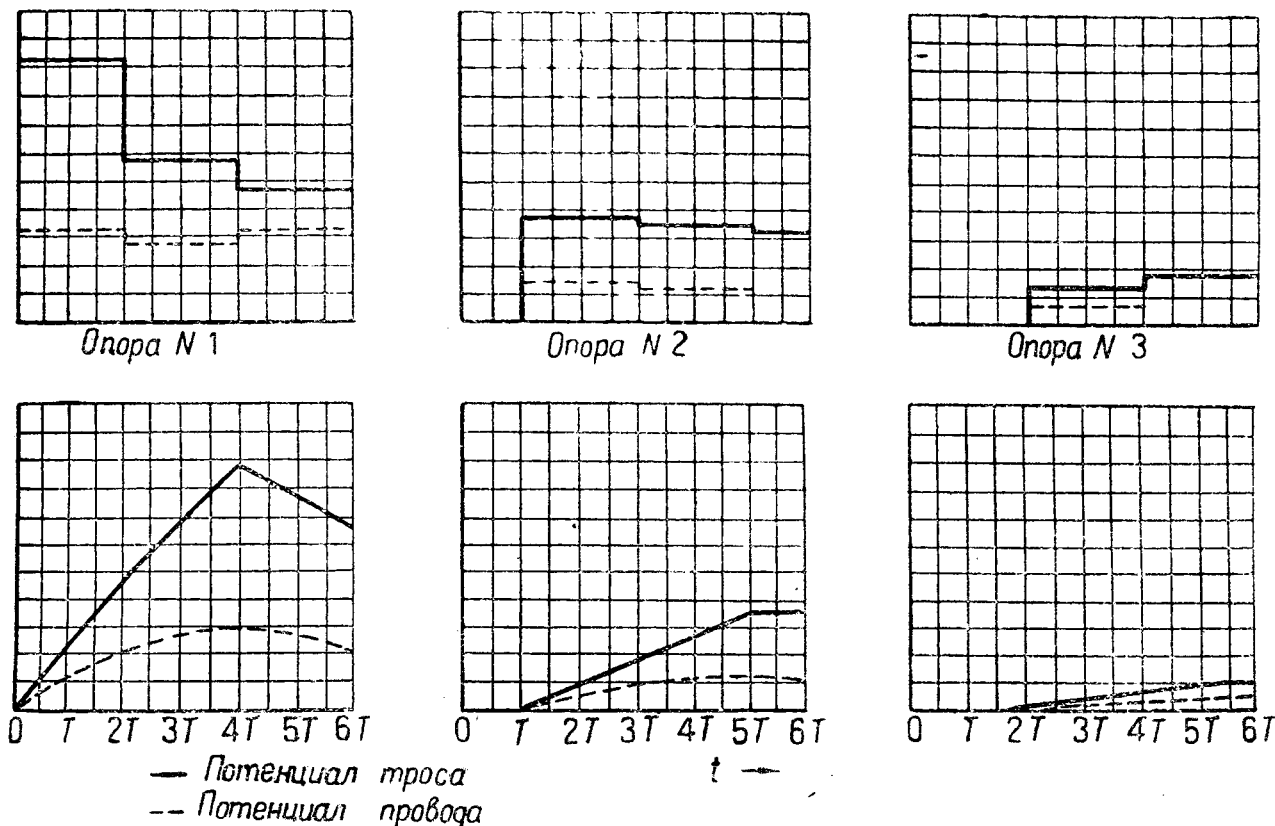


Рис. 11

воде при прямом ударе в трос или опору одновременно возникают индуцированные потенциалы обратного знака

$$-V_{uT} = -gh_T \alpha \text{ и } V_{u\lambda} = -gh_\lambda \alpha,$$

которые по принципу суперпозиции накладываются на потенциал прямого удара.

Таким образом общий потенциал троса равен  $e_1 - V_{uT}$ , а общий потенциал провода  $e_1 \frac{Z_{12}}{Z_{11}} - V_{u\lambda}$ , разность потенциалов между ними  $e_1 \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right) - (V_{uT} - V_{u\lambda})$ .

Так как  $h_T > h_\lambda$  и  $V_{uT} > V_{u\lambda}$ , то всегда будем иметь:

$$e_1 \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right) > e_1 \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right) - (V_{uT} - V_{u\lambda}). \quad (5)$$

Отсюда можно сделать вывод, что наличие индуцированного потенциала облегчает работу изоляции.

Однако нам кажется, что такое заключение неверно. Действительно, при разряде молнии в трос или опору, как было сказано выше, заряд, который несет ствол молнии, в сотни раз больше заряда, индуцированного на тросе. Поэтому последний весьма быстро амортизируется зарядом молнии без заметного снижения потенциала последней, и фактически мы должны будем считать только с индуцированным потенциалом провода, который к тому же будет усилен местными полями молнии, и вместо неравенства (5) мы получим следующее неравенство:

$$e_1 \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right) < e_1 \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right) - (0 - V_{u\lambda}), \quad (6)$$

т. е. индуцированный потенциал вместо того, чтобы облегчить работу изоляции, утяжеляет ее, увеличивая потенциал между проводом и тросом. Исходя из сказанного, нам кажется более осторожным для линии с тросом определять необходимые защитные значения  $R$ , исходя из того, что индуцированный заряд на тросе амортизирован зарядом прямого удара, т. е. исходя из условия:

$$e_{пер} \geq e_1 \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right) + V_{u\lambda}, \quad (7)$$

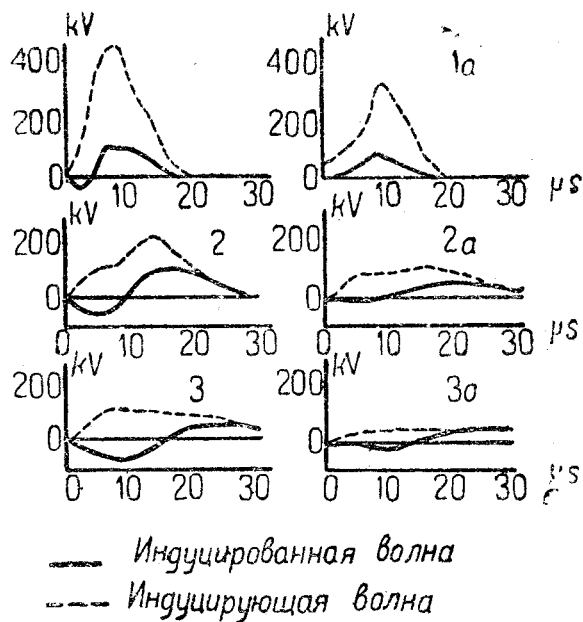


Рис. 12. Отрицательная волна:

1—2,8 миль от места возникновения  
2—9,3 " " " "  
3—22 " " " "

Положительная волна: то же для кривых 1а, 2а, 3а.

или имея в виду, что  $e_1 = i_{1m} R^1$

(где  $i_{1m}$ —максимальный ток, протекающий через пораженную опору),

$$e_{пер} \geq i_{1m} R \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right) + V_{u\lambda}. \quad (7a)$$

<sup>1</sup> Бьюлей определяет  $e_0 = 10\,000 \div 20\,000$  кВ из уравнения (8), полагая  $e_1 = i_1 R$  при  $i_1 = 100\,000$  А.

В первые 1—2 микросекунды (пока волна, отразившаяся от соседней опоры, не дойдет обратно до пораженного места)

$$I_M = i_{1m} + 2 \frac{e_1}{Z_{11}};$$

подставляя

$$e_1 = i_{1m} R,$$

получим

$$i_{1m} = I_M \frac{1}{1 + 2R/Z_{11}} = -a I_M,$$

откуда

$$e_1 = -a R I_M. \quad (8)$$

Далее, когда отраженная от соседней опоры волна возвратится к пораженной опоре, начнет возрастать ток в соседних опорах и уменьшаться ток в пораженной опоре (имея в виду принцип независимости тока молнии  $I_M$ ). Из уравнений (7) и (8) имеем:

$$R \leq \frac{Z_{11} (e_{пер} - V_{ул})}{Z_{11} \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right) I_M - 2 (e_{пер} - V_{ул})}. \quad (9)$$

Значения  $R$ , вычисленные по этой формуле, весьма незначительно разнятся от значений, полученных для линии без троса. Для пролетов, длина которых короче фронта волны, соотношения благоприятнее и допустимое значение  $R$  соответственно больше. Исходя из равенств Фортескью-Кокса (см. выше) допустимое значение  $R$  для тех же условий  $\left(\frac{2L}{V}\right)$

больше или равно фронту волны) определится из равенства

$$R \leq \frac{Z_{11} e_{пер}}{Z_{11} \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right) I_M - 2 e_{пер}}.$$

Значения  $R$  в случае попадания молнии в опору линии с тросом для среднего практического значения  $1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}} \approx 0,8$  определяются из табл. 3.

Таблица 3

| Напряжение   | $I_M = 200\,000\text{ А}$              |                                 | $I_M = 100\,000\text{ А}$              |                                 |
|--------------|----------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
|              | с учетом $V_{ул}$ формула (9)          | без учета $V_{ул}$ формула (10) | с учетом $V_{ул}$ формула (9)          | без учета $V_{ул}$ формула (10) |
| Линия 220 кВ | 7,7÷13,7 Ω                             | 9,1÷16 Ω                        | 13,7÷26 Ω                              | 18,8÷34,1 Ω                     |
| " 110 "      | 4,4÷7 Ω                                | 6,4÷9,1 Ω                       | 8,5÷13,7 Ω                             | 13,1÷18,8 Ω                     |
| " 33 "       | Ниже практически осуществимых значений | 1÷1,9 Ω                         | Ниже практически осуществимых значений | 2,0÷3,8 Ω                       |

Помимо изложенного необходимо отметить, что сам по себе вопрос о механизме возникновения индуцированной в проводе волны не так прост, как кажется на первый взгляд. На рис. 12 приведены осциллограммы, заимствованные из отчета о последней конвенции АИЕЕ. Из этих осциллограмм видно, что индуцированная волна не возникает сразу и вначале имеет даже обратный потенциал и лишь через несколько микросекунд достигает полного значения.

Указание на аналогичное явление имеется и в работах Мак-Ичрона. Это запаздывание нам кажется невозможным объяснить с точки зрения существующей теории. К сожалению, и теоретический и экспериментальный материал по этому вопросу настолько скуден, что сделать какие-либо заключения по существу не является возможным. Быть может, в данном случае имеет место просто какой-либо дефект в постановке экспериментов, однако нам лично не кажется невероятным предположение, что образование индуцированной волны напряжения требует для своего завершения некоторого конечного промежутка времени.

Если стать на эту точку зрения, то допустимые значения сопротивления придется еще понизить.

Из вышесказанного видно, что для линий с тросом максимально допустимое значение защитной величины  $R$  равно примерно таковому для линий без троса, т. е. примерно 10 Ω для линий 220 кВ и 5 Ω для линий 110 кВ. Для линий с напряжением порядка 30 кВ практически добиться эффективной величины  $R$ , могущей служить защитой при поражении опоры прямым ударом второго рода более или менее значительной силы, не представляется возможным, главным образом благодаря наличию индуцированных потенциалов. По существующей теории величины защитного сопротивления заземления опор получаются на 40÷50% больше, и кроме того, благодаря тому что не принимаются в соображение индуцированные потенциалы для линий 33 кВ, защитные сопротивления получаются также порядка 2 Ω.

Коснемся вкратце еще случая поражения молнией троса в середине пролета. Волна прямого удара  $e_1 = \frac{I_M Z_{11}}{2}$ , образующаяся при этом на тросе, проходя мимо ближайшего места заземления, снижается до значения

$$\frac{I_M Z_{11}}{2} \cdot \frac{2R}{2R + Z_{11}} = I_M \frac{Z_{11} R}{2R + Z_{11}},$$

откуда для определения максимально допустимого значения  $R$  получаем опять-таки то же уравнение (9):

$$e_{пер} \geq I_M \frac{Z_{11} R}{2R + Z_{11}} \left(1 - \frac{Z_{12}}{Z_{11}}\right) + V_{ул}.$$

Поскольку поражения троса в середине пролета, по всей вероятности, в большинстве случаев бывают обусловлены разрядами первого рода с силой тока до 50 000 А, очевидно, что главная опасность заключается не в перекрытии изоляции преломленной волной  $I_M \frac{2R}{2R + Z}$ , а в том, что в поражен-

ном пролете в течение  $\frac{L}{V}$  микросекунды трос находится по

отношению к проводу под полным напряжением прямого удара, равным в нашем случае примерно 12 500 кВ. Исходя из этого напряжения и считая, что между тросом и проводом действителен закон пробоя игольчатого разрядника, во избежание пробоя с троса на провод было бы необходимо увеличить расстояние между проводом и тросом в середине пролета до 9÷11 м. Этой точки зрения держатся Пик и Бьюлей. Однако к увеличению расстояния между тросом и проводом следует относиться весьма осторожно, особенно, учитывая, что эта мера, значительно утяжеляя и удорожая опоры, может быть полезна, главным образом, при относительно неопасных разрядах первого рода. Кроме того, в некоторых случаях, например, в случае подвески одного высоко помещенного троса, она дает недостаточное экранирование от боковых разрядов молнии на провод (см. ниже).

Помимо этого, само явление пробоя с троса на провод недостаточно изучено, и есть данные полагать, что дуга в этом случае будет менее устойчива, чем дуга перекрытия изоляторов, а потому в большинстве случаев не вызовет выпадения масляников. Если же выпадение и произойдет, то авария будет относительно незначительна, так как изоляция останется не поврежденной. Нам кажется, что пример не раз упоминавшейся в американской литературе линии с обычной конструкцией подвески троса, но с весьма низким сопротивлением заземления опор (порядка 2 Ω), которая за 14 лет, несмотря на ряд гроз, не имела ни одного выключения от грозных разрядов, весьма показателен и целиком подтверждает изложенную точку зрения, что наибольшую опасность для линий представляют разряды второго рода, для защиты от которых главную роль играют сопротивления заземления опор, способ же подвески троса несущественен.

Вернемся теперь к вопросу об определении величины тока в стволе молнии при помощи регистраторов прямых ударов на линии с тросом. Считая, что процесс перехода молнии на трос или опору происходит в первый момент без отражения, через пораженную опору в течение времени  $\frac{2L}{v}$  микросекун-

ды проходит около 80÷90% ( $a I_M$ ) полного тока в стволе молнии  $I_M$ . Именно эта величина и фиксируется регистратором прямого удара на этой опоре. Если мы исходили из допущения, что ствол молнии заменяется безоговорочно волновым сопротивлением, то дальнейшая картина представлялась бы следующим образом: токи в мачтах возрастают, асимптотически приближаясь к некоторым максимальным значениям  $i_{nm}$  ступенчатыми кривыми с шагом  $\frac{2L}{v}$ , сдвинутыми одна относительно

другой на  $\frac{L}{v}$ . При этом максимальные значения  $i_n$  убывают по величине, чем дальше данная мачта отстоит от пораженной опоры (чем больше  $n$ ). Ток в стволе молнии также увеличивается ступенчатой кривой и равен в пределе сумме токов в опорах

$$\lim I_{Mm} \rightarrow i_{1m} + 2(i_{2m} + i_{3m} + \dots + i_{nm}).$$

Этот процесс изображен на рис. 13. Ясно, что в этом случае сумма показаний всех регистраторов прямых ударов, установленных на опорах 1, 2, 3...  $n$ , даст максимальный

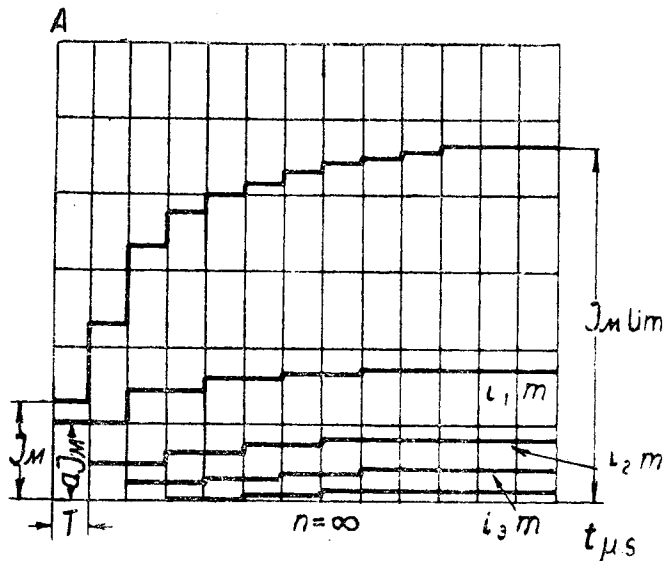


Рис. 13.  $\lim I_M = i_{1\max} + 2 \sum_{n=2} i_{n\max}$ ;  $T = \frac{L}{v}$

ток в стволе молнии  $I_{M\max}$ . Однако если отказаться от замены молнии блуждающей волной с  $Z_0 = \text{const}$  и стать на изложенную выше точку зрения, что процесс разряда молнии протекает без отражения энергии обратно в ствол молнии и  $I_M = \text{const}$ , картина несколько изменится. Действительно, если мы обозначим через  $i_n$  мгновенные, а перед  $i_{nm}$  максимальные значения тока в опоре, то ясно, что

$$I_M = i_1 + 2(i_2 + i_3 + \dots + i_n) + 2I_n.$$

где  $I_n$  — ток зарядной волны, идущий от опоры  $n$  к опоре  $n+1$ , до которой волна тока еще не успела дойти.

$$\begin{aligned} \text{Для момента удара } t & \quad I_M = i_1 + 2I_1, \\ \text{„ „ „ } t + \frac{L}{v} & \quad I_M = i_1 + 2i_2 + 2I_2, \\ \text{„ „ „ } t + \frac{2L}{v} & \quad I_M = i_1 + 2i_2 + 2i_3 + 2I_3, \\ & \dots \\ t + \frac{(n-1)L}{v} & \quad I_M = i_1 + 2(i_2 + i_3 + \dots + i_n) + 2I_n. \end{aligned}$$

В пределе

$$\lim I_M \rightarrow i_1 + 2 \sum_{n=2} i_n,$$

так как

$$i_1 > i_2 > i_3 > \dots > i_n.$$

Из этих равенств нетрудно заключить, что ток в пораженной опоре будет в момент  $t$  иметь максимальное значение  $i_{1m}$ , после чего он начнет уменьшаться. Токи в остальных опорах также сейчас же, после того как волна достигнет опоры, будут иметь максимальное значение, после чего начнут уменьшаться, причем максимальные значения для соседних опор сдвинуты во времени на  $\frac{L}{v}$ . Получается как бы «отсасывание тока»

от места удара в пространстве и во времени (рис. 14). Эту картину можно рассмотреть и аналитически, сделав опять-таки чисто формальное допущение, что волновое сопротивление

молнии на протяжении разряда не остается постоянным, а меняется в соответствии с условием  $I_M = \text{const}$ . Из сказанного ясно, что в этом случае:

$$i_{1m} + 2 \sum_{n=2} i_{nm} > I_M$$

или

$$-a I_M + 2 \sum_{n=2} i_{nm} > I_M$$

и сумма показаний регистраторов прямых ударов на соседних опорах, отмечающих именно максимальные значения, будет больше, чем действительный ток в стволе молнии. личину

$$-a + 2 \sum_{n=2} \frac{i_{nm}}{I_M} = S$$

можно приблизительно подсчитать, — она колеблется между 1, 3 для обычных значений  $R$  и  $Z$ . Это обстоятельство может послужить объяснением того необычайно высокого значения тока молнии (680 000 А), которое получено в результате суммирования показаний регистраторов прямых ударов соседних опор [4]. Действительно, при  $S = 3$  истинный ток молнии  $I_M = \frac{680\,000}{3} \approx 227\,000$  А, что ближе подходит к обычным

значениям. Исходя из сказанного, ясно также, что истинной величиной тока молнии следует считать не сумму токов соседних опор, зафиксированных регистраторами прямых ударов, а ток, зафиксированный в пораженной опоре, увеличенный в отношении  $\frac{1}{a}$ . Имея в виду, что максимальный ток

зафиксированный в одной опоре, был порядка 175 000 А, соответствующее значение тока молнии получится порядка 200 000 А. Это значение следует отнести, повидимому, все же за счет весьма сильных разрядов, а потому выше все по счету произведены параллельно для двух значений силы тока молнии — 200 000 и 100 000 А.

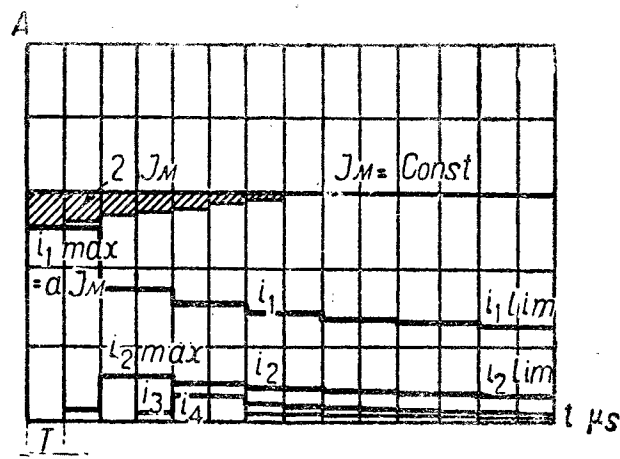


Рис. 14.  $I_M = \lim i_1 + \sum_{n=2} \lim i_n$ ,  $n=60$

$$i_{1\max} + \sum_{n=2} i_{n\max} > I_M; T = \frac{L}{v}$$

В нашем Союзе точных эксплуатационных наблюдений позволяющих поставить повреждаемость опор в прямую связь с сопротивлением их заземления, насколько нам известно, до самого последнего времени не производилось, а потому, к сожалению, достаточным опытным материалом мы не располагаем; имеется лишь общий эксплуатационный опыт многих линий, позволяющий с уверенностью сказать, что на линиях с хорошим равномерным заземлением повреждаемость уменьшается. В Америке чрезвычайно интересный и обширный материал, обнимающий ряд крупнейших линий, собран Спорном. На основании этого материала Спорн делает следующие заключения: 1) влияние сопротивлений заземлений опор на повреждаемость линий грозowymi разрядами обычно преувеличивается и 2) по всей вероятности, для осуществления



проводом и опорой при поражении последней разрядом второго рода (от земли к облаку) весьма невелико (порядка  $10 \div 20\%$ ). Опасность перекрытия непосредственно с троса на провод в середине пролета при ударе молнии в трос посреди пролета, повидимому, не так велика, и исходить из этого условия при проектировании опор вряд ли экономично, так как для осуществления 19—11 м расстояний между проводом и тросом требуется значительное удорожание опор. Для защиты же линии от попадания в провод разрядов первого рода наиболее существенным является наличие достаточного охвата габарита линии габаритом тросов, т. е. большую роль играет горизонтальное расстояние между двумя тросами, высота же подвески, повидимому, решающей роли не играет. При этом безразлично, подвешен ли трос на опорах линии или на отдельных опорах (диверторы). К подвеске одного троса высоко над линией (так называемый „грозовой трос“) следует отнестись весьма осторожно, так как такой метод, не давая достаточной гарантии от попадания боковых ударов первого рода, значительно удорожает опоры.

2. При ударах второго рода—от земли к облаку—трос не является эффективной защитой, и основной защитной мерой является малое сопротивление заземления опор. Существующая теория троса приводит к величине (волновой) защитного заземления опор порядка  $15 \Omega$  для линий 220 kV,  $7 \Omega$  для линий 110 kV и  $2 \Omega$  для линий 33 kV. Однако более подробное рассмотрение вопроса, как показано выше, дает значения процентов на 30 меньшие; кроме того, для линий с напряжением порядка 33 kV, повидимому, достичь значений сопротивления заземления, могущего служить защитой при разрядах второго рода с силой тока  $100\,000 \div 200\,000$  А, практически вряд ли возможно, и наиболее эффективным мероприятием является применение диверторов.

3. Ряд зарегистрированных в практике случаев, когда подвеска двух тросов не давала заметного уменьшения повреждаемости линии, объясняется, повидимому, именно тем, что сопротивление заземления опор было велико и линия продолжала перекрываться под действием разрядов второго рода, против которых подвеска тросов не помогает. Для того чтобы добиться действительной грозоупорности линии, необходимо сочетать подвеску тросов с равномерным хорошим заземлением. Если последнего добиться нельзя по свойствам грунта, наиболее целесообразно применить диверторы.

4. При исследованиях молнии при помощи регистраторов прямых ударов величину тока молнии правильнее определять не по сумме показаний регистраторов на соседних опорах, а по показанию регистратора на одной пораженной опоре, увеличив его в отношении  $\frac{1}{a}$  (при обычных значениях сопротивления заземления около  $20\%$ ).

5. Прямой удар молнии изучен совершенно недостаточно. Неясен вопрос о величине и роли индуцированных потенциалов, появляющихся одновременно с потенциалами прямого удара, что особенно важно для линий с напряжением порядка 33 kV. Недостаточно изучены также и основные параметры, например сила тока, фронт, форма и продолжительность прямого удара. Для изучения как прямых, так и индуцированных перенапряжений нам казалось бы целесообразным выделить опытную линию (хотя бы в системе Могэс), оборудованную следующим образом: линия должна быть на чисто деревянных опорах, без троса, с незаземленными местами подвески гирлянд, чтобы иметь возможность снять осциллограммы, по возможности, не искаженные. Рядом с линией на всем протяжении ее необходимо установить диверторы в виде деревянных заземленных шестов, снабженных каждый регистратором прямых ударов. Таким образом при надлежащей высоте диверторов, имея достаточную гарантию того, что прямые удары молнии будут попадать не в линию, а в дивертор, мы сможем по осциллограммам, снятым на линии, изучить индуцированные

перенапряжения, которые будут возникать каждый раз, ко прямой удар будет поражать дивертор; о силе последнего можно будет судить по показанию регистраторов прямых ударов, установленных на каждом диверторе. При этом особенно ценно то, что картина не будет искажена отсасывающим действием тросов и показание регистратора будет соответствовать истинному току молнии. Таким образом исследование перенапряжений по предлагаемой схеме даст возможность следовать порознь индуцированные и прямые разряды в этом неискаженном виде.

С точки зрения материальных затрат исследование по предлагаемой схеме также не должно встретить особых затруднений, так как при длине опытной линии порядка 20 км по добитости всего около 200 диверторов, которые могут быть сделаны из низкосортного леса, и такое же количество регистраторов прямых ударов.

### Перечень литературы

1. B é w l e y, Critique of Ground wire Theory, Trans. AIEE Marz, 1931.
2. B é w l e y, Traveling Waves on Transmission System Trans. AIEE, June, 1931.
3. B é w l e y, Traveling Waves Due to Lightning, Trans. AIEE, July 1929.
4. Сводка результатов последней конвенции AIEE (с Electrical Engineering, July 1931).
5. Fortescue, Atherton and Cox, Field Investigation on Lightning, Trans. AIEE, April, 1929.
6. Müller-Hillebrand, „ETZ“, 1931, S. 722—2 758—763.
7. Matthias, „ETZ“, 1929, S. 1469.
8. Flegner, Der Blitzschlag in Hochspannungsanlagen und seine Folgen, „ETZ“, № 5, 1931.
9. Cox and Slepian, Effect of Ground Wires on Transmission Waves, „El. Wld.“, Sept. 22, 1928.
10. Hunter, The Effect of Corona on Ground Wire Protection GER. V. 33, № 2.
11. McEachron, Hemstreet and Rudge, Traveling Waves on Transmission Lines, Trans. AIEE, July, 1930.
12. Philip Sporn, 1929, Lightning Experience of the 132 kV transmission Lines of the American Gas et El. Co, Trans. AIEE June, 1931.
13. Pittman and Torok, Lightning Investigation on a Wood Pole Transmission Line, Trans. AIEE, June, 1931.
14. Smeloff and Price, Lightning Investigation on 220 kV System, J. A. E. E., Sept. 1930.
15. Lissman, High Voltage Phenomena in Thunderstorms, Trans. AIEE, January, 1929 (там же приведена и литература).
16. Lewis and Foust, Direct Strokes to Transmission Lines, G E R, Vol. 34, № 8, August, 1931.
17. Sporn and Lloyd, 1929, Lightning Investigation on the transmission System of the American Gas et El. Co Trans. AIEE, July 1930.
18. Sporn and Lloyd, 1930, Lightning Investigation on the transmission System of the American Gas et El. Co, Trans. AIEE, 1931.
19. Bell and Price, Lightning Investigation on the 220 kV System of the Pennsylvania Power et Light Co, Trans. AIEE, 1930.
20. Simpson, The twentieth Kelvin Lecture, London, AIEE, 1929, p. 1269.

## За строительство замкнутых сетей

Ф. Я. Гольдберг  
Москва

Вопрос о применении радиальных или замкнутых распределительных сетей низкого напряжения ставится не впервые. Особенное значение приобрел этот вопрос в последние годы с значительным ростом плотности нагрузки в городских сетях СССР, с необходимостью соответствующей переделки и расширения существующих сетей и с все более повышающимися требованиями в отношении обеспечения бесперебойного электроснабжения.

При переходе с постоянного тока на трехфазный было уже стремление перенести все известные преимущества замкнутых сетей постоянного тока с многими питающими пунктами в сети трехфазного тока. Однако на этом пути были препятствия, главным образом, вследствие отсутствия соответствующей аппаратуры для автоматического селективного отключения поврежденных участков, при нормальной работе остальной сети.

Последнее обстоятельство послужило причиной распространения системы радиальных сетей. В тех же случаях, когда необходимо было обеспечить большую надежность в электроснабжении, предусматривалась возможность переключения отдельных участков сети к разным питающим пунктам (в городских сетях к разным трансформаторным киоскам). Такое решение вопроса связано с некоторым перерывом в электроснабжении и с установкой больших трансформаторов, находящихся постоянно под напряжением, и следовательно, с большими потерями холостого хода.

