

1933

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

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 16

ОКТАБРЬ

ВЫПУСК I



МОСКВА  
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Ежемесячный журнал

**В Е С Т Н И К  
ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ**орган Всесоюзного электротехнического  
объединения ВЭО**ЗАДАЧИ ЖУРНАЛА:**

Освещать достижения советской электропромышленности сильного тока, давать описания новых типов выпускаемых изделий с их технической характеристикой, результатов лабораторных испытаний, видов и условий применения опыта эксплуатации и качества электротехнических изделий. Особый отдел — электродвигательный привод к производственным станкам и машинам. Отдел плано-экономический.

**ЖУРНАЛ РАССЧИТАН:**

на инженеров, техников, квалифицированных рабочих и студентов вузов.

**ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:**

на год . . . . . 18 р.

на 6 мес. . . . . 9 р.

Отдельный номер . 1 р. 50 к.

Ввиду исчерпания тиража подписка закрыта до конца года

**К СВЕДЕНИЮ ПОДПИСЧИКОВ.**

Все жалобы на неполучение отдельных номеров журналов должны направляться

**МОСКОВСКИМИ ПОДПИСЧИКАМИ:**

Москва, Мясницкая, 26. Газетный почтамт. Подписная розничная контора (ПРК). Бюро жалоб. Тел. 3-85-70.

**ИНОГОРОДНЫМИ ПОДПИСЧИКАМИ:**

Москва, Мясницкая, 26. Газетный почтамт. Справочный контрольный отдел. Центральная подписная контора (ЦПК). Тел. 3-13-09.

Жалобы следует направлять только в указанные адреса независимо от места сдачи подписки.

Издательство и редакции журналов жалоб не рассматривают, так как экспедирует журналы только газетный почтамт.

Уведомление о перемене адреса также направляется в ПРК и ЦПК с обязательным указанием старого и нового адресов.

**ЭНЕРГОИЗДАТ**

Орган ВЭО и ГЛАВЭНЕРГО НКТП, Энергетического института, Академии наук СССР  
и Всесоюзного энергетического научного инженерно-технического общества (ВЭНИТО)  
Адрес редакции: МОСКВА, Неглинный пр., 6/2. Тел. 65-84.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
ЩУРОВ — Итоги и перспективы электрификации сельского хозяйства СССР . . . . .	9	Проф. М. Ю. ЮРЬЕВ — О расчете механических колебательных систем с помощью эквивалентных электрических контуров . . . . .	39
<b>НОВОЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ</b>		<b>СВЕТОТЕХНИКА</b>	
К. А. КРУГ — Новые пути преобразования электрической энергии . . . . .	9	Инж. Н. Н. ЕРМОЛИНСКИЙ — К исследованию свойств эмалированных светильников . . . . .	40
С. Ф. МАЙЗЕЛЬ — Газосветные лампы и их применение . . . . .	17	Инж. В. Л. ПУЛЬВЕР — Объективный фотометр для массового контроля ламп накаливания . . . . .	48
<b>РАБОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ И ЛАБОРАТОРИЙ</b>		Инж. В. ГИНЗБУРГ Инж. В. ПУЛЬВЕР Инж. В. ФАБРИКАНТ Инж. В. Ф. ФЕДОРОВ — К вопросу об освещении посадочных площадок и аэродромов . . . . .	— — — 49
А. И. МОСКВИТИН — Исследование коммутации машин толчкообразной нагрузке . . . . .	21	<b>НОРМЫ и СТАНДАРТЫ</b>	
М. Н. ГУБАНОВ — Процессы коммутации в вентильном двигателе . . . . .	23	Инж. П. А. АЛАТОРЦЕВ и Инж. И. П. МАКАРОВ — Общесоюзный стандарт на электрические лампы накаливания . . . . .	50
А. Я. БУЙЛОВ — Усиление выключателей фирмы Сименса в сети Мосэнерго и их испытание . . . . .	30	<b>ХРОНИКА</b> . . . . .	53
<b>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ</b>		<b>ИЗ КНИГ и ЖУРНАЛОВ</b> . . . . .	54
П. Г. СЕДОВ — Мощность переменного тока в комплексном выражении . . . . .	38		

## Итоги и перспективы электрификации сельского хозяйства СССР

С. В. Щуров  
НКЗ СССР

На фоне гигантских успехов, достигнутых СССР к концу первой пятилетки, электрификация сельского хозяйства представляет собой одну из тех немногих задач, в которой задания первой пятилетки выполнены не вполне удовлетворительно. Это заставляет обратиться к комплексу вопросов, связанных с состоянием развития электрификации сельского хозяйства, особенно важно, ибо значение ее для социалистической реконструкции сельского хозяйства огромно.

Роль сельскохозяйственной электрификации в деле построения социализма в СССР неоднократно и четко сформулировалась Лениным: «Единственной материальной основой социализма может быть крупная промышленность, способная реорганизовать и земледелие... соответствующая уровню новейшей техники и способная реорганизовать земледелие — крупная промышленность есть электрификация всей страны... Только тогда, когда страна будет электрифицирована, когда промышленность, сельское хозяйство и транспорт будет подведена техническая база современной крупной промышленности, только тогда мы победим окончательно».

Принципиальные указания Ленина повторялись и конкретизировались и в последующих решениях директивных органов. Тов. Молотов в своей речи на ноябрьском пленуме ЦК в 1929 г., останавливаясь на задачах социалистической реконструкции сельского хозяйства, охарактеризовал роль электрификации следующим образом: «На очереди огромная работа по

электрификации для сельского хозяйства. Несомненно, что электромашины будут играть крупнейшую роль в с.-х. производстве. Несомненно, что для переработки с.-х. продуктов (особенно животноводства и технических культур) потребность в электроэнергии будет расти с такой быстротой, что уже в ближайшие годы для сельского хозяйства потребуется по крайней мере ряд крупнейших электростанций... Таким образом для создания технической базы крупного коллективного хозяйства мы уже кое-что важное делаем, но здесь нам предстоит сделать неизмеримо больше того, что мы пока наметили. Без тракторов и сложных с.-х. машин, без широкого использования химии и электростанций мы не будем иметь прочной базы под колхозным движением, и потому в этой плоскости, в плоскости создания действительно мощной технической базы колхозов лежит наша первейшая задача».

В решениях ноябрьского пленума ЦК 1929 г. эти слова т. Молотова нашли определенное отражение: «крупное высокопроизводительное и действительно социалистическое производство в сельском хозяйстве можно построить только на базе современной машинной техники и электрификации».

С немалой четкостью роль электрификации сельского хозяйства подчеркнута и XVII Партконференцией, указавшей, что во «второй пятилетке по-новому встанет вопрос об электрификации как рычаге технической реконструкции сельского хозяйства», а также и в резолюции конференции по составлению

второго пятилетнего плана народного хозяйства СССР, а именно, что „важнейшим элементом технической реконструкции народного хозяйства является создание новейшей энергетической базы, основанной на широкой электрификации промышленности и транспорта, и постепенном внедрении электроэнергии в сельское хозяйство“.

Отсюда с бесспорной ясностью вытекает не только общее значение электрификации сельского хозяйства в СССР, но и целый ряд других более конкретных принципиальных выводов.

Прежде всего—вывод о неразрывной связи электрификации сельского хозяйства с общими задачами электрификации всего народного хозяйства страны. В частности, именно под таким углом зрения и был построен первый перспективный план развития нашего хозяйства (план Гозлро), как известно разработанный под непосредственным идейным руководством Ленина.

Далее, что под электрификацией отнюдь нельзя понимать только строительство электроустановок; не в этом—основное. Недаром Ленин с самого начала говорил об электрификации, имея в виду прежде всего применение электричества, внедрение электроэнергии в производственные процессы.

Целиком вытекающая из ленинских установок идея электрификации сельского хозяйства как составной неотделимой части электрификации всей страны, как важнейшего элемента социалистической реконструкции нашего сельского хозяйства при неразрывности связи крупной машинной индустрии с электрификацией является исходным принципом при наметке и разрешении вопросов электрификации сельского хозяйства. Эта общая руководящая концепция электрификации сельского хозяйства требует для сегодняшнего дня и ближайшего будущего определенной конкретизации, так как отнюдь не означает, что мы уже сейчас вплотную подошли к задаче сплошного перевода всего нашего сельского хозяйства на электрическую базу. Резолюция XVII Партконференции говорит о постепенном внедрении электроэнергии в сельское хозяйство. Тов. Молотов в своей речи на XVII Партконференции, указывая на необходимость по-новому отнестись к электрификации как к рычагу технического переустройства сельского хозяйства, вместе с тем подчеркнул, что основным элементом технической реконструкции сельского хозяйства во второй пятилетке будут прежде всего тракторы. Это требует сугубо дифференцированного подхода к вопросам электрификации сельского хозяйства.

Прежде всего в крупнейшей отрасли сельского хозяйства в полеводстве в течение целого ряда лет основной энергетической базой будет являться трактор.

Иные предпосылки имеются для внедрения электроэнергии в область животноводства. Механизация производственных процессов в животноводстве может базироваться в основном на стационарной, а не передвижной силовой базе, каковой является трактор. Из всех же стационарных установок электроустановки имеют ряд решающих преимуществ, в частности заключающихся еще и в том, что животноводство (включая и птицеводство) предъявляет спрос не только на механическую энергию, но и на световую и тепловую, комбинированное производство которых могут дать только электроустановки. Более того, в некоторых случаях электричество является единственным видом энергии, с помощью которой возможно реконструировать те или иные производственные процессы, а именно в случае непосредственного воздействия электроэнергии на животные организмы (ультрафиолетовое облучение, ионизация и т. п.). Подведение новой энергетической базы, каковой является электричество, под реконструкцию производственных процессов животноводства является важнейшей задачей электрификации сельского хозяйства. Помимо животноводства энергия может и должна сыграть весьма важную роль вообще во всех стационарных установках в сельском хозяйстве, для предприятий по переработке сельхозпродуктов, ремонтных мастерских совхозов и МТС, для таких работ, как молотба, зерноочистка и т. д., ярко демонстрирует всю поистине противоположность трактора. Трактор не только не исключает необходимости электрификации, а наоборот при реконструкции хозяйства создает большие предпосылки для параллельной последующей электрификации целого ряда процессов.

Существенную роль электрификация может сыграть в хозяйствах технических культур (орошение, хозяйственный транспорт, частичный подогрев ков, предприятия по переработке и хранению продуктов, борьба с вредителями и пр.).

Исключительно важная роль падает на долю электрификации при разрешении проблем электрофикации и электроорошения.

За границей (в частности в Италии) электроорошения и электромелиоративные установки имеют большое развитие. В СССР постановление правительства о постройке Камышинской гЭС мощностью 2 млн. kW для механического орошения в засушливых районах Заволжья посевной площади в 4—4,3 млн. га показывает, какие огромные перспективы открываются перед электрификацией орошения. Следует подчеркнуть, что в свое время еще план Гозлро, намечая пути развития электрификации сельского хозяйства, выделял электроорошение на одно из первых мест в числе нагрузок.

Наконец, нельзя игнорировать и роль электрификации в удовлетворении культурно-бытовых нужд сельского населения.

Проблема постепенного внедрения электроэнергии в сельское хозяйство не исчерпывается, однако, одной дифференциацией сельского хозяйства. Очевидно, что даже в отношении животноводства нельзя говорить об одинаковом и сплошном подходе к электрификации всех производственных процессов, во всех животноводческих хозяйствах и во всех районах. Посылки и настоятельность электрификации животноводческих совхозов больше, чем соответствующих хозяйств. Внедрение электроэнергии будет быстрее и ее роль будет более значительна в мясных молочных пригородных хозяйствах, чем в хозяйствах мясного направления или овцеводческих. Районы, прилегающие к крупным промышленным центрам с развитой общей электрификацией, имеют серьезные предпосылки для электрификации сельского хозяйства, чем новые не обжитые районы.

Огромные преимущества централизованного производства электроэнергии указывают на то, что электроснабжение сельского хозяйства должно в первую очередь базироваться на использовании рЭС, крупных промышленных и тому подобных станций. К централизованному производству электроэнергии сельского хозяйства отнюдь, конечно, не следует полного отказа от строительства самостоятельных с.-х. хозяйственных установок. Уровень развития общей электрификации страны, географическое размещение с.-х. потребителей электроэнергии заставляют еще в течение ряда лет прибегать к строительству значительного числа самостоятельных с.-х. установок. Их роль должна прогрессивно понижаться.

Переходя к современному состоянию электрификации сельского хозяйства СССР и сравнивая достигнутый в области электрификации сельского хозяйства с тем, что было до революции, мы должны констатировать несомненный прогресс. Однако этот прогресс явно недостаточен с точки зрения действительной потребности нашего сельского хозяйства в электроэнергии. Электрификация сельского хозяйства является одним из наиболее отстающих участков народного хозяйства.

Основные показатели динамики электрификации сельского хозяйства СССР за годы революции и со времени ее к началу второй пятилетки приведены в табл. 1.

Показатели с.-х. электрификации СССР

Наименование показателей	Единица измерений	1918 г.	1928 г.	1932 г.
Количество установок . . . . .	единиц	137	694	1 135
Установленная мощность . . . .	kW	5 184	29 591	65 851
Средняя выработка энергии . . .	млн. kWh	3,1	33,8	100,0
Ср. установленная мощность установок . . . . .	kW	37,8	42,7	58,5

К концу 1932 г. по сравнению с 1918 г. количество установок возросло более чем в 8 раз, мощность в 13 раз, выработка энергии свыше 33 раз. Однако, несмотря на это, охват электроэнергией сельского хозяйства остался ничтожным. В 1932 г. СССР пользовалось электроэнергией примерно около 1% крестьянских хозяйств. Охват электроэнергией районов также весьма невелик.

Для того чтобы более детально охарактеризовать временное состояние электрификации сельского хозяйства СССР, рассмотрим отдельные периоды ее развития, наложившие яркий отпечаток на современное электростроительство.

В начале первой пятилетки (конец 1928 г.) насчитывалось 694 с.-х. электроустановки общей мощностью 29,6 тыс. kW. Средняя мощность установок, таким образом, равнялась 42,7 kW, причем из 694 установок только 42 имели мощность свыше 100 kW.

По типу основная часть падала на электростанции на нефтяном топливе. Таковых было 334, общей мощностью около 14,5 тыс. kW. Использование для целей электрификации сельского хозяйства крупных станций было ничтожно, а именно насчитывалось всего 1 подстанций, общей мощностью 600 kW.

По роду тока около 80% установок по количеству около 60—65% по мощности были установками постоянного тока. Высокое напряжение имело только 1% установок переменного тока, или 8% от общего числа установок. Коэффициент использования этих установок не превышал в среднем 1 000—1 200 час.

Стоимость установленного kW колебалась от 600 до 1 400 руб. (без стоимости сетей и оборудования потребителей), а вместе с сетями стоимость доходила до 2 000—1 400 руб. за 1 установленный kW, причем только 1 установка имело стоимость 1 установленного kW менее 1 000 руб.

Незначительная средняя мощность установок, высокая стоимость 1 установленного kW и низкий коэффициент использования вызывали крайне высокую себестоимость энергии; как правило, она была не ниже 5 коп. за 1 kWh, а часто выше 1 руб.

Все эти электроустановки в основном обслуживали только освещение. Лишь 25—30% установок имело механическую нагрузку в небольшом размере: к началу пер-

вой пятилетки в сельском хозяйстве насчитывалось всего 500—600 моторов мощностью около 4 тыс. л. с.

Характер с.-х. электростроительства в этот период объясняется тем, что основная доля его пришлась на первые после революции годы, когда с.-х. электроустановки строились по почину и силами самого населения с использованием демонтированного оборудования, главным образом, путем установки при двигателях мелких предприятий с.-х. промышленности динамомашиной для освещения.

Лишь с 1927 г. характер с.-х. электростроительства, с созданием специальных с.-х. электромонтажных организаций, начал несколько изменяться; вместо установки динамомашиной при промышленных двигателях стали сооружаться установки общего пользования более высокой средней мощности, переменного тока и с использованием высокого напряжения. У этих установок замечается рост моторной нагрузки за счет предприятий по первичной переработке с.-х. продукции, кустарной промышленности и т. п. Подобных установок к началу первой пятилетки насчитывалось около 50—60 общей мощностью примерно 4 тыс. kW.

Мы видим, что с.-х. электрификация к началу первой пятилетки обладала очень низкими показателями. Вместе с тем с.-х. электростроительство даже в такой несовершенной форме сыграло очень большую роль в первые годы после революции, как культурно-бытовой фактор, как фактор пропаганды идеи электрификации. С другой стороны, очевидно, что подобный тип с.-х. электростроительства совершенно не соответствовал основным задачам с.-х. электрификации—задачам реконструкции с.-х. производства на новой технической базе.

План первой пятилетки в части электрификации сельского хозяйства намечал значительные сдвиги по линии путей развития электрификации сельского хозяйства, а также и в отношении количественного прироста сельско-хозяйственных электроустановок и качественных показателей их строительства и эксплуатации.

Прирост мощности с.-х. электроустановок намечался по пятилетнему плану в размере 142 тыс. kW по оптимальному и 241 тыс. kW по оптимальному варианту. Проектировалось увеличение удельного веса подстанции к концу первой пятилетки до 25% от общей мощности с.-х. электроустановок. Стоимость 1 установленного kW намечалось снизить до 1 000 руб., вместо 1 500 руб. к началу пятилетки, себестоимость энергии довести до 10 коп. за 1 kWh и коэффициент использования поднять до 1 500 час. вместо 1 200 час. к началу пятилетки.

Как же шло выполнение первого пятилетнего плана в части электрификации сельского хозяйства с точки зрения принципиальных задач, стоявших перед электрификацией как одной из баз социалистической реконструкции сельского хозяйства? Необходимо подчеркнуть, что первые два года пятилетки не дали в этом отношении каких-либо заметных сдвигов по сравнению с характером с.-х. электрификации за последние годы перед первой пятилеткой. В строительстве доминировали попрежнему установки с крайне неактуальным потребителем, проникновение электроэнергии в производственные процессы отсутствовало. Единственным положительным сдвигом в части направления электрификации был приступ в 1930 г. к электрооборудованию ремонтных мастерских зерносовхозов, в остальном же с.-х. электроустановки, как и раньше, строились для обслуживания мельниц, кустарных мастерских, деревообделочных, лесопильных, кирпичных и т. п. заводов. Качественные показатели строительства и эксплуатации продолжали улучшаться медленно, а именно: повысилась несколько средняя мощность

установок, наблюдался рост моторной нагрузки и числа установок переменного тока с высоким напряжением. Что касается коэффициента использования, стоимости 1 установленного kW, себестоимости 1 kWh, использования рэс и крупных станций для целей электрификации сельского хозяйства, использования местного топлива при сооружении самостоятельных с.-х. установок, то в этих частях заметных сдвигов не ощущалось. Коэффициент использования попрежнему держался на уровне 1000—1200 час., себестоимость 1 kWh колебалась от 20 до 50 коп., и преобладали дизельные станции.

К концу 1930 г. особенно резко стало ощущаться несоответствие между теми сдвигами, которые переживало наше сельское хозяйство (бурный рост колхозного строительства, огромное возрастание роли совхозов), и направлением электрификации сельского хозяйства, не касавшейся производственных процессов сельского хозяйства, а в лучшем случае обслуживавшей предприятия по переработке с.-х. продукции.