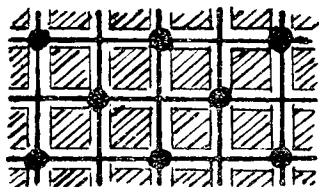


Рис. 1

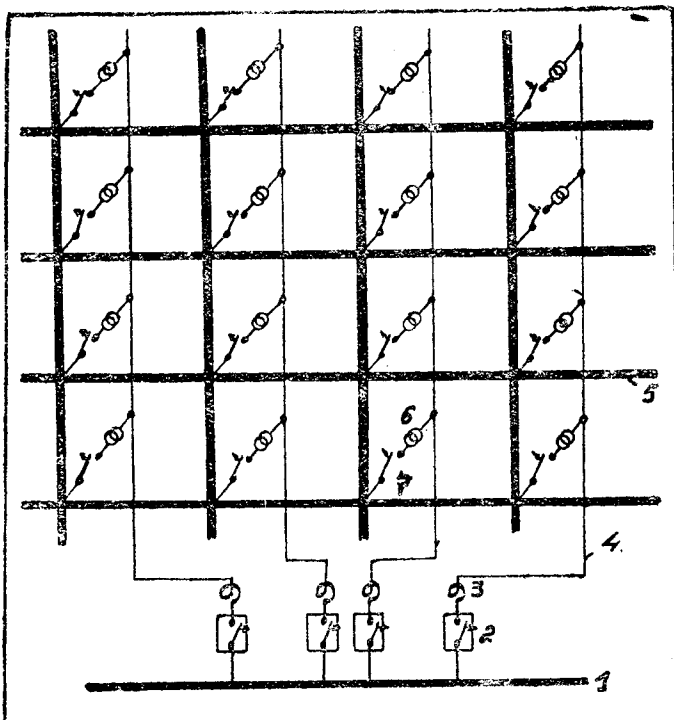


Рис. 2. Схема замкнутой вторичной и первичной радиальных сетей. 1—шины центральной подстанции или электростанции; 2—масляный автоматический выключатель; 3—реактор; 4—фидера высокого напряжения; 5—замкнутая сетка низкого напряжения; 6—трансформатор; 7—сетевой автомат.

За последние годы с появлением соответствующей аппаратуры для селективного отключения поврежденных участков и для дистанционного управления (сетевые автоматы) замкнутые сети получили широкое распространение сначала в САСШ, с 1921 г., и затем в Западной Европе.

Система распределительной замкнутой сети с четырехсторонним питанием (рис. 1) до настоящего времени у нас не применялась. Вопрос о целесообразности введения замкнутых

сетей на новых установках и также о разгрузке существующих сетей, путем переделки их на замкнутые сетки, должен быть всесторонне освещен в нашей литературе и поставлен перед соответствующими проектирующими эксплуатационными организациями. Также своевременно возбудить вопрос о изготовлении у нас необходимой аппаратуры—сетевых автоматов и сетевых плавких предохранителей, описание коих приведено ниже.

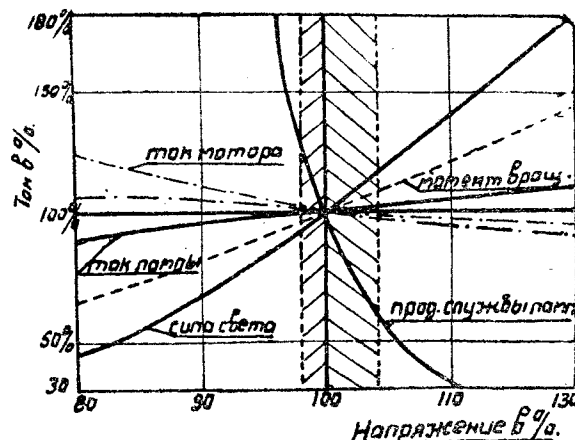


Рис. 3. 1—ток мотора; 2—ток лампы; 3—сила света; 4—момент вращения; 5—продолжительность службы лампы

Благодаря более равномерному распределению энергии сглаживанию пиковых нагрузок отдельных участков и лучше-му использованию кабелей в замкнутых сетках, также благодаря возможности дистанционного автоматического включения или выключения промежуточных трансформаторов в периоды максимума и минимума нагрузки колебания напряжения в сети удается значительно снизить и держать в определенной допускаемой норме (см. заштрихованную часть рис. 3).

Принципиальная схема замкнутой вторичной сетки с подведенными трансформаторами и с первичной радиальной сетью от центрального распределительного устройства показана на рис. 2. Эта схема кроме основных преимуществ перед радиальными вторичными сетями—в отношении бесперебойности электроснабжения, централизации управления и экономичности установки—обладает также и тем преимуществом, что колебания напряжения в сети получаются значительно меньшие, чем это имеет место в радиальных сетях.

Вопросу о колебаниях напряжения, особенно в городских сетях, следует уделить должное внимание.

Кривые для ламп накаливания и для моторов, приведенные на рис. 3, изображают характеристики работы последних в зависимости от колебаний напряжения в сети.

Колебания напряжения можно считать удовлетворительными в пределах заштрихованного участка, от 98 до 104% нормального напряжения.

При выключении масляного выключателя на центральной подстанции все трансформаторы, приключенные к соответствующему фидеру высокого напряжения, должны отключаться сетевыми автоматами от сети низкого напряжения под действием обратной мощности холостого хода. Наоборот, при включении масляного выключателя сетевые автоматы должны включать трансформаторы к сети низкого напряжения.

Пользуясь указанным свойством сетевых автоматов, возможно, в зависимости от нагрузки, регулировать напряжение в сети к потери холостого хода в трансформаторах. Таким образом замкнутые сетки обладают лучшим коэффициентом полезного действия.

В случае короткого замыкания на стороне высокого напряжения, в кабеле или в трансформаторе, энергия получает обратное направление—от сетки низкого напряжения к месту короткого замыкания, и сетевой автомат должен отсоединить трансформатор со стороны низкого напряжения. Это основное назначение сетевого автомата, и поэтому он получил также название выключателя обратной мощности (Rückwattschalter).



Масляный выключатель, устанавливаемый на фидере высокого напряжения центральной подстанции, снабжается максимальной защитой и, в случае короткого замыкания, должен отключить большой участок со стороны высокого напряжения. Следовательно, всякое короткое замыкание на стороне высокого напряжения повлечет за собой отключение аварийного участка с обеих сторон, а соответствующая нагрузка замкнутой сетки воспринимается ближайшими трансформаторами. Таким образом в замкнутых сетях осуществляется бесперебойность электроснабжения.

Мощность трансформаторов должна быть принята из расчета на аварийный случай, при максимуме нагрузки.

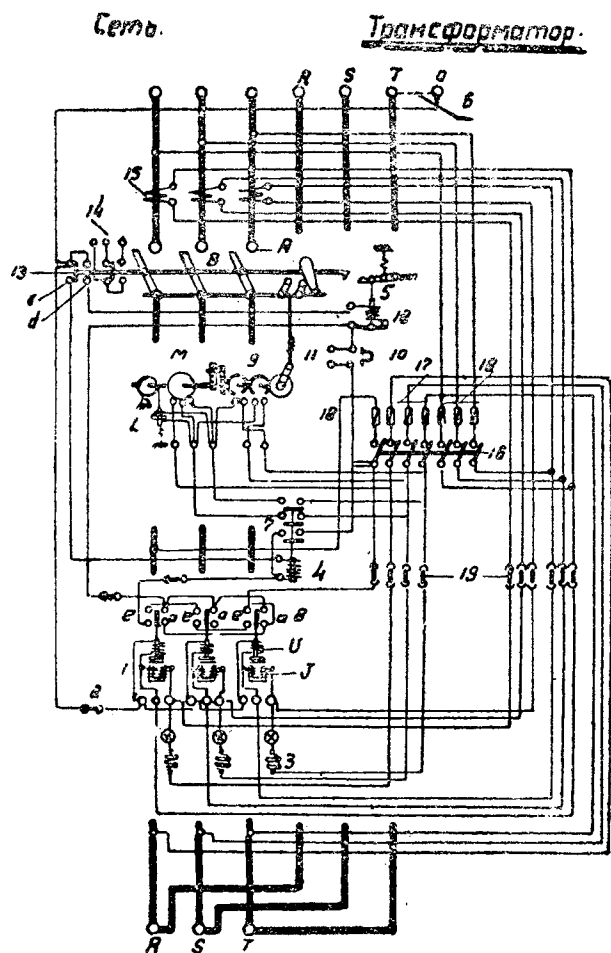


Рис. 4. Схема сетевого автомата фирмы АЕО. а—выключающий контакт реле обратной мощности; г, д—вспомогательные контакты; А, В—рабочие контакты; 1—токовая катушка реле обратной мощности; L—магнитный тормоз; М—включающий мотор; и—катушка напряжения реле обратной мощности; е—включающий контакт реле обратной мощности; 1—реле обратной мощности; 2—разъединитель, который выключается при соединении трансформатора в треугольник; 3—ламповое и проволочное сопротивление; 4—релейная катушка включающего мотора; 5—выключающая катушка; 6—связь, осуществляемая при соединении трансформатора в треугольник; 7—включающие контакты; 8—включающие и выключающие контакты реле обратной мощности; 9—вспомогательные контакты у моторного привода; 10—кнопочный контакт для выключения от руки; 11—клеммы для присоединения трансформаторного реле; 12—выключатель у выключающей катушки; 13—вспомогательный выключатель для включающих и выключающих цепей; 14—вспомогательный выключатель для сигнализации; 15—трансформатор тока для реле обратной мощности; 16—семиполусный выключатель для присоединения всей системы управления к сети; 17—18—предохранители для вспомогательных цепей от сети; 19—разъединители.

С применением сетевых автоматов в замкнутых вторичных сетях отпадает надобность в автоматических масляниках или трубчатых предохранителях для трансформаторов на стороне высокого напряжения. В этом случае ограничиваются установкой автоматических масляных выключателей только на отходящих фидерах центральной подстанции, питающих группу трансформаторов.

Благодаря сетевым автоматам, возможно в замкнутых вторичных сетях достигнуть бесперебойного электроснабжения и при дистанционном управлении возможно свести к минимуму потери холостого хода в трансформаторах и регулировать колебания напряжения сети.

На рис. 4 изображена схема сетевого автомата фирмы АЕ. Вопрос бесперебойного электроснабжения рассматривается выше для тех случаев, когда аварии имеют место в первой сети или в трансформаторах.

В отношении защиты от аварий во вторичной замкнутой сетке низкого напряжения существуют две точки зрения: первая основана на выжигании током короткого замыкания дефектного места кабеля, вторая—на применении плавких предохранителей в сетях низкого напряжения.

Американцы соединяют жестко все линии замкнутой сети без применения каких-либо предохранителей между отдельными звеньями сети и между сетью и трансформаторами.

В случае короткого замыкания во вторичной замкнутой сети авария должна ликвидироваться сама по себе вследствие самосгорания поврежденного участка в кабеле, не вызывая при этом перерыва в работе всей остальной системы.

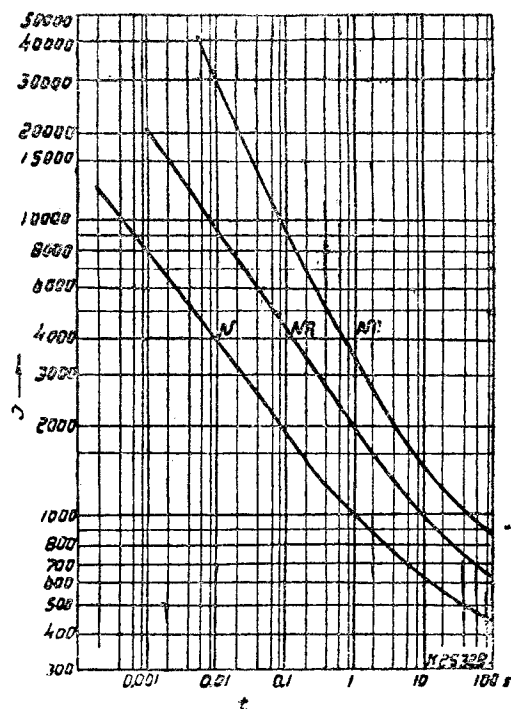


Рис. 5. Характеристики сетевых плавких предохранителей фирмы АЕГ для баков NK и NT. Характеристики плавких предохранителей фирмы АЕГ типов N, NK, NT

Однако к этому методу следует прибегать весьма осторожно, так как не всегда могут быть благоприятные условия, при которых ток короткого замыкания своевременно выжжет дефектное место без последствий для всей остальной системы. Это может зависеть от ряда обстоятельств: от способа прокладки кабелей, от мощности установленных трансформаторов, каковая должна быть достаточной для своевременного самосгорания поврежденного участка, от соответствующего сечения кабелей, при котором была бы исключена возможность порчи здоровой части кабеля от токов короткого замыкания, что может иметь место при слишком малых сечениях или же при слишком больших сечениях, когда мощность недостаточна для быстрого самосгорания дефектного места и пр.

Следует упомянуть, что условия работы одножильных кабелей, прокладываемых в Америке без брони в бетонных трубах, отличаются от условий работы прокладываемых у нас трехжильных бронированных кабелей.

Вопрос о применении у нас системы жестко связанной сети без предохранителей подлежит тщательному изучению путем постановки ряда опытов<sup>2</sup>.

В Западной Европе применяют в замкнутых сетях плавкие предохранители с замедленной характеристикой плавления.

Предохранители устанавливаются в узловых точках с обеих сторон каждой линии. При устремлении токов короткого замыкания к месту повреждения наибольшие токи, естественно, суммируются в узловых точках, ближайших к месту повреждения, у предохранителей, расположенных с обеих сторон поврежденного кабеля.

<sup>1</sup> АЕГ Mitteilungen № 10, 1931, 597 стр.

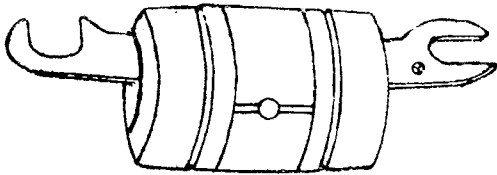
<sup>2</sup> Такие опыты частично выполнялись в московской кабельной сети. См. „Электр. станц.“ № 4, 1931, стр. 602.

Обычные открытые плавкие предохранители (пластинчатые или трубчатые) не могут быть рекомендованы для замкнутых сетей, так как при больших силах тока они плавятся почти мгновенно и возможно одновременное расплавление предохранителей в разных пунктах сетки.

Кроме того, при больших токах короткого замыкания, выгорание открытых предохранителей происходит наподобие взрыва, и поддерживающаяся дуга и выделение газов, при взрыве плавкой вставки, приводят к длительному короткому замыканию со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Для замкнутых сетей применяются плавкие предохранители с замедленной характеристикой плавления.

### Характеристики плавких предохранителей АЕГ типов N, NK, NT.



### Внешний вид предохранит. АЕГ типов N, NK, NT.

Рис. 6.

На рис. 5 и 6 изображены характеристики и внешний вид сетевых предохранителей фирмы АЕГ трех типов N, NK и NT<sup>4</sup>.

Тип NT является наиболее подходящим для замкнутых сетей при больших токах короткого замыкания.

Благодаря замедленной характеристике предохранителей типа NT достигается полная селективность отключения поврежденных участков сети.

При замкнутых вторичных сетях следует первичные сети высокого напряжения выполнять радиальными, для того чтобы при авариях автоматически отключался только большой фидер

и чтобы возможно было регулировать напряжение и потери холостого хода путем манипуляций с фидерными масляниками на центральной подстанции.

Реле фидерных масляников должны быть отрегулированы таким образом, чтобы исключена была возможность отсоединений фидеров на стороне высокого напряжения, при коротких замыканиях во вторичной замкнутой сети.

Кроме вышеуказанных преимуществ эксплуатационного и экономического характера вторичных замкнутых сетей следует еще указать на возможность экономии в сечениях кабелей первичной радикальной сети при системе замкнутых вторичных сетей. Если сеть построена таким образом, что при авариях на каком-либо участке исключена возможность в перерыве электроснабжения всей системы и остальные здоровые кабели не подвержены порче от токов короткого замыкания, то нет необходимости принимать сечения всех кабелей из расчета на токи короткого замыкания, так как выгоднее сменить поврежденный токами короткого замыкания кабель, чем заранее закладывать лишнюю медь.

При переделке старых перегруженных распределительных сетей с радиальной системы на замкнутую, возможно разгрузить сети без особых затрат на усиление сечений существующих кабелей. Для разгрузки соответствующих радиальных линий достаточно соединить их в замкнутую сетку (прокладкой соединительных кабелей или так называемых „перемычек“) и в районах с наибольшей плотностью нагрузки подставить трансформаторы в соответствии с увеличившейся нагрузкой.

По литературным данным, в Америке применяется система замкнутых вторичных сетей также для освещения больших зданий.

Замкнутые сети в зданиях состоят из вертикальных „стояков“, расположенных в лестничных клетках, питаемых от отдельных трансформаторов и соединенных между собою кабелями, так что в отличие от горизонтальных городских сетей они расположены вертикально.

Применение системы замкнутых сетей на крупных фабрично-заводских предприятиях и комбинатах обеспечило бы беспереывность освещения и развернуло бы большие возможности в смысле всяких расширений и изменений нагрузок, какие часто имеют место в условиях заводской практики.

Учитывая все преимущества замкнутых сетей не только в городских сетях, но и разветвленных сетях других крупных потребителей, как то: фабрично-заводских предприятий, больших зданий, дворцов советов, клубов, театров и пр., должен быть поставлен вопрос об изготовлении в СССР соответствующей аппаратуры и широком применении этой системы.

## ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

### Новый вибрационный и универсальный гальванометр

Ф. В. Майоров  
ВЭИ

В связи с поставленной партией задач освобождения страны от импорта особое значение приобретает налаживание у нас производства точных измерительных приборов. В помещаемой статье освещается крупное достижение измерительного отдела ВЭИ по постройке весьма чувствительного и широко распространенного вибрационного и универсального гальванометра, что снимает в дальнейшем вопрос об импорте этих приборов.

От редакции

Вибрационный гальванометр, как индикатор переменного тока, находит большое применение в различных измерительных установках сильного и слабого тока, как то: в установках для испытания трансформаторов тока и напряжения, для определения емкости и потерь в изоляционных материалах (мост Шеринга), в компенсационных схемах переменного тока и различных импедансных мостиках.

Все эти области его применения нуждаются в таком приборе, который, при сравнительной простоте конструкции и удобстве обращения, давал бы высокую чувствительность к току и напряжению.

Селективные свойства вибрационного гальванометра дают возможность производить измерения с несинусоидной формой кривой переменного тока, что особенно важно при исследованиях ферромагнитных материалов.

В измерительном отделе ВЭИ по заданию завода „Электроприбор“ автором этой статьи разработана и осуществлена

новая конструкция прибора высокой чувствительности к току и напряжению с электромагнитной настройкой на нужную частоту тока. Теория этой конструкции такова.

Как известно, при прохождении переменного тока через подвижную катушку, помещенную в постоянном магнитном поле, она приходит в колебательное движение, определяемое дифференциальным уравнением:

$$K \frac{d^2x}{dt^2} + \left(p + \frac{q^2}{Z}\right) \frac{dx}{dt} + Dx = q \cdot I_0 \sin \omega t, \quad (1)$$

где  $x$  — отклонение (угол поворота) катушки в радианах,  $K$  — момент инерции подвижной системы,  $p$  — коэффициент демпфирования (за счет токов Фуко в металлических частях и воздушного демпфирования),  $\frac{q^2}{Z}$  — коэффициент электромагнитного демпфирования,  $q$  — динамическая постоянная  $= H \cdot F$ ,  $D$  — направляющая сила подвеса,  $Z$  — кажущееся сопротивление цепи катушки.

<sup>4</sup> АЕГ Mitteilungen № 10, 1981, стр. 602.

Теорию резонансных колебаний, вытекающих из этого уравнения, подробно исследовали F. Wenner<sup>1</sup> и H. Zölllich<sup>2</sup>, и здесь уместно остановиться на двух случаях режима работы гальванометра, встречающихся в практике.

### Случай „холостого хода“

Под „холостым ходом“ гальванометра мы понимаем тот случай, когда подвижная катушка гальванометра замкнута во внешней цепи на большое сопротивление по сравнению с собственным сопротивлением. В таком случае электромагнитным демпфированием можно пренебречь и написать решение уравнения (1) при установившихся колебаниях в виде:

$$x = \frac{q \cdot I_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)}{\sqrt{(D \cdot \omega^2 K)^2 + \omega^2 p^2}}, \quad (2)$$

где  $\varphi$ —сдвиг фазы тока, определяемый выражением:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega p}{D \cdot \omega^2 K}. \quad (3)$$

В случае резонанса мы имеем равенство частоты собственных колебаний  $\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{K}}$  подвижной системы с частотой переменного тока:

$$\omega = \omega_0 = \sqrt{\frac{D}{K}}. \quad (4)$$

При этом формула (2) может быть написана в виде:

$$x = \frac{q \cdot I_0 \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})}{\omega p}. \quad (5)$$

Если вместо коэффициента  $p$  ввести часто употребляемый в теории гальванометров<sup>3</sup> коэффициент

$$\alpha = \frac{p}{2 \sqrt{KD}} = \frac{\delta}{2n}, \quad (6)$$

где  $\delta$ —декремент затухания системы<sup>4</sup>, то формула (6) для чувствительности  $\Sigma_i$  к переменному току даст нам выражение

$$\Sigma_i = \frac{1 \cdot 1}{I_{\text{eff}}} = \frac{q \cdot \sqrt{2} \cdot \pi}{D} = 4,44 \frac{s_i}{\delta}, \quad (7)$$

где  $s_i = \frac{q}{D}$ —чувствительность к постоянному току.

Отсюда следует, что при „холостом ходе“ гальванометра чувствительность к току возрастает пропорционально магнитному полю и не зависит от его собственного сопротивления.

Для достижения высокой чувствительности к току необходимо увеличение числа витков подвижной катушки (из тонкой проволоки диаметром в 0,03—0,05 мм) без заметного увеличения момента инерции подвижной системы, так как при заданной частоте величины  $K$  и  $D$  являются связанными соотношением (4).

Поэтому наиболее выгоднейшей для достижения высокой чувствительности к току является весьма узкая катушка (в 1—1,5 мм) с сравнительно большим числом витков из тонкой эмалированной проволоки.

Кроме высокой чувствительности к току гальванометр должен иметь достаточную ширину резонансной кривой, так как частота переменного тока не является совершенно стабильной, и слишком острый резонанс неудобен на практике.

Шириной резонанса мы называем величину отношения разности частот при амплитуде, равной  $\frac{1}{2}$  максимальной, к частоте максимума.

Если ее выражать в процентах, то будем иметь:

$$d = \frac{\omega_{1/2} - \omega_{\text{max}}}{\omega_{\text{max}}} = 100\%, \quad (8)$$

где  $d$ —ширина резонанса,  $\omega_{1/2}$ —частота, соответствующая половине максимальной амплитуды (рис. 1),  $\omega_{\text{max}}$ —частота резонанса. Из формулы (2), принимая во внимание соотношения (6) и (7), легко получить формулу для ширины резонанса при холостом ходе:

$$d \cong \alpha \sqrt{3} \quad (9)$$

(если  $\alpha$  весьма мало).

Так как ширина резонанса пропорциональна затуханию  $\alpha = \frac{p}{2 \sqrt{KD}}$ , то уменьшать  $\alpha$  с целью повышения чувстви-

тельности нужно лишь до известного предела, иначе резонанс будет слишком острый. Это указывает также на необходимость малого момента инерции подвижной системы, так как при этом и затухание, и ширина резонанса, пропорциональная затуханию, увеличиваются; этим самым достигается быстрота следования гальванометра за изменениями силы тока в измерительной схеме, где он играет роль нулевого прибора. Влияние демпфирующего фактора при холостом ходе сказывается не так резко, как в других случаях, так как электромагнитное демпфирование при большом сопротивлении мало.

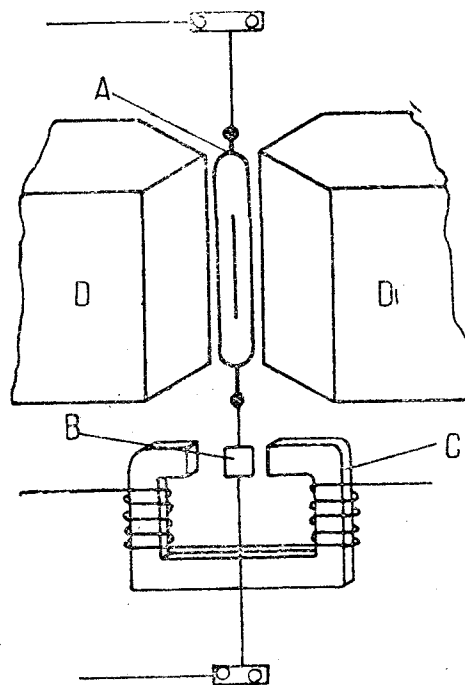


Рис. 1.

Что касается чувствительности к высшим гармоникам при резонансе на 50 периодов, то для  $n$ -ой гармоники она определяется формулой:

$$\Sigma_{ni} = \frac{2d \Sigma_i}{n^2 - 1}. \quad (10)$$

Действительно, из формулы (2) следует, что<sup>1</sup>

$$\Sigma_{ni} = \frac{2 \sqrt{2} \cdot s_i}{\sqrt{(n^2 - 1)^2 + 4\alpha^2 n^2}};$$

разделив это на выражение для  $\Sigma_i$

$$\Sigma_i = \frac{\sqrt{2} \cdot s_i}{\alpha}$$

и принимая во внимание, что  $\alpha^2$  весьма мало, получим формулу (10). Для третьей гармоники, приняв во внимание формулу (7), получим:

$$\Sigma_{3i} = 0,35 \cdot s_i. \quad (11)$$

Чувствительность к высшим гармоникам обычно бывает во много раз меньше, чем к основной волне. Так, напр., для гальванометра фирмы Leeds Northrup имеет чувствительность к току при 50 пер. для основной волны  $2,5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{A}}{\text{mm}}$ , при 3-й гармонике  $11,1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{A}}{\text{mm}}$ .

Рассмотренный здесь случай „холостого хода“ мы обычно имеем при измерениях в импедансных мостиках, а также при испытании трансформаторов напряжения.

<sup>1</sup> Множитель 2 входит потому, что мы получаем расширение зайчика на шкале равной двойной амплитуде.

<sup>1</sup> F. Wenner. Bill Bur. of Stds 1910, стр. 347—378.

<sup>2</sup> H. Zölllich. Arch. für El. 1915, стр. 369—383.

<sup>3</sup> Zölllich. Wissenschaftl. Veröff. Siemenskonzern 1922, стр. 378—400.

<sup>4</sup> O. Wenner. Empfindliche Galvanometer. 1928 г., стр. 124.

<sup>4</sup> Написанное выражение для  $\alpha$  справедливо лишь при весьма малом демпфировании подвижной системы.

### Случай „короткого замыкания“

Когда подвижная катушка во внешней цепи гальванометра замкнута накоротко, или на сопротивление весьма малое по сравнению с сопротивлением гальванометра, мы имеем случай „короткого замыкания“.

В этом случае электромагнитное демпфирование  $\frac{q^2}{Z}$  в уравнении (1) не может быть исключено из рассмотрения, и решение уравнения даст более сложную зависимость, так как  $Z$  — импедансное сопротивление.

волокни для подвижной катушки выбирается с меньшим сопротивлением.

Для ширины резонанса  $\alpha_2$  при коротком замыкании из формулы (13) и выражения для чувствительности к напряжению в случае  $\omega \neq \omega_0$  будем иметь:

$$d_2 \cong a \sqrt{3} \quad (1 + r \cdot p) \cdot \frac{q^2}{r} \quad (15)$$

Здесь ширина резонанса зависит от динамической постоянной и, следовательно, от напряжения магнитного поля. Чем сильнее магнитное поле, тем шире резонанс, и наоборот. Для практических измерений вполне достаточно ширина резонанса в 1%, при сильном же магнитном поле ширина часто достигает 10—20%. Таким образом, уменьшая магнитное поле, мы уменьшаем ширину резонанса и значительно повышаем чувствительность к напряжению.

Весьма узкая катушка и в этом случае имеет преимущество по сравнению с широкой, так как при „коротком замыкании“ гальванометра электромагнитное демпфирование оказывается здесь значительно слабее и чувствительность к напряжению получается гораздо большей.

Настройка вибрационного гальванометра в резонанс возможна двумя способами. Первый способ, основанный на зависимости частоты колебаний подвижной системы от напряжающей силы (формула 4), заключается в том, что изменением

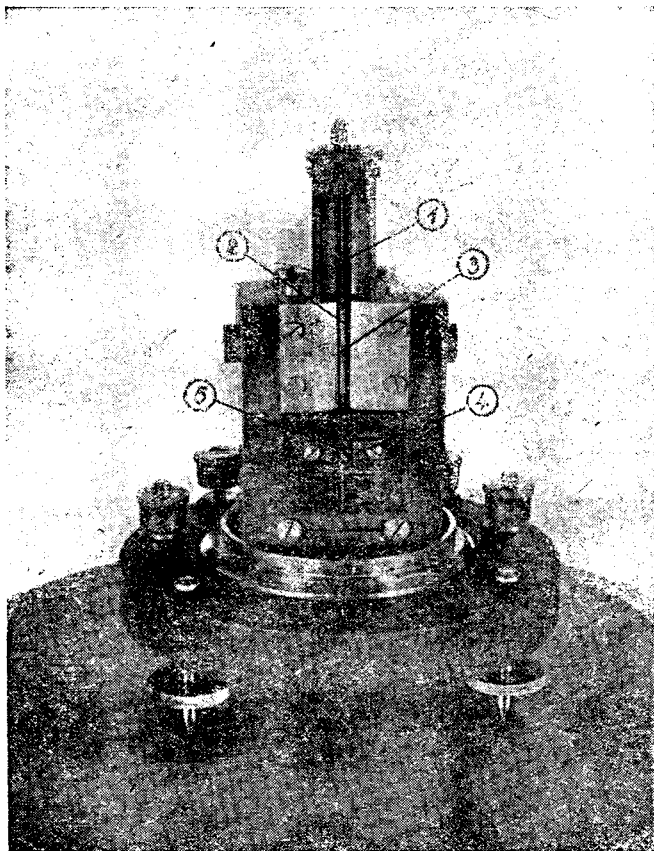


Рис. 2. Принципиальная схема вибрационного гальванометра

Решать указанное уравнение относительно  $t$  и затем подстановкой исключить его, полагая, что имеем резонанс ( $\omega = \omega_0$ ) и установившееся состояние колебательного движения, для абсолютного значения амплитуды отклонения мы получим формулу:

$$1 \cdot 1 = \frac{q \cdot E}{\omega (pr + q^2)}, \quad (12)$$

и для чувствительности к напряжению имеем формулу:

$$\sum_v = \frac{2 \sqrt{2} \cdot q}{\omega (pr + q^2)}, \quad (13)$$

т. е. чувствительность к напряжению зависит от сопротивления гальванометра и динамической постоянной, достигая максимума при

$$q^2 = p \cdot r. \quad (14)$$

При измерениях в схеме компенсатора переменного тока, или при испытании трансформаторов тока гальванометр шунтируется сравнительно малым сопротивлением, и для чувствительности схемы желательно иметь сопротивление гальванометра возможно меньшим. При этих условиях для достижения оптимальной чувствительности к напряжению мы должны взять меньше и динамическую постоянную. Практически это достигается: 1) уменьшением числа витков и 2) магнитным шунтированием.