Поворот к осуществлению истинных задач электрификации сельского хозяйства в деле переустройства нашего сельского хозяйства на социалистический лад обнаружил необходимость форсированного проведения огромной работы научно-исследовательского и опытного порядка. Действительно, предыдущее развитие электрификации сельского хозяйства СССР не давало нам опыта электрификации крупного социалистического хозяйства. Достаточно указать, что, согласно отчету Сельэлектро ВСНХ за 1929 г., почти все имевшиеся в совхозах электростанции остались от бывших помещиков и представляли собой карликовые осветительные установки постоянного тока. За время же революции, вплоть до 1929 г. известно было лишь два случая электрификации совхозов. В одном случае была построена электростанция для обслуживания совхоза Госмелиокультура близ г. Кимры, предназначавшаяся для обслуживания нужд совхоза в освещении. Энергия в производственных процессах сельского хозяйства применялась лишь для триеров и сортировок. Была сделана попытка электрифицировать сложную молотилку, но так как мощность мотора оказалась недостаточной, молотилку перевели на тракторный привод. Другой случай электрификации совхозов относится к одному из совхозов Западной области, где дело ограничилось установкой генератора в 5,5 kW.

С другой стороны, опыт электрификации производственных процессов сельского хозяйства за границей был нам крайне мало известен, не говоря уже о том, что механическое перенесение заграничной практики в условия крупного социалистического хозяйства было невозможно. Все это вызвало необходимость создания специального научно-исследовательского института по электрификации сельского хозяйства, а также опытных хозяйств, где бы проверялись в хозяйственных условиях методы электрификации отдельных производственных процессов, прежде чем дать им широкое распространение.

Подробно останавливаться на результатах научно-исследовательской и опытной работы в настоящей статье нет возможности; они должны быть освещены в специальном обзоре. Здесь же можно лишь констатировать, что хотя в силу целого ряда причин Научно-исследовательский институт по электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) далеко не дал еще полностью тех результатов, которые он должен был дать, все же, вступая во вторую пятилетку, мы в результате его работы гораздо отчетливее представляем себе конкретные методы электрификации целого ряда важнейших производственных процессов сельского хозяйства.

В отношении опытной работы практика работы двух машино-электрических станций (МЭС), — зерновой и по

плантажу виноградников, позволила сделать определенный вывод, что существующая наиболее распространенная за границей система электропахоты, вводимая на канатной тяге, наибольший эффект дает на глубокой пахоте (или плантаже) на тяжелых почвах, что, например, плантаж виноградников при помощи электроагрегатов превосходит по качеству обработки и по сравнительным затратам на 1 га даже тракторную обработку, не говоря уже о ручной. Тем самым ясны стали дальнейшие перспективы развития электрообработки почвы в смысле перенесения центра тяжести работ с зерновых культур на технические и специальные.

К сожалению, другой участок опытных работ электрификации сельского хозяйства, а именно опытные показательные электрифицированные животноводческие совхозы, сопровождался столь большими организационными неполадками, что к началу второй пятилетки в двух специально выделенных для этой цели совхозах (молочный — Клементьевский и свиноводческий — Ачкасовский) наметились лишь первые шаги к превращению их в действительно электрифицированные опытные хозяйства.

Таким образом на первые годы второй пятилетки падает задача форсированно провести научно-исследовательскую и опытную проработку ряда проблем электрификации сельского хозяйства с тем, чтобы восполнить пробел, который не был покрыт в течение первой пятилетки.

Сдвиг в направлении развития электрификации сельского хозяйства, происшедший в конце 1930 г., сказался также и на сельско-хозяйственном электростроительстве. В плане с.-х. электростроительства 1931 г. наряду с зерносовхозами, впервые появились и другие актуальные объекты с.-х. электрификации — МТС и животноводческие совхозы.

Еще более резкий сдвиг в обслуживании важнейших потребностей электроэнергии в сельском хозяйстве дал 1932 г. Сданная в эксплуатацию мощная с.-х. электроустановка в 1932 г. распадается на потребителям следующим образом:

1. Совхозы Зерносовхозобъединения . . . . . 22
2. Машино-тракторные станции . . . . . 11
3. Совхозы технических культур . . . . . 15
4. Животноводческие совхозы, ИПС и МТФ . . . . . 31
5. Колхозные установки Белоруссии . . . . . 12
6. Установки общего пользования . . . . . 30
7. Прочие установки . . . . . 11

1932 г. дает также сдвиг в смысле роста моторной нагрузки и притом связанной с обслуживанием производственных процессов сельского хозяйства, как то вытекает, например, из нижеприведенных данных по Московской области.

Эти данные свидетельствуют о том, что электрификация сельского хозяйства в 1932 г. если и не завершилась еще полностью, то во всяком случае показала большие успехи в обслуживании производственных процессов в сельском хозяйстве. Что в этом отношении можно достичь больших успехов, показывает опыт одной из МТС Лиманской Северо-кавказской области. В этой МТС в 1932 г. электроэнергией обслуживались следующие производственные процессы:

Касаясь вопроса внедрения электроэнергии в производственные процессы сельского хозяйства, не обойти молчанием той большой работы, которая

Изменение вновь установленных в сельском хозяйстве моторов за 1932 г. по Московской области

Наименование производственных процессов	Количество установленных моторов	Мощность kW
Молотьба, резка силоса .	49	652
Ремонтные и слесарные мастерские . . . . .	93	207
Кипятильницы . . . . .	19	190
Кормоприготовление . .	22	116
Водоснабжение . . . . .	10	45
Вентиляция . . . . .	40	19
Откачка навозной жижи .	2	18
Корчевка пней . . . . .	1	15
Электропайка . . . . .	2	6
Прочие . . . . .	35	19
<b>Всего . . . . .</b>	<b>273</b>	<b>1 287</b>

В 1932 г. по внедрению электропривода в сельское хозяйство путем использования уже существующих электроустановок. Эту работу намечалось в 1932 г. вести по трем основным линиям: по внедрению продольных аппаратов, машинок для стрижки и, наконец, электромоторных установок для молоты, очистки и сортировки зерна и т. п. работы. Фактически работа была развернута только в части электромоторных установок для уборочной кампании,

Виды работ	Количество моторов	Мощность в л. с.
Электромолотьба . . . . .	6	105
Орошение огородов . . . . .	3	50
Мельницы . . . . .	2	30
Маслобойки . . . . .	1	7,5
Триеры . . . . .	4	4
Веялки . . . . .	2	1,5
Сортировки . . . . .	2	1
Кукурузодавилки . . . . .	5	26,5
Ялосорезки . . . . .	4	37,5
Соргодавилки . . . . .	1	7,5
Ремонтные мастерские и пр. . .	5	7,75
<b>Итого . . . . .</b>	<b>35</b>	<b>277,75</b>

одоевание же и электрострижка не были осуществлены из-за неготовности соответствующей аппаратуры.

м работ по электромоторным установкам для уборочной кампании в 1932 г. определился следующие цифры:

электромоторные установки во время уборочной кампании в первую очередь обслуживали молоты, очистку и сортировку зерна, резку силоса, очистку картофеля, прессовку сена и соломы и пр. По окончании уборочных работ трансформаторы и моторы установок перебрасывались на другие работы.

	1930 г.	1931 г.	1932 г.
число пунктов . . . . .	106	175	374
число агрегатов . . . . .	168	268	551)
число передвижных . . . . .	10	26	110
установленная мощность в л. с. .	1 750	2 500	5 710

Так, например, в Башкирии все трансформаторы после молоты были переброшены в прилегающие молотные фермы, садовхозы и МТС, как временное оборудование для водоснабжения.

Электромоторные установки для молоты в основном обслуживали колхозы и МТС, частично также и совхозы. Практика показала, что эффективность электромолоты весьма значительна. При электромолоты увеличивается производительность молотилок, а главное, уменьшаются потери зерна в соломе до 1,5—3,0%, в то время как при тракторной молоты эти потери достигают 4—5%, при конном приводе—8%, а при молоты цепями или лошадьми, которых гоняют по разложенным снопам,—даже 15%.

Положительные сдвиги дал 1932 г. и в отношении рода с.-х. электроустановок, а именно 40% по количеству и 43,5% по мощности всех установок, пущенных в эксплуатацию в 1932 г., приходится на подстанции от рэс, промышленных и т. п. станций, против тех 3% по количеству и 12,5% по мощности, которые занимали подстанции во всех электроустановках, обслуживавших сельское хозяйство к началу 1932 г. Наконец, и в смысле размера с.-х. электростроительства 1932 г. дал относительно благоприятный сдвиг: 40% всей мощности с.-х. электроустановок, пущенных за первую пятилетку, приходится на 1932 г.

Прочие показатели строительства и эксплуатации с.-х. электроустановок в 1932 г. не дали заметных положительных сдвигов. Снижение стоимости строительства было очень незначительно, невелик (поскольку можно судить по выборочным данным) рост коэффициента использования установок, вряд ли превысивший в среднем 1 600 час., отсюда малы успехи и по снижению себестоимости электроэнергии.

Подведем теперь количественные итоги выполнения электрификации сельско-хозяйственного плана первой пятилетки и ее состояния к началу второй пятилетки. Количественное задание на первую пятилетку по вводу мощности с.-х. электроустановок в эксплуатацию и фактическое его выполнение дается в следующей таблице:

Прирост мощности с.-х. электроустановок (тыс. kW)

Состояло на 1/X 1928 г.	П р и р о с т з а						Состоит на 1/I 1933 г.
	1928/29 г.	1929/30 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.	За 5 лет	
По плану 21,7 . . . . .	8,0	11,6	24,2	39,1	59,4	142,3	164,0
Фактически 29,5 . . . . .	3,4	6,0	11,5	15,4	—	36,3	65,8

Итак, налицо значительное невыполнение плана; пожалуй, ни одна самая отсталая отрасль нашего хозяйства не имеет столь низкого выполнения пятилетнего плана (всего лишь на 25%).

Каковы причины этого явления? Одна из основных причин—это недооценка электрификации сельского хозяйства как со стороны организаций, в ведении которых находятся хозяйства—объекты с.-х. электрификации, так и со стороны планирующих органов. Достаточно указать, что годовые оперативные планы с.-х. электростроительства всегда были значительно ниже соответствующих лимитов по пятилетнему плану. Следующая причина, непосредственно ударившая по с.-х. электростроительству первых двух лет пятилетки, отраженно повлиявшая и на последующие годы,—это то несоответствие действительным задачам с.-х. электрификации, которое наблюдалось в направлении с.-х. электростроительства до 1930 г. включительно, т. е.

отсутствие увязки со строительством совхозов, колхозов и т. д. К последней причине тесно примыкает и отчасти ею объясняется поздний приступ и недостаточно форсированное проведение научно-исследовательских и опытных работ. Наконец, решающее значение в невыполнении плана в последние два года пятилетки сыграло совершенно недостаточное обеспечение с.-х. электростроительства необходимыми материалами и оборудованием.

Рассмотрим теперь данные, относящиеся к роду и типу с.-х. электроустановок.

		Состояло на 1/1 1929 г.		Состоит на 1/1 1933 г.	
		количество	мощность в kW	количество	мощность в kW
1	Подстанции . . . . .	10	598	122	12 846
2	Гидростанции . . . . .	190	7 094	207	8 795
3	Паровые станции . . . . .	125	6 466	151	8 178
4	Дизельные . . . . .	176	8 904	328	25 534
5	Нефтяные (кроме дизельных) . . . . .		5 588	224	7 279
6	Тракторные . . . . .	2	30	68	3 137
7	Газогенераторные . . . . .		911	35	1 085
Итого . . . . .		694	29 591	1 135	65 851

Единственным положительным сдвигом в типе с.-х. электроустановок является только рост числа и мощности подстанций; что касается самостоятельных с.-х. станций, то здесь наблюдается даже ухудшение их типа в смысле роста числа установок на нефтяном топливе. Это объясняется тем, что при отсутствии локомобилей и газогенераторов наиболее доступными двигателями для с.-х. электростроительства в настоящее время являются нефтянка, трактор и отчасти дизель. Использование гидротурбин затруднено несовпадением размещения основных потребителей электроэнергии в сельском хозяйстве (животноводческие и зерновые совхозы и МТС) с водными энергоресурсами.

Сочетая данные о характере с.-х. электроустановок с потребителем, которого они обслуживают, можно примерно определить, что из общей мощности с.-х. электроустановок к началу второго пятилетия в размере 65 тыс. kW, установки на мощность 15—18 тыс. kW удовлетворяют минимальным техническим требованиям и, кроме того, обслуживают действительно актуального потребителя с точки зрения перспективных задач электрификации сельского хозяйства (животноводческие совхозы, зерносовхозы, МТС). Около 20 тысяч kW насчитывается мельчайших установок, частью на постоянном токе, обслуживающих, главным образом, освещение; большинство из них не имеет хозяйственного значения. И, наконец, прочие установки на мощность примерно 27—30 тыс. kW, пригодные с технической точки зрения, обслуживают предприятия по первичной переработке с.-х. продукции, кустарную промышленность и т. п. мелкую индустрию, частично не имеющую отношения к сельскому хозяйству. Эти же установки имеют большую осветительную нагрузку.

Общую установленную мощность токоприемников в с.-х. к началу второй пятилетки можно оценить цифрой порядка 80 т. kW, из них для освещения 56 т. kW и для моторов 24 т. kW, т. е. в сельском хозяйстве имеется около 1,8—2,0 млн. ламп и около 8 тыс. моторов. Коэффициент использования установленной мощности не превышает 1 600 час., себестоимость энергии в среднем колеблется от 15 до 25 коп. за 1 kWh.

Все эти данные свидетельствуют о том, что с.-х. электрификация требует очень пристального к себе внимания, чтобы она могла успешно разрешить задачи второй пятилетки.

Говоря о современном положении электрификации сельского хозяйства и об итогах первой пятилетки, нельзя обойти молчанием те многообразные отклонения от генеральной линии партии, которые наметились у целого ряда работников прямо или косвенно связанных с делом электрификации сельского хозяйства. Основная опасность лежала в правом уклоне (о проявлениях его частично было сказано выше), проявляющемся в недооценке дела электрификации сельского хозяйства, в противопоставлении электрификации сельского хозяйства общей электрификации страны, в игнорировании социального значения электрификации сельского хозяйства, в стремлении приспособить электрификацию сельского хозяйства к мелкому индивидуальному крестьянскому хозяйству, в игнорировании внедрения электроэнергии в производство с.-х. процессы и т. д. Наряду с этим мы имели и «левые» по форме, а по существу оппортунистические уклоны такого порядка, как противопоставление электрификации трактору, стремление перескочить одну стадию в электрификации отдельных хозяйств к массовым процессам производства, проектировка явно непосильных масштабов и темпов развития электрификации сельского хозяйства, стремление сразу охватить все процессы с.-х. производства, уход от реальных проблемами электрификации процессов, не имеющих актуального значения, при забвении основных задач.

Борьба на два фронта в области электрификации сельского хозяйства была и остается одной из основных задач.

С учетом этих условий проблема постепенного внедрения электроэнергии в сельское хозяйство, сформулированная XVII Партконференцией, разрешается второй пятилетки следующим образом<sup>2)</sup>.

Ведущей отраслью в смысле развития электрификации сельского хозяйства является животноводство и притом в первую очередь по линии интенсификации хозяйств (пригородное молочное хозяйство, свиноводство, птицеводство, отчасти молочно-масляное хозяйство). По молочному и молочно-масляному хозяйству к 1937 г. намечается охватить электрификацией 50—60% поголовья совхозов и 3% поголовья товарных ферм с переводом на обслуживание электроэнергией следующих процессов производства (дойки, чистки скота, кормоприготовление, водоснабжения, откачки навозной жижи, вентиляция предприятий по переработке (молочные, маслоделательные, казеиновые заводы, сливные пункты), мелкомоторных нагрузок и ремонтных мастерских, подогрева помещений (частично), и наконец, освещения как производственных помещений, так и бытового сектора. В некоторых наиболее крупных совхозах намечается также электрификация внутрихозяйственного транспорта. По мелко-товарным фермам перечень процессов, намеченных к электрификации, сужен, так как по размерам и характеру организации своего хозяйства МТФ дают сравнительно с совхозами меньшие предпосылки для электрификации.

<sup>2)</sup> Основные линии развития электрификации сельского хозяйства во 2-й пятилетке сформулированные в настоящей статье и приведенные в ней цифровые данные являются наметкой сектора электрификации НКЗема СССР, еще не утвержденные Госпланом СССР. Сектор Электрификации НКЗема СССР явно недооценивает значение во 2-й пятилетке электрификации полеводческих процессов и в первую очередь наиболее трудоемких из них: обработки почвы и уборки урожая, отдавая им весьма скромное место. В частности, электромолотьба, успешно осуществленная в ряде областей и районов Союза в уборочную кампанию текущего года, вызвала в МТС и колхозах огромный интерес к электрификации с.-х. производства и по праву заняла ведущую роль.

мясо-молочному хозяйству, более экстенсивному, расположенному в малонаселенных районах, к концу 1937 г. предполагается охватить электрификацией около 20% поголовья соответствующих совхозов, с переводом на электроэнергию примерно тех производственных процессов, что и по молочному животноводству.

Для электрификации в указанных размерах крупного скотоводства к концу второй пятилетки потребуется мощность порядка около 85 тыс. kW при потреблении электроэнергии в размерах 200 млн. кВт.ч в год.

В свиноводстве наряду с молочным хозяйством — отрасль, имеющая очень значительные предпосылки для электрификации. По свиноводству намечается к 1937 г. охват около 50% поголовья совхозов и 5% поголовья свиноводческих товарных ферм с переводом на обслуживание электроэнергией основных производственных процессов (кроме, конечно, полеводства). Для электрификации свиноводства потребуется около 64 тыс. kW мощности при потреблении энергии в размере порядка 156 млн. кВт.ч.

Птицеводство также относится к числу отраслей с большими предпосылками для эффективной электрификации. По птицеводству к концу 1937 г. предполагается электрифицировать около 40—50% поголовья в совхозах, около 20% поголовья в птицеводческих фермах и почти сплошь все ИПС. В птицеводческих хозяйствах электроэнергия предназначена для обслуживания прежде всего процессов инкубации, инкубации, затем для освещения (в частности, для освещения так называемого „искусственного“ дня, повышения продуктивности птиц), для кормоприготовления, обогрева, вентиляции и прочей моторной нагрузки подсобных работ и предприятий. Для электрификации птицеводства потребуется мощность порядка 115 тыс. kW с расходом энергии в размере около 115 млн. кВт.ч.

В остальных отраслях животноводства, в частности, в коневодстве и кролиководстве, имеют значительно меньше предпосылок для электрификации. Для птицеводства наибольший интерес с точки зрения экономии электроэнергии имеет стрижка, которую предполагается обслужить электроэнергией при помощи передвижных агрегатов. Для электрификации овцеводства (с охватом 20% поголовья совхозов и 3% поголовья товарных ферм, причем в части электрификации стрижки этот процент охвата будет более повышенный) и кролиководства (при охвате 10% совхозного и 3% поголовья товарных ферм) к концу 1937 г. потребуется мощность порядка 7,5 тыс. kW при потреблении энергии в 9 млн. кВт.ч.

В растениеводстве, поскольку основной энергетической базой механизации полевых процессов на вторую пятилетку остается трактор, по сравнению с животноводством роль электрификации будет скромнее. Из технических культур наибольший интерес в смысле экономии электроэнергии имеет хлопководство, в смысле электромеханизации орошения и использования электричества для подогрева культивационных установок для рассады. К 1937 г. предполагается электрифицировать около 25% хлопковых совхозов (по площади), на что потребуется около 115 тыс. kW мощности при расходе энергии порядка 115 млн. кВт.ч.

В хозяйствах прочих технических культур (льна, конопли, льняного семени, новолубяные культуры) электроэнергия в основном используется только для механической переработки, подсобных предприятий (ремонтные мастерские) и освещения. К 1937 г. предпо-

лагается дать ток для этих целей от 50 до 80% совхозов этого направления, для чего потребуется около 11 тыс. kW при потреблении энергии порядка 24 млн. кВт.ч.

В особом положении находится овощное хозяйство, могущее предъявить большой спрос на электроэнергию для целей электромеханизации орошения, подогрева парников и внутрихозяйственного транспорта. Возможности электрификации овощного хозяйства усиливаются его обычным расположением вокруг промышленных центров, имеющих энергетические базы в виде крупных электростанций. К 1937 г. намечается электрификация около 15% овощных совхозов (по площади) и части овощных колхозов, для чего потребуется мощность порядка 20 тыс. kW при потреблении энергии в размере 60 млн. кВт.ч.

В плодово-ягодном хозяйстве электричество предполагается использовать для орошения и подогрева растений, для подсобных предприятий и предприятий по хранению и переработке продукции. К 1937 г. намечено к электрификации около 10% совхозов (по площади), для чего требуется мощность порядка 4 тыс. kW при расходе энергии 9,5 млн. кВт.ч.

В качестве особого мероприятия в перспективе второй пятилетки выдвигается проблема освоения новых земель при помощи электромелиоративных и электроиригационных работ, т. е. та самая проблема, для разрешения которой намечено строительство Камышинской гЭС. Использование электроэнергии для подобного рода работ намечается в конце 1937 г. для площади, несколько выше 40 тыс. га с потребной мощностью в 12,5 тыс. kW и потреблением энергии в 25 млн. кВт.ч (не считая, конечно, Камышинской гЭС, вступающей в эксплуатацию после 1937 г.).

Помимо отмеченных выше хозяйств, где электрификация охватывает производственные процессы, в перспективе работ второй пятилетки предусматривается еще ряд с.-х. потребителей электроэнергии, которым последняя нужна, главным образом, для подсобных процессов.

В этой плоскости в число потребителей электроэнергии выдвигаются прежде всего ремонтные мастерские совхозов и МТС даже тех, в которых не намечается сколько-нибудь значительной электрификации производственных процессов. К 1937 г. намечается дать электрический ток 50% крупных мастерских МТС, 100% зерносовхозов и примерно 60% прочих совхозов, не считая того, что по всем тем совхозам, где намечается электрификация производственных процессов, будут электрифицированы и ремонтные мастерские. В МТС и совхозах намечается также устройство электроосвещения в основных производственных и бытовых постройках. В целом для этих целей требуется солидная, относительно, мощность порядка 75 тыс. kW с годовым расходом энергии 150 млн. кВт.ч.

Далее учитывается необходимость дать электроэнергию отдельным предприятиям кустарной промышленности, главным образом связанным с первичной переработкой с.-х. продукции и вообще удовлетворить нужды в электроэнергии отдельных производственных предприятий или даже отдельных производственных процессов, из которых некоторые представляют с точки зрения электрификации весьма большой интерес (молотьба). Для этих целей намечается мощность в размере 70 тыс. kW при потреблении энергии около 115 млн. кВт.ч.<sup>3)</sup>

<sup>3)</sup> В связи с большим успехом электромолотьбы в уборочную кампанию текущего года эта цифра должна быть значительно повышена. В числе с.-х. потребителей электроэнергии во второй пятилетке займет одно из решающих мест.

Наконец, должно быть запроектировано более усиленное внедрение электроэнергии в быт колхозного населения, главным образом, для целей освещения, для чего намечается мощность порядка 55 тыс. kW при потреблении электроэнергии в размере примерно 72 тыс. kWh, что позволит обслужить около 6—8 млн. колхозников (с учетом мощности, обслуживающей освещение на начало второй пятилетки).

Особо необходимо отметить вопрос об использовании электроэнергии для целей обработки почвы. Выше уже отмечалось, что в этой области по целому ряду причин, в частности и по несовершенству современных машин, роль электричества будет незначительна. В области зерновых культур намечается перевод в виде опыта одного из массивов (с площадью примерно в 60 тыс. га) на обслуживание при помощи электрифицированных орудий всех полевых производственных процессов. В области технических культур (хлопок, свекла, овощи) намечается также, в порядке опыта, перевод на электрическую обработку почвы и последующих процессов, вплоть до уборки 20 тыс. га.

Наконец, для электрификации плантажного хозяйства (виноград и т. п.), где, повидимому, электрообработка почвы имеет значительно большие предпосылки, чем в зерновом или даже в хозяйстве технических культур, намечается площадь в 20 тыс. га. Всего для электрообработки почвы и сбора урожая потребуются к концу 1937 г. мощность в 10 тыс. kW с потреблением электроэнергии в 18 млн. kWh.

Таким образом для проектируемого развития электрификации сельского хозяйства в перспективе второй пятилетки потребуется новой мощности 447 тыс. kW или с учетом коэффициента разновременности 400 тыс. kW, что даст вместе с существующими на 1/1 1933 г. с.-х. электроустановками мощность в 465 kW при потреблении энергии около 1000 млн. kWh в 1937 г. Это еще далеко не удовлетворит полностью потребность нашего сельского хозяйства в электроэнергии, но это будет огромным сдвигом в смысле реализации директивы о постепенном внедрении электроэнергии в производственные процессы сельского хозяйства.

Отраслевой и социальной дифференциации масштабов и темпов развития электрификации сельского хозяйства во второй пятилетке сопутствует также и территориальная дифференциация последних, зависящая как от размещения и специализации сельского хозяйства, так и от облика того или иного района в смысле наличия в нем крупных промышленных центров, районных станций, развития сетевого хозяйства и прочих факторов, способствующих электрификации сельского хозяйства. С учетом всех этих условий во второй пятилетке особенно выделяются в отношении развития электрификации сельского хозяйства следующие районы: Московская и Уральская область, Западно-сибирский, Северо-кавказский край, ЦЧО, Средняя Волга и, конечно, УССР.

Как раз в большинстве этих районов мы имеем сочетание развития отраслей сельского хозяйства, имеющих наибольшие предпосылки для электрификации (пригородно-молочное, масляное, овощное, птицеводческое и свиноводческое хозяйства), с развитой общей электрификацией (с некоторым исключением для ЦЧО и Средней Волги).

В отношении принципов электроснабжения сельского хозяйства во второй пятилетке выше уже указывалась необходимость переключения на преимущественное использование для этой цели крупных станций (рЭС, промышленных, городских).

Как уже отмечалось в свое время в плане ГОЭЛРО включение с.-х. потребителей в общую электроснабжающую систему дает выгоды не только с.-х. потре-

бителям электроэнергии, но улучшает показатели работы всей электроснабжающей системы, позволяет в частности, выравнять графики нагрузки, увеличить коэффициент использования установленной мощности и т. д.

Из всей вновь вводимой мощности для сельского хозяйства во второй пятилетке в размере 400 тыс. от рЭС и крупных станций предполагается получить примерно 210 тыс. kW и от самостоятельных установок 190 тыс. kW.

При сооружении самостоятельных с.-х. электростанций во втором пятилетии должен быть сделан упор на использование местных энергетических ресурсов, на максимальное укрупнение этих установок путем присоединения к одной и той же установке всего комплекса возможных потребителей независимо от их ведомственной принадлежности, на максимальную стандартизацию и типизацию строительства, намечаемый тип самостоятельных с.-х. электростанций во втором пятилетии рисуется в таком виде:

1. Паротурбинные установки:		В тыс. kW	В%
а) Теплофикационные . . . . .		9,5	50
б) Конденсационные . . . . .		5,0	26
Итого . . . . .		14,5	76
2. Локомотивные:			
а) Теплофикационные . . . . .		8,3	43
б) Конденсационные . . . . .		33,4	173
Итого . . . . .		41,3	216
3. Гидростанции . . . . .		22,2	116
4. Газогенераторные станции . . . . .		45,2	236
5. Дизельные станции . . . . .		35,1	184
6. Прочие нефтяные станции . . . . .		31,6	165
7. Ветряные . . . . .		1,3	07
Всего . . . . .		190,1	100

По сравнению с тем, что мы имеем сейчас, на вторую пятилетку намечаются большие сдвиги в смысле перехода на использование местных дешевых энергетических ресурсов. Однако все же приходится признать, что удельный вес с.-х. электроустановок на нефтяном топливе и во втором пятилетии остается довольно значительным. Это объясняется не столько невозможностью использовать для целей электрификации сельского хозяйства местные ресурсы в большом размере, сколько неподготовленностью нашей промышленности, которая пока совершенно не издает газогенераторов и выпускает локомотивы в явно недостаточном размере.

Что же касается прочего оборудования, помимо первичных двигателей и генераторов, то весьма узким местом является голый проводниковый материал. Для изжития этого узкого места организации, занимающиеся с.-х. электрификацией, проводят целый ряд мероприятий по замене меди и алюминия железом, в результате чего имеется возможность в перспективе второй пятилетки центр тяжести при строительстве линий перенести на менее дефицитный материал. Вопросы оборудования для электрификации сельского хозяйства не решаются только с количественной стороны, необходимо, чтобы во второй пятилетке с качественной стороны промышленность удовлетворила запросы с.-х. электрификации в смысле изготовления специальных моторов, проводов, защищенных от действия аммиачных паров и сырости и т. д., говоря уже об изготовлении специального оборудования (дольных машин, машин для стрижки, запарни-

на научно-исследовательского, конструкторского, опытного и порой даже изобретательского порядка. Не перечисляя всего специального оборудования, назовем лишь некоторые основные позиции. Во второй пятилетке для электрификации сельского хозяйства необходимы электродоильные агрегаты (3 500 комплектов), пылесосы для чистки скота (около 5 тыс.), машинки для стрижки коров (210 шт.) и овец (728 шт.), агрегаты для откачки навозной жижи (свыше 3 000 шт.), ряд типов оборудования для внутрихозяйственного транспорта, инкубаторы, брудеры, комплекс электрифицированных орудий для зернового и свекловичного хозяйства, хлопка, винограда и т. д. Нелишне еще раз обратить внимание, что вопрос об удовлетворении с.х. электрификации нужным оборудованием и в требуемых ею размерах есть решающий момент, в основном определяющий успех выполнения плана второй пятилетки.

Другим существенным моментом, от которого будет зависеть успешность осуществления намеченных мероприятий по электрификации сельского хозяйства является эффективность соответствующих научно-исследовательских и опытных работ. Выше мы уже отмечали, что в этой области за первую пятилетку сделано недостаточно, восполнение прорыва падает на долю второй пятилетки, особенно ее первых двух лет. Необходимо, чтобы внимание научно-исследовательских организаций было обращено на наиболее актуальные проблемы с целью скорейшего их разрешения. Из таких проблем, в частности, являются: для животноводческих хозяйств — выбор системы и типа электроузного аппарата, выбор типа внутрихозяйственного транспорта, выбор системы по откачке навозной жижи, удалению навоза, выбор рационального привода для промприготовительных машин, выбор типа брудера, инкубатора и пр.; в отношении полеводства необходим уклон в сторону наметки конкретных методов электрификации технических и специальных культур. Следующим за научно-исследовательской работой делом является опытная апробация ее результатов производственных условиях. Существующие опытные животноводческие совхозы (Клементьево и Ачкарово) должны быть форсированно превращены в дей-

ствительно показательные хозяйства с электрификацией в них всех основных производственных процессов, и в них должна быть обеспечена должная методика проведения и фиксации результатов опытной работы. Помимо этих совхозов уже в 1934 г. необходима организация опытного электрифицированного птицеводческого совхоза и постановка опытов по электрификации ИПС. В равной мере в течение второй пятилетки должна быть налажена и углублена опытная работа по применению электроэнергии в полеводстве путем организации ряда ЭМТС.

На грани опытных и обычных производственных мероприятий по электрификации сельского хозяйства стоит проблема создания ряда опытных электрифицированных районов как реализация указаний т. Сталина, данных на XVI Съезде партии. Эти районы должны быть выбраны из числа тех, в которых специализация хозяйства пошла по пути отраслей, имеющих наибольшие предпосылки для электрификации, где с.х. предприятия хозяйственно крепки, где возможная электрическая нагрузка достаточно сконцентрирована, где, наконец, имеется соответствующая энергетическая база в виде районной, или какой-либо иной крупной станции. В этих районах должны быть переведены на электроэнергию все основные производственные процессы (конечно, те, возможность эффективной электрификации которых достаточно проверена) и широко использована электроэнергия для бытовых целей. В качестве таких районов ориентировочно выдвигаются: один из районов, прилегающих к Днепрогрэс, Челябинский район, один из районов Кузбасса, Крымско-Греческий район на Северном Кавказе, хлопковый район в Средней Азии (прилегающий к гидростанции Янги-Арык) и Рогачевский район в БССР.

Таковы в основных чертах перспективы развития электрификации сельского хозяйства СССР во второй пятилетки. Реализация этих наметок (требующих в общем вложений свыше 500 млн. руб.) по ценам 1932 г. позволит заложить фундамент для последующего перевода всего сельского хозяйства на электрическую базу.

## НОВОЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

### Новые пути преобразования электрической энергии

(окончание <sup>1</sup>)

Проф. К. А. Круг  
Москва, ВЭИ

#### У. Преобразование постоянного тока в переменный

Преобразование управляемых сеток в ртутных ионных аппаратах позволило поставить и приблизить решение важной проблемы преобразования энергии постоянного тока в энергию переменного тока, т. е. сделать ртутник обратимым прибором, что долгое время считалось совершенно невозможным и неосуществимым.

Дело в том, что в электрических машинах переход от работы машины в качестве генератора к работе в качестве мотора происходит таким образом, что направление сохраняет свое направление (в машинах переменного тока сохраняется фаза э. д. с.) независимо от того, работает ли данная машина в качестве генератора или двигателя. При переходе работы машины от генератора к мотору меняется направление не на-

пряжения, а тока. В ртутнике же направление тока изменено быть не может, так как ртутник пропускает ток только в одном направлении, а именно от анода к катоду.

Для того чтобы ртутник мог воспринять энергию из сети постоянного тока и передать ее в виде энергии переменного тока, необходимо, сохранив направление тока, изменить полярность постоянного тока, т. е., не меняя схемы, положительную шину сделать отрицательной, а отрицательную положительной (т. е. изменить полярность между анодами и катодами). Пользуясь запирающим и отпирающим действием сеток, мы по очереди можем пропускать ток то через одну обмотку трансформатора, то через другую и, таким образом, получать переменный ток.

На рис. 16 показана простейшая схема преобразования постоянного тока в переменный, в которой пропускание тока то через одну, то через другую половину первичной обмотки трансформатора регулируется

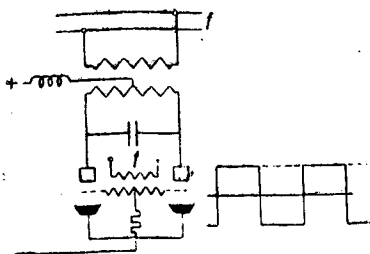


Рис. 16

при помощи маленького вспомогательного трансформатора (или какого-нибудь другого аппарата), который работает с желательной частотой и сообщает левой сетке положительный, а правой отрицательный потенциал или наоборот.

Для наглядности вычерчены два отдельных ртутных прибора, соединенные

своими катодами, хотя, конечно, ничего не изменится, если мы возьмем один ртутник с двумя анодами.

Если сетка левого анода имеет положительный потенциал, то через левую обмотку рабочего трансформатора и левый анод пройдет ток, причем имеющийся между анодами конденсатор зарядится так, что правая обкладка будет иметь положительный потенциал, а левая — отрицательный, ибо правый конец правой обмотки рабочего трансформатора будет иметь более высокий потенциал, чем левый конец левой обмотки. Если теперь изменится полярность сеток, т. е. сетка правого анода получит положительный потенциал, а сетка левого анода отрицательный, то прежде всего начнет разряжаться конденсатор, и этот разрядный ток даст импульс тока через правый анод, имея встречное направление с током, проходящим через левый анод, при этом погасится дуга у левого анода, и таким образом ток перейдет с левой обмотки трансформатора на правую обмотку. Через полпериода опять вспомогательный трансформатор изменит знак потенциалов у сеток, и ток перейдет в силовом трансформаторе с правой обмотки на левую и т. д.

Как ни проста эта схема, она, однако, неприемлема, так как не дает синусоидальных э. д. с. Постоянный ток, направляемый при помощи сеток то в одну, то в другую половину первичной обмотки трансформатора, будет равноценен переменному току, изменяющемуся по прямоугольной форме кривой. Кроме того, при больших токах она работает недостаточно четко и надежно, так как разрядный ток конденсатора может и не погасить дуги у предшествующего анода при переходе тока к следующему аноду.

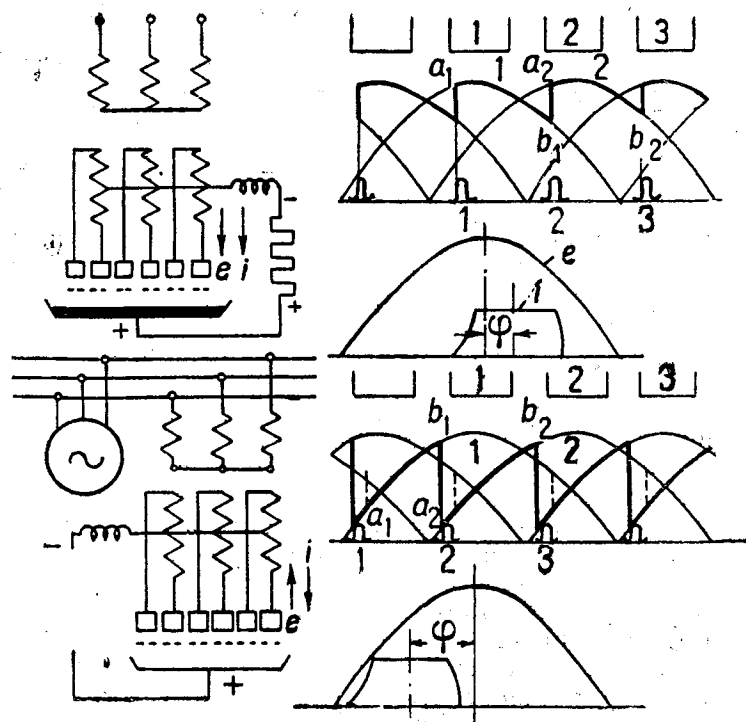


Рис. 17

Поэтому при преобразовании постоянного тока переменный приходится на стороне переменного ставить синхронную машину, которая задавала бы необходимую частоту, а главное придавала бы напряжению переменного тока синусоидальную форму.

Положим, что ртутник работает в качестве преобразователя на мощную трехфазную сеть, питаемую от других генераторов, так что форму кривой напряжения этой сети подпитывание ее со стороны преобразователя изменить не может.

Работа ртутника в качестве преобразователя, получающего энергию из сети постоянного тока, будет отличаться от работы того же ртутника в качестве выпрямителя прежде всего тем, что при работе выпрямителем в обмотках трансформатора (верхняя часть рис. 17), связанных непосредственно с анодами, ток и э. д. с. имеют одно и то же направление, при работе же ртутника в качестве преобразователя (нижняя часть рис. 17) ток и э. д. с. имеют направление противоположное.