Для достижения возможно меньшего собственного сопротивления гальванометра выбирается сравнительно толстый подвес (серебряный или фосфористо-бронзовый), и диаметр про-

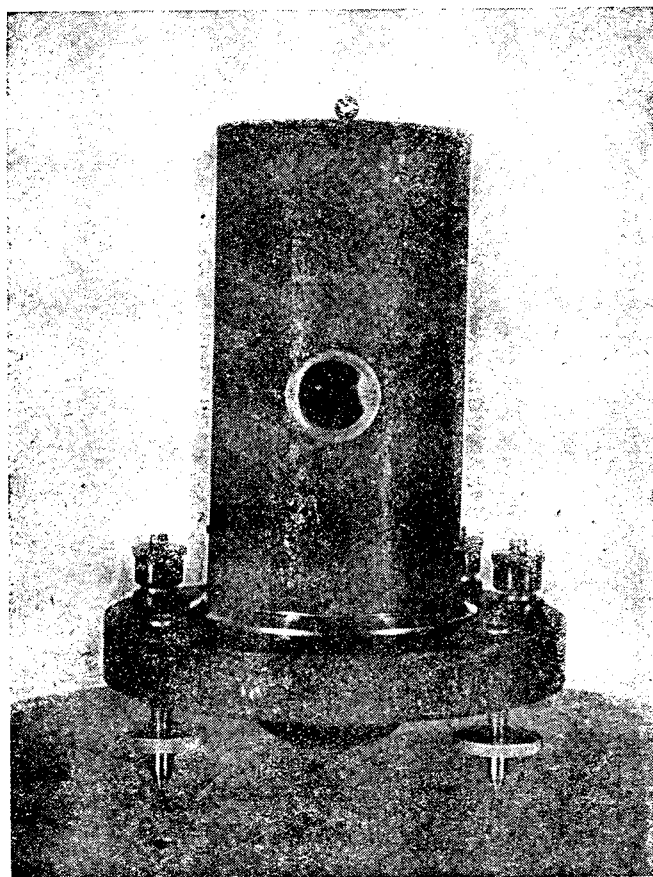


Рис. 3

длины и натяжения нити подвеса настраивают подвижную систему на резонансную частоту. Такой способ настройки лучше всего осуществляет фирма Tinsley<sup>1</sup>. Здесь производится одновременно изменение длины подвеса сверху и снизу, так что стрелка на диске с делениями непосредственно указывает частоту настройки от 15 до 70 периодов.

Все же наиболее употребительным является второй, электромагнитный способ настройки. До сих пор этот способ осуществлялся в электромагнитном типе вибрационного гальванометра, который по своим электрическим качествам является менее совершенным, чем гальванометр с подвижной катушкой.

<sup>1</sup> D. G. Gall, Journal of Scient. Instr. № 4, 1928 г., 134 стр.

Принцип электромагнитной настройки, как известно, заключается в изменении направляющей силы, действующей на железный листок в поле электромагнита. Величина направляющей силы, устанавливающая железный листок параллельно линиям сил магнитного поля, зависит от силы поля или силы тока в электромагните. Таким образом здесь настройка осуществляется наиболее удобно—изменением силы тока в электромагните обыкновенным реостатом. Это обстоятельство привело нас к необходимости употребить электромагнитную настройку в предлагаемой конструкции гальванометра.

### Конструкция гальванометра

В основе конструкции вибрационного гальванометра лежит принцип катушечного гальванометра с электромагнитной настройкой в резонанс при изменении реостатом силы постоянного тока в электромагните.

Катушечные гальванометры иностранных фирм (Leeds Northrup, Hartman—Braun, Tinsley, Cambridge), не обладающие электромагнитной настройкой неудобны на практике, так как при световом отсчете нужно одновременно настраивать прибор и наблюдать его резонанс, при этом подвижная система чувствительного гальванометра колеблется при настройке от механических толчков.

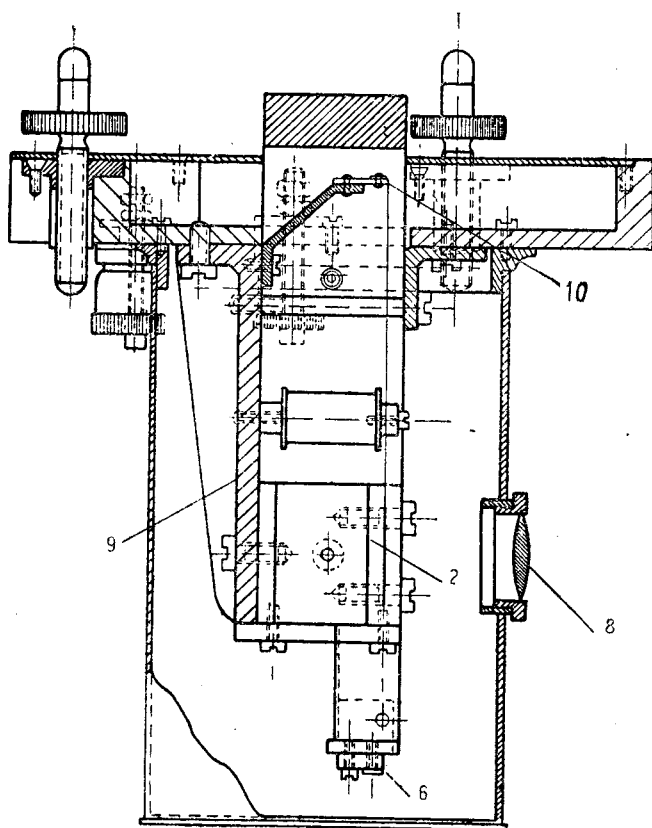


Рис. 4а.

Помимо этого новая конструкция, обладая весьма высокой чувствительностью, значительно проще гальванометров названных фирм, позволяя с помощью отдельных коротких вставок производить измерения при различных частотах до 500 пер. включительно, а также путем особой вставки превратить его в гальванометр для постоянного тока.

Принципиальная схема этого гальванометра изображена на рис. 12. Подвижная система его состоит из весьма узкой катушки А, соединенной внизу с прямоугольным железным листом В, помещенным в поле электромагнита С, а сама катушка находится в поле постоянного магнита D. Железный листок в поле электромагнита служит исключительно для настройки подвижной системы в резонанс с измеряемым переменным током, проходящим через подвижную катушку. Электромагнит питается постоянным током от аккумулятора в 2—4 V.

На рис. 2 и 3 показана изготовленная модель такого прибора.

Подвижная система на 50 периодов в представленной модели рассчитана на высокую чувствительность к току в рассмо-

тренном выше случае „холостого хода“. Подвижная катушка здесь состоит из бумажного валика с наложенными на него 45 витками медной эмалированной проволоки диаметром 0,05 mm и наклеенного зеркала шириною в 1 mm.

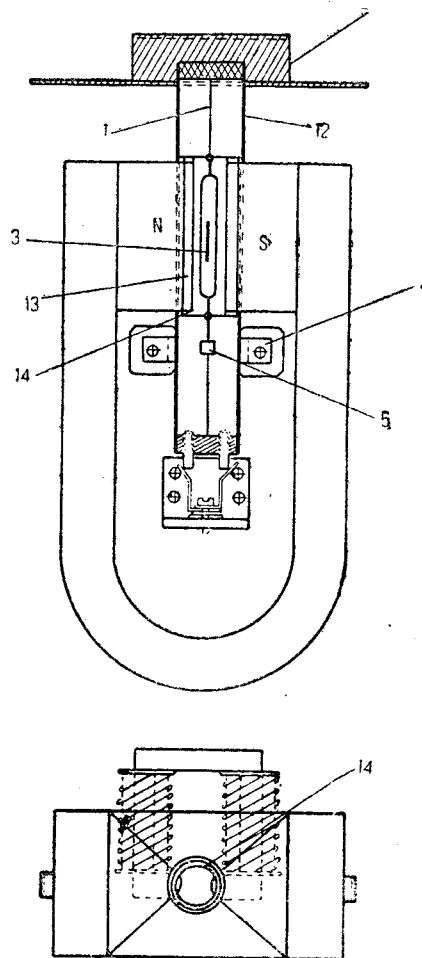


Рис. 4б. Вставка на 50 пер.

Общие обозначения (рис. 4а, 4б).

- |                                  |                            |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1—фосфористо-бронзовая подвеска. | 7—наконечники магнита.     |
| 2—подвижная катушка.             | 8—линза.                   |
| 3—зеркальце.                     | 9 и 10—крепление подвески. |
| 4—электромагнит.                 | 11—головка вставки.        |
| 5—железный листок.               | 12—латунная трубка.        |
| 6—латунный угольник.             |                            |

Железный листок имеет размеры в  $3 \times 4 \times 0,05$  mm и помощью тонкой медной проволоки жестко соединен с катушкой.

Расстояние его от железных наконечников электромагнита определяет демпфирование и тем самым ширину резонансной кривой. Что касается направляющей силы, определяющей собою период колебаний подвижной системы, то она составляется из 1) направляющей силы подвеса, 2) из влияющего на листок поля постоянного магнита и 3) за счет поля электромагнита.

Конструктивное выполнение указанной модели представлено на рис. 4а, из которого видно, что для уменьшения габарита магнит расположен вертикально, а в середину его помещен маленький электромагнит для настройки. Все детали крепятся на латунном угольнике (6), который служит опорной частью для всего прибора.

Подвижная система данного вибрационного гальванометра может быть выполнена в виде отдельной вставки к прибору. Принципиальная схема таких вставок показана на рис. 4в. Они представляют собой подвижную систему в тонкой латунной трубке (12) со впаянными в нее наконечниками постоянного магнита, которые служат как бы продолжением его башмаков внутри вставки.

Вставка высокой чувствительности к напряжению и вставка для высокой частоты отмечаются особенностями их внутреннего устройства.

В изображенной на рисунке модели эти вставки не изготовлены, так как этот прибор был при проектировании предна-

значен лишь для работы на промышленных частотах (40—60 периодов).

Эксперименты, однако, показали, что и для частот до 500 пер. (включительно) получается высокая чувствительность, точно так же имеется полная возможность изготовить вставку для постоянного тока чувствительностью порядка  $10^{-9}$  А мт.

Подвижную катушку в такой вставке целесообразно взять типа Disselhursta (малая модель фирмы Siemens-Halske), которая, обладая малым периодом колебаний и высокой чувствительностью (200 мт на р А), весьма удобна для измерений

в мостиках и компенсационных схемах постоянного тока. Конечно, вставка постоянного тока будет более длинной, нежели для переменного тока, так как для получения высокой чувствительности и малой направляющей силы длина подвеса должна быть взята порядка 20—25 см.

#### Результаты испытания модели

Испытание модели вибрационного гальванометра показало высокую чувствительность к току и достаточную к напряжению. Для различных катушек и различного демпфирования получены следующие чувствительности (табл. 1):

Таблица 1

| № катуш-ки | Число витков катуш-ки | Подвес           |       | Чувств. перем. ток. при 50 пер. | Ширина резон. | Чувств. к напр. вольт миллиметра | Сопротивл. в омах |
|------------|-----------------------|------------------|-------|---------------------------------|---------------|----------------------------------|-------------------|
|            |                       | ширина           | толщ. |                                 |               |                                  |                   |
| 1          | 45                    | фосф. бронза 0,5 | 0,02  | $1,3 \cdot 10^{-8}$             | + 0,4%        | $6,1 \cdot 10^{-6}$ вольт м      | 25                |
| 1          | 45                    | " "              | 0,02  | $6 \cdot 10^{-8}$               | + 1%          | —                                | —                 |
| 2          | 30                    | " "              | 0,02  | $6,5 \times 10^{-8}$            | —             | —                                | —                 |
| 3          | 12                    | " "              | 0,02  | $4,2 \times 10^{-7}$            | —             | $0,9 \cdot 10^{-6}$              | + 1,5             |
| 3          | 12                    | бронза диам.     | 0,08  | $2 \times 10^{-7}$              | —             | $2,5 \cdot 10^{-6}$              | + 1,5             |
| 4          | 20                    | манган. "        | 0,05  | $2 \times 10^{-7}$              | 0,9%          | —                                | —                 |
| 5          | 30                    | фосф. бронза 0,5 | 0,02  | $6 \times 10^{-8}$              | —             | —                                | —                 |

Сравнительная таблица  
вибрационных гальванометров иностранных фирм

Таблица 3

| № | Фирма                                         | Тип гальванометра                    | Диапазон частот | Чувствительность при 50 пер. |             | Сопротивление     | Настройка        |                                                                                                                       |
|---|-----------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------------------|-------------|-------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                               |                                      |                 | Bm /mA                       | Bmm/mV      |                   |                  |                                                                                                                       |
| 1 | Гартман-Браун<br>Сименс-Гальске<br>(Германия) | Schering—Schmidt<br>Электромагнитный | 20—160          | 10                           | 0,1         | 70                | Электромагнитная | Самондукция 0,6—0,1 Н<br>Ширина резонанса—1                                                                           |
| 2 | Тинслей<br>(Англия)                           | Drasdale<br>Электромагнитный         | 40—160          | 1—70                         | 0,8—0,02    | Z<br>1,3—6 000    | Магнитным шунтом | Подвижная система находится в постоянном магнитном поле, перпендикулярно к которому помещена катушка переменного тока |
| 3 | Сименс-Гальске<br>(Германия)                  | Zöllich<br>Катушечный                | 25—500          | 125                          | 0,2         | 50                | Механическая     | В каталоге фирмы не имеется<br>Ширина резонанса = 1,5%                                                                |
| 4 | Тинслей<br>(Англия)                           | Катушечный                           | 15—70           | 41                           | 2,3         | 6                 | Механическая     | Настройка осуществляется поворотом указателя на нужную частоту                                                        |
| 5 | Лидс-Нортруп<br>(САЩ)                         | Катушечный                           | + 60            | 40                           | 0,5         | 700<br>0,25       | Механическая     | Два типа с малым и большим сопротивлением<br>Ширина резонанса=0,3%                                                    |
| 6 | Кэмбридж<br>(Англия)                          | Campbell<br>Катушечный               | 40—1 000        | 60                           | —           | 12                | Механическая     | Фирма изготавливает гальванометры от 1 000—100 пер.<br>" 20—200<br>" 200—1 200 "                                      |
| 7 | Гартман-Браун<br>(Германия)                   | Scheringa<br>Шлейфовый               | 25—125          | 10                           | —           | 16—50 Ω           | Механическая     | Длина шлейфа 1 м                                                                                                      |
| 8 | Кипп-Цопен<br>(Голландия)                     | Torsionifaden<br>galvanometr         | 10—100          | 3                            | —           | 10                | Натяжением нити  |                                                                                                                       |
| 9 | СССР                                          | ВЭИ<br>Катушечный                    | 40—500          | 75<br>2,4                    | 0,16<br>1,0 | + 25 Ω<br>+ 1,5 Ω | Электромагнитная |                                                                                                                       |



Таким образом достигнутая чувствительность к току всего лишь при 45 витках равна  $1,3 \times 10^{-8}$  А/мм. Чувствительность к напряжению при шунтированном магнитном поле достигает значения в  $0,9 \times 10^{-6}$  В/мм при 12 витках.

Очевидно, что полученные чувствительности не являются предельными и, как показывают расчетные данные, могут достигать порядка  $7 \times 10^{-9}$  А/мм при достаточной для измерений с переменным током сети ширины резонанса.

Для высоких частот от 100 до 500 периодов на экспериментальной модели получены следующие значения (табл. 2).

Для электромагнитной настройки гальванометра в резонанс от 250 до 500 пер/сек необходим аккумулятор в 15 В.

Изготовление же вставок на резко различные частоты уменьшит необходимое напряжение аккумулятора до нескольких вольт.

Сравнительная характеристика вибрационных гальванометров крупнейших иностранных фирм дана в таблице 3.

На основании этой таблицы, а также предыдущих данных, мы можем сделать следующие выводы:

1. При сравнительной простоте конструкции модель гальванометра дает одну из самых высоких чувствительностей к току или напряжению и представляет собой новый тип катушечного гальванометра с электромагнитной настройкой.

2. Применение отдельных вставок дает возможность почти без всякого изменения конструкции прибора употреблять его для измерений при постоянном и переменном токе, а также при высокой частоте.

Таблица 2

| Частота пер/сек | Чувствительность к переменному току в А/мм |
|-----------------|--------------------------------------------|
| 150             | $4,1 \times 10^{-8}$                       |
| 200             | $7 \times 10^{-8}$                         |
| 250             | $9,7 \times 10^{-8}$                       |
| 300             | $1,8 \times 10^{-7}$                       |
| 350             | $2,1 \times 10^{-7}$                       |
| 400             | $2,5 \times 10^{-7}$                       |
| 450             | $3 \times 10^{-7}$                         |
| 500             | $4 \times 10^{-7}$                         |

3. По сравнению с гальванометром Шеринга прибор имеет малое омическое и практически безиндукционное сопротивление.

4. К недостаткам прибора следует отнести влияние внешних переменных магнитных полей, которые все же примерно три раза меньше, чем у гальванометра Шеринга, фирмы Гартман и Браун.

Все эти соображения указывают на то, что эта модель является наиболее подходящей для производства его в СССР.

## Измеритель емкостей с непосредственным отсчетом

К. Б. Карандеев  
ГФТИ

Наиболее совершенные нулевые методы, применяемые обычно для измерения емкостей в лабораторной обстановке (мосты переменного тока, абсолютный метод Максвелла), на практике часто оказываются несостоятельными по своей сложности.

Действительно, в цеховой обстановке, при браковке конденсаторов пользоваться даже самым простым вариантом нулевого метода—мостом Вина с телефоном становится совершенно невозможным из-за шума, делающего очень трудным определение отсутствия звука в телефоне. О более сложных схемах—с вибрационным гальванометром—говорить совершенно не приходится. Кроме того, все мостовые методы требуют высококвалифицированного обслуживающего персонала; но даже при наличии такового каждое измерение занимает довольно много времени, благодаря необходимости производить уравнивание моста.

Поэтому желательно для заводских контрольных испытаний иметь какие-либо иные методы и приборы, не требующие квалифицированного обслуживания и позволяющие определять емкости с непосредственным отсчетом по шкале прибора, не так, конечно, точно, но зато значительно проще и скорее, чем это позволяют мостовые методы.

Существующие схемы для измерения емкостей, использующие те или другие свойства катодной лампы<sup>1</sup>, обладают прежде всего основным недостатком всех приборов этого типа: сильным влиянием режима лампы на показания прибора. От этого недостатка свободен прибор для непосредственного отсчета емкостей, разработанный в ВЭИ инж. Майоровым<sup>1</sup>.

Этот прибор (рис. 1) основан на следующем принципе: измеряемая емкость периодически с помощью специального коммутатора то заряжается от батареи напряжения  $E$ , то разряжается на гальванометр. Если обозначить измеряемую емкость через  $C_x$ , число зарядов и разрядов через  $N$ , то, как это подробно показывает т. Майоров, средний разрядный ток, измеряемый гальванометром, будет:

$$I = C_x N E.$$

Эта зависимость хорошо подтверждается на опыте. Равномерная шкала, достаточно высокая точность, достигающая

0,2—0,5%, простота и дешевизна изготовления и обслуживания позволяет рекомендовать прибор такого типа во всех случаях заводского измерения емкостей.

Единственным недостатком, отмечаемым также и автором является значительный габарит установки.

От этого недостатка можно легко избавиться: действительно в качестве переключателя т. Майоровым применен камертон от камертонного генератора. Таким образом в схеме измерения емкостей используется только вспомогательная деталь

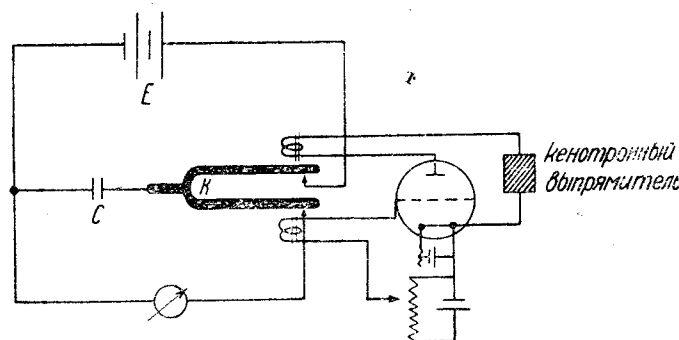


Рис. 1. Кенотронный выпрямитель.  
 $C_x$ —измерительная емкость,  
 $E$ —зарядная батарея,  
 $K$ —камертон.

схемы камертонного генератора, а именно сам камертон, являющийся, как известно, только стабилизатором частоты. Следовательно, сама катодная лампа со всеми питающими ее батареями является только излишним балластом, никоим образом не участвуя непосредственно в самом измерении. Тов. Майоров отмечает, что режим катодной лампы не влияет на результаты измерения: иначе и быть не может, так как лампа электрически никак не связана ни с конденсатором, ни с гальванометром, а частота задается камертоном.

Применяя простой вибрационный коммутатор с камертоном, широко распространенный в лабораторной практике, можно, сохраняя тот же принцип, что и на рис. 1, представить схему

<sup>1</sup> Ф. Майоров. Аппарат для измерения емкостей непосредственным отсчетом. „Эл.—во“ 1931 г., № 19, стр. 1094.

<sup>1</sup> Karolus und Reuss, Phys. Zft 1921/22, S. 362 (Реферат в ETZ, 1921, S. 418).

Toschinwal, Journ. of Sc. Instr. 1928, № 8, p. 320.

Mikerefe, Phil. Mag. 1919, v. 38.

Н. В. Горбачев, Т и Т б П. 1923, № 22, стр. 483.

Проф. В. С. Кулебакин, Т и Т б П. 1924, № 23, стр. 39.

Н. В. Горбачев Т и Т б П. 1924, № 24, стр. 151.

Н. В. Горбачев Т и Т б П. 1924, № 25, стр. 260.

в значительно более простой форме, освобождаясь от катодной лампы и от двух или трех питающих батарей или выпрямителей (см. рис. 2 и 3).

Вибрационный коммутатор с камертоном, применяемый при таких точных измерениях, как например, измерение емкостей абсолютным методом Максвелла, может часами работать совершенно устойчиво. Питание намагничивающих катушек не непосредственно от батарей, а с помощью промежуточного

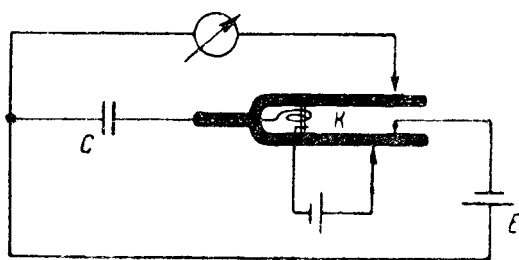


Рис. 2.  $C$ —измерительная емкость,  $E$ —зарядная батарея,  $K$ —камертон.

звена—катодной лампы, может неблагоприятно отразиться на постоянстве работы, так как всякое случайное изменение режима лампы, весьма возможное в случае применения ламп с торированной или оксидированной нитью, естественно, скажется на работе коммутатора.

Применяя камертон с более высокой частотой, можно свести напряжение зарядной батареи с 46 В (как это необходимо при  $N=128$ , в схеме инж. Майорова) до 8—10 В при измерении малых емкостей, порядка 0,001  $\mu\text{F}$ , и даже до 2—3 В при  $C_x = 0,1-1 \mu\text{F}$ .

Таким образом надобность в сухой высоковольтной батарее отпадает и можно обойтись обыкновенными аккумуляторными батареями. Кроме понижения напряжения зарядной батареи, повышение частоты выгодно отзовется на размерах самого камертона. Чрезмерному повышению  $N$  ставит предел постоян-

ная времени цепи, так что для каждого предела измерения по емкости будет существовать свой предел частоты.

Так как градуировка прибора будет справедлива только при определенном значении напряжения  $E$ , то, естественно, необходим делитель напряжения, через который включается зарядная батарея. Регулировку напряжения рациональнее всего производить, включая нормальную емкость и меняя  $E$  до тех пор, пока гальванометр не станет на определенное деление.

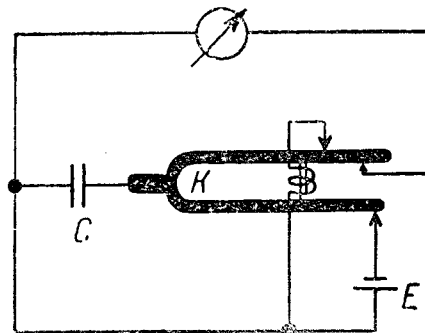


Рис. 3.  $C$ —измерительная емкость,  $E$ —общая батарея для заряда конденсатора и питания катушки коммутатора,  $K$ —камертон.

Полученные результаты были подвергнуты экспериментальной проверке в лаборатории измерений ГФТИ; данные целиком подтвердили наши предположения. Габарит прибора уменьшается в несколько раз, само измерение так же значительно упрощается. Получаемая ошибка не превосходит 0,5%. Приборы по указанной схеме (рис. 3) предположены в настоящее время к установке в конденсаторном цехе Ленинградского телефонного завода „Красная Заря“ для приемных испытаний телефонных конденсаторов от 0,1 до 2  $\mu\text{F}$ , причем для  $E=4 \text{ В}$  и  $N=500$  оказалось вполне достаточным взять в качестве гальванометра технический милливольтметр типа ДВИ на 17 милливольт.

## НОВОЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

### О фотоэлектричестве \*

П. В. Тимофеев  
ВЭИ

В связи с развитием в СССР и за границей новых областей техники, как например, звуковое кино, телевидение и др., фотоэлектрический эффект стал широко известен. Посвященный этому вопросу экспериментальный материал, оправдывающий теорию квант и, главным образом, содействующий ее развитию, оказал громадную услугу созданию технических приборов „фотоэлементов“, позволяющих превращать световую энергию в электрическую и производить запись световых сигналов.

Процессы, происходящие во всех видах фотоэлементов при действии света, основываются на изменении кинетической энергии электронов, возникающем за счет поглощения энергии квант света. При включении фотоэлементов в специальные электрические цепи, которые будут описаны ниже, изменение кинетической энергии электронов может повлечь за собой изменение режима в цепи или, другими словами, возникновение „фотоэлектрического действия“. В каждом отдельном случае, в зависимости от природы фотоэлемента, для возникновения „фотоэлектрического действия“ необходимо, чтобы кванты падающего на фотоэлемент света обладали определенной минимальной энергией  $h\nu_0$ , где  $\nu_0$  — частота света и  $h$  — постоянная Планка. Величина  $\nu_0$  и соответствующая ей длина волны  $\lambda_0$  называется порогом фотоэффекта; следовательно, фотоэлектрическое действие будет наблюдаться только для  $\nu > \nu_0$  или  $\lambda < \lambda_0$ , и оно отсутствует для всех частот  $\nu < \nu_0$  или длин волн  $\lambda > \lambda_0$ . Зависимость величины фотоэлектрического действия от длины волны  $\lambda$  всегда выражается в виде

кривой, имеющей один или иногда несколько ясно выраженных максимумов.

Эта кривая, называемая спектральной характеристикой, позволяет судить об области применения фотоэлементов.

Для определения величины фотоэлектрического действия, производимого данным световым потоком, достаточно знать распределение энергии по длинам волн у источника освещения и величину фотоэлектрического действия для каждой частоты света, отнесенную к единице энергии этого света. Предположим, что кривая распределения лучистой энергии по спектру у источника света имеет вид, приведенный на рис. 1,  $y_1 = \varphi \lambda$  (эта кривая соответствует распределению для температуры нити лампы накаливания 2800 абс.).

На этом же рисунке приведена кривая  $y_2 = f \lambda$ , характеризующая фотоэлектрическое действие монохроматического света для различных длин волн.

Если фотоэлектрическое действие выражено в амперах или вольтах, или, наконец, мощности, возникающей в электрической цепи при действии света на фотоэлемент, то каждая ордината кривой  $f_2(\lambda)$  будет представлять одну из перечисленных величин, отнесенную к единице энергии падающего света соответствующей длины волны  $\lambda$ . Фотоэлектрическое действие, вызываемое потоком  $a$  световой энергии от источника света с данным спектральным составом, определяется суммой произведения ординат кривых, соответствующих одинаковым абсциссам, умноженной на величину потока  $a$ .

$$\Phi = a \int_0^{\lambda_0} \varphi(\lambda) f(\lambda) d\lambda. \quad (1)$$

\* Принимая во внимание огромную роль, которую предстоит играть фотоэлементам в электротехнике, редакция помещает вслед за статьей т. Тимофеева, дающую теорию фотоэлементов и их практическое применение в новом освещении.

Величина  $\Phi_1$ , отнесенная к единице светового потока,

$$\Phi_1 = \int_0^{\lambda_0} \varphi(\lambda) f(\lambda) d\lambda \quad (1a)$$

является основной величиной, характеризующей фотоэлектрическое действие всякого фотоэлемента при освещении его источником света с данным распределением.

При измерении  $\Phi_1$  в практике источником света служит лампа накаливания, температуру нити которой задают 2800° абс. и за единицу потока принимают 1 люмен. При дальнейшем описании свойств фотоэлементов, которые разделяются на три основных группы: а) фотоэлементы, основанные на внешнем фотоэффекте, б) на внутреннем фотоэффекте и в) фотоэлементы с запирающим слоем,—будут приведены остальные величины, характеризующие их.

#### Фотоэлементы, основанные на внешнем фотоэффекте

Характерным признаком фотоэлементов с внешним фотоэффектом является вызываемый светом переход электронов из металла в вакуум или разреженный газ. При этом движение электрона, вызванного квантом света частоты  $\nu$  из поверхности металла, подчиняется данному Эйнштейнову уравнению:

$$\frac{1}{2} m v^2 = h\nu - P, \quad (2)$$

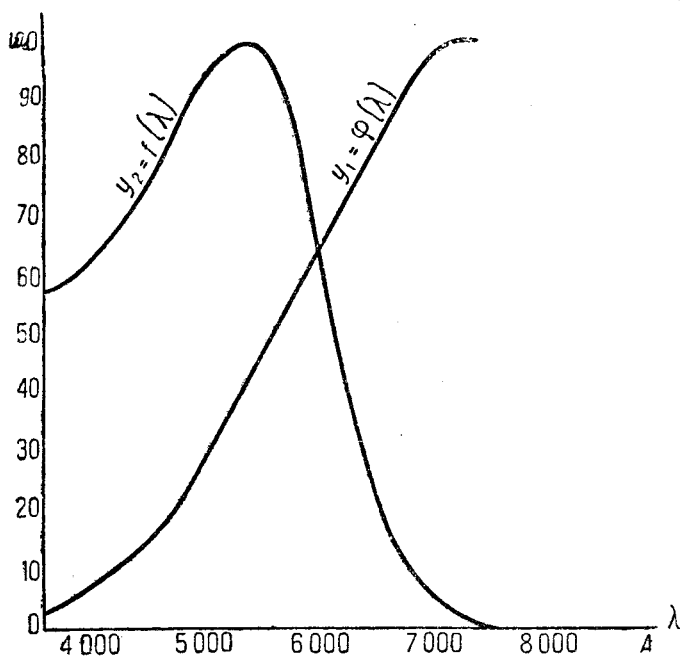


Рис. 1.

где  $m$ —масса электрона,  $v$ —его скорость после выхода из поверхности металла и  $P$ —работа, затраченная на вырывание электрона.

Положив в уравнении (2) скорость фотоэлектрона равной нулю, получим  $h\nu = P$ ; отсюда, очевидно,  $\nu_0 = \frac{P}{h}$ .

Заменяя в уравнении (2)  $P$  через  $h\nu_0$  и  $\frac{1}{2} m v^2$  через  $eV$ , где  $e$ —заряд электрона, а  $V$ —разность потенциалов, пройдя которую, электрон обладает кинетической энергией  $\frac{mv^2}{2}$ , уравнение (2) можно написать в следующем виде:

$$e\nu = h\nu - h\nu_0. \quad (2a)$$

Фотоэлемент, основанный на данном принципе, можно осуществить следующим образом.

Предположим, что имеется металлическая пластинка  $K$  и металлическая сетка  $A$ , расположенные, как указано на рис. 2а, в сосуде, из которого выкачан воздух. Соединяя  $K$  и  $A$  с чувствительным гальванометром и освещая пластинку  $K$  светом, содержащим в своем составе частоты  $\nu > \nu_0$ , соответствующей материалу данной пластинки, при достаточно большой интенсивности света можно наблюдать отклонение стрелки гальванометра, указывающее на присутствие тока в цепи.

Если не принимать во внимание контактную разность потенциалов между электродами, то можно считать, что происхож-

ждение тока обязано, как следует из уравнения (2), исключительно начальным скоростям фотоэлектронов.

Таким образом разобранный случай дает возможность превращать световую энергию в электрическую; однако коэффициент полезного действия такого прибора весьма мал.

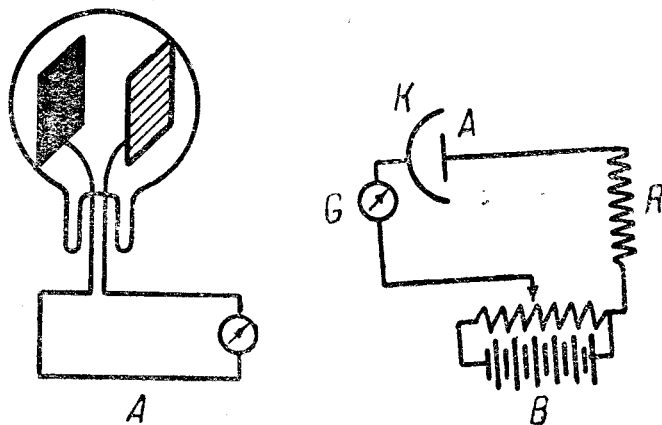


Рис. 2.

Если же  $K$  и  $A$  соединить через потенциометр с источником электродвижущей силы (рис. 2в) и, освещая пластинку  $K$  постоянным светом, измерить величины тока при различных величинах напряжения между  $K$  и  $A$ , то получим зависимость фототока от напряжения  $\nu$ , выраженную кривой, приведенной на рис. 3. Эта кривая, называемая вольт-амперной<sup>1</sup> характеристикой вакуумного фотоэлемента, аналогична характеристике двухэлектродной катодной лампы и может быть выражена формулой  $i_0 = k\nu^a$ , где  $k$  и  $a$  определяется, как известно, размерами, формой и расположением электродов. Из вольт-амперной характеристики следует, что наибольшее фотоэлектрическое действие  $\Phi'$  при прочих равных условиях получается для напряжения на фотоэлементе, соответствующего току насыщения. В случае высоковакуумного фотоэлемента, когда разность потенциалов, приложенная к его электродам, достаточно велика, так что для наибольшего светового потока, которым располагают при измерениях, получается ток насыщения, фотоэлектрическое действие или величина тока через фотоэлемент прямо пропорциональна величине светового потока, падающего на поверхность катода:

$$\Phi = i = \Phi' a, \quad (3)$$

где  $a$ —световой поток, выраженный в люменах, а  $i$ —сила тока.

Величина  $\Phi'$ , как было указано выше, является функцией спектральной характеристики фотоэлемента, которая в свою очередь определяется материалом катода и способом его изготовления.

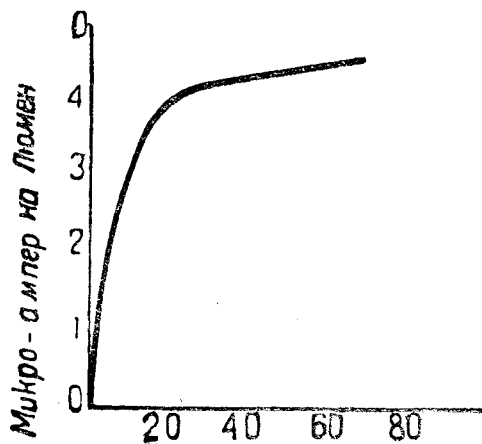


Рис. 3.

В качестве материала для катодов в фотоэлементах, предназначенных для видимого света, применяются, главным обра-

<sup>1</sup> Следует отметить неудачность выражения „вольт-амперной“. Лучше говорить о „характеристике напряжения—тока“. Не следует применять названия единиц измерения физических величин вместо этих величин, например, вольты, омы, амперы.

зом, щелочные металлы Na, K, Rb, и Cs, так как только они имеют заметное фотоэлектрическое действие в этой области спектра.

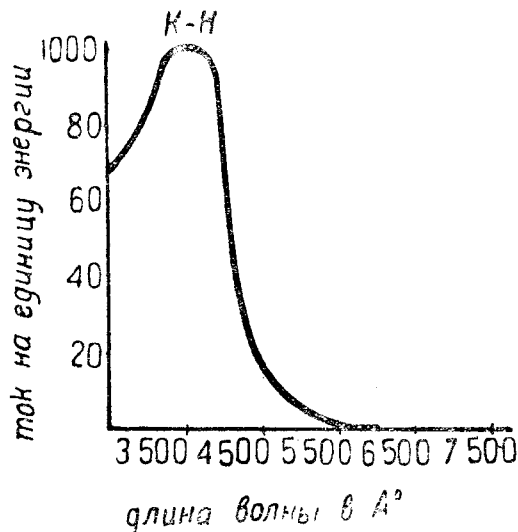


Рис. 4

Таблица 1

| Металл      | Zi  | Na  | K     | Rb                           | Cz | Mg  | Ba  | Cd  |
|-------------|-----|-----|-------|------------------------------|----|-----|-----|-----|
| $\lambda_0$ | 526 | 680 | 1 000 | В инфракрасной части спектра |    | 330 | 560 | 320 |

В табл. 1 указаны пороги фотоэффекта для щелочных и некоторых других металлов, употребляющихся для изготовления фотоэлементов, чувствительных к ультрафиолетовому свету.

Соответствующей обработкой поверхности щелочных металлов удается значительно повысить их фотоэлектрическое действие, поэтому в настоящее время для технических целей используются исключительно фотоэлементы с сенсibilизированными катодами. Найденный первым удачный способ сенсibilизации щелочных металлов, заключающийся в пропускании тлеющего разряда в водороде между электродами фотоэлемента, давал лучшие результаты для калия; поэтому так называемые гидридно-калиевые фотоэлементы впервые получили широкое практическое применение. Спектральная характеристика гидридно-калиевого фотоэлемента, разработанного

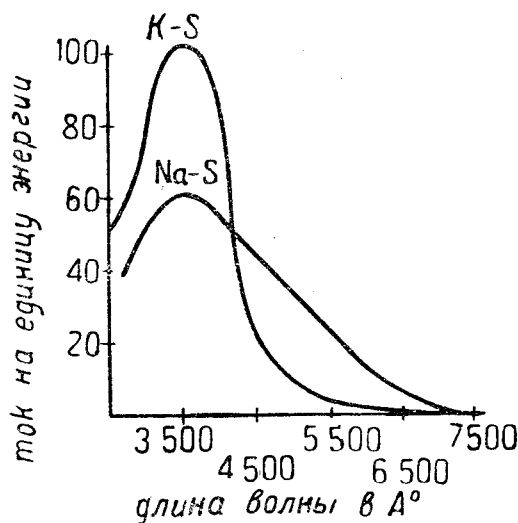


Рис. 5

в ВЭИ, приведена на рис. 4. Позднее было найдено много других способов сенсibilизации, которые способствуют большему увеличению чувствительности щелочных металлов по сравнению с сенсibilизацией водородом.

Наибольшее распространение в практике получила сенсibilизация серой, заключающаяся в нанесении на поверхность калия или натрия тонкой пленки серы. Спектральные характеристики этих фотоэлементов приведены на рис. 5.

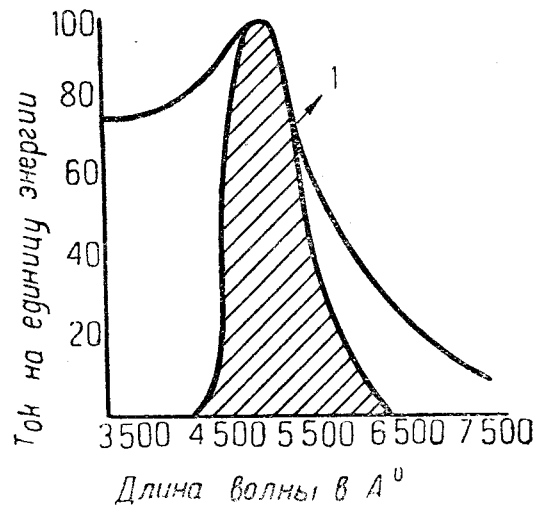


Рис. 6. 1—кривая видимости

Как было выяснено в ВЭИ, в противоположность данным, приведенным в статье А. R. Olpin'a, несмотря на относительно меньшее фотоэлектрическое действие K-S в красной части спектра по сравнению с Na-S (рис. 5), K-S имеет большее интегральное фотоэлектрическое действие  $\Phi_1$  при  $T$  источника света =  $2800^\circ$  абс., чем Na-S; поэтому, в частности, в нашем Союзе катоды фотоэлементов изготавливаются из K-S, а не из Na-S.

Из ряда других веществ, применяющихся для сенсibilизации, следует отметить органические краски, например, эозин, диционин, криптоционин и др., которые позволяют при нанесении их на поверхность щелочного металла, особенно натрия, получать различного рода спектральные характеристики.

Одна из таких характеристик, снятая с изготовленного в ВЭИ фотоэлемента<sup>2</sup>, имеющего натриевый катод, сенсibilизированный эозином, приведена на рис. 6.

На этом же рисунке приведена кривая видимости глаза, которая близко совпадает с характеристикой фотоэлемента, что особенно важно для объективной фотометрии.

В последнее время все внимание было обращено на разработку, так называемых «тонкопленочных» катодов, обладающих многими преимуществами перед описанными выше.

В общих чертах способ изготовления тонкопленочных катодов заключается в том, что щелочной металл наносится в виде тонкой пленки на различные подстилки из окислов других

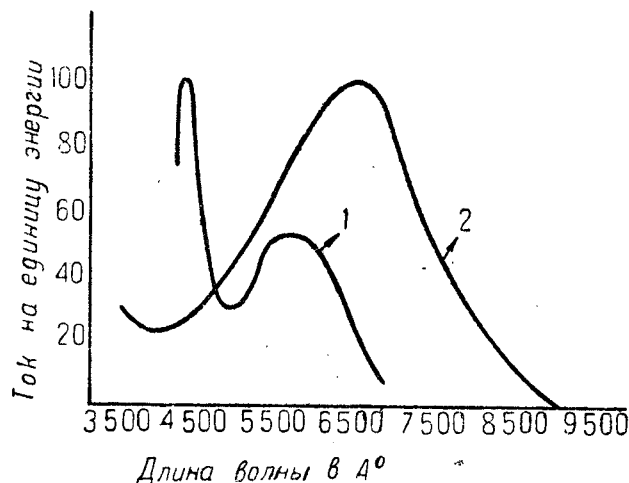


Рис. 7

металлов, которые способны удерживать эту пленку. Особенно хорошие результаты дает в этом случае Cs, который не на-

<sup>1</sup> См. литературу.

<sup>2</sup> Взята из отчета М. С. Шипалова «О сенсibilизации Na красками».

ходил большего распространения при обычном способе изготовления катодов, так как температура плавления  $Cs = 28,50^\circ C$ ; следовательно, уже при комнатной температуре  $Cs$  интенсивно испаряется, что не дает возможности получить устойчивых катодов с толстыми слоями цезия.

На рис. 7 приведены спектральные характеристики фотоэлементов. Кривая 1 относится к изготовленному в ВЭИ катоду  $Cs-CsO-Ag$ , в котором  $Cs$  нанесен на окись серебра 1, кривая представляет характеристику катода по данным S. Asao

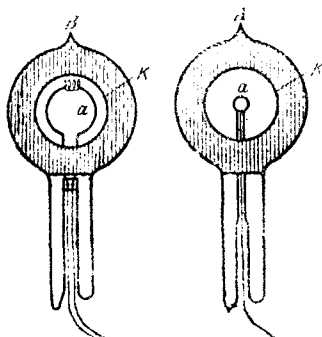


Рис. 8.

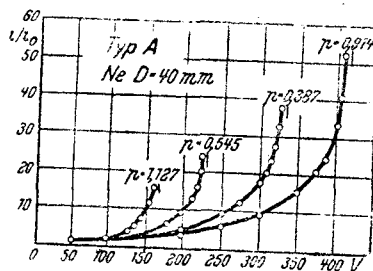


Рис. 9.

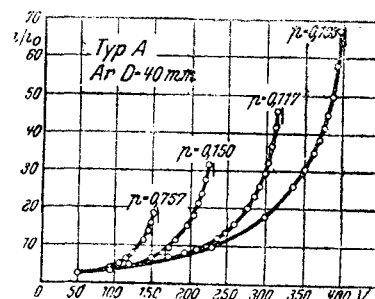


Рис. 10.

и М. Suzuki [2], состоящего из тонкой пленки  $Cs$  на окиси серебра, покрытый сверху тонкой пленкой серебра. В табл. 2 приведены величины  $\Phi'$ , в микроамперах на люмен для рассмотренных видов катодов. В этой же таблице указана температура источников света, с помощью которых производились измерения.

Таблица 2

| Катод                     | K-H          | K-S          | Na-S         | Cs-CsO-Ag    | Cs-Ag-CsO Ag |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $\Phi'$ микроамперы люмен | 1            | 5—6          | 4—5          | 12—18        | 40—50        |
| $T$                       | $2800^\circ$ | $2800^\circ$ | $2800^\circ$ | $2800^\circ$ | $2650^\circ$ |

#### Усиление фотоэлектрического действия при помощи наполнения фотоэлементов газом

В газонаполненном фотоэлементе вырванные квантами света с поверхности катода электроны, сталкиваясь по пути к аноду с молекулами газа, освобождают новые электроны, благодаря чему фотоэлектрическое действие значительно возрастает. Отношение всего тока через фотоэлемент к току с поверхности катода называется коэффициентом усиления:

$$K = \frac{i}{i_0}.$$

Величина коэффициента усиления, как известно из теории самостоятельного разряда в газах, является функцией разности потенциалов, его геометрических параметров, давления газа и рода газа.

Пользуясь теорией Таунсенда, можно вывести аналитическое выражение для коэффициента усиления, но им обычно не пользуются, потому что для применяющихся на практике фотоэлементов это выражение получается очень громоздким и, кроме того, входящие в него величины  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  ( $\alpha$ —число ионизованных одним электроном молекул на пути в 1 см,  $\beta$ —число молекул, ионизованных одним положительным ионом на пути в 1 см, и  $\gamma$ —число электронов, вырванных одним положительным ионом из поверхности катода) в большинстве случаев неизвестны для области давлений от 0,1 до 0,001 мм/гг, применяемых в фотоэлементах.

В ВЭИ была экспериментально выяснена зависимость коэффициента усиления от перечисленных выше параметров фотоэлемента [3]. На рис. 8—12 приведены кривые, характеризующие зависимость коэффициента усиления от напряжения для сферических фотоэлементов с центральными и кольцевыми анодами. На этих рисунках по вертикальным осям отложен

коэффициент усиления  $i/i_0$ , а по горизонтальным—напряжение на фотоэлементе.

Приведенная на каждом рисунке серия кривых относится к одному и тому же фотоэлементу. Отдельная кривая этой серии снималась при определенном давлении газа в фотоэлементе; величины давления  $p$  в мм Hg указаны на рисунках. Другие обозначения определяют следующее:  $D$ —диаметр баллона фотоэлемента,  $\varnothing$ —диаметр кольца,  $Ar$ —аргон и  $Ne$ —неон. Из хода кривых видно, что при всех давлениях газа коэффи-

циент усиления с увеличением разности потенциалов на фотоэлементе увеличивается. Все данные кривые оканчиваются за 2—3 В до потенциала зажигания самостоятельного разряда, характеризующегося в большинстве случаев резким возрастанием тока и появлением свечения в фотоэлементе; после выключения света, падающего на фотоэлемент, этот разряд не прекращается.

Таким образом рост коэффициента усиления с увеличением напряжения на фотоэлементе ограничивается потенциалом зажигания самостоятельного разряда. Вблизи потенциала зажигания самостоятельного разряда ток через фотоэлемент становится неустойчивым, поэтому практически можно считать максимальными коэффициентами усиления, получаемыми в данных условиях,—коэффициенты усиления, соответствующие верхним концам приведенных кривых.

Как следует из тех же кривых, максимальный коэффициент усиления увеличивается с уменьшением давления газа в области указанных давлений. Из сравнения характеристик, относящихся к различным давлениям, вытекает, что характеристики, относящиеся к меньшим давлениям, имеют меньшую крутизну, следовательно, чтобы получить один и тот же коэффициент усиления при различных давлениях газа, необходимо с уменьшением давления увеличивать напряжение на фотоэлементе.

При этом один и тот же коэффициент усиления с уменьшением давления перемещается в более пологую часть кривой, что иногда при применении фотоэлементов является желательным. Влияние формы анода на коэффициент усиления подтверждают рисунки 11 и 12, показывающие, что максимальные коэффициенты усиления, соответствующие одинаковым потенциалам зажигания, в фотоэлементах с диаметром баллона в 100 мм

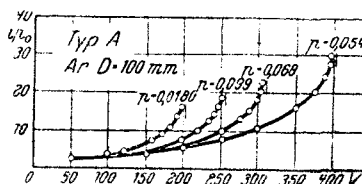


Рис. 11.

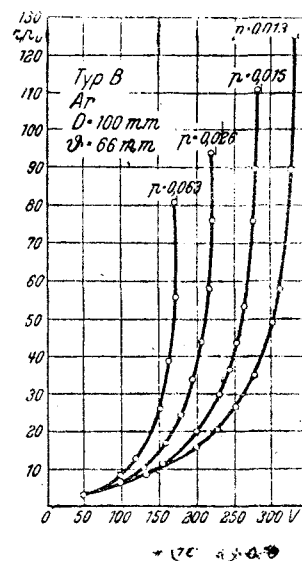


Рис. 12.

при кольцевом аноде в 3 раза больше, чем при центральном. Все приведенные характеристики снимались при постоянном и одинаковом токе с поверхности катода  $i_0 = 1,310^{-7}$  А.

В зависимости от фотоэлектрического тока с поверхности катода, или, другими словами, в зависимости от интенсивно-

1 Взятая из отчета Н. С. Хлебникова „О методе изготовления Cs фотоэлементов“.

сти освещения фотоэлемента, эти кривые смещаются параллельно самим себе, а точка, соответствующая потенциалу зажигания, описывает некоторую кривую, выражающую зависимость потенциала зажигания от освещения. Кривые на рис. 13, взятые из работы Campbell [4], иллюстрируют указанную зависимость для сферического фотоэлемента при давлении 0,18 мм Hg газа в нем. На рис. 13 по вертикальной оси отложены  $\lg$  тока, а по горизонтальной  $V$ —напряжение на фотоэлементе.

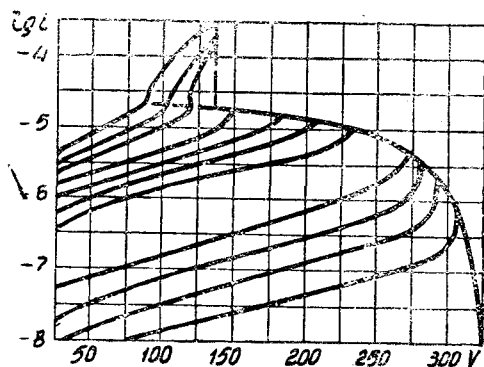


Рис. 13

Из рисунка видно, что при приближении к точке самостоятельного разряда параллельность кривых нарушается, а следовательно, нарушается пропорциональность между интенсивностью освещения и силой тока через фотоэлемент; этим обстоятельством отчасти объясняется отклонение от прямой линии статических световых характеристик газонаполненного фотоэлемента, приведенных на рис. 14, где по горизонтальной оси отложен световой поток, по вертикальной—сила тока и под каждой кривой указано напряжение, при котором она снималась. Таким образом величина фотоэлектрического действия газонаполненного фотоэлемента при прочих равных условиях зависит от максимальной величины света, которой подвергается при работе фотоэлемент.

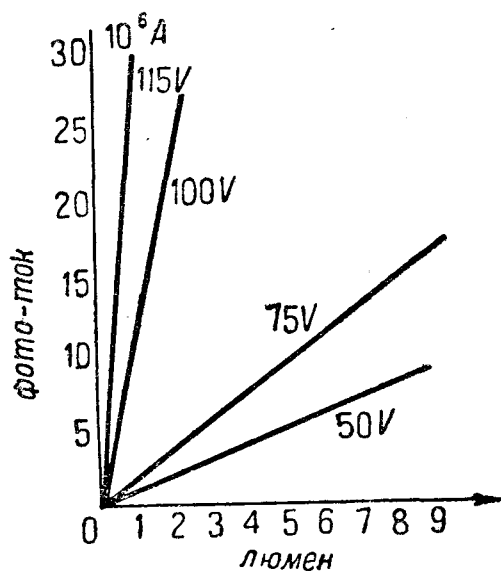


Рис. 14

Рабочее напряжение  $E$  на фотоэлементе всегда должно быть меньше потенциала зажигания  $E_1$  самостоятельного разряда для данного максимального светового потока. Порядок разности  $d = E_1 - E$  определяется техническими условиями работы фотоэлемента; в одних случаях она может быть порядка 2–3 В, в других случаях она измеряется десятками вольт. Главными факторами, определяющими условия работы фотоэлемента, являются: колебание напряжения на фотоэлементе, желаемая близость световой характеристики фотоэлемента к прямой линии и инерция, появляющаяся в газонаполненном фотоэлементе при высоких частотах модуляции светового потока. Инерцию фотоэлемента по Schröter и Lubszinski [5] можно характеризовать следующим выражением:

$$d = 100 \frac{a_{v1} - a_{v2}}{a_{v1}},$$

где  $a_v$ —максимальная амплитуда переменного напряжения, возникающего на включенном последовательно с фотоэлементом сопротивлении при прерывании данного светового потока  $V$  раз в секунду; следовательно,  $d$  показывает, какой процент от амплитуды  $a_{v1}$  представляет разность  $a_{v1} - a_{v2}$ . Частоту  $\nu_1$  выбирают достаточно малой и полагают, что инерция при прерывании светового потока с этой частотой отсутствует.

Разность  $a_{v1} - a_{v2}$  с увеличением  $\nu_2$  обычно возрастает; другими словами, инерция газонаполненного фотоэлемента возрастает с увеличением частоты модуляции светового потока. Далее, как видно из рис. 15, инерция тоже возрастает по мере приближения разности потенциалов к потенциалу зажигания самостоятельного разряда. По оси ординат на рис. 15 отложено

$$d = \frac{a_{500} - a_{1000}}{a_{500}} \cdot 100,$$

а по оси абсцисс—напряжение на фотоэлементе. Кривая I снята с фотоэлемента, наполненного аргонном, кривая II—гелием и кривая III—неоном. К сожалению, эти характеристики не дают полного представления об инерции фотоэлементов, наполненных различными газами до различного давления, так как каждая из них снята при одном только давлении около 1 мм Hg, и, кроме того, они снимались с фотоэлементов, имеющих гидридно-кальцевые катоды, вследствие чего благородные газы могли содержать неодинаковое количество примеси водорода, которая способствует в некоторых случаях возникновению

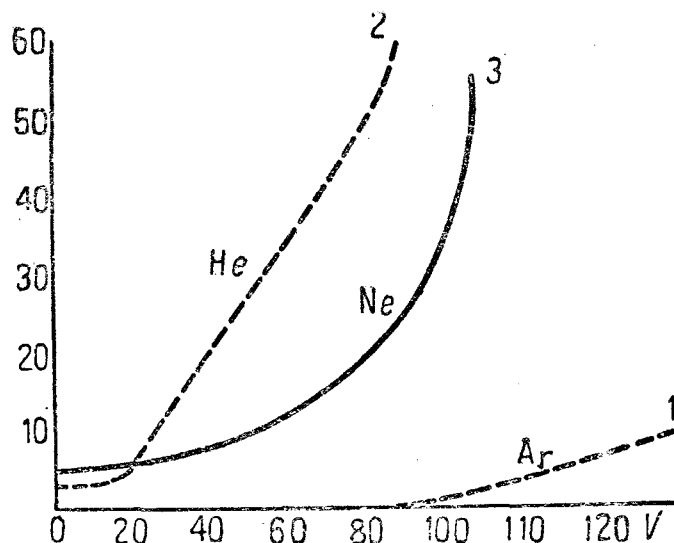


Рис. 15

инерции. Можно предполагать, что с уменьшением давления газа в фотоэлементе для одного и того же коэффициента усиления инерция будет уменьшаться; это предположение подтверждается исследованиями, ведущимися в ВЭИ.

На рис. 16 приведена вольт-амперная характеристика фотоэлемента, разработанного в ВЭИ для звукового кино, снятая при световом потоке 0,5 люмена и температуре источника света 2800° абс. При напряжении всего на 10 В ниже потенциала зажигания самостоятельного разряда фотоэлемент работает без сколько-нибудь заметных искажений в области звуковых частот.

### Внутренний фотоэффект

Изменение электропроводности, которое было обнаружено у многих кристаллических полупроводников под действием света, возникает вследствие внутреннего фотоэффекта. Действие света в данном случае, по мнению Gudden'a и Pull'я, сводится к освобождению в полупроводнике электронов, которые обуславливают изменение электропроводности. Величина этого тока пропорциональна интенсивности освещения, и он возникает и прекращается при действии света без инерции. Обычный первичный ток влечет за собой появление вторичного тока аналогично случаю, имеющему место в газонаполненных фотоэлементах.

Со вторичным током связаны инерционные свойства фотоэлементов этого типа, непостоянство их чувствительности и отклонение от прямолинейной зависимости величин тока и интенсивности освещения. В качестве исходных материалов для изготовления фотоэлементов применяются, главным обра-



зом, селен и таллий. В конструктивном отношении, по существу, все виды фотоэлементов весьма сходны. При изготовлении их стремятся к тому, чтобы светочувствительный слой селена был возможно тоньше и промежуток между электродами, заполненный селеном, возможно меньше.