В выпрямителе, для того чтобы дуга перешла с одного анода на другой (с первого на второй необходимо, чтобы э. д. с. вновь открываемой (второй фазы) была больше э. д. с. предшествующей фазы, т. е. коммутация происходит в точках  $b_1$ , т. д. на нисходящей ветви положительной части синусоиды э. д. с. предшествующей фазы и на восходящей ветви синусоиды последующей фазы.

В преобразователе же, для того чтобы ток в какой-нибудь фазе уменьшился и стал нарастать ток в другой фазе, необходимо, чтобы с течением времени разность между напряжением постоянного тока и э. д. с. в этой фазе, уменьшалась, т. е. коммутация должна происходить в промежуток времени, когда противодействующая э. д. с. в предшествующей фазе растает. На рис. 17 (нижняя половина) ординаты синусоид равны и противоположны э. д. с., наводимым в соответствующих обмотках трансформатора, с помощью анодами.

Таким образом коммутация в преобразователях происходит на восходящей части синусоиды предшествующей фазы.

Так, если мы в момент 2 (нижняя половина рис. 17) откроем второй анод, сообщив его сетке положительный импульс, то ток перейдет на вторую фазу, если бы не было индуктивности рассеяния, то значение тока, которую приходилось бы преодолевать постоянному току со стороны второй фазы трансформатора, определялось бы ординатой в точке 2 синусоиды э. д. с. второй фазы, т. е. ординатой  $2a_2$ , в то время как противодействующая э. д. с. первой фазы определялась бы отрезком  $2b_1$ . Вследствие меньшей противодействующей э. д. с. ток в момент 2 переходит (при отсутствии индуктивности) с первого анода на второй. В этот момент противодействующая э. д. с. второй фазы будет возрастать (по восходящей ветви синусоиды), и ток во второй фазе будет протекать до тех пор, пока мы сообщим в момент 1 положительный импульс третьему аноду, и ток не перескочит со второго на третий и т. д.

Благодаря индуктивностям рассеяния, имеющимся в обмотках трансформатора, дуга будет переходить с одного анода на другой не сразу, переход будет длиться некоторое время, определяемое так называемым углом перекрытия. Соответствующее изменение противодействующей э. д. с. за время перекрытия двух анодов, показан пунктирной линией.

Если теперь вычертить кривые э. д. с. и тока одной фазы трансформатора, то увидим, что ток опережает кривую напряжения и при

сдвига (опережения) будет значительно больше, при работе ртутника в качестве выпрямителя. Это получается благодаря тому, что мы используем в преобразователе лишь восходящую часть кривой синусоиды напряжения  $ab_1$  или  $ab_2$ , в то время как в выпрямителе используется часть кривой, в течение которой проходит ток, находится на верхушке синусоиды ( $a_1 b_1$  и  $a_2 b_2$  в верхней части рис. 17).

Поэтому помимо высших гармоник преобразователь в сеть переменного тока опережающий ток, что равносильно, он должен получать из сети отстающий ток, а это приводит к тому, что питающие сеть переменного тока генераторы должны давать достаточный отстающий реактивный ток; величина этого реактивного тока составляет 48% от активной составляющей тока, посылаемого преобразователем в сеть переменного тока.

Если вся активная мощность сети переменного тока покрывается ртутным преобразователем, то синхронная машина, задающая частоту и предопределяющая синусоидальную форму кривой напряжения, должна быть рассчитана также и на реактивную (холостую) мощность, составляющую чуть ли не половину мощности нагрузки сети переменного тока. Если нагрузка имеет  $\cos \varphi = 0,7$ , то синхронная машина должна была бы быть рассчитана на кажущуюся мощность, равную почти 120% от полезной (активной) мощности нагрузки, отдаваемой преобразователем и, кроме того, она должна была бы компенсировать высшие гармоники. Это обстоятельство является определенным минусом, с которым придется считаться при таком преобразовании постоянного тока в переменный.

Весьма оригинальное разрешение вопроса об уменьшении мощности синхронной машины, задающей частоту, получение синусоидальных э. д. с. и покрытия активной мощности предложил проф. Петерсен.

Вместо синхронной машины основной частоты, принимаемой ко вторичной обмотке трансформатора, введенного ртутником, Петерсен вводит последовательно в цепь постоянного тока генератор (или вторую обмотку трансформатора) с э. д. с. двойной частоты такой формы  $abcde fghk$  (рис. 18), чтобы постоянное напряжение подводимого постоянного тока  $OA$ , являясь с этой дополнительной э. д. с., давало бы выпрямленные полусинусоиды (одного и того же направления)  $OBCDE$ .

Прикладывая поочередно при помощи преобразователя, который можно рассматривать как своего рода переключатель, то к одной, то к другой половине первичной обмотки рабочего трансформатора, напряжения, представляемые этими полусинусоидами, мы на вторичных клеммах будем получать синусоидальное переменное напряжение с кривой  $OBCDE$ .

При неиндуктивной нагрузке переменного тока, очевидно, кривая тока в цепи постоянного тока будет состоять из выпрямленных полусинусоид и будет иметь ту же форму, как и кривая подводимого к преобразователю напряжения ( $OBCDE$ ).

Для того чтобы не нагружать добавочной синхронной машины двойной частоты большим током и не увеличивать ее расчетной мощности, параллельно клеммам этой машины включается большая индуктивность (рис. 18). Эта индуктивность будет пропускать постоянную слагающую тока  $OA$ , так что на долю генератора двойной частоты останется напряжение ток, которые должны меняться по кривой  $abcde fgh$ . В такой схеме при преобразовании постоянного тока в переменный активная мощность синхронной машины составит лишь 23% от мощности, доставляемой источником постоянного тока, или 19% от мощности, получаемой сетью переменного тока. Если еще

учесть, что эта машина двойной частоты, то мы имеем большое снижение типа синхронной машины.

Прежде чем перейти к трехфазной системе, рассмотрим, как по предложению Петерсена может быть покрыта реактивная мощность. Если обратиться к кривым мгновенных значений напряжения тока и мощности при реактивной нагрузке, то увидим, что в течение одной (большой) части полупериода напряжение и ток имеют одно и то же направление, и энергия направляется от источника энергии к потребителю; в течение другой (меньшей) части периода ток имеет направление, противоположное направлению напряжения, и энергия (часть энергии, сообщенной потребителю) возвращается обратно источнику энергии (рис. 19).

Для того чтобы осуществить возврат энергии источнику энергии, достаточно параллельно к ртутникам, пропускающим ток в одном направлении, присоединить ртутники, которые пропускали бы ток в противоположном направлении, когда напряжение и ток противоположны, и регулировать при помощи сообщения соответствующим

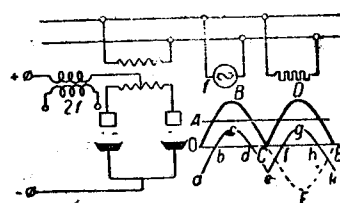


Рис. 18

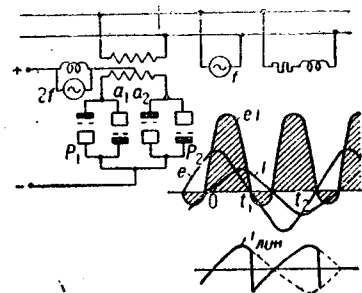


Рис. 19

щим сеткам положительного или отрицательного потенциала. Таким образом пропускание токов анодами, чтобы как раз в моменты (момент  $t_1$ ), когда напряжение будет проходить через нуль, сетке „прямого“ (активного) анода  $a_1$  левой половины первичной обмотки трансформатора сообщается отрицательный потенциал, а сетке „обратного“ (реактивного) анода  $p_2$  правой половины обмотки — положительный потенциал. Тогда ток, благодаря относительно большому сопротивлению для прохождения тока через прямой анод  $a_1$  левой половины по сравнению с сопротивлением обратного анода  $p_2$  правой половины, сохраняя свое направление (ампервитков) в первичной обмотке трансформатора, пойдет через обратный анод  $p_2$  правой половины. Что же касается цепи (линии) постоянного тока, то там ток будет по верхнему проводу идти к плюсу, а по нижнему проводу от минуса, и при таком направлении тока энергия будет возвращаться источнику постоянного тока. Это будет продолжаться до тех пор, пока ток, проходящий через „обратный“ анод  $p_2$  правой половины, не спадет до нуля, после этого ток, продолжая проходить через правую половину первичной обмотки, изменит свое направление и замкнется через прямой анод  $a_2$  правой обмотки, при этом энергия уже будет получаться от источника постоянного тока, пока напряжение второй полусинусоиды не спадет до нуля (момент  $t_2$ ); после этого ток должен перейти на „обратный“ анод левой обмотки с возвращением энергии источнику тока и т. д. На рис. 19 показана форма кривой, которую будет иметь ток в линии.

Колебания тока, а еще более изменение направления тока, имеющее место при преобразовании постоянного тока в однофазный ток, в случае реактивной нагрузки представляет большие затруднения для работы установок, вырабатывающей энергию постоянного тока.

При применении этой же схемы для получения трехфазного тока благодаря уравновешенности трехфаз-

ных систем (постоянства мгновенных значений суммарной мощности) отпадают большие колебания тока в линии.

Кроме того, отпадают и затруднения с приданием э. д. с. добавочного генератора двойной частоты формы сдвинутых полусинусоид (*abcdefg*, рис. 18) Если сложить три ряда кривых, состоящих из выпрямленных (полу-)синусоид, сдвинутых на  $60^\circ$ , что соответствовало бы неиндуктивной нагрузке, то получится суммарная волнистая кривая с колебаниями мгновенных значений, не превышающими 7%; при реактивной нагрузке эти колебания будут, несомненно, больше. Но при трехфазной системе и эти колебания будут сглаживаться: добавочная машина двойной частоты, которая работает в общем как генератор, в то же время будет работать как своего рода выравниватель колебаний мощности, одними фазами отдавая мощность, а другими воспринимая (реактивную) мощность сети.

Машину двойной частоты (рис. 20) можно присоединить в звезду таким образом, чтобы каждая фаза (при соединении машины в звезду) была присоединена к концам соответствующих индуктивностей (соединение показано пунктиром). Но если нулевую точку машины и точку соединения трех индуктивностей разведем, или же если машину двойной частоты соединим с треугольником и клеммы машины соединим с несоединенными друг с другом индуктивными катушками, то

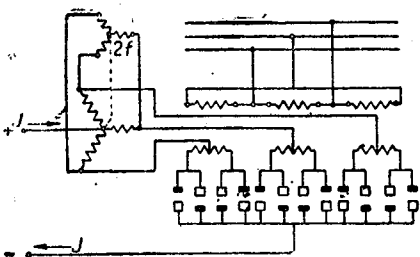


Рис. 20

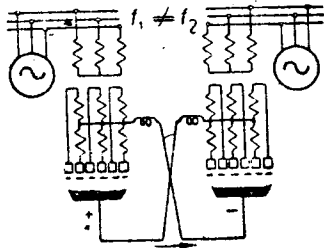


Рис. 21

форма кривой э. д. с. машины может уже не иметь формы односторонних полусинусоид, сдвинутых относительно оси абсцисс. При таком соединении машина может быть обыкновенного типа (дающая синусоидальные э. д. с.) Вся система будет автоматически приспособляться к требующимся формам кривых так, что напряжения между крайними концами индукционных катушек и их общей точкой будут меняться не по закону синуса, что в векторной диаграмме найдет свое отражение в том, что центр треугольника напряжения машины и так называемая нулевая (точка, соответствующая точке соединения трех индуктивностей) будут все время периодически перемещаться друг относительно друга.

Описанная выше схема Петерсена, несомненно, представляет весьма существенный шаг вперед в деле преобразования постоянного тока в переменный благодаря уменьшению типовой мощности вспомогательной машины, возможности получения синусоидальных напряжений и покрытия реактивной мощности.

## V. Передача энергии постоянным током

Несмотря на широкие возможности разрешить вполне удовлетворительно и просто технические и экономические требования широко поставленной электрификации, даваемые применением переменного (трехфазного) тока, мы все же уже подходим к предельным расстояниям, на которые является еще рациональным передавать энергию переменным током.

Непрерывный рост потребляемой энергии и стремление к снижению ее стоимости заставляют концентрировать производство энергии на сверхмощных электростанциях все более и более мощными агрегатами на месте нахождения естественных энергетических ресурсов (в этом отношении станции 500 тыс. кВт оказались бы уже чересчур большими). А это привело к росту передаваемой мощности и к удлинению тропы передач.

Чтобы потери в линиях не выходили из допустимых пределов, приходится уменьшать значения протекающих в проводах токов с одновременным повышением напряжения примерно <sup>2)</sup>:

До 200 kV	при передаче на расстоянии до 500 км
" 300 "	" " " " " " 1000 "
" 400 "	" " " " " " 2000 "

Конечно, при таких расстояниях речь может идти о передачах лишь очень больших мощностей — 200 ÷ 1000 MW. При меньших мощностях стоимость передачи энергии может оказаться нерентабельной.

Интересно здесь отметить намечающуюся тенденцию в капиталистических странах рассматривать электрификацию не с точки зрения лишь узких интересов отдельных стран, а как международную проблему. На мировой энергетической конференции 1930 г. в Лиссабоне рассматривалось несколько проектов международного обмена энергией (Oliven, Viel).

По первому проекту сеть электропередач проходила от Лиссабона до Варшавы, Ростова и Константинополя и от Рима до Осло; по второму проекту, имея более густую сеть, линии в широтном направлении проходили от Лиссабона до Риги, Вильны, Львова и Харькова, а в меридиональном направлении от Лиссабона до Глазго и Трондгейма. Как на пример сверхмощной передачи из одной страны в другую, составившей звено общеевропейской сети, можно еще указать схематический проект передачи 750 MW из Норвежского фьорда в Германию.

При росте мощностей и расстояний осуществление электропередач трехфазным током встречает серьезные технические затруднения, и передача энергии связана с такими расходами, которые подвергают сомнению их экономическую целесообразность.

Из-за тихих разрядов на поверхности проводов (т. е. из-за потерь на корону) не является возможной выработка 400 kV при заземленной нейтрали, амплитуда дает около 320 V.

Кроме того, благодаря относительно большому падению напряжения, неизбежному сдвигу фаз напряжением и током и необходимости исправления в известных пределах cos φ, приходится через большие промежутки, примерно через каждые 150 km, устраивать подстанции с так называемыми синхронными конденсаторами, реактивная мощность которых составляет около 10% от передаваемой мощности на каждые 100 km. Таким образом при передаче 750 MW на 1000 km общая мощность синхронных конденсаторов составила бы 750 kW, т. е. добавочная мощность синхронных машин (работающих вхолостую) была бы такого же порядка, как и передаваемая мощность.

Далее, благодаря действию зарядных токов при внезапном сбросе нагрузки, могут возникнуть на линиях весьма большие повышения напряжения, что в коротких замыканиях благодаря действию индуктивности затрудняет устойчивость работы параллельно работающих станций.

Следует еще упомянуть, что при переменном токе такого напряжения можно говорить лишь о больших линиях. Из-за потерь на корону приходится увеличивать диаметр внешней поверхности проводов, делая их полыми. При прохождении таких линий

<sup>2)</sup> См. R. Rüdenberg, El. Hochleistungstragungen, Springer, Berlin, 1932.

ности с большой гололедицей дополнительная от гололеда заставит устанавливать мачты на близких расстояниях, чем это делается обычно. Остоятельства удорожают стоимость электропере-

подземных кабелей в этом случае говорить не приходится в виду больших электростатических полей очень большой сложности построения таких линий (например, при применении маслonaполненных кабелей под давлением расположение масляных конденсаторов при прохождении пересеченных местностей было бы очень затруднено).

перечисленные моменты осложняют передачу энергии на большие расстояния при помощи переменного тока, удорожая установки (не пропорционально расстоянию) и снижая к. п. д. и в то же время лишающую эксплуатацию электропередач надлежащей надежности.

Поэтому электротехническая мысль при проектировании сверхмощных электропередач все чаще и чаще обращается к постоянному току, тем более, что существующая уже более 25 лет электропередача постоянного тока между Мутье и Лионом на юге Франции работает вполне удовлетворительно.

В нашем Союзе с его необъятными, весьма удачными энергетическими ресурсами, при нашем обильном и планируемом народном хозяйстве, приобщении к индустриализации все новые обширные территории с их естественными богатствами, при нашем историческом строе, дающем возможность ставить и решать энергетические проблемы в широких масштабах, вопрос о сверхмощных электропередачах долготную встает перед нами в ближайшие пять лет. Можно здесь указать, например, на вопрос об использовании водных сил Ангары.

При применении переменного тока главные затруднения в электропередачах лежат в происходящих явлениях короны, большем индуктивном падении напряжения, сдвиге фаз, действии зарядного тока в кабелях напряжения, то при применении для передачи энергии постоянного тока сама передача протекала бы гораздо проще и требовала бы меньших затрат.

В постоянном токе, вместо трех проводов с 400 kV по трем фазам, можно было бы ограничиться для передачи тех же мощностей на такие же расстояния двумя проводами с  $2 \times 250 = 500$  kV с заземлением на середине, что дало бы при двух проводах падение напряжения между проводами и землей лишь в 250 kV, а при 320 kV (амплитуда) между тремя проводами при трехфазном токе в 400 kV. Благодаря отсутствию напряжения и отсутствию потерь на поперечную электризацию диэлектрика (изоляции) в кабеле и отсутствию потерь на вихревые токи и оттекание тока к поверхности под действием собственных магнитных полей, в отдельных случаях, а также при переходе морей можно было бы остановиться на том, что при переменном токе было бы совершенно неосуществимо.

В постоянном токе станции работали бы вполне надежно, не было бы таких перенапряжений, падений напряжения было бы меньше и не колебалось бы напряжение и т. д.

Передача энергии постоянным током может быть осуществлена весьма просто и не вызывает абсолютно никаких сомнений, то вопрос о получении энергии постоянного тока высокого напряжения, а затем преобразование этой энергии применительно к требованиям потребителей энергии обстоит гораздо сложнее.

Получение постоянного тока высокого напряжения при помощи машин осуществимо лишь путем последовательного соединения отдельных агрегатов. Даже

при снижении числа оборотов, применении дополнительных полюсов с большим магнитным сопротивлением, компенсационных обмоток и постороннего возбуждения от одного плоского коммутатора вряд ли можно получить более 15 kV. Таким образом для получения  $2 \times 250 = 500$  kV потребовалось бы не менее 30 последовательно соединенных машин постоянного тока, что при токе даже в 1000 А дало бы на каждую машину лишь 15 MW. К этому надо прибавить еще необходимость изолировать эти машины как от фундамента, так и от двигателя.

Это сравнительно небольшая мощность в одной единице при небольшой скорости вращения (500—600 об/мин) означает значительное удорожание установок, делающее такое решение задачи концентрации производства энергии при помощи постоянного тока совершенно проблематичным, если сравнить постоянный ток с переменным, для которого мы имеем уже паровые турбогенераторы мощностью в 80 MW в одном агрегате при 3000 об/мин. Поэтому, видимо, и впредь получение больших мощностей будет осуществляться с помощью мощных агрегатов трехфазного тока.

Точно так же и распределение энергии между потребителями будет несомненно также осуществляться с помощью трехфазного тока, так как ступенчатое снижение напряжения энергии постоянного тока сопряжено или с большими потерями, если это будет осуществляться при помощи машин, или будет требовать более сложных устройств, если это преобразование будет осуществляться комбинированием ионных приборов совместно с трансформаторами (об этом речь будет впереди). Как первые, так и вторые установки для снижения напряжения постоянного тока по своей сложности и дороговизне не могут идти в сравнение с обыкновенными трансформаторами переменного тока, не требующими почти никакого ухода.