На рис. 17 приведен вид одного из типов селенового фотоэлемента, где  $a$ —пластинка из изолирующего вещества с нанесенной на ней металлической пленкой, в которой проделана бороздка, заполненная тонким слоем селена. Величина фототока при падении на светочувствительную поверхность фотоэлемента потока световой энергии  $a$  пропорциональна измене-

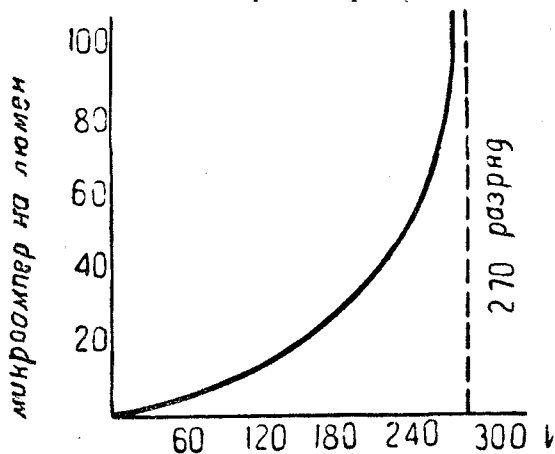


Рис. 16

нию электропроводности  $\frac{1}{R_a} - \frac{1}{R_o}$ , где  $R_a$  сопротивление фотоэлемента при освещении, а  $R_o$  — его сопротивление в темноте. Обозначая через  $E$  напряжение на фотоэлементе и через  $A$ —коэффициент пропорциональности, можно написать, согласно Барнардту, следующую интерполяционную формулу для величины фототока:

$$i = E \left( \frac{1}{R_a} - \frac{1}{R_o} \right) = Aax. \quad (4)$$

На рис. 18 приведены статические характеристики фотоэлектрического действия для различных фотоэлементов; по горизонтальной оси отложена интенсивность освещения в люксах, по вертикальной —  $\frac{1}{R_a} - \frac{1}{R_o}$ . Кривая I относится к селеновому фотоэлементу „Радиовизор“ со

светочувствительной поверхностью  $23 \times 50$  мм; кривые II и III—к таллофидным фотоэлементам, изготавливаемым фирмой Осгам из смеси кислорода серы и таллия со светочувствительной поверхностью  $12 \times 18$  мм.

Из этих кривых следует, что для таллофидных фотоэлементов показатель степени  $x$  в равенстве (4) близок к единице, т. е. фототок почти пропорционален интенсивности освещения, в то время как для селенового фотоэлемента он значительно отклоняется от этого закона и в большинстве случаев  $x = 1,2$ . Сопротивление в темноте фотоэлементов, приготовленных одним методом и из одинакового материала, обычно бывает разное. Для селеновых фотоэлементов сопротивление  $R_o$  бывает приблизительно порядка от  $10^5$  до  $10^7 \Omega$ , и для таллофидных оно достигает  $10^9 \Omega$ .

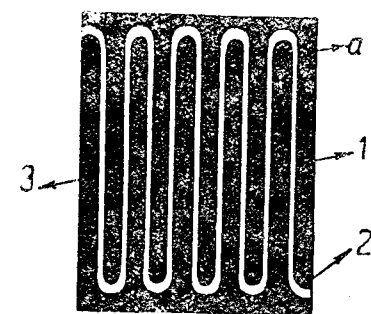


Рис. 17. 1—электрод, 2—селен, 3—электрод

Это сопротивление зависит от температуры фотоэлементов, наложенного напряжения и от предварительного освещения, которому были подвергнуты фотоэлементы. Действие света, повышение температуры и увеличение напряжения обычно уменьшают темновое сопротивление  $R_o$ .

На рис. 19 приведен ряд спектральных характеристик наиболее употребительных фотоэлементов (указатели литературы 6,7).

Кривая I относится к тонкослойному селеновому фотоэлементу, кривая II—к обычному селеновому фотоэлементу, кривая III—к селеновому тонкослойному фотоэлементу с примесью 14% теллура и, наконец, кривая IV—к таллофидному фотоэлементу. Наиболее существенным недостатком этого типа фотоэлементов является инерционность, которая, например, у таллофидных фотоэлементов фирмы Осгам наступает уже при частоте модуляции светового потока в 100 циклов.

На рис. 20 приведена частотная характеристика одного из таких фотоэлементов, ординатами этой кривой являются амплитуды переменного тока, соответствующие различным частотам прерывания одного и того же светового потока, падающего на фотоэлемент. У обычных селеновых фотоэлементов инерционность настолько велика, что ток достигает конечной величины только через несколько минут после включения света. Несмотря на это, удается приготовить такие селеновые фотоэлементы, которые, например, с успехом применяются в звуковом кино, т. е. работают на всем диапазоне звуковых частот.

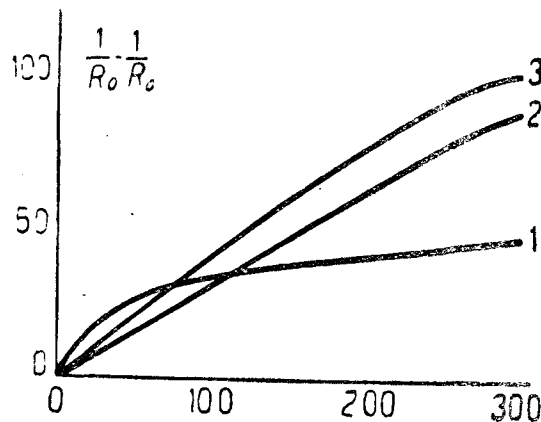


Рис. 18. 1—радиовизор, 2—Osram T-34, 3—Osram T 1-39

освещенность в люксах

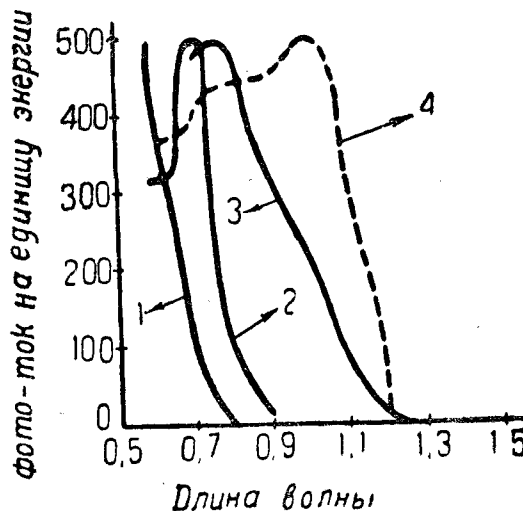


Рис. 19

### Фотоэлементы с запирающим слоем

В фотоэлементах с запирающим слоем фотоэлектрическое действие возникает вследствие перехода электронов под влиянием света через так называемый запирающий слой (Sperrschicht), образующийся на границе соприкосновения некоторых тел. Такого типа фотоэлемент, впервые открытый А. Н. Рифонд в 1916 г., состоял из медной пластинки, покрытой закисью меди. Схема включения этого медно-закисного фотоэлемента приведена на рис. 21, где  $G$ —гальванометр,  $A$ —напыленный слой металла (меди, золота, серебра) или просто плотно прижатая проволочная спираль, которые осуществляют контакт с закисью меди. Свет, падающий на поверхность закиси меди, как указано на рисунке стрелками, без постороннего источника электродвижущей силы вызывает в цепи ток, который в большом диапазоне освещенностей пропорционален интенсивности света.

Как было установлено Schottky [8], процесс, происходящий в фотоэлементе под действием света, заключается в том, что свет, проникая через пленку окиси меди, вырывает на границе запирающего слоя электроны, которые, проходя этот слой, направляются к окиси меди двумя путями: частью обратно через запирающий слой, частью—через гальванометр. Отсюда следует, что для измерения этого фотоэффекта выгодно пользоваться гальванометром с малым сопротивлением, которые должны быть значительно меньше, чем сопротивление запирающего слоя.

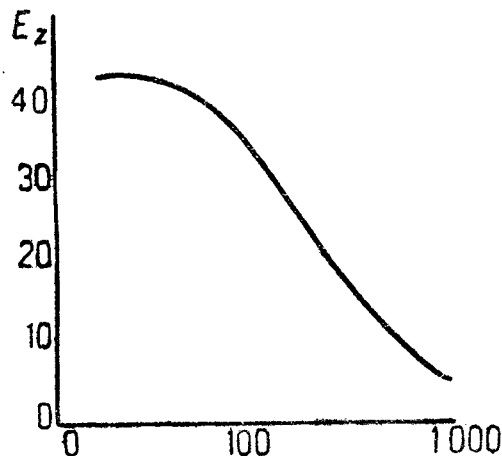


Рис. 20.

Все фотоэлементы рассматриваемого вида обладают, кроме того, детекторными свойствами; при этом обычно направление выпрямленного тока противоположно направлению фотоэлектрического тока, т. е. в нашем случае фотоэлектроны движутся от окиси меди к меди, а при выпрямлении переменного тока движение электронов будет совершаться от меди к окиси меди.

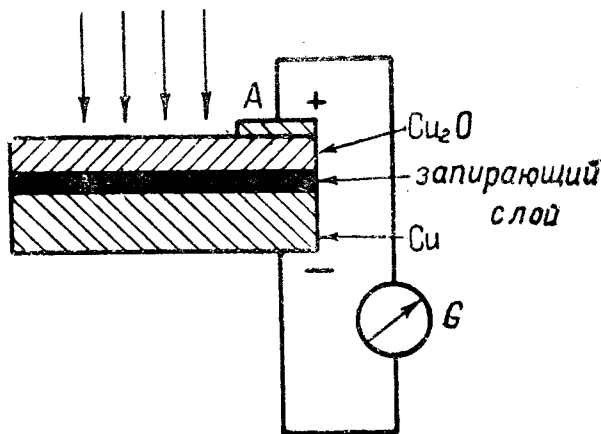


Рис. 21.

На основании описанных электрических свойств фотоэлементов с запирающим слоем была предложена эквивалентная схема [9], приведенная на рис. 22, которая дает ясное представление об электрических свойствах данных фотоэлементов. На схеме  $F$  представляет вакуумный фотоэлемент,  $A$ —его анод,  $K$ —катод,  $D$ —детектор,  $r$ —сопротивление и  $R$ —внешнее сопротивление цепи. В случае освещения прерывистым светом данная схема дополняется еще емкостью, которая включается, как указано на рис. 22, пунктиром. Таким образом возникающий на аноде, вследствие перемещения электронов под действием света, отрицательный заряд стекает частью через детектор  $D$ , частью—через внешнюю цепь. Возникновение отрицательного заряда на аноде связано с появлением на электродах фотоэлемента тормозящей фототок разности потенциалов, максимальное значение которой при освещении фотоэлемента монохроматическим светом чистоты  $V$ , согласно уравнению Эйнштейна, не может превышать величины  $V_0 = \frac{h\nu - P}{e}$  ( $P$ —работа, затрачиваемая на передвижение электрона через

запирающий слой), так как эта разность потенциалов прекращает дальнейший переход электронов с катода на анод.

Из характеристики вакуумного фотоэлемента сила тока—тормозящее напряжение оказывается, что уменьшение тока можно считать в первом приближении пропорциональным тормозящему напряжению, следовательно, незаторможенный фототок будет:

$$I = I_0 - I_0 \frac{V}{V_0}. \quad (5)$$

Он разделяется, как было указано выше, на внешний ток

$$i = \frac{V}{r+R} \quad (6)$$

и обратный ток, текущий через запирающий слой, величину которого можно определить из вольт-амперной характеристики детектора.

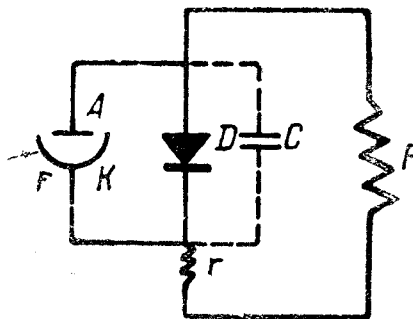


Рис. 22.

Обозначим эту величину тока, имеющую вообще не линейную зависимость от напряжения при разности потенциалов  $V$  через  $I(V)$ . Так как сумма внешнего и обратного токов равняется фототок, можно написать:

$$I - I_0 \frac{V}{V_0} = \frac{V}{r+R} + I(V). \quad (7)$$

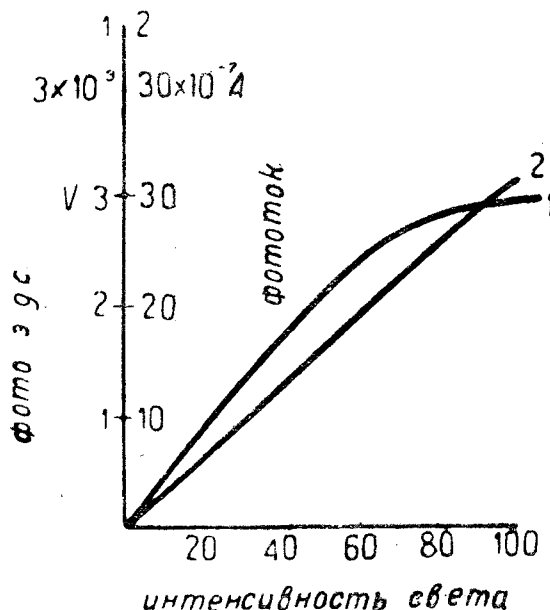


Рис. 23.

Уравнение (7) можно графически решить относительно  $V$ , а по найденному  $V$  определить внешний ток  $i$ , следовательно, путем вычисления построить характеристику силы тока—световой поток.

Кривые, полученные вычислением и экспериментально, близко совпадают по виду, что, с одной стороны, подтверждает правильность предложенной схемы, а с другой стороны, эта схема, наоборот, дает возможность объяснить вид экспериментальных кривых.

Кроме окиси меди аналогичными свойствами, как теперь известно, обладают селен и применяющиеся для детекторов

кристаллы, как, например, кристаллы галена, которые дают внутренний фотоэффект. Однако использование обычного детектора в качестве фотоэлемента неудобно вследствие непостоянства механического давления детекторной иглы и малой светочувствительной поверхности, ограничивающейся местом соприкосновения иглы с кристаллом; поэтому только закись меди и селен получили практическое применение.

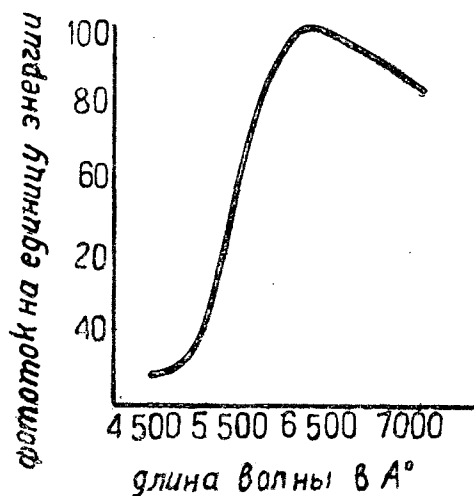


Рис. 24

Наряду с описанными выше так называемыми „таловыми“ медно-закисными фотоэлементами, имеющими спектральную характеристику, приведенную на рис. 24, могут быть получены путем нанесения тонкой пленки металла (золота, серебра, меди и др.) на поверхность закиси меди „лицевые“ фотоэлементы, отличающиеся как интегральной чувствительностью, так и спектральной характеристикой от тыловых.

Различие в спектральных характеристиках и интегральной чувствительности обуславливается, главным образом, поглощением света в средах, которые ему приходится проходить, прежде чем он достигнет границы металл-полупроводник. В лицевых фотоэлементах граница металл-полупроводник, обладающая тоже фотоэлектрическими свойствами, какие имеют место между основной медной пластинкой и закисью меди, лежит под прозрачной металлической пленкой, которая обладает другой пропускной способностью света по сравнению с закисью меди.

На рис. 25 приведены спектральная характеристика лицевого фотоэлемента, изготовленного в ВЭИ<sup>1</sup>, и кривая поглощения света металлической пленкой, покрывающей закись меди. Несоответствие спектральных кривых с кривыми поглощения объясняется одновременным существованием тылового и лицевого фотоэффекта, которые в красном участке спектра, как действующие в противоположном направлении, уничтожают друг друга, что было подтверждено измерениями.

На рис. 26 приведена спектральная характеристика селенового фотоэлемента, имеющего лицевой эффект. Селеновый фотоэлемент изготавливается следующим образом: на железную пластинку наносится тонкий слой селена, который сверху покрывается пленкой свинца. Интегральное фотоэлектрическое действие селеновых фотоэлементов больше, чем медно-закисных. Вообще, фотоэлементы этого типа обладают фотоэлектрическим действием 500  $\mu$ A на люмен.

По своей природе фотоэлементы с запирающим слоем безынерционны аналогично вакуумным фотоэлементам. Однако вследствие относительно большой собственной емкости фотоэлемента, передача световых сигналов высокой частоты невозможна. Диапазон звуковых частот, по данным Zange [11], передается удовлетворительно. Следует еще отметить, что эти фотоэлементы дают наибольший коэффициент полезного действия при превращении световой энергии в электрическую.

\* \*

Сравнивая различные виды фотоэлементов по величине их фотоэлектрического действия, которое может быть выражено для всех фотоэлементов в микроамперах на люмен, необходимо отличать первичное фотоэлектрическое действие от вторичного, являющегося, собственно говоря, одним из видов усиления фотоэлектрического действия.

В фотоэлементах с внешним фотоэффектом вторичное фотоэлектрическое действие создается искусственно, наполняя фотоэлемент газом; в фотоэлементах с внутренним фотоэффектом вторичное фотоэлектрическое действие связано с природой фотоэлемента; в фотоэлементах с запирающим слоем оно практически отсутствует. Очевидно, что только первичное фотоэлектрическое действие определяется коэффициентом исполь-

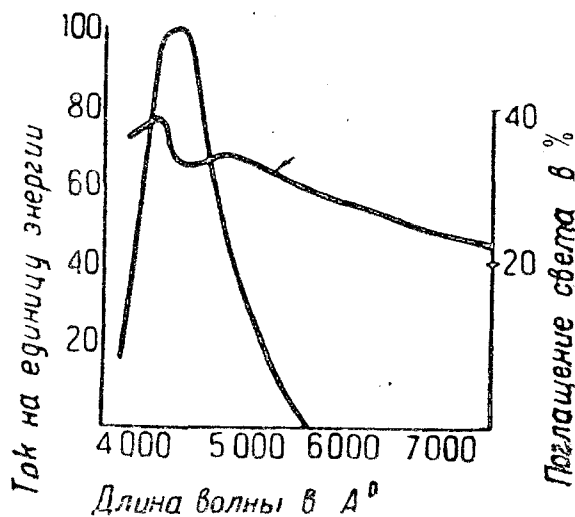


Рис. 25. 1—кривая поглощения

зования световой энергии. Характеристикой в этом отношении является его отдача:

$$Q = \frac{\text{кулон}}{\text{калория}},$$

т. е. количество электричества, проходящее в цепи при падении на фотоэлемент одной малой калории световой энергии. Из грубого подсчета для идеального фотоэлемента, в котором каждый квант света освобождает один электрон, для отдачи  $Q$  получаем  $2 \frac{\text{кул.}}{\text{кал.}}$ , или он должен давать и 4 mA на люмен.

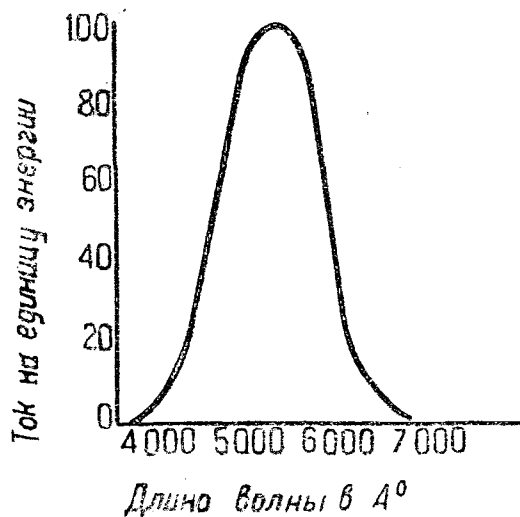


Рис. 26

Ни один из существующих фотоэлементов не обладает таким фотоэлектрическим действием, и оно особенно мало у вакуумных фотоэлементов, которые, с другой стороны, имеют высокое качество безынерционности.

Хотя в последние годы огромное число исследований посвящено вопросу о фотоэлементах, все же путь совершенствования их не закончен, и назревающая большая потребность в нашей промышленности ускорить их развитие. Вопрос о применении фотоэлементов будет рассмотрен в следующей статье.

<sup>1</sup> Взята из отчета Е. М. Пономаревой „О купроксных фотоэлементах“, 1931 г.

## Литература

- 1) A. R. Olpin. Method of Enhancing the Sensitiveness of Alkali Metal Photoelectric Cells. Phys. Rev. 36, 251, 1930 г.
- 2) S. Asao и M. Suzuki. Proc. of Rad. Eng. 19, 665, 1931 г.
- 3) П. В. Тимофеев и Н. С. Хлебников. Verstärkung des Stromes in Photozellen durch Gasentladung. Zeitschr. f. Phys. 72, 658, 1931 г.
- 4) Campbell. The Characteristics of Gasfilled Photoelectric Cells. Phil. Mag. 3, 945, 1927 г.
- 5) Schröter und Lúbszinski. Untersuchungen zur Frage der Trägheit gasgefüllten Photozellen. Phys. Zeitschr. 31, 897, 1930 г.
- 6) F. Michelssen. Infra rot empfindliche Zellen. Zeit. für techn. Phys. 12, 511, 1930 г.
- 7) R. Sewig. Die lichtelektrischen Eigenschaften von Thalliumzellen. Zeitchr. für techn. Phys. 7, 269, 1930 г.
- 8) W. Schattky. Über den Entstehungs ort. der Photoelektronen in Kupfer-Kupferoxydul-Photozellen. Phys. Zeitschr. 21, 913, 1930 г.

- 9) F. V. Korösy und P. Seleny. Phys. Zeitschr. 21, 847, 1931 г.
- 10) L. Bergmann. Über eine neue Selen-Sperrschicht-Photozelle. Phys. Zeitschr. 7, 286, 1931 г.
- 11) Lange. Über eine neue Art von Photozellen. Phys. Zeitschr. 139, 1930 г.
- 12) Allen H. St. Photoelectricity (London, 1925).
- 13) Anderson I. S. Photoelectric cells and their applications (London 1930 г.).
- 14) Campbell N. R. and D. Ritchie Photoelectric cells (London, 1931 г.).
- 15) Güdden. Lichtelektrische Erscheinungen (Berlin, 1928 г.).
- 16) Zworgkin V. K. und E. D. Wilson. Photocells and their applications.
- 17) Журнал технической физики за 1931 г. (посвященный Конференции по твердым фотоэлементам).
- 18) R. Fleischer und H. Teichmann. Die lichtelektrische Zelle und ihre Herstellung (Dresden und Leipzig).

## Х Р О Н И К А

## Крупное электростроительство СССР\*

## Эскизный проект плотины II Челябинской государственной районной электростанции

Силовая станция Челябинск II спроектирована на установленную мощность в 1 000 000 kW. Источником водоснабжения для этой станции является Миасс. Запрудой этой реки у деревни Шершни приблизительно на 6 км ниже проектируемой станции будет создано водохранилище, которое должно служить как в качестве резервуара для регулирования стока, так и в качестве охлаждающего пруда для циркуляционной воды установки. Ввиду того что силовая станция должна быть пущена уже весной 1933 г., срок строительства водохранилища чрезвычайно короток.

Из обоих мест у деревни Шершни, где предполагается устройство плотины, более благоприятное в топографическом отношении место, расположенное ниже деревни; здесь плотина будет иметь длину только в 900—1 000 м против 1 300 м длины у места, расположенного выше деревни.

Нижерасположенное место до сих пор не исследовано в геологическом отношении, в то время как в районе выше деревни уже произведен ряд бурений для выяснения подпочвенных условий. Поэтому сравнение обоих мест в настоящее время не представляется возможным. Недостатком нижнего расположения было бы затопление всей деревни Шершни. Проект предусматривает устройство плотины выше деревни. Для исследования геологических условий верхнего расположения плотины было проведено 34 бурения, из коих 13 доведены до твердой скалы, в то время как остальные 21 бурение до скалы не доведены.

Коренной породой является гранит, верхние слои которого местами до значительной глубины сильно трещиноваты и выветрены. Здоровая скала на левой стороне долины до сих пор недостаточно изучена посредством бурения; местами она лежит на 25-м глубине дна долины. Гранит покрыт сплошным слоем песка различной толщины (до 12 м), над которым местами лежит слой глины около 2,0 м толщины. На правом берегу гранит выступает наружу.

Естественный режим стока Миасса обычный для уральских рек; паводок бывает вследствие таяния снегов весной, причем, как правило, стекает большая часть годового расхода. В другие времена года расход постепенно снижается, достигая зимой минимума. Общая площадь водосбора реки составляет около 5 600 км<sup>2</sup>. Непосредственные наблюдения расхода Миасса имеются лишь с 1928 г. Другие данные для водохозяйственных исследований получены по аналогии с данными по Чусовой с 1893 по 1909 г.

Общая потребность в воде различных предприятий, городского водоснабжения, как и уже имеющейся и планируемой силовой станции (Челябгрэс I и II) исчисляется в 318,3 млн. м<sup>3</sup> в год.

(В другом месте проекта—в 10,85 м<sup>3</sup>/сек—342 млн. м<sup>3</sup> в год.) Размер испарения принимается для резервуара у Шершни в 1 600 мм в год, для озера Аргози в 1 000 мм в год и для открытого зеркала реки в 1 200 мм в год; таким образом

потери на испарение исчисляются в 97,6 млн. м<sup>3</sup> в год. Общая потребность в воде, включая испарение, равна, таким образом,  $318,3 + 97,6 = 415,9$  млн. м<sup>3</sup> в год, или соответственно  $342 + 97,6 = 439,6$  млн. м<sup>3</sup> в год.

Ввиду того что общий годовой расход в засушливый год составляет лишь около 317 млн. м<sup>3</sup>, в этом году получается недостаток в 99 млн. м<sup>3</sup> (или соответственно 123 млн. м<sup>3</sup>), который должен быть покрыт за счет озера Аргози и предполагаемого водохранилища у Шершни. В качестве главного регулирующего водохранилища служит озеро Аргози, получающее благодаря подпору до 266,7 м полезный объем в 245 млн. м<sup>3</sup> (в другом месте указывается 265 млн. м<sup>3</sup>). Водохранилище Шершни должно служить в качестве охлаждающего пруда и быть использовано для регулирования лишь в особенно сухие зимы; полезная призма этого водохранилища исчисляется в 47 млн. м<sup>3</sup>.

Для плотины имеются два варианта: первый—главный вариант—земляная плотина со сбросом паводка на правом берегу, вторая—смешанная конструкция, состоящая из земляной плотины на левой стороне долины и многоарочной железобетонной дамбы на правой стороне. Расположение сооружения одинаковое у обоих вариантов у верхнего конца деревни Шершни; ось сооружения направлена с запада-юг-запад на восток-север-восток и только у левого крыла оно изогнуто в восточно-западном направлении. Общая длина сооружения равна 1 300 м.

Главный вариант (земляная плотина со сбросом паводка). Земляная плотина проектируется как сплошное плотное тело (материал—суглинок) получающее для защиты от воды (с водной стороны) двойную каменную мостовую на слое песка в 2,0 м. Полошвы откосов получают особую защиту с водной стороны при помощи каменной призмы и с воздушной стороны при помощи дренажа в виде обратного фильтра. Гребень плотины находится на отметке +222,0 м, ширина гребня равна 7,0 м. Для защиты проектируемой на гребне плотины дороги от волн предусматривается устройство с водной стороны парапета, верхний край которого будет находиться на отметке +223 м. Склоны откоса равны с водной стороны 1:3 выше +217 м, с воздушной стороны 1:2 ниже +217 м. Тело плотины проникает при помощи трапецеобразного зуба в почву там, где гранит лежит близко к поверхности, зуб ведется до гранита, где наслоения имеют значительную толщину, уплотнение почвы под плотинной производится посредством железных шпунтов (в виде продолжения зуба).

Сброс паводка состоит из 5 отверстий с сегментными затворами по 10 м ширины в свету и 5 м высоты подпора; порог сброса находится на отметке +215 м. Когда он совершенно открыт, сброс может отвести максимально 1 100 м<sup>3</sup>/сек воды соответственно удельной нагрузке в 22 м<sup>3</sup>/сек погонного метра ширины. Ниже отверстий водослива устроены водобойные колоды для тушения энергии. Все сооружение устраивается на здоровом граните правого берега. Подводящий и отводящий каналы служат для подвода и отвода паводка.

\* По материалам Центрального энергетического совета (ЦЭС).

Второй вариант (земляная дамба и многоарочная плотина). Часть плотины, проектируемая в виде земляной дамбы, имеет общую длину ок. 800 м (720 м на левой стороне долины и 90 м в виде сопрягающей дамбы на правом берегу).

Профиль дамбы предполагает уплотняющее ядро, соответствующее по форме плотине, окруженное проницаемым материалом. Уплотняющее тело проникает посредством трапечеподобного зуба в почву и, как и в первом варианте, в случае надобности соединится с коренной плотной породой при помощи железного шпунта. Для уплотнения щелеватого гранита предполагается, кроме того, цементация.

Проектируемая в виде многоарочной плотины часть сооружения имеет длину в 400 м и состоит из 50 отдельных арок по 8 м пролета и с центральным углом в 180°. Толщина арок равна наверху 30 см, внизу 52 см. Гребень стены находится на отметке +219,7 м и сконструирован в виде водослива. Своды и быки доводятся до здорового гранита.

Между земляной дамбой и многоарочной плотиной устроен сброс паводка, состоящий из 2 отверстий по 18 м ширины в сету и 5 м высоты подпора, как и донного спуска в 5×4 м. Затворы отверстий для паводка проектируются в виде секторных затворов, но в качестве вариантов исследованы и разные другие затворы. Донный спуск получит катковый затвор. Объем работ характеризуется следующими цифрами:

Главный вариант: земляная насыпка—410 000 м³, бетон для сброса—12 100 м³, железные конструкции—127 т.

Второй вариант: земляная насыпка—160 000 м³, железобетон для многоарочной плотины—9 000 м³, бетон для сброса—6 500 м³, железные конструкции—108 т, железная арматура—1 300 т.

На основании проекта ЦЭС постановил следующее:

1. Признать допустимым сооружение плотины Челябинск II на выбранном месте, несмотря на то, что геологические данные содержащиеся в проекте, не позволили вынести окончательного суждения о целесообразности сделанного выбора места постройки вышеуказанной плотины.

2. Отметить, что постройка плотины выше деревни Шершни и создание соответствующего водохранилища не решают полностью вопроса регулирования стока р. Миасс выше Челябинска.