Поэтому на долю постоянного тока может остаться, по видимому, лишь самая передача энергии с выпрямлением трехфазного тока в постоянный на месте производства энергии и с преобразованием постоянного тока в трехфазный на месте распределения и потребления энергии.

В соответствии с этим схема для передачи энергии состояла бы из выпрямительной установки на одном конце линии и из преобразовательной установки на другом. Такая схема представлена на рис. 21. Так как ток через ртутники может проходить лишь в одном направлении, то катоды ртутников одной подстанции должны быть соединены с нулевой точкой трансформатора на другой подстанции.

Для подавления высших гармоник в линию включена дроссельная катушка.

При передаче энергии лишь в одном направлении от генераторной подстанции к приемной на генераторной подстанции ртутник, служащий лишь для выпрямления тока, мог бы быть выполнен и без сеток. Но если и на генераторной подстанции ртутники снабдить также сетками, то выпрямительная и преобразовательная подстанции получатся вполне тождественными, и передача энергии могла бы производиться в обоих направлениях. Управление сеток должно производиться таким образом, чтобы на генераторной подстанции зажигались аноды соответствующих фаз в такие моменты, когда направления э. д. с. в этих фазах будут совпадать с направлением тока в линии; в приемной подстанции, наоборот, э. д. с., возникающие в соответствующих (открываемых сетками) фазах, будут иметь направления, противоположные направлению тока в линии.

Частота переменного тока на генераторной и приемной станциях может и не совпадать.

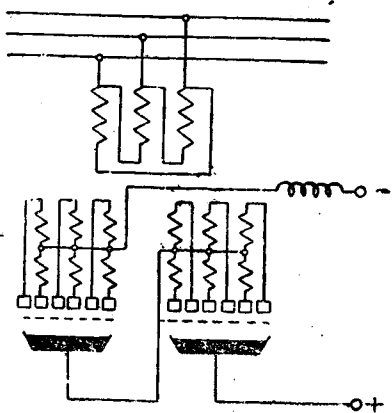


Рис. 22

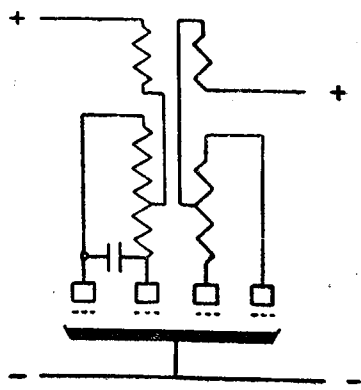


Рис. 23

Если линия передачи постоянного тока соединяет две сети, питаемые каждая от своих станций, то для изменения направления потока энергии (в линии передачи) мы должны на обеих подстанциях изменить моменты открывания сеток так, чтобы на той подстанции, которая работает в качестве генераторной, э. д. с. в открытых фазах совпадали с возможным направлением тока в линии, а на подстанции, работающей в качестве приемной, э. д. с. в открытых фазах имели противоположные току направления. Предваряя или замедляя зажигание анодов, мы можем регулировать величину напряжения в возможных пределах на обеих подстанциях независимо друг от друга и, таким образом, не только изменять направление потока энергии, но и величину передаваемой мощности.

Указанная схема могла бы служить и для упругой связи двух самостоятельных сетей переменного тока в отличие от жесткой связи, которая получается при соединении таких сетей непосредственно через трансформаторы, когда требуется не только точно совпадающая частота в обеих сетях, но и соблюдение определенного сдвига фаз между векторами э. д. с. (так как подстанция с опережающим вектором работает как генераторная, а с отставшим — как приемная). Кроме того, величина сдвига фаз определяет величину энергии, передаваемой из одной сети в другую. При промежуточном постоянном токе затруднения, связанные с точным соблюдением частот и сдвига фаз, отпали бы, но за то мы имели бы более дорогую установку.

Для передачи энергии на большие расстояния требуется, чтобы напряжение, под которым передается энергия, было по возможности выше, чтобы тем самым снизить потери в линии.

Хотя и наблюдается тенденция к непрерывному росту напряжений, даваемых ртутными выпрямителями, однако, допускаемые ими в настоящее время напряжения являются далеко не достаточными для целей электропередач. Выходом из этого положения могло бы служить последовательное соединение нескольких выпрямительных установок (рис. 22). В таком каскаде, который может питаться и от одного трансформатора с несколькими вторичными обмотками, катод одного выпрямителя был бы соединен с нулевой точкой обмотки, питающей сле-

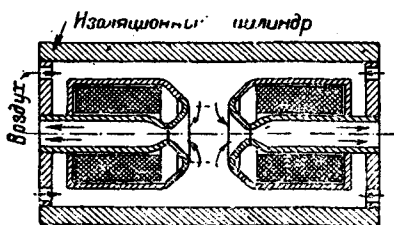


Рис. 24

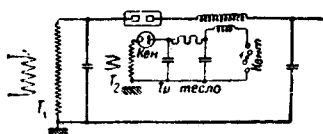


Рис. 25

дующий ртутник, и т. д. Такая же схема могла бы применена и на преобразовательной установке образующей постоянный ток в переменный.

Хотя распределение энергии, по всем вероятностям, будет всегда производиться переменным током, небезынтересно здесь будет указать, что и для явного тока при помощи ионных аппаратов могут быть осуществлены так называемые трансформаторы постоянного тока без вращающихся машин и образования энергии постоянного тока одного напряжения в энергию постоянного же тока другого напряжения без существенных потерь.

Такое преобразование может быть осуществлено путем преобразования энергии постоянного тока сначала в энергию переменного тока, а затем, после изменения напряжения переменного тока при помощи трансформатора путем выпрямления этого переменного тока в постоянный.

Если позволяют напряжения, то преобразование выпрямление можно осуществить при помощи ртутника (рис. 23). При таком преобразовании переменного тока не играет роли.

Говоря о передаче энергии постоянным током высокого напряжения, нельзя не упомянуть еще о последних работах Egwin Matx'a<sup>3)</sup>. Matx пользуется ионными аппаратами (ртутниками), а достигает искания и прерывание цепи тем, что промежуток двумя полыми цилиндрическими электродами (рис. 24 и 25) он делает проводящим, накладывая периодически в определенные моменты времени при помощи хронного контактора напряжение высокой частоты трансформатора Тесла (питаемого от сети через трансформатор), под влиянием которого воздух в промежутке ионизируется и делается проводящим. Благодаря зажигается дуга под действием напряжения между электродами. Чтобы не обгорали электроды, между электродами помещаются электромагниты (питаемые постоянным током), которые заставляют дугу двигаться по ободам электродов.

Гашение дуги производится под действием воздуха, поступающего под давлением с противоположных концов изоляционного цилиндрического сосуда, в котором вделаны электроды и магниты, а затем, когда электроды, воздух попадает в промежуток между ними и проходит далее во внутренние части электродов.

Под действием магнитного поля и вдуваемого воздуха концы дуги описывают по поверхности спираль и приближаются к внутренней их части, где и происходит обрыв дуги.

При помощи такого выпрямителя, в котором электроды были изолированы друг от друга на 35 кВ, удалось получить выпрямленное напряжение 250 кВ, причем ток был ограничен не выпрямителем, а располагаемой мощностью. При более низком напряжении в 6000 В тот же выпрямитель пропускал 5000 А.

Более подробные сведения отсутствуют, равно как и отсутствуют сведения о работе таких схем в качестве преобразователя постоянного тока в переменный. Но во всяком случае такой способ выпрямления непосредственно на полное высокое напряжение открывает широкие перспективы в разрешении вопроса о применении постоянного тока высокого напряжения для передачи сверхмощностей на весьма большие расстояния.

## VI. Преобразование частоты

Применение ионных аппаратов приводит к относительно простым схемам, позволяющим преобразовывать энергию переменного тока одной частоты в энергию переменного тока другой частоты.

инного тока другой частоты, что могло бы найти применение, например, для изменения числа оборотов их синхронных двигателей.

При рассмотрении передачи энергии постоянным током, когда производство энергии и распределение осуществляется при помощи переменного тока, уже указывалось, что производство энергии и ее распределение может производиться при разных схемах.

Изменяя указанную там схему (рис. 21) преобразование переменного тока в постоянный, а затем постоянного тока в переменный, мы совершенно не связываем частотами, а потому при помощи такой схемы можно как понижать, так и повышать частоту в произвольных соотношениях, изменяя одновременно и направление.

Основным осуществимости такой схемы является мощность работы ртутников при данных частотах напряжения. Эта схема, однако, имеет и свои недостатки: наличие двух ртутников и трансформаторов, необходимость иметь машину, задающую такт циркулирующую реактивный ток и высшие гармоники — все это удорожает и осложняет эксплуатацию соответствующих установок.

Лучше, если ставится задача преобразования трехфазного тока нормальной частоты (50 Hz) в однофазный пониженной частоты (например,  $16\frac{2}{3}$  Hz, что

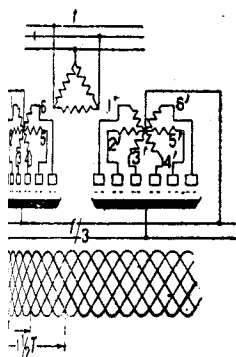


Рис. 26

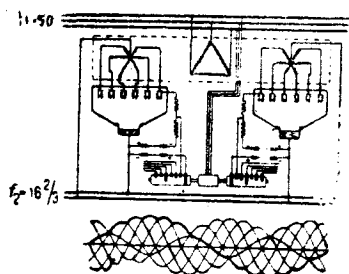


Рис. 27

часто встречается на зарубежных железных дорогах, пользующихся однофазным током), находясь в простом соотношении с нормальной частотой, можно обойтись без промежуточного преобразования всей энергии в постоянный ток.

Образовывая подводимый трехфазный ток сначала в течение  $1\frac{1}{2}$  периодов (подвод тока) последовательно токи отдельных фаз системы через один ртутник с управляемыми и одну половину первичной обмотки одного в одном направлении трансформатора, а затем (уходящий такой же промежуток времени ток от трех фаз через другой такой же управляемый ртутник и другую половину первичной обмотки в противоположном направлении, мы будем получать кривую напряжения однофазного переменного тока примерно синусоидальной формы, которая не всегда может быть приемлема.

Получить лучшие результаты, как показали опыты, удается по способу Loebl'я, который, для того чтобы приблизить форму кривой напряжения к синусоиде, дает вторичным обмоткам трансформатора разное число витков с таким расчетом, чтобы амплитуда синусоидального напряжения последовательных фаз равнялась примерно соответствующим ординатам искомой синусоиды. При таком соотношении амплитуд синусоид напряжения отдель-

ных фаз кривая получаемого напряжения весьма близко подходит к синусоиде. Нулевые точки изолированных друг от друга вторичных обмоток трансформатора и катоды соответствующих ртутников должны быть присоединены в противоположном порядке к шинам однофазного тока.

Немного иным путем приближения искомой кривой к синусоиде достигает Краегер.

Краегер, применяя вместо трансформатора с разными передаточными числами для отдельных фаз обыкновенный трансформатор с одинаковым числом витков во всех фазах, вводит в цепь от нулевой точки дополнительную переменную э. д. с. частоты трехфазной сети, что достигается включением в эту цепь вторичной обмотки вспомогательного трансформатора. Введение этой дополнительной э. д. с. смещает нулевую точку в векторной диаграмме (рис. 28), и действующие во время прохождения тока через отдельные фазы суммарные напряжения (напряжение данной фазы плюс дополнительная э. д. с.) будут представлены сдвинутыми друг относительно друга синусоидами с разными амплитудами; в результате огибающая кривая также весьма близко будет подходить к синусоиде.

Посредством изменения фазы дополнительной э. д. с. при помощи фазорегулятора (имеющего трехфазную статорную и однофазную роторную обмотки) этот способ дает, кроме того, еще возможность менять взаимный сдвиг между трехфазной и однофазной сетью, что представляет определенные удобства при распределении нагрузок, когда нагрузка однофазной сети покрывается частично еще от другого генератора низкой частоты.

Указанные схемы могут покрывать лишь активную мощность в сети однофазного тока. Для покрытия реактивной мощности, а также для освобождения рабочего напряжения от высших гармоник, необходима установка синхронной машины на стороне низкого напряжения. Кроме того, при преобразовании трехфазного тока в однофазный получается неравномерная нагрузка отдельных фаз в трехфазной сети. Для поддержания равномерной нагрузки трехфазной сети приходится сеть однофазного тока разбивать на три примерно одинаково нагруженные части, питать их от трех отдельных установок и присоединять обмотки соответствующих трансформаторов к шинам трехфазной сети в таком порядке, чтобы напряжения (и токи) в этих трех частях были сдвинуты по времени на одну треть периода трехфазного тока.

## VII. Ионные коммутаторы

Ионные аппараты с управляемыми сетками, позволяющие заграждать путь для тока и автоматически

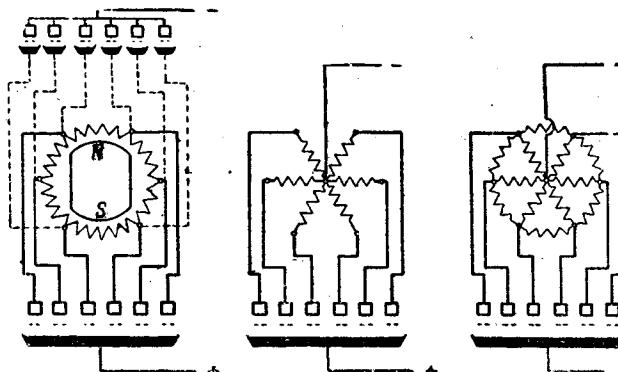


Рис. 29

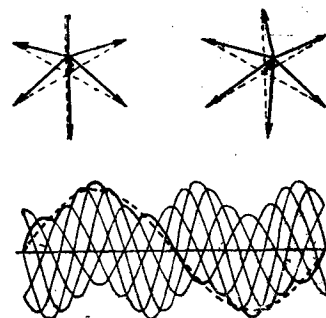


Рис. 28

переводить ток из одной ветви в другую, если ток в последующей ветви в силу условий работы увеличивается, а в предыдущей уменьшается под влиянием действующих в ветвях э. д. с., могут во многих случаях заменить механические коммутаторы, например, коммутаторы машин постоянного тока. Для этого можно было бы, например, в генераторе постоянного тока якорь выполнить в виде статора (рис. 29), а возбуждение, создающее магнитное поле, перенести в ротор, а затем все отдельные точки обмотки якоря, соединенные в обыкновенных машинах с соответствующими ламелями коллектора, соединить с одной стороны с анодами одного общего ртутного выпрямителя, а с другой стороны каждую из этих точек с катодом одноанодных выпрямителей, аноды которых были бы соединены между собою.

Сообщая при помощи небольшого механического контактора, сидящего на валу ротора, сеткам соответствующих анодов с некоторым предварением, но в такт со временем появления между противоположными точками якоря максимумов напряжения, положительные потенциалы, а вслед затем после перехода тока к следующим анодам, сообщая сеткам предыдущих анодов отрицательные потенциалы, мы получим полное тождество с работой коммутатора.

Если мириться с худшим использованием обмотки якоря, то можно отрешиться от одноанодных (однофазных) выпрямителей, если вместо замкнутой обмотки постоянного тока применить разрезную (открытую) обмотку, состоящую из отдельных частей, соединенных в звезду. В этом случае одним полюсом машины постоянного тока служила бы нулевая точка неподвижного якоря, другим же полюсом явился бы катод ртутного выпрямителя, аноды которого были бы соединены с открытыми концами разрезной якорной обмотки. Посредством небольшого контактора, сидящего на валу ротора, давая поочередно положительные потенциалы сеткам, мы будем получать постоянный ток. Для лучшего использования активного материала машины можно применять комбинированную обмотку, состоящую из замкнутой (многофазной) обмотки, к отдельным точкам которой присоединены концы другой обмотки, соединенной в звезду. При такой обмотке ток, поступающий через один анод во внешнюю цепь, в обмотке якоря будет распределяться между несколькими ветвями, и потери в якоре будут снижены.

Конечно, работа ионных коммутаторов или коллекторов в силу более сложного устройства и ухода, а также большего падения напряжения не может конкурировать с обыкновенными механическими коллекторами в обыкновенных машинах постоянного тока, но в специальных машинах, например, в мощных моторах с широким регулированием числа оборотов и работающих то в одном, то в другом направлении (реверсивные двигатели) замена коллектора ионными аппаратами может дать определенные выгоды.

Особенные шансы на успех ионные коллекторы могут иметь, например, в применении к тяговым двигателям, если питание производится

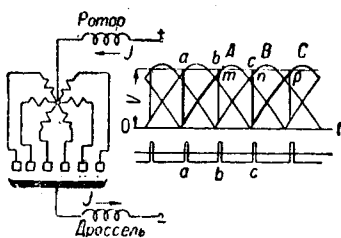


Рис. 30

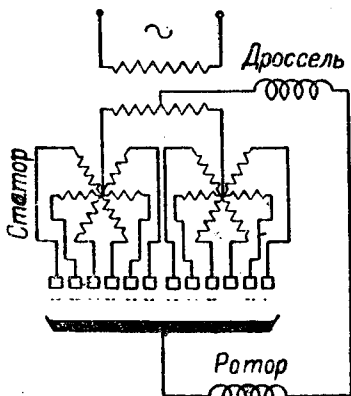


Рис. 31

от переменного тока и выпрямление тока комбинацией с коммутацией тока в двигателе в одном выпрямителе.

Рассмотрим сначала работу такого бесколлекторного двигателя с последовательным возбуждением от питания его от постоянного тока (рис. 30). Непосредственно от полюса через возбуждение к нулевой точке будет проходить через соответствующую обмотку якоря, начиная с того момента (a, b, c) когда сетке анода, соединенного с этой ветвью, сообщен положительный потенциал, и ток в ветвях будет продолжаться до тех пор, пока не действующая э. д. с. (характеризуемая синусоидами A, B, C и т. д.) не сравняется с внешним напряжением постоянного тока (уменьшенным на величину электрических потерь). Если в контакторе, сидящем на валу ротора и состоящего, положим, из системы неподвижных щеток, соединенных с сетками, и диска с контактом, соединенным с полюсом сеточной машины, будем системе неподвижных щеток давать перемещение в сторону, обратную вращению или по направлению вращения, то мы можем ранее или позднее изводить зажигание соответствующих анодов, сдвигать точки a, b, c и т. д. дальше или ближе к точкам пересечения m, n, p линии постоянного тока с синусоидами A, B, C и т. д. (токи двух полюсов анодов могут перекрывать друг друга). Таким образом длительность прохождения тока через анод будет увеличиваться или уменьшаться, и увеличиваться или уменьшаться как ток в возбуждении, так и в якоре. Благодаря этому будет изменяться скорость мотора.

По существу, такой бесколлекторный двигатель представляет собой синхронную машину переменного тока, в которой ток по очереди пропускается в направлении через отдельные фазы (статора), а число периодов регулируется самым мотором.