3. Гидрологические данные и данные водохозяйственных расчетов могут рассматриваться только как предварительные.

4. Из двух предложенных вариантов общего расположения плотины следует предпочесть главный вариант (земляная плотина с концентрированным сооружением для сброса).

Против открытой железобетонной конструкции по второму варианту говорят особые климатические условия и большая потребность в дефицитных материалах.

5. Учитывая заявление, сделанное представителем проектирующей организации, что по только что полученным данным в 100—200 м от места постройки плотины найдены суглинки, подходящие для отсыпки плотины, считать возможным принять основной вариант (плотина, состоящая из однородного материала). Считать, однако, необходимым тщательную проверку свойств количества грунтов, могущих быть использованными при постройке плотины с тем, чтобы соответствующие данные были освещены при составлении технического проекта.

6. Уплотнение почвы должно быть произведено посредством глиняного зуба, доведенного до гранита; однако при очень глубоком расположении гранита допустимо удлинение уплотняющего зуба при помощи железного шпунта; при всех условиях уплотнение почвы (не считаясь с возможными глинистыми наслоениями) должно быть доведено до гранита.

7. Зуб и шпунт должны быть устроены на водной стороне уплотняющего тела.

8. Цементация в зонах выветривания гранита должна зависеть от результатов испытаний на фильтрацию.

9. Порог сброса должен быть повышен по сравнению с главным не менее чем на 1 м (до +216).

10. Сброс должен быть снабжен автоматически действующими затворами. Количество этих затворов и количество пропускаемой воды установить при составлении технического проекта.

11. В связи со сбросом следует устроить донный спуск, позволяющий снижение водохранилища до +213 м.

12. Следует избегать вертикальной работы подшвы плотины, а также горизонтальных площадок бетонного устоя сброса в месте их примыкания к телу плотины.

13. Признать насыпку плотины за один строительный сезон возможной, при условии широкой механизации земляных работ и надлежащей организации их.

14. Представленный проект плотины считать подлежащим утверждению как эскизный, с учетом вышеприведенных замечаний.

### Проект организации связи кемерово-кузнецкой электросети на 1933 г. и организация связи уральской электросети

Проект, представленный в ЦЭС на рассмотрение, разработан Энергостроем.

Постановление ЦЭС в основном сводится к следующему:

Рассмотренные проекты а) по организации связи Кемерово-Кузнецкой электростанции и б) организации связи уральской сети следует признать: первый в отношении схемы организации связи в достаточно продуманным и удовлетворяющим требованиям, предъявляемым к службе связи электроустановок, второй в отношении выбора связи —удовлетворяющим требованиям ЦЭС, причем выбранные типы связей за исключением линейно-селекторных отвечающими поставленной цели.

При разработке окончательных проектов следует: а) проверить число необходимых цепей для административно-хозяйственной связи, а также емкость коммутаторов, устанавливаемых в различных пунктах; б) исходя из нежелательности подвески всех цепей на одной столбовой линии, считать целесообразным установить, по крайней мере, 2 отдельных линий, причем должна быть проверена возможность использования существующих линий других ведомств; в) проработать вопрос о трассе линий связи, ширину сближения с точки зрения как экономической, так и эксплуатационной с учетом разных местных условий (характер местности, наличие путей сообщения, наличие линий связи других ведомств); г) следить, чтобы были проработаны предложения, относящиеся к подвеске антенн в соответствии с замечаниями экспертизы; д) в случае затруднений с расположением антенн относительно зданий и линий следует учитывать возможность передачи радиочастоты фидером через переходный трансформатор.

1. Отметить отсутствие в рассматриваемых проектных материалах, равно как и в некоторых других проектах по связи, карт районов, схем высоковольтных сетей, которые будут обслуживаться и пр., что лишает возможности судить о реальных условиях местности, в которой будет осуществляться связь.

2. Окончательный выбор типа линейной связи должен быть решен совместно с организацией, выдавшей заказ в отношении возможности организации районов для эксплуатационного обслуживания линий. В случае выбора селекторной связи следует обеспечить достаточную ясность передачи во всех случаях.

3. Приложение „Что следует предусматривать для связи при проектировании электроустановок“ должно быть переработано согласно указаниям, изложенным в докладе экспертов.

4. Должны быть согласованы длины волн радиопостов применительно к пунктам связи и селективности и чувствительности приемников. В случае необходимости следует предусматривать добавочные фильтры и учитывать длину волн местной радиостанции.

## К Всесоюзному съезду по электросвязи

В настоящее время во Всесоюзный энергетический комитет поступило от ведомств, промышленных и научно-исследовательских организаций и отдельных специалистов 180 тем докладов, предложенных для прочтения на созываемом в середине текущего 1932 г. Всесоюзном съезде по электросвязи и слаботочной промышленности.

Для форсирования подготовки и организации докладов к съезду при Московском областном энергетическом комитете организована секция связи и слабых токов, на которой

из актива инженеров и техников связи и слабых токов избраны руководители по 18 разделам программы.

Кроме того, при ленинградском отделе ВЭК также создана группа активистов слаботочной промышленности и связи.

Московская и ленинградская группы приступили к проработке окончательной программы съезда на основе поступивших от заинтересованных ведомственных научно-исследовательских и промышленных организаций замечаний и изменений.

# Издание электротехнической литературы — под общественный контроль авторских коллективов

## 1-я конференция авторского коллектива ВЭИ

Участие научных сотрудников Всесоюзного электротехнического института (ВЭИ) в выпуске электротехнической литературы как периодической (журналы), так и непериодической (учебники, книги и массовая литература) имеет исключительно большое значение.

В постановлении президиума ВСНХ СССР 12/Х—1931 г. о развертывании технической пропаганды сказано:

„Опорными пунктами в деле создания научной и производственно-технической литературы, так же как и для всей производственно-технической пропаганды, должны стать научно-исследовательские институты, вузы, передовые „ведущие“ заводы данной отрасли промышленности.“

Комбинация этих трех сил в первую очередь должна обеспечить действительную научную компетентность в выборе тематики и мобилизовать для создания технической литературы все лучшее, что мы имеем из наших технических, научных и технико-педагогических кадров.“

Отсюда и тот интерес, который вызывает к себе состоявшаяся 4 марта с/г. авторская конференция научных работников ВЭИ совместно с представителями редбазы ВЭО и Энергоиздата, на которой присутствовало свыше 40 человек сотрудников ВЭИ—авторов.

Конференция обсудила вопросы организации авторско-редакционной деятельности ВЭИ и увязки ее с работой Энергоиздата.

Помощник директора института т. Прелков в своем докладе охарактеризовал направление и характер редакционно-авторской работы для научных работников института, заострив внимание на следующих моментах:

1. Выпуск серии книг под общим названием „Труды ВЭИ“, Это отдельные большие по объему (порядка 5 и больше печатных листов) носящие законченный характер, научно-исследовательские работы.

2. Сотрудничество на страницах журнала ТЭЭ (Теоретическая экспериментальная электротехника), орган научно-исследовательских институтов и заводских лабораторий ВЭО.

3. Участие в периодической литературе, издаваемой Энергоиздатом: „Электричество“, „Вестник электропромышленности“ и т. д.

4. Непосредственная работа над тематикой и составлением книг для инженерно-технических работников и учебной литературы для вузов и техникумов.

5. Всемерное форсирование сдачи авторами рукописей, серии массово-популярных брошюр „Овладеть техникой электрификации“, издаваемых Энергоиздатом совместно с журналом „Комсомол и электрификация“ в 1932 г., а также необходимость разработки планов и составление брошюр для II серии, несколько выше стоящей в техническом отношении и намеченной к изданию в 1932 г.

6. Участие в общетехнической прессе (газета „Техника“ и др.)

7. Составление аннотаций, рефератов и библиографий, что является особенно важным ввиду необходимости ознакомления широких кругов инженерно-технических работников не только с нашей, но и с мировой электротехнической литературой, так как не все работники имеют возможность непосредственно, по первоисточникам ознакомливаться со всеми выходящими изданиями.

В заключение т. Прелков указал на то, что по ВЭИ на сегодня имеется 259 вполне законченных научных работ для опубликования в печати и вместе с тем ни одна из них пока полного отражения в прессе не получила. В авторской работе ВЭИ нужен коренной сдвиг по пути организации и планирования авторско-редакционной деятельности научных сотрудников института.

Выступивший за ним зав. редбазой ВЭО т. Давидович обратил внимание участников конференции на недостаточное участие работников ВЭИ в журналах ВЭО и, в частности, не-обеспечения материалом журнала ТЭЭ.

Так, в журнале „Вестник электротехники“, издававшемся в 1931 г., из-за неудовлетворительного поступления материала, место отведенное на страницах журнала разделу „Сильные токи“, никогда не могло быть полностью использовано.

Издаваемому же в этом году журналу ТЭЭ грозит опасность срыва выпуска из-за отсутствия материала. Вопросы бесперебойного снабжения этого журнала материалами необходимо придать серьезное значение.

Не лучше обстоит дело и с выпуском серии массово-популярных брошюр. Вначале удалось привлечь внимание авторов института. Были заключены договоры. Сроки сдачи проходят, а поступила лишь пока одна рукопись т. Сазонова—„Коэффициент мощности (косинус фи) и методы его улучшения“.

Творческие силы института, говорит далее т. Давидович, должны быть привлечены для налаживания на заводах выпуска технических страничек, лозунгов, плакатов, наглядных пособий, которые помогли бы рабочим овладеть в совершенстве техникой своего производства. Особое внимание необходимо уделить широкой постановке на страницах нашей технической печати вопросам борьбы за экономическую независимость СССР.

Представитель Энергоиздата т. Смирнов указывает на то обстоятельство, что рост выпуска продукции технической книги и недостаточность авторских кадров заставляют нас отказаться от старых методов вербовки авторских кадров.

Взаимоотношения ВЭИ и энергоиздата должны быть более упорядочены и авторская работа ВЭИ большего творческого коллектива должна получить вполне организованный характер.

Выступавшие авторы указывали, что материалы, подготовленные к печати, долго задерживаются в издательствах, из-за чего зачастую очень ценные работы теряют свою актуальность.

Выплата гонорара производится чрезвычайно неаккуратно. Авторами не получены еще гонорары за 1931 г. В оценке трудов допускается некоторая уравниловка, не учитывающая ценности и затрат, положенных на труд.

Качество выпускаемых изданий далеко не на должной высоте, чертежи печатаются неаккуратно, из-за частых ошибок особенно в математических обозначениях и формулах, статьи теряют в своем качестве. Авторами высказаны пожелания—получать гранки на авторскую корректуру, печатать в издаваемых периодических изданиях статьи дискуссионного характера.

Конференция суммировала свою работу следующими предложениями: 1) представлять заранее в институт план изданий, дабы была возможность проведения своевременной подготовительной работы; 2) авторский актив должен быть организован в оформленные группы по отделам; 3) организовать общественный просмотр наших журналов, в частности журнал „Электричество“; 4) техпропу осветить работу ВЭИ за 1931 г. в прессе; 5) выделить по отделам техкорреспондентов; 6) организовать аннотационную работу; 7) наладить в журн. „Электричество“ отдел критики и библиографии; 8) в журналах предоставить место для печатания краткого изложения „Труды ВЭИ“, которые должны печататься позднее; 9) редакциям журналов составить типовой договор с авторами на статьи для журналов.

Опыт первой авторской конференции ВЭИ весьма удачен и заслуживает перенесения его в другие большие авторские коллективы.



# БИБЛИОГРАФИЯ

## Литература об алюминии

1. G. E. LUKE, **Сопротивление электрических соединений**, "THE ELECTRIC JOURNAL", февраль 1924; A. R. ENGER, **Сопротивление контакта проводников больших сечений**, "THE ELECTRIC JOURNAL", 1924, пер. А. Левитского, под редакцией В. А. Мартынова, изд. ЛОБЭО, 1931.

2. DR. GINSBERG, **Омеднение алюминия для контактов**, "HAUSZEITSCHRIFT DER V. A. W.", № 1, 1930, пер. И. С. Телова, под ред. В. А. Мартынова и В. П. Хачинского, изд. ЛОБЭО, 1931.

Надежный электрический контакт между двумя соприкасающимися проводниками является весьма существенным условием правильного функционирования многих электротехнических конструкций. LUKE и ENGER произвели ряд исследований над электрическими свойствами различных контактов и приводят ряд ценных данных. Следует указать на следующие законы для контактов; падение напряжения в контакте пропорционально идущему через него току; сопротивление контакта между разными материалами различно, причем металлы с низким удельным сопротивлением дают и низкие величины сопротивления контактов; сопротивление контакта не зависит от величины площади контакта<sup>1</sup>, а лишь от усилия, с которым они сжаты, поэтому для достижения хорошего контакта имеет особое значение сила сжатия, а не увеличение поверхностей контактных поверхностей тщательная обработки их. Для очищенных медных поверхностей

$$P \cdot R = \text{const} = 0,000363 \div 0,000725,$$

где  $P$  — сила нажатия в кг, а  $R$  — переходное сопротивление контакта в омах.

Существенное влияние оказывает окисление поверхностей. Испытывались также и пропаянные соединения.

По вопросу об измерении сопротивлений контактов следует сослаться на статью И. С. Телова "Алюминиевый контакт" (перевод из Hauszeitschrift der V. A. W.\* в журнале "Электричество" за 1931 г., в № 16, а также на весьма изящно проведенные измерения переходных сопротивлений медных и чугунных тройников, выполненные руко-

водителем электроизмерительной лаборатории завода "Динамо" О. С. Хаскиным в 1931 г.

Переходное сопротивление алюминиевого контакта часто оказывается ненадежным, так как поверхность алюминия в нормальных условиях всегда бывает покрыта тонким оксидным слоем, представляющим более или менее значительное сопротивление. Поэтому во многих случаях оказывается желательным покрывать контактные поверхности алюминия медью, дающей хороший контакт. Однако получить прочный, надежный и неотслаивающийся слой меди на алюминии — достаточно сложная задача. Ginsberg рекомендует применять для покрытия алюминия медью следующий способ, дающий хорошие результаты: алюминий прежде всего тщательно обезжиривают (промывание в эфире, бензоле, бензине или тому подобных растворителях или же катодным действием в щелочной ванне по патенту фирмы Mix und Genest), промывают в щелочной ванне, в кислотной ванне и в воде и в течение 2 мин. подвергают анодной поляризации при напряжении 60 В и плотности тока 25 А/дм<sup>2</sup> и при расстоянии между электродами 6 см в растворе какой-нибудь органической кислоты (0,5—1,0 грамм-эквивалента на 1 л). Анодная поляризация в этих условиях создает пористый оксидный слой; тонкий слой оксида в местах пробоя при искрообразовании во время поляризации удаляется промыванием в щелочном растворе (23 г углекислого натрия и 45 г двууглекислого натрия на 1 л) при 90—95°C в течение 10—20 сек. и в воде. После этого алюминиевое изделие помещают в медную ванну (10% раствор сернокислой меди) при плотности тока 1 А/дм<sup>2</sup> на 50—60 мм. Получаемый медный покров весьма прочен и может хорошо паяться.

Ввиду важности вопроса об электрическом контакте и, в частности, об алюминиевом контакте в условиях освоения применения алюминия для нужд советской электротехники выпуск этих статей, содержащих ряд ценных практических указаний, ленинградским отделением ВЭО в виде двух брошюр, следует всячески приветствовать. Брошюры, если не считать изобилия опечаток на обложках, изданы опрятно.

Б. Тареев

## Передовую технику электростанций САСШ электростроительству Союза

Инж. А. А. ГЛАЗУНОВ, **Технические заметки о районных электрических станциях САСШ, ГНТИ, 1931 г., 71 стр. с 8 табл. и 12 рис., цен. 90 коп.**

Брошюра написана А. А. Глазуновым в декабре 1930 г. после поездки в САСШ и содержит 4 главы: 1) Новейшие тенденции в питании собственных нужд районных электрических станций в САСШ (22 стр.); 2) Аккумуляторные батареи на электрических станциях и подстанциях САСШ (7 стр.); 3) Масляное хозяйство на станциях и подстанциях САСШ (30 стр.) и 4) К вопросу о применении деревянных опор на линиях электропередач 220 кВ.

В первом разделе автор знакомит советских читателей с теми оригинальными схемами питания собственных нужд, которые не применялись до сих пор в СССР и вообще в Европе. Автор излагает 3 схемы: 1) Станции с "болтающимися" турбогенераторами, питающими лишь самые ответственные нужды и автоматически включающимися в работу уже при самом незначительном падении напряжения (3—4%) на главных шинах. Остальное время они вращаются ("болтаются") вхолостую. У нас это устройство применено на Сталинградской рэс. 2) Станции с турбогенераторами, которые пускаются нажимом кнопки на щите управления уже после аварии при невозможности питать собственные нужды от главных шин. Это устройство применяется лишь при наличии высоконадежной аппаратуры и защиты и параллельной работы данной станции с другими. Но в этом случае наиболее рационально применять 3-ю схему — питание собственных нужд от главных генераторов. Здесь мы видим возвращение к схеме, применявшейся в самом начале развития районных станций, но на более высокой технической основе.

В заключение этого раздела автор, однако, предупреждает от опрометчивого применения американских схем в советских условиях вследствие "невозможности получить на заводах СССР более совершенные (чем хаустурбогенераторы) машины для собственных нужд" (стр. 26). Последняя установка

выражает определенную пассивность в этом вопросе. Автор должен был, наоборот, указывать на необходимость изготовления необходимых машин для скорейшего освобождения от иностранной зависимости, а также выявлять конкретные возможности этого.

Вторая глава касается работы аккумуляторных батарей. Автор приводит схему работы по принципу буферных батарей. Сущность этой схемы заключается в том, что зарядный агрегат включен не на батарею, а постоянно работает параллельно с батареей на шины постоянного тока. При этом уменьшаются размеры батарей и разрядного агрегата и получается ряд других эксплуатационных преимуществ.

Третья глава, наиболее обширная по объему, посвящена масляному хозяйству станций. Автор имел в виду пополнить тот пробел, который имеется в союзной литературе по вопросам масляного хозяйства. В главе собран богатый материал о работе большого количества крупных электрических станций (NEZA), который разбит на следующие параграфы: 1) оборудование маслоочистительных установок, 2) эксплуатация масляного хозяйства, 3) контроль за маслом, 4) схемы маслоочистительных установок.

Четвертый раздел освещает весьма важный с точки зрения нашего электростроительства вопрос о применении и деревянных опор на линиях 220 кВ. Автор излагает опыт работы линии на 220 кВ на деревянных опорах, проложенных еще в 1921 г. в штате Калифорния от гидростанции Pit River. На основании этого опыта автор приходит к выводу, что такие линии вполне применимы в условиях СССР как по техническим, так и по экономическим соображениям.

Кратко изложенная выше работа инж. А. А. Глазунова является ценной и нужной для наших инженеров и техников-электриков.

Мы надеемся, что автор сдержит свое обещание и даст в непродолжительном времени еще несколько обещанных им в предисловии статей.

М. Грановская

<sup>1</sup> Это утверждение может быть принято лишь с большой оговоркой.

## О селективной защите

Инж. М. ВААЛТЕР. **Устройства селективной защиты для установок высокого напряжения**, авторизованный перевод с немецкого инж. Е. Л. Вайсмана и С. А. Терешковича, Гостехиздат Украины, 1931, 140 стр., ц. 1 р. 20 к

Автор книги поставил себе задачу в сжатом виде изложить принципы устройств селективной защиты и дать руководящие указания для проектирования защиты и расчета токов коротких замыканий и замыканий на землю. Сообразуясь с направлением развития техники селективной защиты, он сосредоточил главное внимание на дистанционной защите с некоторым ущербом другому важному принципу селективной защиты, которому придается исключительное значение в Америке,—дифференциальному.

Как представитель крупной европейской фирмы автор ограничил свое рассмотрение вопроса европейской и, главным образом, немецкой практикой, что особенно отразилось на трактовке вопроса о замыкании на землю. В сжатой, почти конспективной форме дается изложение в гл. 13 принципов устройства и работы дистанционной защиты, необходимых элементарных расчетов для выбора характеристик реле, требований к трансформаторам тока и напряжений, влияния колебаний в сети при коротких замыканиях, указания для выбора типа расщепления и ряд других более мелких вопросов.

В гл. С и Д даются краткие указания для расчета токов коротких замыканий применительно к методу, принятому в новых немецких нормах. Даны облегчающие первый расчет средние цифры и номограммы необходимых параметров машин и меди, и все это подкреплено практическими примерами расчета и проектирования селективной защиты.

Автор совершенно не остановился на расчете токов коротких замыканий методом симметрических составляющих, имеющим особо большое значение для целей защиты.

Точно так же автор не останавливается на вопросах сочетания фаз тока и напряжения, подводимых к дистанционному реле, и на вопросе о действительно измеряемом омметром реле импедансе или реактансе в зависимости от рода и местоположения короткого замыкания, параметров сети; совершенно кратко изложены другие принципы селективной защиты и принципы защиты отдельных элементов сети—генераторов, трансформаторов, сборных шин, воздушных линий и т. д.

В гл. К приведены данные в виде номограммы и приближенной формулы Петерсена для определения тока замыкания на землю и изложены основные принципы защиты от замыканий на землю.

В качестве дополнения в книжке дан перевод последних германских норм по расчету токов коротких замыканий.

Основным недостатком книги следует считать совершенное игнорирование передовых достижений американской техники, делающей в последнее время шаги к быстродействию и чувствительности селективной защиты.

Книгу можно рекомендовать в качестве материала для студентов и для всех, впервые знакомящихся с проблемой селективной защиты.

К сожалению, перевод и редакция не везде стоят на высоте положения. Наряду со значительным количеством опечаток введен ряд сомнительных терминов и оборотов, например: „побуждающий ток“, „ординарная линия“, „земляной провод“ и др.

Для выбора сечения кабелей по плотности тока следовало бы дать нормы—таблицу, предписанную в СССР, а не немецкие данные.

Внешне книга издана удовлетворительно при невысокой цене.

П. В.

## Нужна советская литература о реле

**Реле и их применение для защиты электрических установок.** Инж. Н. Д. ИВАЩЕНКО, Гиз, 1929

Наша электротехническая литература весьма бедна трудами, посвященными специально описанию и методам расчета реле и схем защиты.

Принимая это во внимание, необходимо приветствовать появление у нас оригинальной работы инж. Иващенко „Реле и их применение для защиты электрических установок“, которая является одной из первых книг в этой области на русском языке. Книга состоит из 5 частей: 1) Введение. 2) Типы реле. 3) Применение реле для защиты электрических установок от аварий (защита генераторов, трансформаторов, моторов, преобразователей, сетей), 4) Испытание реле и уход за ними, 5) Примеры применения реле для защиты установок.

В конце книги даны 3 приложения: 1) Данные по затуханию токов короткого замыкания, 2) Расчет отходящих фидеров по току короткого замыкания и выдержке времени реле. 3) Таблица систем защиты от токов короткого замыкания и замыкания.

К достоинствам рецензируемой книги необходимо отнести: 1) систематичность изложения, 2) весьма доступную и легко усвояемую форму изложения. Указанные качества делают книгу весьма полезной для студентов вузов и техникумов.

Переходя к материалам, даваемым книгой, необходимо иметь в виду чрезвычайно быстрое развитие области селективной защиты от сверхтоков и заземлений станций, подстанций и сетей и все более жесткие требования, предъявляемые к ней эксплуатацией в области достижения возможно полной селективности и скорости отключения поврежденных элементов системы.

Рассматриваемая работа была выпущена в 1929 г., и значительную часть помещенных в ней материалов как в части самих реле, так и в части схем защит и их испытаний необходимо признать в настоящее время в достаточной мере устарелой и неполной.

При разборе типов реле бросается в глаза отсутствие весьма распространенных в настоящее время максимальных мгновенных реле Siemens-Halske типа RA, ограничение зависимых реле  $\Delta$  ASEA, высокочувствительных реле направления энергии (Siemens-Halske); почти полное отсутствие последних типов дистанционных реле реактансного и импедансного типов ( $\Delta$  Siemens-Halske, BBC, Oerlikon, P. Майер, быстродействующее реле GEC и Westinghouse); отсутствие последних типов дифференциальных реле с удерживающими катушками, новых

термических реле для защиты моторов и ряда вспомогательных реле, весьма важных для проектирования схем защиты.

При разборе схем защиты не приведены наиболее употребительные теперь схемы защиты генераторов от замыканий на корпус (AEG, BBC, Siemens-Schuckert) с необходимым критическим их анализом и примерными методами расчета, в настоящее время в достаточной мере разработанными.

Отсутствует четкая установка о величинах допустимых токов замыкания на корпус генераторов. Не рассмотрены защиты генераторов от неправильной синхронизации с помощью реле синхронизации (синхронизаторов), выпускаемых в настоящее время большинством электротехнических фирм. Отсутствует рассмотрение способов тушения пожаров в генераторах. Не рассмотрены защиты весьма распространенных в настоящее время трансформаторов, имеющих регулировку напряжения под нагрузкой. Отсутствует рассмотрение защиты часто устанавливаемых для собственных нужд электрических станций моторов с короткозамкнутыми роторами.

В части защиты сетей из книги выпали методы расчета дистанционных защит и наиболее употребительные схемы их включения. Отсутствуют распространенные в настоящее время балансные и восьмерочные защиты, схемы защиты коротких участков линий с помощью реле Transley Metro-Vickers и т. д.

В разделе испытаний реле хотелось бы видеть методы испытаний схем защит, наиболее употребительных сейчас. В разделе применения реле обязательно следовало бы дать выполненные нашими электростанциями схемы защиты и результаты их проверки в работе, что в рецензируемой книге почти отсутствует.

Необходим полный учет советского опыта в области работы реле на крупных электростанциях и подстанциях и необходимо выдвижение вопроса о немедленной постановке собственного широкого производства реле для освобождения нашего электр. хозяйства от иностранной зависимости и от импорта и на этом весьма важном участке. Необходимо также указать на желательность выполнения схем с условными обозначениями, принятыми сейчас большинством наших крупных эксплуатирующих организаций.

В случае переиздания книги нужно ее дополнить и переработать в указанном направлении, чтобы книга отвечала развитию селективной защиты к настоящему времени.

Владельцев



2-й пример. Значения те же, но  $\cos \varphi = 0,8$ .

$$U_0 = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot 250^2 - 0,5 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,59\right)^2 - 0,5^2 \cdot 2^2 \cdot 10^8 \cdot 0,35} + 2,535 \cdot 10^4} = 223,5 \text{ V.}$$

$$E = 10,5\%.$$

$$E = 12\%.$$

По формуле (1)

$$E = \frac{20\,000 \cdot 500}{0,57 \cdot 250^2 \cdot 500,8} = 7\%.$$

По вышеуказанной формуле (1) имеем

$$E = \frac{20\,000 \cdot 500}{0,57 \cdot 250^2 \cdot 500,7} = 8\%.$$

Разница уже 50%.

3-й пример.  $\cos \varphi = 0,7$ . Остальные величины прежние, т. е. ошибка достигает 50%.

$$U_0 = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot 250^2 - 0,5 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,67\right)^2 - 0,5^2 \cdot 2^2 \cdot 10^8 \cdot 0,45} + 2,455 \cdot 10^4} = 219,5 \text{ V.}$$

К. И. Пяртман

### 35. Суровые импульсные испытания трансформаторов. El. Eng., октябрь, 1931, стр. 823.

В 1931 г. в лаборатории Westinghouse подвергались испытанию четыре однофазных трансформатора на 220 kV по 42 000 kVA каждый. Трансформаторы новой конструкции, нерезонирующие, высокой электрической прочности, а потому „нечувствительные к перенапряжениям“ („Surge proof“). Каждый трансформатор был защищен искровым промежутком в 64 дюйма (162,6 см) и присоединен к генератору импульсов посредством короткой линии, подвешенной на гирлянде из 14 изолирующих элементов.

Назначение трансформаторов обусловило весьма тяжелый режим испытаний, заключавшийся в следующем: 1) посылается ряд импульсов с большой длиной волны, напряжение которых постепенно повышается, вплоть до пробоя защитного промежутка; 2) искровой промежуток удален, и напряжение повышается до перекрытия гирлянды из 14 изоляторов (напряжение порядка 1300 kV); 3) гирлянда заменена другой, состоящей из 21 элемента, напряжение повышается до перекрытия ввода трансформатора.

С целью воспроизвести явления прямого удара молнии к трансформатору был приложен импульс, имеющий максимум, соответствующий перекрывающему напряжению ввода, и крутизну фронта порядка 13 000 kV/μs (наибольшая крутизна фронта при прямых ударах молнии, по последним измерениям Pittman и Тогок — 4000 kV/μs).

При всех испытаниях в изоляции трансформаторов не было обнаружено никаких признаков расстройства. После импульсных испытаний, трансформаторы были подвергнуты обычным испытаниям на электрическую прочность по нормам AIEE, которые окончательно подтвердили полную сохранность изоляции.

О. Тихий

### 36. J. E. CLEM, Реактансы линий, с землей в качестве обратного провода. El. Engineering, ноябрь, 1931, стр. 868—871.

При замыкании на землю линии с заземленной нейтралью, для определения величины тока необходимо знать полное сопротивление цепи фаза-земля.

На рис. 1 представлена схема линии при замыкании на землю всех проводов.

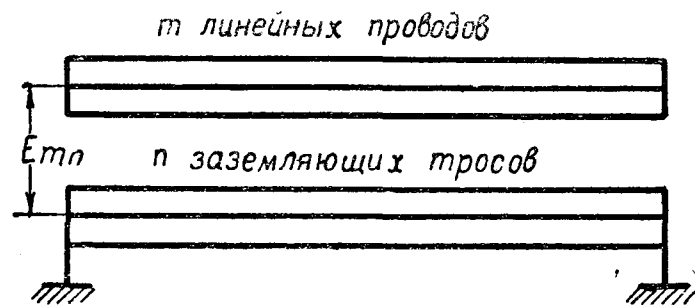


Рис. 1.

Для определения полного сопротивления этой цепи автором выведено уравнение:

$$\frac{E_{mn}}{I} = Z_{mn} = Z_{wg} - \frac{I_0}{I} M_{ow} - \frac{m-L}{2m} \cdot Z_{ow}$$

где  $M_{ow} = \frac{Z_{wg} + Z_{og} - Z_{ow}}{2}$ ,  $E_{mn}$  — приложенное напряже-

ние,  $m$  — число проводов линии,  $n$  — число заземляющих тросов  $g$  — индекс „земля“,  $o$  — индекс „заземляющий трос“,  $w$  — индекс „линейный провод“,  $I$  — ток соответственно индексам, (отсутствие индексов указывает на полный ток),  $Z$  — полное сопротивление соответственно индексам,  $M$  — сопротивление, определяемое взаимной индукцией.

При выводе этого уравнения предполагалось, что провод линии транспонирован и ток распространяется в земле так, что его действие на провода и заземляющие тросы такое, как если бы они находились в горизонтальной плоскости.

Уравнение для тока в заземляющих тросах может быть выведено, исходя из того, что падение напряжения в земле от генератора до места замыкания должно быть равно падению напряжения в заземляющем тросе на том же участке. Это уравнение имеет вид:

$$\frac{I_0}{I} = \frac{M_{ow}}{Z_{og} - \frac{n-L}{2n} \cdot Z_{oo}}$$

Проверка этих выражений, произведенная на четырех линиях заземляющим тросом и без него, показала отклонение от действительности лишь на несколько процентов.

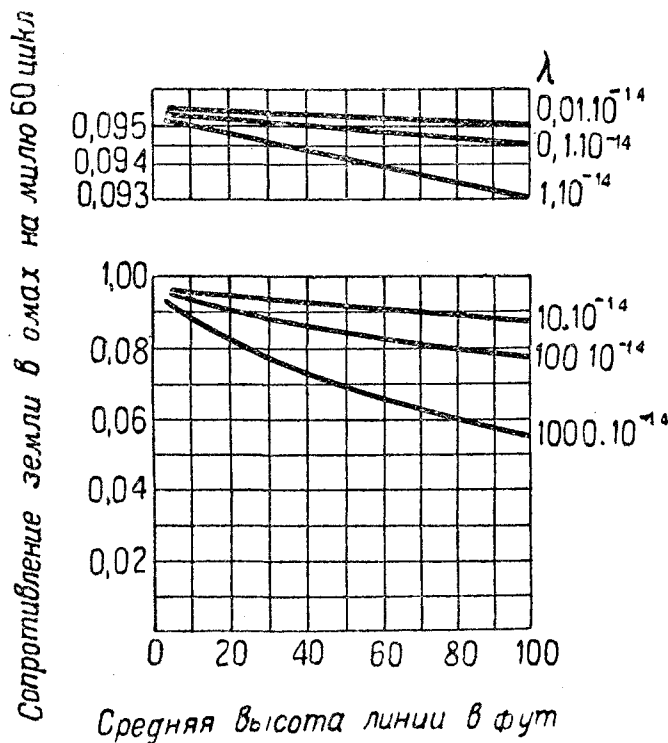


Рис. 2.

Для применения выведенных формул необходимо знать полное сопротивление земли (как обратного провода). Последнее, т. е.  $Z_g$ , зависит по Carson от проводимости земли, расстояния от провода до его зеркального изображения относительно поверхности земли и от частоты. Достаточно точные результаты могут быть получены из кривых рис. 2 и 3, построенных по формулам Carson, несколько упрощенным. Для

определения полного сопротивления линии с землей в качестве обратного провода, не нужно точно знать проводимость земли. Так, ошибка в 1000% (10 к 1) в величине проводимости земли вызовет при определении реактивного сопротивления земли ошибку лишь в 30%, которая значительно умень-

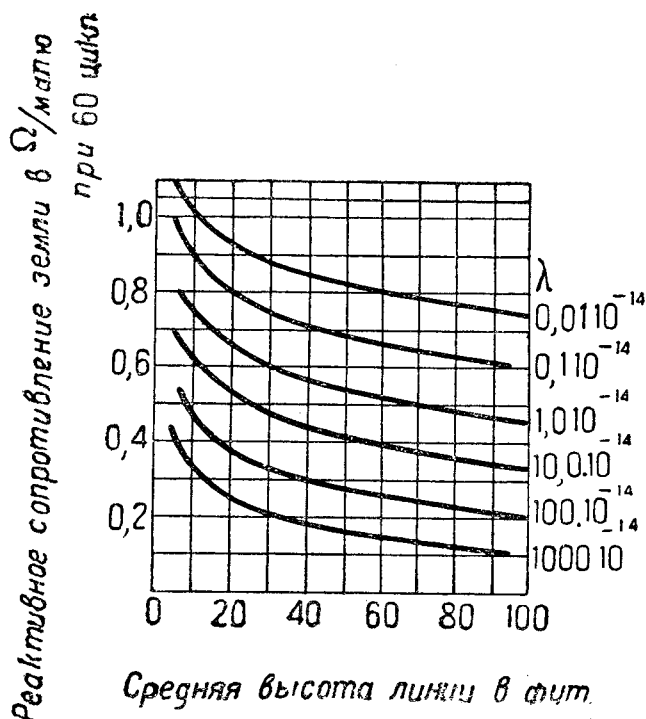


Рис. 3

шится (относительно) при учете реактивности линии, трансформатора и генератора. Если частота отличается от 60 периодов, полученные из кривых рис. 2 и 3 значения следует умножить на отношение действительной частоты к 60.

Д. Казарновский

37. А. А. BÖLSTERLI, **Сжатый газ, как изоляция высоковольтной аппаратуры**, *ETZ*, № 45, 1931, стр. 1386.

Автор дает в кратком введении исторический обзор развития вопроса изолирования с помощью сжатого газа и далее переходит к физическим свойствам этой изоляции. Преимущества газа как изолирующего материала: в отношении воспламеняемости сжатый газ представляет собой наиболее совершенный диэлектрик; диэлектрические потери в твердых диэлектриках, окруженных средой сжатого газа, в значительной степени меньше зависят от температуры; по абсолютной величине изоляция с помощью сжатого газа может выдерживать по сравнению с маслом большие градиенты; конденсаторы с диэлектрическим сжатым газом имеют большую точность и неизменность величины своей емкости. Вопросы охлаждения решаются столь же удовлетворительно, как это имеет место при масляной изоляции.

Переходя к слабым местам изоляции с помощью сжатого газа, автор указывает на наличие хороших уплотнений и возможность взрыва аппарата. Эту сторону автор иллюстрирует данными своего 12-летнего опыта; вводы за такой длительный промежуток не дали никакой потери газа. Опасность взрыва аппарата автор видит не столько в химическом составе данного газа (азот, водород и т. д.), а в том, что при возникновении дуги между токоведущей частью и кожухом аппарата произойдет быстрое разрывание стенки в месте ее прогара.

Вопросу изоляции с помощью сжатого газа надо уделить больше внимания, так как трудности его применения не столь велики и непреодолимы, о чем свидетельствует опыт работ Bölsterli.

К. Стефанов

38. Е. ДОБРЕР и К. ГУБИЕВ (СЕВКАБЕЛЬ). **Еще о стале-алюминиевых проводах.**

В этой статье мы рассмотрим электромагнитные явления, возникающие в стале-алюминиевых проводах, при расположе-

нии стали в центре провода и снаружи. Как увидим ниже, эти явления играют большую роль при оценке конструкций стале (железо)-алюминиевых проводов для линий передач электрической энергии. Приведенный в статье инж. Иогансона (журнал *„Электричество“*, № 10, 1931), расчет провода с расположением стали снаружи, затрагивает только механическую сторону конструкции и ни в коей мере — электромагнитные явления, возникающие в проводе при прохождении по нему тока.

При прохождении переменного тока по проводнику в нем, как известно, появляются добавочные потери, вследствие токов фуко, скин-эффекта и потерь, возникающих при применении стали или железа из-за продольного его намагничивания.

Потери, возникающие вследствие токов фуко и скин-эффекта, мы не будем рассматривать, считая их достаточно освещенными в литературе и менее важными, а перейдем к рассмотрению третьего случая потерь, вызываемых присутствием в проводнике стали (железа).

1 вариант [сталь (железо) в центре провода].

Можно считать, что ток течет по отдельным проволокам ввиду большого переходного сопротивления между ними, что объясняется способностью алюминия сильно окисляться на воздухе. Вследствие того что алюминиевые проволоки скручены с некоторым шагом вдоль оси провода, мы получаем как бы катушку с витками, намотанными вокруг сердечника, чем является в данном случае жила, скрученная из стальных проволок. Продольные составляющие силовых линий магнитного поля, создаваемого током в алюминиевых проволоках, обуславливают намагничивание стальной жилы провода и, следовательно, потери в нем. В случае конструкции провода из двух повивов алюминиевых проволок, скрученных в обратные стороны — вправо (влево) и влево (вправо) — можно достигнуть почти полной компенсации продольных составляющих и тем самым свести потери в стали (железе) к минимуму.

При детальном теоретическом рассмотрении этого вопроса оказывается, что условие минимума потерь будет выполнено в том случае, если отношение величин шагов скрутки обоих повивов будет равно отношению числа проводов в этих же повивах, т. е.

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

где  $S_1$  — шаг 1-го повива,  
 $S_2$  — „ 2-го повива,  
 $n_1$  — число проволок 1-го повива,  
 $n_2$  — „ 2-го „

В увеличенном виде представим себе алюминиевые проволоки идущими параллельно оси провода, что соответствует бесконечно-большому шагу скрутки. В этом случае магнитное поле будет перпендикулярно оси провода, следовательно, продольные составляющие исчезнут, а поперечные составляющие, создаваемые током отдельных проволок, будут ослаблять свое действие, так как направлены в противоположные стороны. Картина явления представлена на рис. 1.

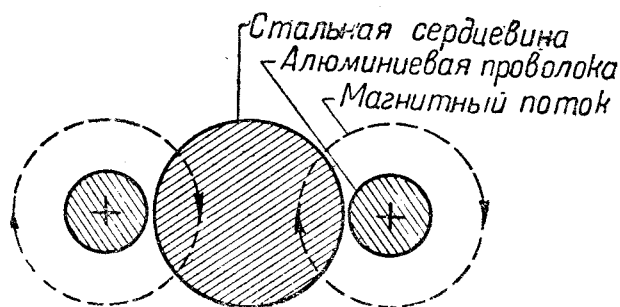


Рис. 1. 1. Стальная сердцевина.  
 2. Магнитный поток.  
 3. Алюминиевая проволока.

II вариант [сталь (железо) снаружи].

В этом случае стальные (железные) проволоки, расположенные снаружи, представляют замкнутую магнитную цепь. Магнитный поток, создаваемый током, текущим в алюминиевой жиле, полностью будет замыкаться в этой цепи, и следовательно, потери в стали (железе) будут максимальными. Эту картину явлений дает рис. 2.

Приведенные рассуждения полностью подтверждаются непосредственными измерениями дополнительного сопротивления в

проводах с различными расположениями в них стали (железа), произведенными в электротехнической лаборатории завода „Севкабель“.

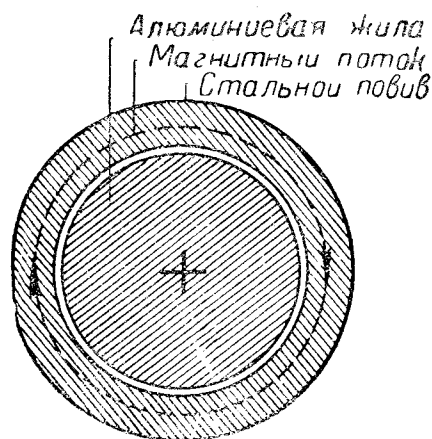


Рис. 2. 1. Стальной повод.  
2. Магнитный поток.  
3. Алюминиевая жила.

Измерения дали следующие результаты:

Таблица 1.

| Сила тока<br>в амперах | Сопротивление<br>при постоянном<br>токе<br>в $\Omega/\text{км}$ | I-й вариант                                         |                           | II-й вариант                                        |                           |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|
|                        |                                                                 | Сопр.<br>при перем.<br>токе<br>в $\Omega/\text{км}$ | Увелич.<br>сопрот.<br>в % | Сопр. при<br>перем.<br>токе в<br>$\Omega/\text{км}$ | Увелич.<br>сопрот.<br>в % |
| 200                    | 0,0464                                                          | 0,0512                                              | 10,3                      | 0,544                                               | 1 070                     |
| 400                    | 0,0465                                                          | 0,0500                                              | 7,0                       | 0,32                                                | 600                       |

Испытанию подверглись стале(железо)-алюминиевые провода, изготовленные по обоим вариантам. Отношение сечений алюминия к стали (железу) бралось в обоих случаях одинаковым.

Сравнивая оба варианта стале(железо)-алюминиевых проводов, мы видим, что при расположении стали (железа) в центре сопротивление переменному току по сравнению с сопротивлением при постоянном токе, а следовательно и потери увеличиваются всего на 7—10%.

При расположении стали (железа) снаружи сопротивление при переменном токе, а следовательно и потери увеличиваются на 600—1 000%, или в десять раз.

Таким образом надо признать абсолютную непригодность для передачи электрической энергии, провода с расположением стали снаружи.

## Электрификация транспорта

39. SCHREINER, Электрические моторные вагоны норвежских государственных железных дорог, *El. Bahnen*. Декабрь, 1931 стр. 337—340.

До сих пор на электрифицированных норвежских государственных дорогах применялись для тяги поездов исключительно электровозы, однако выяснилось, что для ряда линий более целесообразно применение моторных вагонов, которые и были введены на участке Осло-Драммен-Консберг. На этом участке, как вообще на норвежских государственных дорогах, принят однофазный ток при напряжении в контактном проводе около 15 кВ (при 16  $\frac{2}{3}$  пер/сек). На участке имеются затяжные под'емы до 14%.

Для того чтобы вагоны имели возможно большую полезную площадь, оборудование расположено, главным образом, под вагоном. В вагоне выделена только небольшая часть площади, около 1,3 м<sup>2</sup>, для контакторов.

Моторные вагоны обращаются поодиночке или же с одним-двумя прицепными вагонами (четырёхосными пассажирскими). Средний суточный пробег моторного вагона . . . . . 360 км.

Основные данные вагонов таковы:

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| Длина по буферам . . . . .                              | 20 600 mm |
| База моторной тележки . . . . .                         | 2 750 „   |
| „ холостой . . . . .                                    | 2 300 „   |
| Расстояние между шкворнями . . . . .                    | 14 400 „  |
| Диаметр колес . . . . .                                 | 970 „     |
| Ширина кузова . . . . .                                 | 3 100 „   |
| Высота крыши вагона над головкой рельса . . . . .       | 3 905 „   |
| Число мест для сидения . . . . .                        | 77 „      |
| Вес механической части при новых бандажах . . . . .     | 28 200 kg |
| Вес электрической части . . . . .                       | 14 500 „  |
| Общий вес порожнего вагона при новых бандажах . . . . . | 42 700 „  |
| Наибольшая скорость . . . . .                           | 70 km/h   |
| Автоматический тормоз системы Гарди (вакуумный).        |           |

Моторная тележка оборудована двумя двигателями трамвайного типа. Каждый двигатель приводит в движение ось посредством односторонней зубчатой передачи. Тележки снабжены изотермическими буксами. На моторной тележке имеется 4 песочницы, работающих сжатым воздухом.

Кузов вагона—деревянный. Стремилась сделать вагон легким и придать ему привлекательный внешний вид. Пассажирские сидения „перекидного“ типа; под ними расположены 26 электрических печей общей мощностью 18 kW. Отопительную цепь питает главный трансформатор при напряжении в 1 000 V. Так как имеющиеся электровозы и вагоны линии Осло-Драммен в свое время были оборудованы отоплением, рассчитанным на 500 V, то при постройке моторных вагонов предусмотрели возможность переключения их отопительных устройств также и на это напряжение. Осветительная цепь питается переменным током при 16  $\frac{2}{3}$  пер/сек от 200 V клемм силового трансформатора через отдельный небольшой трансформатор 200/12 V. В качестве резерва установлена аккумуляторная батарея, заряжающаяся от стационарных преобразователей.

Управление вагонов—по системе „многих единиц“. С этой целью вагоны снабжены 22-жильным сквозным кабелем управления (одна из 22 жил — запасная).

Пантограф снабжен двумя лыжами, рабочая высота которых 4 500 ÷ 5 500 mm над головкой рельсов. Вес его 270 kg.

В целях лучшего использования места для пассажиров и обеспечения их безопасности отказались от масляных выключателей высокого напряжения. Защитой от коротких замыканий в трансформаторе или в первичной цепи служит расположенный на крыше вагона „роговидный“ предохранитель с плавкими вставками.

Трансформатор выполнен как автотрансформатор мощностью в 340 kVA и имеет 9 ступеней напряжения для моторов, две ступени для отопления: 500 и 1 000 V и одну клемму для вспомогательного тока—200 V. Охлаждение трансформатора естественное.

Напряжение моторов регулируется при помощи установленных внутри вагона девяти ступенчатых контакторов. Контактory рассчитаны на 1 000 A и 500 V и снабжены блокировкой, обеспечивающей правильность включения.

Обращено особое внимание на звуковую изоляцию аппаратного помещения; причем для этой цели с успехом применены свинцовые пластины и войлок.

Реверсор помещается под вагоном вблизи моторной тележки и управляется электропневматически. В случае аварии пострадавший мотор может быть отключен машинистом с помощью отключателя моторов.

Часовая мощность каждого тягового мотора—175 kW при 960 об/мин и длительная—140 kW при 1 120 об/мин. Нормальное напряжение 300 V.

Мотор восьмиполосный, сернистый, со специальной компенсационной обмоткой. Якорь вращается в роликовых подшипниках. Мотор самовентилирующийся, причем вентилятор насажен на стороне коллектора. Теплый воздух выбрасывается наружу через подшипниковый щит. Чтобы избежать всасывания пыли и песка, особенно при торможении, охлаждающий воздух подводится к моторам по особым воздушным каналам сверху через стены.

Подвеска мотора—трамвайного типа. Отношение зубчатой передачи  $\frac{67}{17}$ . Закаленная отшлифованная малая зубчатка наглухо насажена на коническом конце вала. Большое зубчатое колесо, изготовленное из лучшей хромоникелевой стали, имеет пружинящий элемент.

Вспомогательных машин две: мотор-компрессор, дающий сжатый воздух для пневматического управления, и вакуумный насос (с электрическим приводом).



Вагоны управляются одним человеком и потому оборудованы „рукояткой мертвого человека“.

При пробной эксплуатации пройдено 45 000 km, причем обнаружился только один недостаток: цинковые плавкие вставки роговидного предохранителя оказались ненадежными; вместо них применили серебряную проволоку.

В. Козоралов

**40. L. РАНН. Электрификация швейцарских железных дорог, электровозы.** „L'industrie électrique“, № 947, 1931, стр. 537—548.

На узкоколейных линиях швейцарских железных дорог находится в эксплуатации 511 локомотивов (паровых и электрических) и моторных вагонов и, кроме того, 116 машин для комбинированных дорог. На железных дорогах с трением преобладают моторные вагоны, на зубчатых дорогах—локомотивы. На железных дорогах нормальной колеи в 1928 г. было 684 паровоза и 514 электровоза и моторных вагонов. Из числа всех паровозов 140—маневровые, а 504 единицы электрического подвижного состава эквивалентны 750 паровозам, что показывает доминирующее значение электрической тяги.

Большое число типов электровозов объясняется тем, что электровозы строили различные заводы, а также тем, что характер профиля швейцарских железных дорог требует, по меньшей мере, трех типов машин: 1) тяжелых пассажирских электровозов с 4÷6 осями для линий с тяжелым профилем, 2) более легких пассажирских электровозов с 3÷4 осями для равнинных линий и 3) тяжелых мощных товарных локомотивов для дорог обоих типов. Прилагаемая таблица дает типы применяемых электровозов. Обозначения серии следующие: первая буква указывает максимальную скорость (А соответствует скорости 90÷100 km/h, В—75 km/h, С—65 km/h, D—45 km/h, Е—маневровые); вторая буква (е) указывает, что локомотив—электрический (électrique).

Дробь дает отношение числа сцепных осей к общему числу осей. Обозначения фирм: SLM—заводы „Винтертур“, SAAS—заводы „Сешерон“, BBC—Броун-Бовери и MFO—Эрликон.

Машины Be-<sup>4</sup>/<sub>6</sub> и Be-<sup>4</sup>/<sub>7</sub> для пассажирских поездов работают на линиях с тяжелым профилем (например, С.-Готтард 27 ‰). Электровозы Ae-<sup>3</sup>/<sub>5</sub>, Ae-<sup>3</sup>/<sub>6</sub>—пассажирские—работают на равнинных линиях для поездов весом до 500 т. Для экспрессов применяются электровозы Ae-<sup>4</sup>/<sub>7</sub> с часовой скоростью 65 km/h. Машины Ce-<sup>6</sup>/<sub>8</sub> на С.-Готтардской ж. д. возят товарные поезда весом в 430 т на подъеме в 27 ‰, и поезда весом в 1400 т на равнинном профиле дороги Bâle-Berne.

Заказывая локомотив, железные дороги обычно задают только мощность, максимальный вес на ось (18÷19 t) и вес на погонный метр длины. Остальные вопросы разрешаются заводом, что отчасти и объясняет большое число конструкций электровозов.

Все электровозы можно разделить на 2 группы.

1. Электровозы с групповым приводом. Во всех таких локомотивах мотор или два мотора-близнеца работают на большое зубчатое колесо. Вращающий момент передается с последнего на сцепные оси или при помощи шатунного треугольника или непосредственно шатунами без кулисы.

Роль отбойного (холостого) вала играет здесь большое зубчатое колесо. В товарных электровозах применена или передача с отбойным валом, соединенным шатуном с большим зубчатым колесом, как в старых машинах Ce-<sup>6</sup>/<sub>8</sub>, или же передача с шатуном, работающим на шатунный треугольник, соединенный с двумя сцепными осями.

2. Электровозы с индивидуальным приводом различаются по типам примененных передач. Наибольшим распространением пользуется система передачи BBC (типа Бухли) и Westinghouse (пружинная). Система передачи Tshanz (карданные соединения) сейчас почти не применяются из-за большой ее сложности.

Переходя к ходовым частям электровозов, надо отметить, что ввиду большого количества кривых на вписывание электровозов в кривые было обращено большое внимание. Все пассажирские электровозы имеют с одного конца бегунковую двухосную тележку, а с другого—одну бегунковую ось. Применение бисселя с двух концов в электровозах с большими скоростями дало неблагоприятные результаты, почему такая конструкция употребляется только в товарных локомотивах. На электровозах типа Ae-<sup>4</sup>/<sub>7</sub> применена, с одной стороны, тележка, составленная из одной бегунковой и одной ведущей осей, что дает возможность радиального перемещения последней и облегчает вписывание в кривые.

Из электрического оборудования электровозов надо отметить следующие части: 1) масляник (тип которого стандартизирован в 1925 г.) на разрывную мощность 37 500 kW (2 500 А), нормально разрывающий 3 000 kW (15 000 V·200 А), 2) секционированный трансформатор (рис. 24) 15 000/800÷1 000 V для моторов и, кроме того, 220 V для вспомогательных цепей. Сложность конструкции такого трансформатора объясняется чрезвычайно большими токами на стороне низкого напряжения (до 7 000 А). Охлаждение трансформатора—масляное, с принудительной или естественной циркуляцией масла, или вентилирующим воздухом. Относительно тяговых однофазных моторов (коллекторные серийные) надо отметить тенденцию

Типы электровозов

Таблица 1

| С е р и я                                        | Т и п                               | Максимальная скорость km/h | Количество | Фирма-строитель      |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------|----------------------|
| Ae- <sup>3</sup> / <sub>5</sub> I . . . . .      | 1C <sub>0</sub> 1                   | 90                         | 26         | SLM и SAAS           |
| Ae- <sup>3</sup> / <sub>6</sub> I . . . . .      | 2C <sub>0</sub> 1                   | 90                         | 114        | SLM, BBC, MFO и SAAS |
| Ae- <sup>3</sup> / <sub>6</sub> II . . . . .     | 2C1                                 | 90                         | 60         | SLM и MFO            |
| Ae- <sup>3</sup> / <sub>6</sub> III . . . . .    | 2C <sub>0</sub> 1                   | 90                         | 11         | SLM и SAAS           |
| Ae- <sup>4</sup> / <sub>3</sub> . . . . .        | 1B <sub>0</sub> 1 1B <sub>0</sub> 1 | 90                         | 1          | SLM и BBC            |
| Ae- <sup>4</sup> / <sub>7</sub> . . . . .        | 2D <sub>0</sub> 1                   | 100                        | 42         | SLM, BBC, MFO и SAAS |
| Итого . . . 254                                  |                                     |                            |            |                      |
| Be- <sup>3</sup> / <sub>5</sub> I . . . . .      | 1C1                                 | 75                         | 1          | SLM и MFO            |
| Be- <sup>4</sup> / <sub>6</sub> I . . . . .      | 1B-B1                               | 75                         | 42         | SLM и BBC (1MFO)     |
| Be- <sup>4</sup> / <sub>7</sub> I . . . . .      | 1B <sub>0</sub> 1-B <sub>0</sub> 1  | 75                         | 6          | SLM и SAAS           |
| Итого . . . 49                                   |                                     |                            |            |                      |
| Ce- <sup>6</sup> / <sub>8</sub> I и II . . . . . | 1C-C1                               | 65                         | 34         | SLM и MFO (1BBC)     |
| Ce- <sup>6</sup> / <sub>8</sub> III . . . . .    | 1C-C1                               | 65                         | 18         | SLM и MFO            |
| Итого . . . 52                                   |                                     |                            |            |                      |
| De- <sup>6</sup> / <sub>8</sub> . . . . .        | C-C                                 | 45                         | 3          | SLM и BBC            |
| Ee- <sup>3</sup> / <sub>4</sub> . . . . .        | 1C                                  | 40                         | 2          | SLM и BBC            |
| Ee- <sup>2</sup> / <sub>2</sub> . . . . .        | B                                   | 40                         | 5          | SLM и SAAS           |
| Ee- <sup>3</sup> / <sub>3</sub> . . . . .        | C                                   | 40                         | 16         | SLM и BBC            |
| Итого . . . 26                                   |                                     |                            |            |                      |

к увеличению числа полюсов, что значительно повышает мощность на полюс и применение исключительно естественной вентиляции (моторы открытого типа).

На линиях с большими уклонами применяется электрическое торможение: 1) экстренное регенеративное по системе Оерликоп'а с независимым возбуждением, 2) регенеративное торможение по системе ВВС с трансформатором фаз и 3) торможение на сопротивление.

Моторных вагонов на швейцарских железных дорогах находится в эксплуатации: 19—типа  $\text{Ce-}4/6$ , мощностью 800 л. с. (рис. 26), 24—типа  $\text{Fe-}4/4$ , мощностью 1000 л. с. (товарные) и 2 вагона  $\text{Ce-}4/4$ , 500 л. с. Каждый из этих типов оборудован четырьмя моторами. Управление производится с помощью электропневматических контакторов. Поезд составляется обычно из одного моторного вагона и 6 прицепных. В поездах реверсивных в конце поезда ставится вагон, из которого может производиться управление. В случае надобности можно соединить две таких единицы, составив поезд из 14 вагонов.

Иоффе

## Реле и измерительные приборы

Новый высоковольтный вольтметр, „Е„ и „М“ № 44, 1931 г., стр. 355—356

Принцип, положенный в основу авторами прибора W. M. Thornton, M. Waters и W. G. Thompson, заключается в следующем: вблизи поверхности проводников, находящихся под высоким потенциалом, имеет место „электрический ветер“—движение ионов. Это явление при постоянном и переменном токах принципиально не различается. Прибор состоит из шара диаметром 25 см, укрепленного в верхней части трубы (диаметром 90 см и длиной 38 см, сделанной из изолирующего материала). Второй полюс прибора заземлен и состоит из тонкой проволоки, навитой спиралью (сплавов платины и золота), с сопротивлением в 4  $\Omega$ . Эта проволока включена в плечо моста Уитстона и поддерживается в слабонакаленном состоянии от батареи моста (0,4 А). При выключенном высоком напряжении мост находится в равновесии. После включения напряжения „электрический ветер“ охлаждает накаленную нить, нарушает равновесие моста, и гальванометр отклоняется. На рис. 1 дана схема прибора, иллюстрирующая вышеописанное.

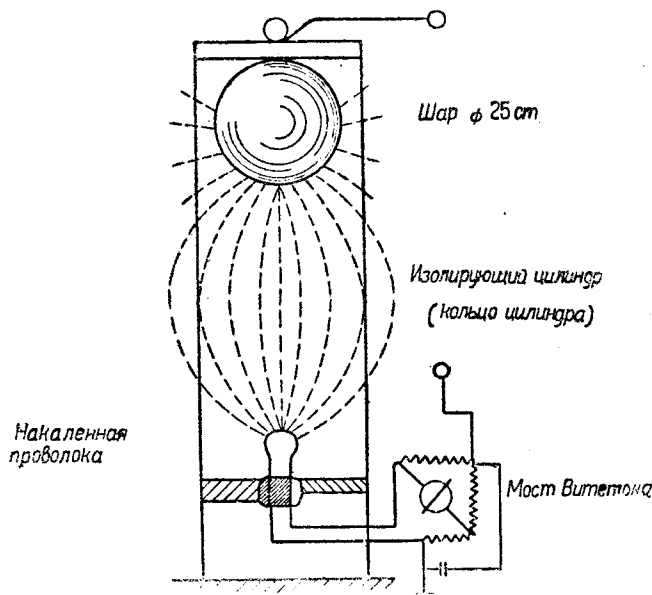


Рис. 1

На этом принципе уже сооружены три технических прибора: один—лабораторный переносный для рентгеновской установки на 3—150 кВ, второй—для высоковольтных центральных на 300 кВ и третий—для открытой подстанций до 132 кВ (должен работать при любом состоянии погоды).