Токи, проходящие по очереди через отдельные фазы статора, дают определенные ампервитки, создающиеся с такою же скоростью, как и ротор, которые совместно с ампервитками ротора определяют величину и направление результирующих (вращающихся) ампервитков, создающих результирующее магнитное поле. Другими словами, величина магнитного поля в воздушном зазоре зависит не только от тока, протекающего через мотор, но и от взаимного положения вращающихся ампервитков статора и ротора. При изменении нагрузки мотора ротор получает временное ускорение или замедление, так что в своем движении автоматически займет такое положение относительно вращающихся ампервитков статора, что ток в статоре и результирующее магнитное поле дадут момент вращения, уравновешивающий момент сопротивления, действующего на валу.

Кроме того, взаимное расположение ампервитков ротора и статора можно менять путем перемещения системы щеток, и тем самым, как уже говорилось, регулировать число оборотов мотора, и момент вращения, развиваемый мотором. Перемещением системы щеток, можно ампервитки статора (как можно рассматривать как ведущие за собой) сдвинуть относительно (ампервитков) ротора на угол между ними будет больше  $180^\circ$ . Тогда взаимодействие между ними будет направлено в обратную сторону, и ротор начнет вращаться в обратном направлении.

Таким образом простым передвижением системы щеток у контактора можно не только регулировать число оборотов двигателя, но и реверсировать направление движения. На рис. 31 показана одна из схем для питания бесколлекторного двигателя последовательного возбуждения от однофазной сети переменного тока и осуществленная ВВС для э:

Однофазный переменный ток поступает через выключатель в однофазный трансформатор, имеющий вторичную обмотку, состоящую из двух половин. В ответствии с периодическими изменениями напряжения переменного тока в первичной цепи ток во второй обмотке трансформатора будет проходить через одну, то через другую обмотку. Крайние концы вторичной обмотки соединены с нулевыми точками статора, который имеет две изолированных друг друга обмотки, уложенные в те же пазы; при повороте контактора и сеток ток пропускается то через одну, то через другую ветвь обмотки, лежащие в тех же пазу, так что ток в проводах двух лежащих обмоток будет (несмотря на то, что обмотка питается переменным током) всегда направлен в одну сторону. Направляясь далее через ротор и дроссель, ток замкнет цепь, возвращаясь к средней точке вторичной обмотки трансформатора.

Такая схема имеет тот недостаток, что медь в ней очень плохо используется, что в значительной мере утяжеляет мотор и понижает к. п. д.

Рис. 32 изображена схема, дающая значительно более эффективное использование статора. По этой схеме статорная обмотка выполнена в виде одной лишь обмотки, выполненной в звезду и треугольник, но зато вторичная обмотка трансформатора имеет 6 двойных вторичных обмоток. Схема эта действует так же, как и предыдущая, с той лишь разницей, что в обмотку статора поступает не прерывистый ток с интервалами, а каждая из двух смежных обмоток статора, а уже переменный ток.

Таким образом, при помощи тех же сеток можно сократить длительность горения отдельных дуг и, действуя импульсами, снижать действующее напряжение, а самым запускать такие моторы без пусковых устройств, что также представляет большое удобство.

### Заключение

Здесь были изложены те широкие возможности в области электротехники, которые открываются усовершенствованием и расширением применения разных преобразовательных устройств при помощи, главным образом, ионных аппаратов, т. е. ртутных выпрямителей и преобразователей.

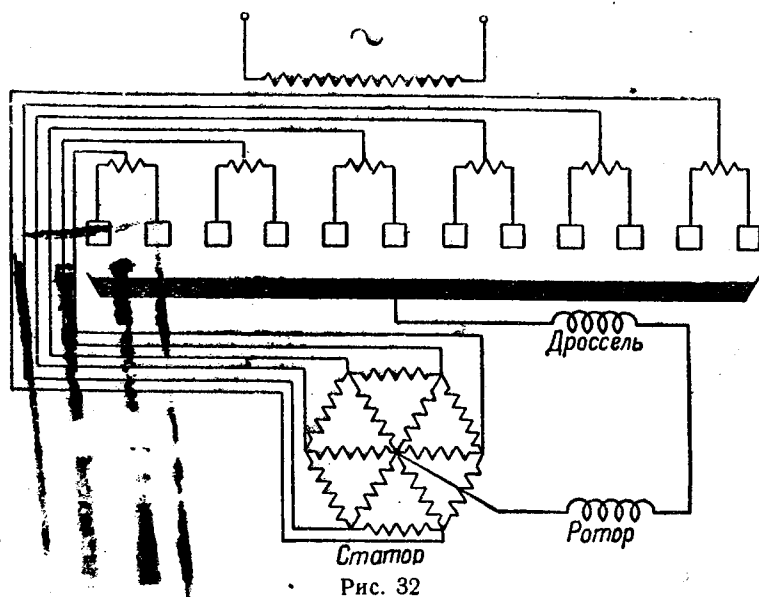


Рис. 32

Разработанные схемы относились к различным видам преобразования энергии и к ее передаче. Не менее широкие перспективы открываются применением этих аппаратов в деле автоматизации и осуществления различных процессов переключения и регулирования, на чем мы здесь не останавливаемся.

Несомненно, что и наша советская электротехника должна уделить этим новым проблемам должное внимание, широко поставив научно-исследовательские работы в институтах и заводских лабораториях.

Во Всесоюзном электротехническом институте в настоящее время производятся работы в следующих направлениях:

- 1) регулирование в широких пределах напряжения выпрямленного тока в мощных ртутных выпрямителях;
- 2) выяснение роли сеток в целях повышения напряжения ртутных выпрямителей;
- 3) преобразование энергии постоянного тока в переменный при помощи ионных приборов;
- 4) исследование бесколлекторных двигателей.

Кроме того, проводится ряд работ по выяснению физических явлений в ртутных выпрямителях.

Однако для успешного окончания этих работ необходимо, чтобы эти работы встретили большую поддержку со стороны наших промышленных организаций.

## Газосветные лампы и их применение

Проф. С. О. Майзель  
ВЭИ

За последние три года в области источников света наметился глубокий переворот. От самого насветного электрического освещения практическое значение имеют только два рода источников света: дуговые лампы и лампы накаливания. Дуговые лампы постепенно вышли из употребления с появлением газополных ламп накаливания, мало уступающих им по световой отдаче (при больших мощностях) и имеющих главное преимущество в том, что они практически требуют никакого обслуживания. В последние годы дуговые лампы применяются только в различных оптических приборах (проекторы, проекционные приборы) и изредка еще находят применение для городского освещения в небольшом числе городов.

Лампы накаливания почти безраздельно завоевали область светотехники. Были, правда, неоднократные попытки применить для целей освещения электрический разряд в газах. Строились трубки с различными газами — неон, аргон, углекислым газом и т. д., в ко-

торых электрический разряд при высоком напряжении генерировал довольно интенсивное свечение. Однако световая отдача этих „газосветных“ ламп оказалась недостаточно высокой, а необходимость применения высокого напряжения делала пользование ими в закрытых помещениях опасным. В результате газосветные лампы почти не нашли применения не для нормальных светотехнических целей, а исключительно для целей иллюминационного и рекламного освещения.

В 1930 г. появились новые газосветные лампы несравненно более интенсивного свечения и высокой световой отдачи. Это улучшение было достигнуто благодаря применению в них накаливаемых электродов, позволивших понизить напряжение на лампах до нормального (220 и 120 V) и довести их мощность, при желании, до 10 kW и выше без чрезмерного увеличения длины трубок. Накаливаемые катоды покрываются слоем окиси щелочных или щелочноземельных металлов, чрезвычайно активно излучающих при высокой

температуре электроны и облегчающих, таким образом, прохождение тока через газ. Первые лампы, выпущенные в 1930 г. фирмой Osram в Берлине, имели наполнение неон, парами натрия и парами ртути. Неудобство их заключалось, с одной стороны, в необходимости включения в цепь особых понижающих трансформаторов для накала электродов, с другой, — в трудности зажигания. В то время как лампы могли нормально работать при напряжениях порядка  $100 \div 250$  В, для зажигания их требовалось кратковременное повышение напряжения до нескольких тысяч вольт. Правда, были придуманы различные упрощенные схемы зажигания, но все же неудобство в виде сравнительно сложной схемы включения оставалось.

В 1932 г. удалось устранить эти трудности в отношении, по крайней мере, ламп с ртутными парами при помощи примеси к парам ртути инертных газов, облегчающих зажигание. Благодаря этому получилась конструкция ламп, по простоте включения ничем почти не отличающаяся от ламп накаливания. На рис. 1 представлен внешний вид ртутной газосветной лампы изготовления СВТО ВЭИ. Из него видно, что лампа снабжена нормальным цоколем Эдисона (или „голиаф“); отпала как приспособления для повышения напряжения, так и цепь накала электродов. Необходимо, однако, отметить, что газосветные лампы обладают падающей характеристикой и потому не могут включаться в сеть без балластного сопротивления или реактивной катушки. Балластное сопротивление нередко выполняется в виде лампы накаливания пониженного напряжения, включаемой последовательно с газосветной лампой. Таким образом теряемая в балластном сопротивлении мощность может быть использована для получения некоторого добавочного светового потока от лампы накаливания. Потери в реактивной катушке могут быть легко доведены до  $3 \div 4\%$  и не играют существенной роли.

После включения ртутной лампы она, при не очень низкой окружающей температуре, зажигается сама (лучше на 220 В, чем на 120) и постепенно в течение приблизительно  $1 \div 2$  мин. доходит до полного свечения. При этом светится не весь объем трубки, а только узкий цилиндр паров между электродами толщиной около 8 мм (отщуривание разряда). Длина трубки при напряжении 220 В достигает приблизительно  $25 \div 35$  см. Давление паров ртути внутри трубки при полном свечении достигает  $0,75 \div 1$  ат, в соответствии с чем трубка нагревается приблизительно до  $300 \div 400^\circ$  С.

Световая отдача ртутных ламп повышается при увеличении мощности, достигая при 1,5 кВт приблизительно 50 lm/W. Дальнейшее увеличение мощности уже не дает выгоды в отношении световой отдачи. Построенные в световакуумтехническом отделе ВЭИ ртутные лампы доводились до мощности в 2,5 кВт, причем испускаемый ими световой поток достигал 130 000 lm и световая отдача была 52 lm/W, а сила света в направлении, пер-

пендикулярном оси лампы, доходила приблизительно до 12 000 свечей.

Срок службы, повидимому, находится в тесной зависимости от световой отдачи, как и у ламп накаливания и поэтому вряд ли будет выгодно использовать дельную световую отдачу. Произведенные до опыта дают основание полагать, что при световой отдаче  $35 \div 40$  lm/W срок службы ртутных ламп около 100 час. По сравнению с лампами накаливания той же мощности это дает выигрыш в световой отдаче не менее 100%.

Яркость светящегося столба паров ртути до  $150 \div 200$  sb.

Первые изготовленные из молибденового ртутные лампы могли гореть только в вертикальном положении. При горизонтальном положении стекло через короткое время размягчалось и погибала. Опыты, произведенные в последнее со стеклом „пайрекс“, показали, что можно получить надежной работы ламп и при горизонтальном положении. Последнее очень важно для широких применений новых ламп, так как вертикальное положение их при горении вынуждает к очень громоздким светораспределительным конструкциям. При горизонтальном положении могут быть построены арматуры, несравненно более компактные, и расчет их значительно упрощается.

Кроме ртутных ламп, в лаборатории СВТО изготавливаются и лампы с парами натрия. Эти лампы получили уже известное применение за границей. У нас еще встречается затруднение с их изготовлением из-за стекла. Все обычные сорта стекла разбиваются парами натрия, и представляет значительное затруднение нахождение достаточно стойкого состава стекла. Световая отдача натриевых ламп может быть еще выше, чем у ртутных ламп, повидимому до  $60 \div 65$  lm/W. Конструкция этих ламп несколько другая и отличается от той, которая принята для ртутных ламп. На рис. 2 изображен вид натриевой лампы. Светится внутренняя трубка, в которой находятся пары натрия. Наружная трубка служит для тепловой изоляции.

2. Обладая перед лампами накаливания большими преимуществами в смысле световой отдачи, газосветные лампы имеют и некоторые недостатки, затрудняющие пока их широкое применение. Одним из недостатков является затрудненное зажигание ртутных ламп не требующих никаких специальных приспособлений для зажигания, то все же от момента включения до получения полного свечения проходит заметный промежуток времени, что во многих случаях представляет значительное неудобство. Пока надежды на устранение этого недостатка. Затем гашение на низком напряжении требует определенного температурного режима лампы. Ни при низких температурах, ни при очень высоких зажигание не происходит. Таким образом на открытом воздухе в средних широтах применение ртутных ламп затрудняется. Точно так же, если лампа почему-либо погасла во время действия, то новое зажигание не произойдет, пока температура лампы достаточно не снизится. Последний недостаток имеет относительно небольшое значение, но незажигание ламп при низкой температуре является серьезным препятствием для широкого применения. Однако этот недостаток, надеяться, будет устранен, и сейчас в этом направлении уже ведется работа.

Серьезным недостатком новых ламп является возможность их включения непосредственно к сети и необходимость последовательного включения балластного сопротивления или реактивной катушки. Сопротивление, даже в виде



Рис. 1

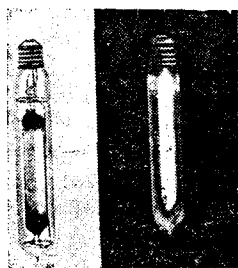


Рис. 2

накаливания, неизбежно понижает световую отдачу (по отношению ко всей потребляемой мощности), следовательно, уменьшает выгодность новых ламп по сравнению с газополными лампами накаливания. Индукционные катушки не отзываются заметно на световой отдаче, но зато удорожают установку, ухудшают коэффициент мощности и требуют затраты значительных количеств дефицитных меди и железа. В этом направлении намечаются известные выгоды, если требуют еще серьезной и, вероятно, довольно длительной разработки.

Одним из недостатков ртутных ламп является изменение силы их света при каждом периоде переменного тока. Так как эти лампы не обладают практически никакой инерцией, то сила света их точно соответствует за всеми изменениями силы питающего тока. Вследствие этого быстро движущиеся предметы дают стробоскопический эффект, что создает известную помеху при различении окружающей обстановки. Наличие трехфазных ламп (с 3 электродами) значительно ослабляет этот недостаток. Некоторое облегчение во многих случаях может дать питание разных ламп одной и той же установки от различных фаз.

Еще одним недостатком новых ламп является их резко выраженное цветовое отличие от ставшего привычным условно принимаемым за белый, — цветом излучения ламп накаливания. Лампы накаливания дают непрерывный спектр излучения, хотя и довольно далекий от того спектра, который характеризует типичный белый свет (излучение черного тела при 2800°K), но все же недостаточно далекий, чтобы глаз непосредственного сравнения мог легко заметить разницу. Эта разница становится сразу заметной только при попытке различить при свете ламп накаливания тонкие нюансы цветов, прекрасно видимые при дневном свете. Газосветные же лампы дают линейчатые спектры, в отдельных случаях состоящие из одной области спектра из небольшого числа линий. Так, например, в натриевой лампе практически имеют значение только одна (двойная) спектральная линия ( $\lambda = 589 \text{ м}\mu$ ), остальные несколько линий много слабее. Таким образом цвет излучения натриевой лампы — очень насыщенный оранжево-желтый. В ртутной лампе преобладают спектральные линии — зеленая ( $\lambda = 546 \text{ м}\mu$ ) и синяя ( $\lambda = 437 \text{ м}\mu$ ), и потому цвет света мало насыщенный сине-зеленый. В неоновом свете много линий, но преобладающими являются красные, что и обуславливает красный цвет лампы.

Если уже лампы накаливания изменяют нюансы цвета по сравнению с дневным белым светом, то газосветных ламп должен производить коренные изменения в цветах освещаемых поверхностей. Вследствие этого при свете газосветных ламп окружающая обстановка приобретает совершенно новый, неприятный характер. В некоторых случаях этот новый характер благоприятен, как, например, при освещении ртутными лампами зелени, которая приобретает свежий вид, иногда же освещение оказывается весьма неблагоприятным, как, например, при освещении ртутными лампами человеческих лиц, приобретающих мертвенный вид.

Естественным выходом из затруднений явилась бы замена краски света до приблизительно белого при помощи, например, смешения источников света, например: сочетание ртутных ламп с лампами накаливания или с неоновыми, натриевых с кадмиевыми или цинковыми. Этот выход был бы благоприятен, если бы такое сочетание источников света могло не отозваться на общей экономике установки. К сожалению, именно этого и нет, и все предложенные до сих пор способы приближения света к белому, независимо от их

относительных достоинств, понижает общую световую отдачу всей установки по сравнению с отдачей хороших газосветных ламп. Между тем, экономика — главный стимул для применения новых источников света. Двойная световая отдача по сравнению с лампами накаливания представляет настолько большое значение, что во многих случаях заставит примириться с неприятными сторонами цветности освещения.

Не надо забывать, что привычка к определенному виду освещения приобретает в довольно короткий срок, и тогда первоначальные неприятные ощущения психологически выключаются. Когда же появятся лампы с тройной, и даже больше, световой отдачей по отношению к лампам накаливания, то стимулы к их применению окажутся неизбежно много сильнее всех предубеждений. Разумеется, даже при появлении газосветных ламп с исключительно большой световой отдачей (что достаточно вероятно) лампы накаливания не потеряют своего значения и будут иметь свое обширное поле применения.

3. Каково же немедленное, более или менее неоспоримое поле применения новых газосветных ламп? Не говоря о перечисленных выше технических недостатках их, которые требуют дальнейшей интенсивной работы для их устранения или ослабления, — цветность излучения этих ламп будет в течение некоторого времени служить серьезным препятствием к их широкому применению. Однако есть ряд случаев, где цветность не играет существенной роли. Так, например, освещение литейных, мартеновских цехов, кузниц, цехов холодной обработки металлов, текстильных фабрик с белым материалом, печатных и наборных машин (но не цветной печати!) и т. д. не требует различения каких-либо зависящих от цвета источников света тонких оттенков. Во всех этих случаях освещение ртутными или натриевыми лампами может оказаться весьма удобным и несомненно, выгодным. Ртутные лампы легче строятся на большие мощности и потому их удобнее всего применять в цехах с большой высотой подвеса. Натриевые лампы строятся легко на относительно малые мощности и потому могут удобно применяться при малой высоте подвеса.

Кроме закрытых помещений газосветные лампы могут с удобством и выгодой применяться для освещения открытых пространств. Выше уже было сказано, что ртутные лампы дают очень эффектное освещение зелени, а следовательно, могли бы получить применение для освещения садов, парков, бульваров и т. п. Не меньшее применение могли бы получить эти лампы для освещения заводских территорий, шоссе, дорог вблизи городов и, наконец, городских улиц и площадей.

За границей уже произведены довольно обширные опыты освещения пригородных дорог газосветными лампами. Такие опытные установки имеются в Голландии, Англии и Германии. Применялись как натриевые, так и ртутные лампы. Первоначально освещались только шоссе, появившиеся уже установкой освещения пригородных улиц. На городские улицы за границей еще не решаются переносить газосветных ламп, опасаясь того неприятного впечатления, какое при свете их производят человеческие лица.

Однако именно городское освещение представляет в экономическом отношении особый интерес. Действительно, подсчет показывает, что при соблюдении действующих у нас норм освещенности улиц, на освещение 1 км улицы I класса (минимальная горизонтальная освещенность 4 lx) требуется установка мощности (при ширине 24 м):

а) при существующих световых приборах с эмальными отражателями . . . . . 25 kW

- б) при симметричных зеркальных отражателях (стеклянных посеребренных) . . . . . 17 kW
- в) при зеркальных отражателях с несимметричным светораспределением . . . . . 12 kW

Если бы возможно было снабдить, например, ртутные лампы отражателями с соответственно подобранным несимметричным светораспределением, то мощность, потребная на освещение 1 км улицы I класса, могла бы быть низведена до 6 kW, т. е. получилась бы экономия в 4 раза по сравнению с освещением обычными у нас эмалированными световыми приборами, и в 2 раза по сравнению с самыми лучшими зеркальными при лампах накаливания. Это настолько серьезная перспектива, сулящая такие большие выгоды при нашем напряженном положении со снабжением городов электроэнергией, что вопрос о применении ртутных ламп для городского освещения должен быть подвергнут самому серьезному исследованию, особенно, в связи с намеченным переоборудованием городского освещения наших крупнейших центров. Необходимо отметить, что непосредственной выгоде от применения газосветных ламп для городского освещения сопутствуют косвенные выгоды в виде уменьшения сечения меди в фидерах, уменьшения числа трансформаторов и понижения пика нагрузки.

Поэтому представлялось интересным повторить опыт освещения участка улицы или дороги производимыми у нас ртутными лампами для оценки эффекта освещения и исследования поведения ламп на открытом воздухе. Такая пробная установка была создана в начале апреля текущего года на территории ВЭИ. В качестве объекта освещения был выбран прямой участок асфальтированной дороги, идущей между корпусами института на протяжении около 500 м. Для установки был выбран участок длиной 400 м, на котором были в шахматном порядке поставлены по обе стороны деревянные столбы высотой 10 м. Всего установлено 15 столбов на расстояниях 45 м друг от друга по одной стороне. Для того чтобы иметь условия, подходящие к средним условиям на московских улицах, расстояние между двумя линиями столбов было выбрано равным 23 м, так что каждая линия отстоит на расстоянии приблизительно 7 м от обычной асфальтированной полосы. Кроме этого основного участка был освещен еще участок поперечной асфальтированной дороги, идущей мимо административного корпуса института, протяжением около 100 м. На этом участке была принята осевая подвеска светильников. На столбах, на высоте 9 м от земли были



Рис. 4

установлены светильники, вид которых дан на рис. 4. Эти светильники построены по образцу примененной английской компанией „Osram“ на участке прямой дороги в Уэмбли около Лондона.

Нельзя сказать, чтобы подобный вид светильника мог оказаться экономически выгодным, скорее всего, приспособлен для декоративных задач. Поэтому на поперечном участке были установлены симметричные зеркальные отражатели, построенные по рис. 3. ВЭИ для помещения в них ламп накаливания и рассчитанные на освещение площадей и улиц при большой высоте подвеса. Можно было бы ранее предсказать, что форма отражателей, рассчитанная на лампу накаливания, окажется мало подходящей в свето-техническом отношении к совершенно другой форме ртутных ламп. Однако все же интересно произвести опыт освещения какой-либо зеркала арматурой.

Как видно из рис. 3, вдоль главной асфальтированной дороги с обеих сторон имеется ряд низких стариков и двойной ряд молодых деревьев. Вдоль тротуара между дорогой и зданиями института растут травы.

Вследствие затруднений с получением молодого стекла боковые и нижние стенки арматур были изготовлены из матового и отчасти крашеного стекла.

Внешний вид полученного освещения представлен на рис. 4. На фотографии видно, что освещены только дорога и прилегающие насаждения, но пространство между зданиями общей шириной 40 м и самые здания. Этого и можно было ожидать от светильников, рассчитанных на рассеяние светового потока во всех направлениях, но не концентрирующих его на определенных площадях. Поэтому, несмотря на очень хороший декоративный эффект нововведения, экономический ее эффект оказался незначительным. При установке в каждой арматуре ртутной лампы на 220 В мощностью 550 W, т. е. при общей мощности  $15 \cdot 550 = 8250$  W на участок длиной 400 м или  $20,6$  kW/km, освещенность на асфальтированной дороге колебалась от 1,8 до 4,5 lx. Зато освещенность, как сказано, все пространство шириной 40 м между зданиями и самые здания снизу доверху. Поперечный участок дороги, освещенный зеркальными светильниками, дал несравненно большие величины горизонтальной освещенности. Непосредственно под светильниками освещенность была чрезмерно высокой, достигая 450 lx. На расстоянии 1 м от центра светового пятна по горизонтальному направлению она составляла  $100 \div 120$  lx, дальше спадала до  $20 \div 6,5$  lx. Очень очевидно, как это было отмечено выше, что форма отражателей, рассчитанных на лампы



Рис. 3

ни, совершенно не подходила к ртутным лампам. Приведенные результаты ясно показывают, что можно ожидать от ртутных ламп при соответствующих для них рассчитанных зеркальных отражателях. Данные опыты освещения являются пробными. Работа рассчитана на производство ряда опытов в различных формах светильников и при любой установке. Для этого между столбами натянута сеть тросов, позволяющих подвешивать светильники в любых местах и на любой высоте. Дальнейшие опыты должны детально выяснить экономические возможности и осветительный эффект новых источников света.

Экономический эффект газосветных ламп надо сравнивать с тем, что дают лампы накаливания в одинаковых условиях. При равных мощностях световой мощности ртутной лампы мощностью около 1 kW вдвое меньше (для 1000 час. срока службы), чем световой мощности лампы накаливания тоже в 1 kW. Однако в установочной установке соотношения могут сильно изменяться. Действительно, если лампа накаливания установлена в зеркальной арматуре с коэффициентом использования 0,7, а ртутная лампа взята либо без арматуры, либо в арматуре, равномерно рассеивающей световой поток во все стороны, и будет обладать коэффициентом использования не свыше 0,15, то получается, что ртутная лампа не только не экономичнее лампы накаливания, но в 2,5 раза хуже ее в смысле экономичности. Если даже ртутная лампа будет снабжена арматурой с коэффициентом использования 0,35, за обычной эмалированной арматурой, то ее экономичность будет наравне с экономичностью лампы накаливания в зеркальной арматуре. А тогда лампа накаливания, вполне установившаяся в смысле производства и не представляющая тех неудобств и недостатков, какими обладают ртутные лампы, имеет явные преимущества перед ртутной лампой.

Ясно, если желательно извлечь из ртутной лампы, или любой другой газосветной, всю ту выгоду, которую от нее можно получить, ее необходимо поставить в те же точно условия, в какие можно при рациональном использовании светового потока поставить лампу накаливания.

Другими словами, необходимо иметь возможность снабдить газосветную (ртутную) лампу зеркальным отражателем (или призматическим колпаком), позволяющим довести коэффициент использования примерно до той же величины 0,7, какая возможна для ламп накаливания. Иначе конкуренция новых источников света со старыми заранее обречена на неудачу. Об этом обстоятельстве слишком легко забывают, теряя из вида, что один только источник света в светотехнике еще ничего не определяет.

Расчет и построение зеркальных арматур для ламп накаливания не представляют в настоящее время сколько-нибудь серьезных затруднений, хотя производство их еще только начинает налаживаться. Большим облегчением в расчете служит то, что можно его вести, принимая в первом приближении тело накала за точку и вводя впоследствии поправки на его действительные размеры и форму. Проведенный таким образом расчет вполне хорошо оправдывается на опыте. Со всем иначе обстоит дело с газосветными лампами. Если тело накала в обычной лампе имеет форму небольшого кольца с телом незначительной толщины и можно достаточно спокойно предположить для расчета, что весь световой поток в любом направлении исходит из центра этого кольца, а затем только учесть приближенно влияние несосредоточенности источника света в одной точке, — то, например, в ртутной лампе светящийся объем имеет форму цилиндра толщиной около 8 mm и длиной от 150 до 350 mm, и такой цилиндр принять за точку нельзя даже в первом приближении. Кроме того, в лампе накаливания достаточно считаться с излучением поверхности, а в газосветной лампе приходится учитывать, что излучает объем.

Эти обстоятельства сразу чрезвычайно затрудняют расчет отражателей даже с симметричным светораспределением и еще в большей степени могут затруднить и так уже очень сложный расчет отражателей с несимметричным светораспределением.

Над этой сложной задачей необходимо работать в ближайшее время, чтобы открыть дорогу газосветным лампам на равных правах с лампами накаливания и с полным экономическим эффектом.

## РАБОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ И ЛАБОРАТОРИЙ

### Исследование коммутации машин при толчкообразной нагрузке

Инж. А. И. Москвитин  
ВЭИ

В машинах постоянного тока, получающих в настоящее время все большее применение для электрификации тяжелой промышленности (в частности, для электрических станций) и для электрификации транспорта, из наиболее важных характеристик является коммутация при толчкообразном изменении нагрузки. Поэтому исследования машин в этом отношении являются весьма необходимыми. К сожалению, до сих пор в литературе не описано достаточно подробно метода, позволяющего установить объективный критерий для подобного рода испытаний. Исследования коммутации производится большей частью накаливанием, и если машина выдержала испытание, то неизвестно, насколько близко машина была от пережога, т. е. насколько велика вероятность повторения подобного режима во время эксплуатации машины. Поэтому, вероятно, представит

интерес сообщение об одном методе исследования коммутации при разнообразной нагрузке, применяемой нами при исследованиях машин ВЭИ, и примененном, в частности, при испытании одноякорных преобразователей в Тифлисе и мотор-генераторной группы на тяговой подстанции Молити Сурамского перевала Закавказских ж. д.

Сущность этого метода состоит в том, что записывается при помощи осциллографа напряжение на коллекторе между крайними щетками. Эта величина является самой характерной для коммутации, так как непосредственно зависит от величины добавочных токов коммутации и показывает, насколько совершенно дополняют полюса компенсируют реактивную э. д. с. От величины напряжения на коллекторе между крайними щетками зависит степень искрения щетки, которое при некоторой достаточной величине этого напряжения

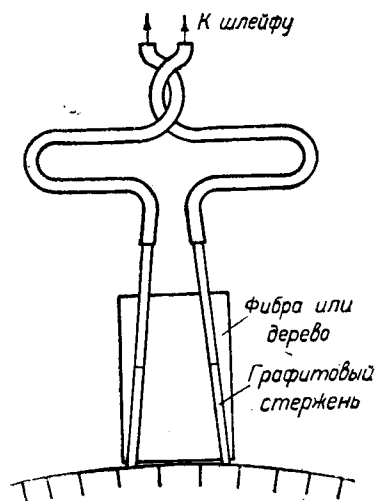


Рис. 1а

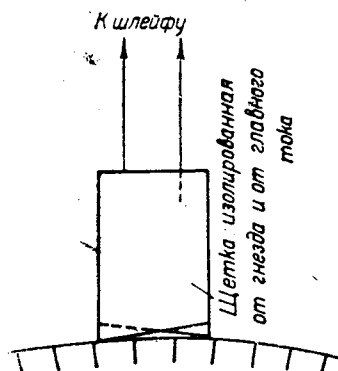


Рис. 1б

переходит в круговой огонь. Таким образом эта величина может служить вполне объективным указателем, насколько далека была машина от возникновения кругового огня.

Практически этот метод осуществлялся в одном из следующих видов.

В нормальный щеткодержатель вместо щетки туго вставляется фибровый или деревянный брусок, по размерам примерно одинаковый со щеткой. Между бруском и коллектором оставляется небольшой зазор. В испытательной фибровой щетке просверливаются отверстия, выходящие у краев щетки. В эти отверстия вставляются свободно сердечники карандаша, которые тем или иным способом прижимаются к коллектору и образуют контакты с концами проводников, идущих к шлейфу. Этот нажим и контакт можно осуществить, например, выполняя концы проводников шлейфа наподобие слегка пружинящей штепсельной вилки (рис. 1а). Еще проще выполнение на рис. 1б, применимое, в особенности, при большом числе щеток в щеткодержателе. Две щетки изолируются путем обклеивания бумагой от гнезда и от цепи тока машины и присоединяются к шлейфу осциллографа. Рабочая поверхность этих щеток срезывается, как показано на рис. 1б, так, чтобы у одной из них контакт образовывался только одним набегающим краем, а у другой — сбегающим.

### Исследование коммутации одноякорного преобразователя

При помощи вышеописанного устройства было произведено исследование коммутации одноякорного преобразователя, установленного на 1-й Тифлисской трамвайной подстанции при мгновенном включении и нагрузке. Полученная осциллограмма (рис. 2) весьма характерна. На этой осциллограмме кривая  $\Delta \varepsilon$  дает исследуемое напряжение между крайними щетками, кривая  $I$  — переменный ток, потребляемый преобразователем из сети. Как известно из теорий одноякорных

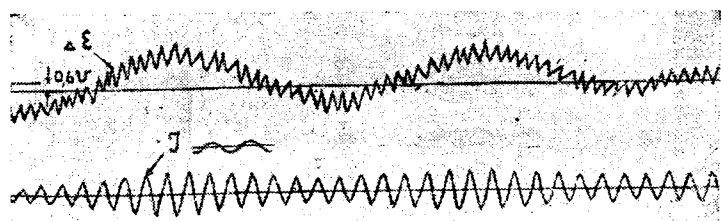


Рис. 2

преобразователей, при мгновенном изменении на стороне постоянного тока переменный ток преобразователя изменяется не сразу; в первый момент после включения нагрузки преобразователь работает как генератор постоянного тока за счет кинетической энергии якоря, а после сбрасывания нагрузки — как синхронный мотор, потребляя из сети кинетическую энергию для поворота якоря на угол  $\theta$  вперед. В этом нарушается равновесие ампервитков постоянного и переменного токов, что и влечет за собой трудности в применении дополнительных полюсов для преобразователей. В первый момент после включения нагрузки преобладают ампервитки постоянного тока якоря, поэтому ампервитки дополнительных полюсов становятся недостаточными и коммутация становится замедленной. Наоборот, после сбрасывания нагрузки коммутация становится ускоренной.

Переход от одной нагрузки к другой сопровождается рядом качаний, во время которых переходят от ампервитки постоянного, то переменного тока. Приводимая осциллограмма рис. 2 весьма наглядно иллюстрирует это явление.

Перед включением нагрузки кривая  $\Delta \varepsilon$  (рис. 2) расположена сверху от оси абсцисс, что по опыту соответствует ускоренной коммутации. После включения нагрузки кривая перешла в область отрицательных значений, т. е. коммутация стала замедленной, что и следовало из теории. Величину напряжения во время этого толчка нагрузки легко определить по осциллограмме (в данном случае она не превышает опасных пределов).

Последующие качания также весьма характерны. По мере того как перевес получают ампервитки переменного, то постоянного тока, кривая  $\Delta \varepsilon$  переходит соответственно то ускоренную, то замедленную коммутацию и, таким образом, позволяет весьма наглядно проследить влияние качаний на коммутацию и степень надежности работы дополнительных полюсов при таких режимах.

### Коммутация машин постоянного тока при изменении нагрузки

В машинах постоянного тока коммутация при включении и сбрасывании нагрузки ухудшается по следующим причинам: из-за запаздывания потока дополнительных полюсов вследствие демпфирующего действия Фуко в машинных частях и из-за насыщения дополнительных полюсов.

Легко видеть, что вследствие первой причины при включении нагрузки поток дополнительных полюсов будет недостаточен, т. е. будет наблюдаться замедленная коммутация. После сбрасывания нагрузки, наоборот, будет ускоренная коммутация. По опыту автора отключение больших нагрузок на машинах постоянного тока может вызвать круговой огонь при плохой коммутации, так же как это имеет место в одноякорных преобразователях. Поэтому режим сбрасывания нагрузки представляет не меньший интерес, чем включение ее.

Осциллограммы рис. 3 и 4, полученные по описанному методу рис. 1б на генераторах постоянного тока (2000 kW, 3000 V), весьма наглядно показывают явления при мгновенном включении и сбрасывании кратной нагрузки. На этих осциллограммах кривая  $\Delta \varepsilon$  представляет кривую напряжения между крайними щетками.

Для сглаживания коммутационных пульсаций в цепь шлейфа была включена индукция, представляющая большое сопротивление для коммутационных пульсаций и относительно

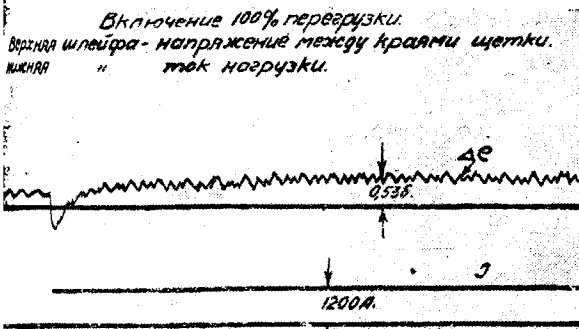


Рис. 3. Осциллограмма включения 100% нагрузки. Верхняя кривая — напряжение между краями щетки, нижняя кривая — ток нагрузки

ное для основного тока шлейфа; специальная диаграмма, снятая без самоиндукции, показала, что последняя вносит лишь весьма небольшое искажение в основной ток. Кривая  $I$  дает протекание основного тока машины.

Осциллограмма рис. 4 показывает характерное явление: сразу после включения нагрузки кривая  $\Delta e$  падает вниз от оси абсцисс, т. е. коммутация из ускоренной становится замедленной. Только постепенно коммутация снова становится ускоренной. Очевидно, такое протекание кривой  $\Delta e$  объясняется задерживающим действием токов Фуко на поток дополнительных полюсов.

При сбрасывании нагрузки наблюдаем обратное явление: кривая  $\Delta e$  делает резкий скачок вверх и постепенно спадает до установившегося положения. Вследствие демпфирующего действия токов Фуко на дополнительные полюсы после сбрасывания нагрузки оказывается слишком сильным. Это может привести к не менее неприятным последствиям, чем

при включении нагрузки (или короткого замыкания). Следует подчеркнуть, что, как видно из осциллограммы, при сбрасывании нагрузки напряжение между краями щетки было даже больше, чем при включении. Наибольшее напряжение на коллекторе между краями щетки, измеренное на осциллограммах по масштабу установившегося режима, составило при включении 2-кратной нагрузки 0,45 В (замедленная коммутация) и при сбрасывании 1,7 В (ускоренная коммутация). Это напряжение не превосходит опасных пределов (по некоторым данным можно считать опасным сегментное напряжение под щеткой 8 В), однако все же величина эта довольно значительна, если учесть, что здесь мы имели включение всего 200% нагрузки.

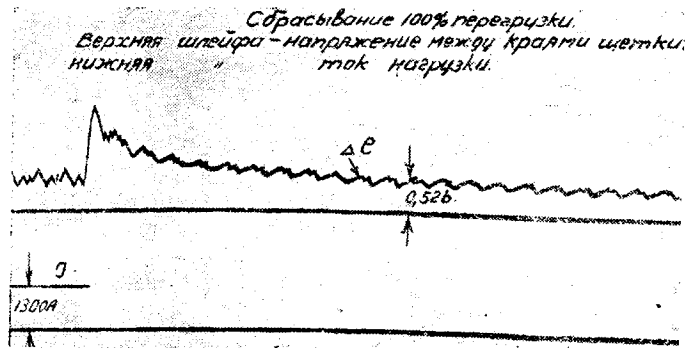


Рис. 4. Осциллограмма сбрасывания 100% нагрузки

Предлагаемый метод позволяет установить вполне объективный критерий для суждения о коммутации машин при толчкообразной нагрузке и показывает в весьма наглядной форме работу дополнительных полюсов при нестационарных процессах.