К. Стефанов

## Электроматериалы

Диэлектрические свойства различных сортов стекла при разных частотах и температурах

M. I. O. Strutt, Archiv für Elektrotechnik, 1931, XXV (12 октября), стр. 715.

Автором были произведены в лаборатории фирмы электрических ламп Philips исследования зависимости диэлектрических потерь и диэлектрического коэффициента пяти различных сортов стекла в зависимости от температуры и частоты. Получена формула для изменения тангенса угла потерь  $\text{tg } \delta$  в зависимости от температуры:

$$\text{tg } \delta = A \cdot e^{\alpha T};$$

она оказалась верной в пределах точности измерений для всех исследованных стекол.  $A$  и  $\alpha$  зависят от сорта стекла и от частоты. У всех сортов  $\alpha$  меньше при более высоких частотах (исследования производились в интервале от 50 до  $3 \cdot 10^5$  пер/сек.).

Диэлектрический коэффициент  $\epsilon$  для температур до  $80^\circ$  практически не зависит от частоты. При переходе за  $80^\circ$  величина  $\epsilon$  растет вместе с температурой, притом при высоких частотах значительно в меньшей степени, чем при низких частотах.

Б. Тареев

W. HOESCH, Электрические конденсаторы „ETZ“ № 29, 16 июля 1931, стр. 928—932 и 946—948.

Автор подробно описывает общие принципы устройства электролитических (окисных) выпрямителей и дает ряд практических замечаний.

Лучшим вентильным металлом является тантал, но высокая стоимость его исключает возможность широкого практического применения. Могут применяться олово и ряд других металлов. Безусловно, важнейшее значение имеет в этой области алюминий. Оксиды алюминия и олова имеют белый цвет, тангала—темносиний. Толщина слоя диэлектрика зависит от приложенного (формирующего) напряжения; чем оно выше, тем толще слой. Емкость каждого электролитического конденсатора изменяется в зависимости от приложенного напряжения; в известном интервале существует обратная пропорциональность между двумя этими величинами, т. е. произведение емкости на приложенное напряжение остается постоянным.

Повышенная температура неблагоприятна для работы электролитических конденсаторов. Практически наивысшая температура  $45^\circ \text{C}$ . Высота напряжения искрения на аноде зависит прежде всего от состава и концентрации электролита и затем от состава вентильного (анодного) металла. Максимальное напряжение конденсатора зависит почти исключительно от концентрации электролита, практически оно может быть порядка 550—600 В. При очень малой концентрации электролита Гюнтершульце получал максимальное напряжение до 1900 В. Применение электролитов, у которых в состав группы аниона входят атомы тяжелых металлов (например ферроцианид калия, перманганат калия, хромат аммония), понижает максимальное напряжение, так как анион оклюдируется диэлектрическим слоем.

Формирующее напряжение должно браться выше рабочего: ток для рабочего переменного напряжения 220 В формирующее напряжение около 500 В.

Остаточный ток, т. е. ток, идущий через конденсатор после формирования, очень мал. Например, для конденсатора с анодом из алюминия и с раствором аммония в качестве электролита был измерен остаточный ток  $1,5 \cdot 10^{-7}$  А/см<sup>2</sup>, отнесенный к единице поверхности анода.

Вместе соприкосновения электролита и воздуха легко возникает значительная коррозия анода. Для защиты от нее поверх электролита наливается слой масла или жидкого парафина.

Во многих случаях очень удобными оказываются комнатные и легкие „сухие“ конденсаторы, в которых между электродами находится бумага или другой подходящий материал, пропитанный соответствующим раствором. Гигроскопические добавки дают возможность непрерывно получать влагу из воздуха взамен разлагаемой током воды. Такой конденсатор на 5000 мФ на 4 В рабочего напряжения, например, весит всего лишь около 0,5 кг. Сухие конденсаторы весьма пригодны для передвижных установок.

Б. Тареев

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

### К читателям моей книги

В написанной мною совместно с Л. М. Фингером в 1928/29 г. и изданной в 1930 г. Издательством Кассы взаимопомощи студентов Киевского политехнического института книге— „Определение нагрузки электрических станций“ имеется ряд неудачных выражений и принципиально политических ошибок.

Так, на страницах 41 и 76 по вопросу о применении электропахоты в сельском хозяйстве имеется неправильное указание о том, что в ближайшие годы „электропахота вряд ли будет развиваться. Между тем имеются директивные установки руководящих партийных и планирующих организаций, подтвержденные опытами, поставленными в последние годы, подчеркивающие перспективы развития у нас и применения электропуга.

В разделе сельскохозяйственной нагрузки, целиком устаревшем, повторена грубейшая политическая ошибка справочника СЭТ, материалы которого были использованы нами при составлении этого раздела, именно (см. стр. 41): расчетные данные и методы ориентируются на индивидуальное сельское хозяйство и применяются такие термины, как: „зажиточные хозяйства“, „род занятия населения и его зажиточность“ и т. д.

Вопросу определения нагрузки электростанций от социалистического сектора сельского хозяйства—колхозов и совхозов, при соответствующих расчетах, уделено совершенно недостаточное внимание.

Выражая здесь благодарность студентам 4 курса (I группы) Киевского энергетического института и аспиранту этого института т. Гуменному, обратившим впервые мое внимание на указанные и другие ошибки и неправильности книги, прошу всех читателей ее и в особенности студентов втузов и преподавателей курса „Экономической части станций“, пользующихся ею, при чтении книги вносить соответствующие коррективы и давать пояснения, устраняющие возможность неправильной ориентировки студентов и создания ошибочных представлений.

Считая также крупнейшим недостатком книги отсутствие в ней каких-либо указаний.

1. По вопросу определения нагрузки новых социалистических городов.

2. По вопросу определения нагрузки социалистически реконструированного на базе высокой техники сельского хозяйства и агроиндустриальных комбинатов.

3. Кроме того, в книге недостаточно освещены вопросы: регулирования графиков нагрузки, влияние непрерывки в промышленности и т. п.

Некоторые нормы удельного потребления энергии и мощности, рекомендуемые в книге, как временные, для определения будущей нагрузки станций,—совершенно недостаточны и не соответствуют запроецированным огромным темпам развития хозяйства.

Таким образом книга в целом устарела и требует коренной переработки.

В заключение считаю необходимым отметить следующее: вопросы определения нагрузки электрических станций в нашей книге, ставящей перед собою узкую задачу изучения метода расчета и построения графиков нагрузки, трактуются изолированно. Между тем эти вопросы тесно связаны с большой сложной задачей планирования энергохозяйства, представляющей в свою очередь лишь одно из звеньев комплексной проблемы социалистического планирования хозяйства в целом.

Этим вопросам в наших втузах, в их учебных планах и в литературе не уделяется должное внимание. Между тем сложность проблемы, ее практическая важность для энергетиков и невозможность пользоваться старыми, неприемлемыми у нас методами остро ставят вопрос о необходимости срочной разработки марксистско-ленинской методологии и соответствующих руководств по планированию энергохозяйства СССР.

Доцент Киевского энергетического института.

А. Слоним

### О статье тов. Хрущева „Новый метод расчета сверхтоков“

(Письмо в редакцию)

Тов. редактор!

Разрешите поместить следующие замечания относительно статьи т. Хрущева, помещенной в № 13 „Электричества“ за 1931 г.

Прежде всего следует указать, что этот „новый метод расчета сверхтоков“ имеет за собою некоторую историю.

Идея пользования спрямленной характеристикой генераторов для расчета токов короткого замыкания высказывалась уже раньше, и ее можно найти еще у Бирманса<sup>1</sup>. Правда, там имелась в виду характеристика холостого хода, которая заменялась прямой, проходящей через начало характеристики  $O$  (рис. 1) и через ту ее точку, которая соответствует заданному возбуждению (точка  $P$ ).

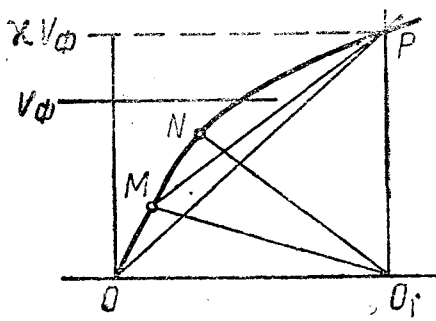


Рис. 1

Затем Ферстер<sup>2</sup> показал, что прямую, заменяющую характеристику холостого хода, следует проводить не через ее начало, а через точку  $M$ , соответствующую трехфазному короткому замыканию на клеммах, потому что только в этом случае графическое построение по спрямленной характеристике и аналитический расчет по формуле

$$I_{\text{зф}} = \frac{x V_{\phi}}{X_g + x_n},$$

где

$$X_g = \frac{x V_{\phi}}{I_k}$$

и  $I_k$  — ток при трехфазном коротком замыкании на клеммах генератора будут в точности соответствовать друг другу.

Кроме того, Ферстер указал на значение коэффициента  $x$ . В произвольном выборе его сказывается возможность получать новые прямые, заменяющие собою характеристику холостого хода, причем все они будут проходить через точку  $M$  и точку  $P$ , лежащую на прямой  $O_1P_1$  (рис. 2), причем

$$O_1P_1 = x V_{\phi}$$

Последнее обстоятельство позволяет выбирать направление прямой  $MP$  так, чтобы она наилучшим образом совпадала с характеристикой холостого хода, для чего нужно только подбирать соответствующие значения коэффициента  $x$ . Например, Ферстер указывал для него числа:  $x = 1,4$  и  $x = 1,6$ . Для новых же генераторов, обладающих характеристикой холостого хода, рекомендованной немецкими нормами, коэффициент этот получается равным двум и более.

Один из авторов настоящего письма<sup>3</sup> имел случай показать, что при расчетах по методу симметрических составляющих, независимо от вида характеристики холостого хода, а следовательно, и при спрямленной характеристике холостого хода, когда реактансы прямой последовательности взят по Ферстеру

$$X_g = \frac{\lambda V_{\phi}}{I_k}$$

в том случае, если для определения двухфазного тока короткого замыкания исходить из построения Рюденберга, согла-

<sup>1</sup> Biermanns, *Überröme in Hochspannungsanlagen*, 1926 г.

<sup>2</sup> „ETZ“, 1926 г., стр. 1104.

<sup>3</sup> Горюцкий, *расчет токов короткого замыкания методом симметрических составляющих*, 1931 г.

сно которому тангенс угла наклона характеристики короткого замыкания  $O_1N$  (рис. 1) удваивается—реактанс обратной последовательности генератора получается постоянным и равным реактансу рассеяния  $x_g$ .

Тем самым было показано, что один раз построенная спрямленная характеристика остается и для случая двухфазного короткого замыкания, если только производить расчет по методу симметрических составляющих, беря реактансы, как указано выше.

В частности, для возбуждения, равного единице, когда кратность тока трехфазного короткого замыкания на клеммах генератора при этом возбуждении равна  $K_g$  (например, для турбогенераторов по немецким нормам  $K_g = 0,7$ ) и для спрямленной характеристики, проходящей через точку  $u = 1$  и  $V = 1$  (т. е.  $x = 1$ ), мы получаем:

$$x_g = \frac{x V \phi}{K_g I_n} = \frac{x V \phi}{K_g I_n} - \frac{I_s V \phi}{I_n} + \frac{I_s V \phi}{I_n} x_a + x_s$$

и для трехфазного короткого замыкания не на клеммах генератора по методу симметрических составляющих получаем:

$$I_{3\phi} = \frac{x V \phi}{x_{1\text{ген}} + x_{1\text{лин}}} = \frac{V \phi}{(x_a + x_s) + x},$$

или, по немецким нормам,

$$I_{3\phi} = \frac{V \phi}{x_a + a x_s}.$$

Аналогично и для двухфазного короткого замыкания получается выражение:

$$I_{2\phi} = \frac{x V \phi \cdot \sqrt{3}}{x_1 + x_2} = \frac{V \phi \cdot \sqrt{3}}{(x_a + x_s + x_a) + (x_s + x_n)} = \frac{V \phi \cdot \sqrt{3}}{x_a + 2x_s},$$

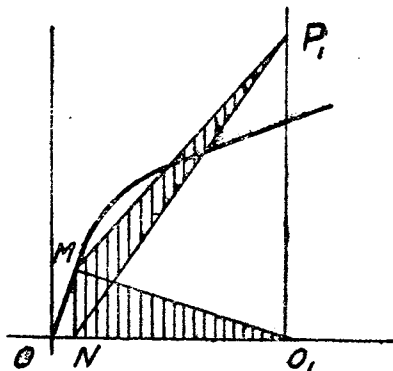


Рис. 2.

т. е. хорошо известные формулы аналитического расчета, приведенные в немецких нормах. И наконец, для однофазного короткого замыкания за повысительным трансформатором с заземленной нейтралью мы получаем с помощью того же метода симметрических составляющих:

$$I_{1\phi} = \frac{x V \phi \cdot 3}{x_1 - x_2 + x_0} =$$

$$= \frac{x V \phi \cdot 3}{(x_a + x_s + x_n) + (x_n + x_n) + x_n} = \frac{x V \phi \cdot 3}{x_a + 2x_s + 3x_n},$$

что при  $x = 1$  совпадает с выражением, приводимым в разбираемой нами статье проф. Хрущева.

Во всяком случае расчет по методу симметрических составляющих, в котором реактанс последовательности берется равным

$$x_1 = x_g = \frac{x V \phi}{I_k};$$

а обратной

$$x_2 = x_g,$$

и э. д. с. считается равной  $x V \phi$ , есть не что иное, как расчет по спрямленной характеристике холостого хода, могущей быть проведенной достаточно близко к действительной характеристике.

Метод, описываемый проф. Хрущевым, отличается от изложенного тем, что в нем употребляется внешняя характеристика генератора. Однако, как легко видеть, одно из другого непосредственно вытекает и машина, имеющая спрямленную характеристику холостого хода, также обладает и внешней прямолинейной характеристикой.

Действительно, потери напряжения внутри самой машины изображаются ординатами прямой  $O_1M$  (рис. 2).

Вычтя их из ординат прямой  $MP_1$ , мы получим внешнюю характеристику, очевидно, также прямую  $NP_1$ , которая именно и имеется в виду проф. Хрущевым.

Впрочем, и этот шаг в свое время уже был сделан Рушви<sup>1</sup>, который уже в 1927 г. предполагал пользоваться спрямленной внешней характеристикой  $NP_1$ . На русском языке изложение этой работы можно найти в статье инж. Щедрина в № 3 „Энергетического вестника“ за 1929 г.

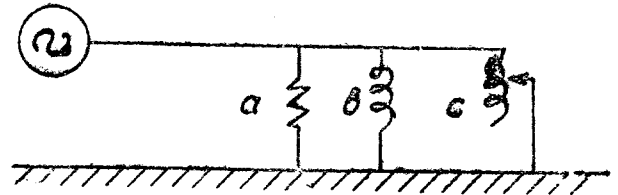


Рис. 3

Наконец, относительно учета омического сопротивления во внешней цепи можно сказать, что и оно проще всего вводится все по той же, однажды построенной, спрямленной характеристике холостого хода путем введения только полного сопротивления цепи короткого замыкания.

Например, для трехфазного короткого замыкания мы будем иметь

$$I_{3\phi} = \frac{x V \phi}{x_g + z_n},$$

где нужно только считать

$$z_n = \frac{x_g + j x_g}{z_n + v_n + j x_n}.$$

Аналогично и для несимметричных коротких замыканий по методу симметрических составляющих получается:

$$I_{2\phi} = \frac{\sqrt{3} V \phi}{(x_g + z_n) + (x_s + z_n)} \quad \text{и} \quad I_{1\phi} = \frac{3 V \phi}{(x_g + z_n) + (x_s + z_n) + z_n}.$$

Таким образом, имея всего только одну спрямленную характеристику холостого хода, построенную для трехфазного короткого замыкания, можно производить расчеты всех видов короткого замыкания с учетом любого  $\cos \varphi$  во внешней цепи.

В изложении же проф. Хрущева мы имеем нагруженную характеристику для трехфазного режима, построенную только для такого  $\cos \varphi$  во внешней цепи, который является некоторой определенной функцией тока короткого замыкания, соответственно схеме рис. 3. Между тем есть полная возможность не менее просто вести расчет и в более общем случае.

Для двухфазного и однофазного короткого замыкания проф. Хрущев вынужден был строить каждый раз особые спрямленные характеристики тогда как можно было, как мы видели, ограничиться только одной, и кроме того, сопровождать свои рассуждения такими замечаниями, что для двухфазного короткого замыкания, например, „кривой внешней характеристики мы совсем не строим, так как точное построение ее весьма затруднительно“. Автор полагает, что право на замену кривой внешней характеристики прямой в этом случае достаточно обосновывается предыдущим, что же касается возможной погрешности при такой замене, то она, конечно, остается неизменной, но, несомненно, также очень небольшой, и для однофазного короткого замыкания „затруднение при построении внешней характеристики возрастает еще более“, так что „о построении кривой внешней характеристики здесь, тем более, не может быть и речи“.

В результате проф. Хрущев вынужден как бы просить верить ему, что спрямленные характеристики не ведут к большим ошибкам. Между тем, при современном состоянии вопроса в этом нет никакой надобности, поскольку известно, что одна и та же спрямленная характеристика холостого хода дает возможность рассчитывать все виды короткого замыкания.

Таким образом введение внешних характеристик нерацесснально, так как оно требует построения этих характеристик для каждого из видов короткого замыкания, в то время как можно ограничиться одной характеристикой холостого хода. К тому же, введение внешних характеристик вносит неясность туда, где они давно уже преодолены.

Все это приводит нас к выводу, что статья проф. Хрущева есть шаг назад к давно уже оставленным позициям.

Д. Геродский, Н. Щедрин, С. Ульянов

<sup>1</sup> Siemens Zeitschrift, 1927 г., стр. 530.



Sachgemässe Beratung  
in allen Fragen

der

## ausländischen Reklame in der Sowjetunion



bletet unverbindlich:

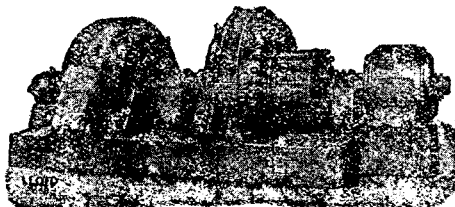
Generalvertretung des  
Staatl. Anzeigenbüros  
„Inreklama“, Moskau,  
in: Deutschland,  
Österreich, Tschecho-  
Slowakei, Holland,  
Schweden, Norwegen  
und Dänemark:

Industrie- und Handelsreklame  
„**TORGPROM**“ G.M.B.H.

Berlin W35, Kurfürstenstr. 33  
Tel. B2 Lützow 8603

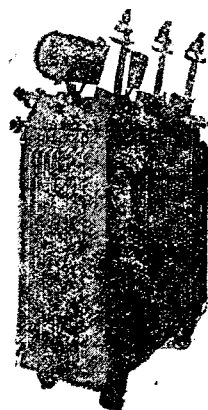
## LOYD DYNAMOWERKE AKTIENGESELLSCHAFT **BREMEN**

Мы строим электрические машины для советско-русской  
индустрии и сельского хозяйства



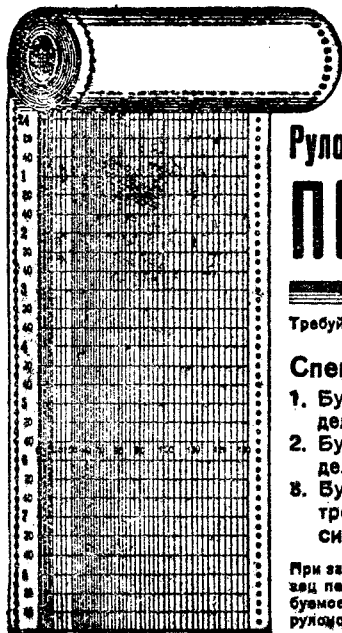
## LOYD- моторы и генераторы

Двигатели-Генераторы  
Турбогенераторы  
Преобразователи  
Фазные компенсаторы  
Трансформаторы



4106

## КРИТИЧЕСКИЕ ПОКУПАТЕЛИ



требуют только  
наши

## Рулоны для регистрации **ПЕРФЕКТ**

Требуйте бесплатные предложения.

### Специальности

1. Бумага с миллиметровым делением.
2. Бумага с логарифмическим делением.
3. Бумага, разлинованная по треугольной и полярной системе координат.

При запросах просим принимать образцы печатного текста и указывать требуемое количество экземпляров, длину рулонов, а также диаметр внутреннего отверстия.

**Carl Schleker & Schüll**  
Düren, Rheinland

28123

## Сплавы и металлы, плавленные при вакууме

Хромоникелевая проволока для нагревательных элементов для отапливаемых электричеством каменных печей для промышленности и предметов домашнего хозяйства, с содержанием хрома от 11 до 33%.

Тянутые без швов трубы из хромоникеля, плавленного в вакууме, как-то: защитные трубы для пирометров и для химической промышленности.

Сплавы высшей теплостойкости для машинных частей, которые должны выдерживать длительные рабочие температуры до 1000°.

Антикатоды из меди, подвергнутой плавке в вакууме, для рентгеновских трубок. Свободная от газа чистая никелевая проволока и лента для ламп накаливания, усилительных и передаточных трубок. Свободная от газа токоподводящая проволока для ламп накаливания из сплава железо-никеля. Термоэлементы из плавленных при вакууме благородных металлов с постоянной кривой градуировкой, измерение температур от 800 до 1100°.

**Геркус-Вакуумшмельце**  
А. О.

Ганау И. М. (Германия)

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При всех запросах к иностранным фирмам с приложением каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала.

Мы строим:

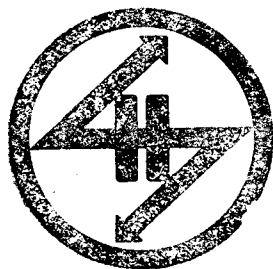
**Трансформаторы** всевозможного назначения

**Трансформаторы** для сварки, регулировки и для управления печами

**Моторы, генераторы, умформеры**

**Испытательные установки** до трех миллионов вольт

**Магнитные сепараторы** для отделения железа от других металлов



**Hochspannungs-Gesellschaft** Г. Н.  
**Köln-Zollstock** (Германия)

6668

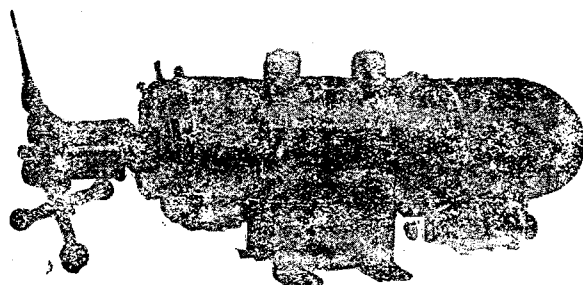
**ГЕНЕРАТОРЫ и КОНВЕРТОРЫ**

**для радио**

**УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МОТОРЫ**

от  $\frac{1}{50}$  до  $\frac{1}{6}$  С. V.

**ВЕНТИЛЯТОРЫ—СВЕРЛА**



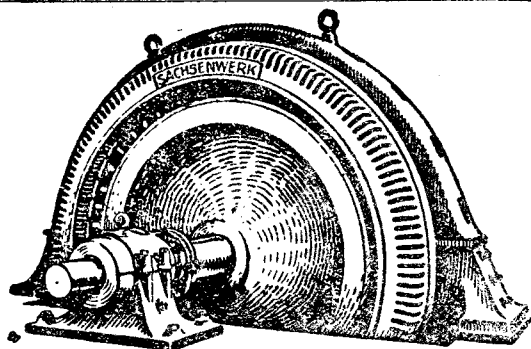
ÉTABLISSEMENTS

**E. RAGONOT**

15 Rue de Milan, Paris.

ПОСТАВЩИКИ СССР

1321649



**SACHSENWERK**

**ГЕНЕРАТОРЫ-ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ**

для промышленности, ремесленных  
производств и сельского хозяйства

**ТРАНСФОРМАТОРЫ**

аппараты высокого и низкого напряжения  
монтажные материалы

**ПОСТРОЙКА ЦЕНТРАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ**

и передача тока на расстояние  
электрические железные дороги

**ПЫЛЕСОСЫ**

**РАДИО-АППАРАТЫ**

**АККУМУЛЯТОРЫ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ**

**Sachsenwerk, Niedersiedlitz (Sa)**

591/1897

Германия

**Трубопроводы всякого рода**

проектирует и поставляет

**P. FISCHER & CO.**

**FRANKFURT a. M.-SUD 10**

Телегр.-адрес: Röhrenfischer-Frankfurt/Main

Представительства во всех больших городах  
Германии и за границей

Полные трубопроводные установки для пара  
высокого давления, для рабочих давлений  
до 40 атм. и выше и для максимального  
давления пара.

Трубопроводы для городских и фабричных отопительных установок и для районных отопительных станций.

Поставка всех отдельных частей вплоть до самых больших внутренних диаметров.

Сварочные работы всякого рода для любого давления вплоть до 300 атм.

Автогенная, алюминиевая и электрич. сварка, собственная трубо-загибочная для сгибания труб внутренних диаметров до 600 мм., солидное и быстрое обслуживание.

17026

При всех запросах к иностранным фирмам и присылке каталогов, образцов и проспектов просим обращаться на № нашего журнала. Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.



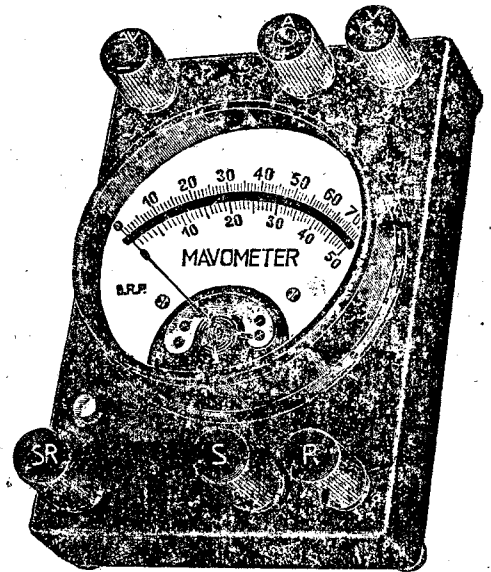
# MAVOMETER

Один единственный инструмент заменяет  
20 и больше дорогих измерительных приборов

## Наш универсальный мавометр

со сменными предвключаемыми и шунтовыми сопротивлениями (Германск. Государств. Пат.) применим для всех встречающихся на практике измерений напряжения, тока и сопротивления, а именно, начиная от 1-го милливольт до 2000 вольт, от 20 микро-ампер до 250-ти ампер и от 5-и ом до 50-и мегом. Благодаря своей высокой показательной точности, мавометр пригоден не только для контрольных измерений в работе и на монтаже, но, в особенности, и для научных измерений в институтах и лабораториях.

По желанию высылается подробный проспект.



**GOSSEN**  
ERLANGEN-BAY.

ОНТИ

КНИГОЦЕНТР

ОНТИ

**ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1932 год**

**НА ЖУРНАЛЫ**

## „ВЕСТНИК ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ“

Ежемесячный орган Всесоюзного электротехнического объединения ВЭО

**ЗАДАЧИ ЖУРНАЛА:** достижения советской электропромышленности сильного тока, описание новых типов выпускаемых изделий с их технической характеристикой, результаты лабораторных испытаний, виды и условия применения, опыт эксплуатации и качество электротехнических изделий. Особый отдел — электродвигательные приводы к производственным станкам и машинам. Отделы плано-экономический.

**ЖУРНАЛ РАССЧИТАН** на инженеров, техников, квалифицированных рабочих и студентов вузов.

### ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

|                           |             |
|---------------------------|-------------|
| на год . . . . .          | 10 р. — к., |
| на 6 мес. . . . .         | 5 р. — к.,  |
| на 3 мес. . . . .         | 2 р. 50 к.  |
| Отдельный номер . . . . . | 1 р. — к.   |

Льготная при коллективной подписке не менее 10 экз.

|                   |            |
|-------------------|------------|
| на год . . . . .  | 9 р. — к., |
| на 6 мес. . . . . | 4 р. 50 к. |

При всех запросах к иностранным фирмам и присылке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на наш журнал. Выписка заграничных товаров может доставляться лишь на основании действующих СССР правил о монополии внешней торговли.

ОНТИ

КНИГОЦЕНТР

ПРИНИМАЕТ

ЖУРНАЛ на 1932 год

НАЗНАЧЕНИЯ

**„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“****Год издания 52-й****Двухнедельный орган электроэнергетических учреждений и организаций ВЭО, Энергоцентр ВСНХ СССР и ВЭК**

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

**ПРОГРАММА ЖУРНАЛА:** Генеральный план электрификации СССР. Электроэнергетика капиталистических стран. Социалистическая реконструкция и проблемы экономики электрохозяйства СССР. Теоретические проблемы электротехники. Единая высоковольтная сеть Союза. Электромашиностроение. Электрификация промышленности, сельского хозяйства, транспорта. Электротехнические кадры. Вопросы рационализации, стандартизации и нормализации электрохозяйства.

**ЖУРНАЛ РАССЧИТАН** на инженеров, техников и электриков.

**ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:** на 12 мес.—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. **Льготная**—при коллективной подписке (не менее 10 экз.): на 12 мес.—15 р., на 6 мес.—7 р. 50 к., на 3 мес.—3 р. 75 к.

Каждый рабочий, техник, инженер, занятый в электрохозяйстве СССР, обязан стоять на высоте современных технических знаний

**ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ****„СВЕТОТЕХНИКА“****Орган Всесоюзного электротехнического объединения и Всесоюзной ассоциации светотехнических лабораторий**

**ЗАДАЧИ:** подвергать широкому обсуждению вопросы теорет. и прикладн. светотехники, способствовать развитию светотехнической промышленности, вести популяризацию знаний в области светотехники и рационализации светового хозяйства СССР.

**ОТДЕЛЫ:** Научно-технические статьи. Светотехническая промышленность и световое хозяйство. Нормы и стандарты. Хроника. Рефераты. Светотехника в массы. Библиография. Журнал рассчитан на инженеров, студентов, квалифицированных монтеров и мастеров.

**ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:** На год—8 р., на 6 мес.—4 р.

Цена отдельного номера—1 р.

Подписка принимается во всех отделениях и магазинах Книгоцентра, всюду на почте и письмоносцами