## Процессы коммутации в вентильном двигателе

Инж. М. Н. Губанов  
Москва

Вопросу коммутации в вентильном двигателе должно быть уделено большое внимание, так как с процессами коммутации связаны дополнительные потери на токи Фуко, которые достигают большой величины. Происходит это вследствие того, что в вентильном двигателе в коммутации участвует элемент обмотки (фаза), создающий все магнитное поле якоря, тогда как при коммутации в вентильном двигателе находится в движении все магнитное поле якоря, тогда как в машине постоянного тока в коммутации участвует элемент (секция), создающий лишь часть всего магнитного поля якоря, и поэтому в коммутации в движении участвует только эта часть, так что в машинах постоянного тока магнитное поле якоря практически принимается неподвижным относительно магнитной системы возбуждения. Но, с другой стороны, в коммутации вентильного двигателя не имеется того принудительного переключения элементов якорной обмотки, которое мы найдем в машинах постоянного тока, где оно является причиной искрения на коллекторе. В вентильном двигателе, как увидим ниже, коммутация происходит вследствие естественного уменьшения тока до нуля, после чего по причине вентильного действия дуги коммутационный элемент (фаза) автоматически отключается. Вспомогательная диаграмма (см. "Электричество" № 12 и 14) было показано, что при нормальной работе вентильного двигателя через каждые полпериода сети, ток поочередно протекает по двум обмоткам (звездам) якоря, причем каждые  $\frac{1}{12}$  периода двигателя поочередно сдвигается по каждой паре соответствующих фаз пер-

вой и второй звезд. Следовательно, в каждой фазе ток идет  $\frac{1}{12}$  периода двигателя, т. е. через каждую  $\frac{1}{12}$  периода двигателя ток переходит из одной фазы в другую.

Остановимся подробнее на этом процессе перехода тока, или так называемом процессе коммутации. Возьмем вначале схему с  $\mu=0$ , т. е. случай, когда звезды не сдвинуты друг относительно друга. Разберем возможные случаи коммутации в рассматриваемой системе (рис. 1).

I. В момент  $K_1$  мы имеем переход тока с  $n$ -й фазы в  $(n+1)$ -ю фазу той же звезды.

II. В момент  $K_2$  мы имеем переход тока с  $n$ -й фазы одной звезды в  $n'$ -ю фазу (т. е. совпадающую по времени с предыдущей) второй звезды.

III. В момент  $K_3$  мы имеем переход тока с  $n$ -й фазы одной звезды в  $(n+1)'$ -ю фазу (т. е. смещенную на  $60^\circ$  с предыдущей) второй звезды.

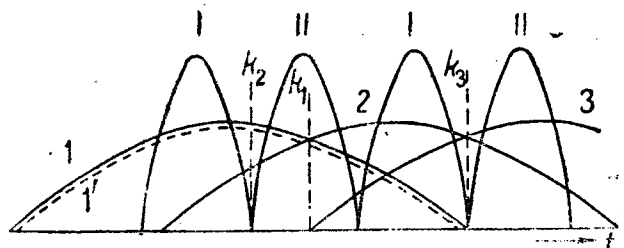


Рис. 1. I и II — напряжения полуобмоток трансформатора  $U = U_0 \sin at$ ; 1, 2, 3, 1', 2' — напряжения фаз I и II звезды обмотки якоря  $E = E_0 \sin(bt - m \theta)$

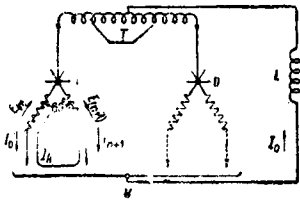


Рис. 2.  $T$  — две вторичные полуобмотки трансформатора;  $L_0$  — внешняя самоиндукция;  $I_1$  и  $I_2$  — первая и вторая звезды обмотки якоря вентильного двигателя;  $E_n$ ,  $E_{n+1}$  — напряжение коммутируемых фаз звезды обмотки якоря;  $K$  — катод ртутного выпрямителя

Разберем каждый случай в отдельности.

### 1. Коммутация с фазы на фазу одной звезды

Коммутация с фазы на фазу протекает следующим образом: до момента  $K_1$  горит анод  $n$ -й фазы; в момент  $K_1$  или близкий к нему „отпирается“ анод  $(n+1)$ -й фазы той же звезды.

Так как каждая фаза обладает определенной самоиндукцией, т. е. электромагнитной энергией, исчезающей не мгновенно, то горение  $n$ -й фазы будет продолжаться некоторое время; следовательно, в данный момент горят два анода от соответствующих двух фаз (рис. 2). Таким образом, имеем короткозамкнутый контур, состоящий из  $n$ -й фазы, катода и  $(n+1)$ -й фазы.

Для того чтобы происходил нормальный процесс коммутации, т. е. ток в  $n$ -й фазе уменьшался, а в  $(n+1)$ -й фазе увеличивался, необходимо, чтобы в замкнутом контуре создавался добавочный ток коммутации  $I_k$ , направленный против начального тока  $n$ -й фазы  $I_0$ . Для того, чтобы ток  $I_k$  имел нужное направление, указанное на рис. 2, необходимо, чтобы разность  $E_n - E_{n+1}$  совпадала по направлению с  $E_n$ , т. е.  $E_n > E_{n+1}$ ; отсюда сразу можно видеть по рис. 1, что процесс коммутации должен уже закончиться (т. е. ток в  $n$ -й фазе прерваться) к моменту  $K_1$ , так как после момента  $K_1$   $E_{n+1} > E_n$ ; следовательно, ток  $I_k$ , т. е. процесс коммутации, примет обратное направление — ток в  $n$ -й фазе будет увеличиваться, а в  $(n+1)$ -й фазе уменьшаться, что не будет соответствовать нормальной работе двигателя и повлечет за собой толчки тока и возникновение тормозящих моментов.

Логически мы показали, что если время коммутации определяется углом  $\beta$  (рис. 3), начало коммутации не должно быть позднее  $\gamma_2 = 120^\circ - \beta$  (с тем, чтобы к  $120^\circ$  закончилась) и не раньше  $\gamma_2' = -60^\circ$ . Последним пределом пользоваться не приходится, так как, зажигая фазу в момент перехода ее около нуля, мы не полностью используем магнитный поток, поэтому нормально имеют дело не с  $\gamma_2'$ , а с  $\gamma_2 = 120^\circ - \beta$ .

Все эти положения можно вывести строго аналитическим путем.

Вследствие большой самоиндукции  $L$  ротора (рис. 2) общий ток  $I_0 = \text{const}$  (при данных оборотах двигателя).

Тогда для замкнутого контура, состоящего из  $n$ -й

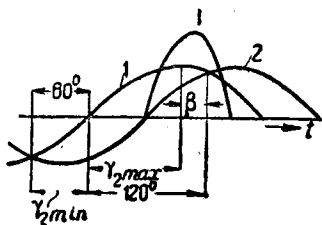


Рис. 3

Рис. 4.  $E_n - E_{n+1}$  — междофазовое напряжение двух соседних коммутируемых фаз обмотки якоря

и  $(n+1)$ -й фаз (рис. 2), будем иметь уравнение электродинамического равновесия.

$$E_n - E_{n+1} = -i_n R + i_{n+1} R - L \frac{di_n}{dt} + L \frac{di_{n+1}}{dt} - M \frac{di_{n+1}}{dt} + M \frac{di_n}{dt},$$

где  $E_n = E_0 \sin(bt + \gamma_2)$ ,  $E_{n+1} = E_0 \sin(bt + \gamma_2 -$

$b = \frac{2\pi pn}{60}$  — угловая скорость потока в электрических градусах (предварительно считаем, что поток меняется равномерно),  $i_n$  — ток в  $n$ -й фазе,  $i_{n+1}$  — ток в  $(n+1)$ -й фазе, но так как  $I_0 = \text{const}$ , то  $i_n = I_0$  и  $i_{n+1} = I_k$ ,  $R$  — сопротивление одной фазы,  $L$  — коэффициент самоиндукции каждой фазы,  $M$  — коэффициент взаимной индукции соседних фаз,  $E_0$  — амплитуда фазового напряжения двигателя,  $n$  — число оборотов ротора.

Разность  $E_n - E_{n+1}$  есть междофазовое напряжение (рис. 4), откуда находим амплитуду  $(E_n - E_{n+1}) = 2E_0 \sin \frac{\pi}{m}$ , вектор которой по времени опережает

вектор  $E_n$  на угол  $90^\circ - \frac{\pi}{m}$  (рис. 4), откуда имеем

$$E_n - E_{n+1} = 2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \sin \left( bt + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} + 90^\circ \right) = 2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( bt + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} \right).$$

То же самое можно получить, сделав тригонометрическое преобразование разности

$$E_n - E_{n+1} = E_0 [\sin(bt + \gamma_2) - \sin(bt + \gamma_2 - \frac{\pi}{m})]$$

Подставив найденные величины в уравнение (1), получим:

$$2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( bt + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} \right) = -(I_0 - I_k) R - L \frac{d(I_0 - I_k)}{dt} + M \frac{d(I_0 - I_k)}{dt} + L \frac{dI_k}{dt} - M \frac{dI_k}{dt} = -I_0 R + I_k R + 2(L - M) \frac{dI_k}{dt} = I_k R - I_0 R + L_n \frac{dI_k}{dt},$$

где  $2(L - M) = L_n$  есть приведенная самоиндукция рассматриваемого контура.

Полное решение этого дифференциального уравнения будет

$$I_k = I_{k1} + I_{k2},$$

где

$$I_{k1} = \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( bt + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right)}{\sqrt{(2R)^2 + (bL_n)^2}},$$

т. е.  $I_{k1}$  равен установившемуся току в короткозамкнутом контуре. Здесь  $\varphi_1$  — угол сдвига фаз тока

напряжения,  $\tan \varphi_1 = \frac{bL_n}{2R}$ .

второй член уравнения (4)  $I_{k2}$  есть неустановившийся, который должен удовлетворять уравнению

$$2RI_{k2} - I_0R + L \frac{dI_{k2}}{dt} = 0. \quad (6)$$

образовывая, получим

$$2R \left( I_{k2} - \frac{I_0}{2} \right) + L_n \frac{d \left( I_{k2} - \frac{I_0}{2} \right)}{dt} = 0.$$

интегрируя, имеем

$$\lg \left( I_{k2} - \frac{I_0}{2} \right) \frac{1}{C_1} = - \frac{2R}{L_n} t,$$

$$I_{k2} = \frac{I_0}{2} + C_1 e^{-\frac{2R}{L_n} t}. \quad (7)$$

Подставив найденные выражения для  $I_{k1}$  и  $I_{k2}$  в уравнение (4), будем иметь

$$\frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( bt + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right)}{\sqrt{(2R)^2 + (bL_n)^2}} + \frac{I_0}{2} + C_1 e^{-\frac{2R}{L_n} t}. \quad (8)$$

Из начальных условий найдем  $C_1$  при  $t=0$  и  $I_k=0$ :

$$C_1 = - \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right)}{\sqrt{(2R)^2 + (bL_n)^2}} - \frac{I_0}{2}. \quad (9)$$

Подставим это значение в уравнение (8):

$$I_k = \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( bt + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right)}{\sqrt{(2R)^2 + (bL_n)^2}} + \left[ \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right)}{\sqrt{(2R)^2 + (bL_n)^2}} + \frac{I_0}{2} \right] e^{-\frac{2R}{L_n} t}, \quad (10)$$

$$I_k = I \cos \left( bt + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right) + \frac{I_0}{2} - \left[ I \cos \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right) + \frac{I_0}{2} \right] e^{-\frac{2R}{L_n} t}, \quad (10')$$

$$I = \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m}}{\sqrt{(2R)^2 + (bL_n)^2}}.$$

есть общее уравнение, по которому протекает ток в процессе коммутации в зависимости от параметров контура  $L$  и  $R$  и начала коммутации  $\gamma_2$ , т. е. угла зажигания последующей фазы. Как мы видели выше, начало зажигания фазы зависит от угла коммутатора двигателя, таким образом по мере изменения коммутатора двигателя мы можем изменять ток коммутации.

Мы отмечали, что не при всяких  $\gamma_2$  происходит коммутация. Найдем диапазон  $\gamma_2$ , при котором коммутация происходит. Обозначим угол коммутации  $\gamma_2$ , т. е. угол протекания процесса коммутации (время коммутации), т. е. при  $t=t_k$   $I_k=I_0$ . Подставив эти значения в уравнение (10), будем иметь

$$\frac{I_0}{2} = \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( \beta + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right)}{\sqrt{(2R)^2 + (bL_n)^2}} + \left[ \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right)}{\sqrt{(2R)^2 + (bL_n)^2}} + \frac{I_0}{2} \right] e^{-\frac{2R}{L_n} t_k}. \quad (11)$$

Так как  $R$  в основном влияет на величину  $\beta$ , которая у нас входит в уравнение (11) неизвестным, следовательно, может принимать любое значение, то для простоты нахождения  $\gamma_2$  можем принять  $R=0$ , тогда  $\varphi_1=90^\circ$ , после чего уравнение (11) примет вид

$$\frac{I_0}{2} = \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( \beta + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - 90^\circ \right)}{bL_n} - \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - 90^\circ \right)}{bL_n} - \frac{I_0}{2} \quad (12)$$

или

$$I_0 = \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m}}{bL_n} \left[ \sin \left( \beta + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} \right) - \sin \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} \right) \right]. \quad (12')$$

Так как  $I_0 > 0$ , то  $\sin \left( \beta + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} \right) - \sin \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} \right) > 0$ ,

или, обозначив  $\beta + \gamma_2 - \frac{\pi}{m}$  через  $\lambda$ ,

$$\sin \lambda > \sin (\lambda - \beta),$$

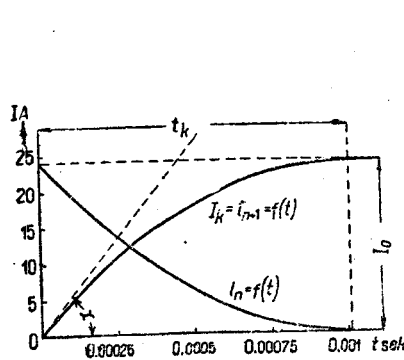


Рис. 5.  $i_n = f_1(t)$  — изменение тока за время коммутации в первой фазе;  $i_{n+1} = f_2(t)$  — изменение тока за время коммутации в соседней фазе, коммутирующей с первой

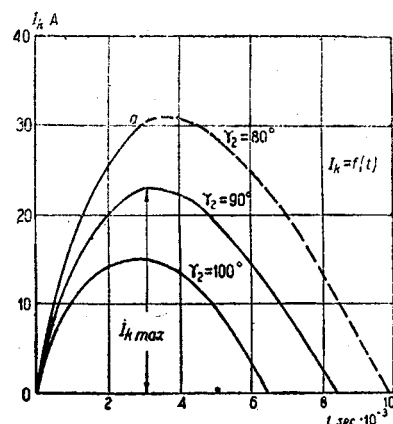


Рис. 6. Кривые коммутации  $I_k = f(t)$  в зависимости от установившегося ( $\gamma_2$ ) коммутатора двигателя

т. е. при уменьшении аргумента синус уменьшается, а это возможно при  $\lambda < \frac{\pi}{2}$  и  $\lambda > \frac{3\pi}{2}$ , или, что то же самое, при  $\lambda > -\frac{\pi}{2}$ , откуда  $\lambda = \beta + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} < \frac{\pi}{2}$  или

$\gamma_2 < \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m} - \beta$ . Для нашего случая, при  $m=6$ , имеем  $\gamma_2 < 120^\circ - \beta$ , т. е. мы аналитически подтвердили то, что раньше высказали логически. Второе неравенство дает нижний предел  $\gamma_2$ , который, как уже говорилось, нам не интересен, так как около него вообще не может быть двигательного режима.

Проанализируем уравнение (10) и связанное с ним явление коммутации  $I_k = f(t)$ . Кривая, построенная по уравнению (10), имеет вид, указанный в рис. 5, где  $I_k$  есть ток коммутации, и, с другой стороны, ток последующей фазы, т. е.  $I_k = i_{n+1}$ . Но, как мы упоминали раньше,  $i_n$  (ток в предыдущей фазе) равен  $I_0 - I_k$ . Он изображен на рис. 5 другой кривой, совершенно симметричной первой.

Для более подробного рассмотрения процесса коммутации построим по уравнению (10) семейство кривых с разными  $\gamma_2$  и для  $I_0 = \text{const}$  (рис. 6), где взяты следующие данные: амплитуда напряжения фазы двигателя  $E_0 = 230$  В, число оборотов двигателя в минуту  $n = 600$ , число полюсов  $2p = 4$ ,  $I_0 = 30$  А, число фаз в звезде  $m = 6$ , приведенная самоиндукция  $L_n = 0,01$  Н, омическое сопротивление фазы  $R = 1,54 \Omega$ .

На рис. 6 построены три кривые  $I_k = f(t)$  для  $\gamma_2 = 80^\circ, 90^\circ$  и  $100^\circ$ . Как видим из рис. 6 по кривой с  $\gamma_2 = 80^\circ$ , ток коммутации  $I_k$  достигает в точке  $a$  величины начального тока  $I_0 = 30$  А, после чего ток в  $n$ -й фазе  $i_n = I_0 - I_k$  будет равен нулю, а вследствие вентильного действия ртутной дуги ток  $i_n$  дальше уменьшаться не может; следовательно, с момента  $a$  (рис. 6) процесс коммутации закончен и фаза является отключенной. Поэтому кривая после точки  $a$  (указано на рис. 6 пунктиром) имеет только математический смысл, удовлетворяющий уравнению (10). Но с физической стороны кривая  $I_k = f(t)$  не существует, так как после момента, соответствующего точке  $a$ , никакого процесса коммутации в рассматриваемых фазах не происходит.

По кривым для  $\gamma_2 = 90^\circ$  и  $100^\circ$  ток коммутации  $I_k$  не достигает величины начального тока  $I_0$ ; поэтому  $I_k$ , достигнув своего максимального значения, начинает уменьшаться, т. е. коммутация имеет обратное направление. Две последние кривые на рис. 6 указаны целиком сплошной линией, так как им соответствует непрерывный процесс коммутации, вначале нормальный, потом обратный. Как тот, так и другой физически и математически подчиняются уравнению (10).

При рассмотрении кривых для  $\gamma_2 = 90^\circ$  и  $100^\circ$  по рис. 6 мы отметили, что при заданном начальном токе  $I_0 = 30$  А им соответствует незаконченная коммутация, т. е. при  $I_0 = 30$  А фазы не перекоммутировались; спрашивается, при каком же начальном токе  $I_0$  и при тех же значениях  $\gamma_2$  может произойти коммутация до конца и за какой промежуток времени.

На этот вопрос рис. 6 и уравнение (10) в приведенном виде ответа не дают.

Для разрешения этого вопроса преобразуем уравнение (10).

Нам нужно найти  $t$ , при котором  $I_k$  достигает величины  $I_0$ . Для этого подставим в уравнение (10)  $I_k = I_0$ :

$$I_0 = \frac{2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( bt_k + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right) - 2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right) e^{-\frac{R}{L_n} t_k}}{\sqrt{(2R)^2 + (bL_n)^2}} + \frac{I_0}{2} \left( 1 - e^{-\frac{2R}{L_n} t_k} \right),$$

откуда находим  $I_0 = f(t)$  при данных  $\gamma_2$ :

$$I_0 = \frac{4E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( bt_k + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right) - \cos \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_2 \right)}{\sqrt{(2R)^2 + (bL_n)^2} \cdot 1 + e^{-\frac{2R}{L_n} t_k}}.$$

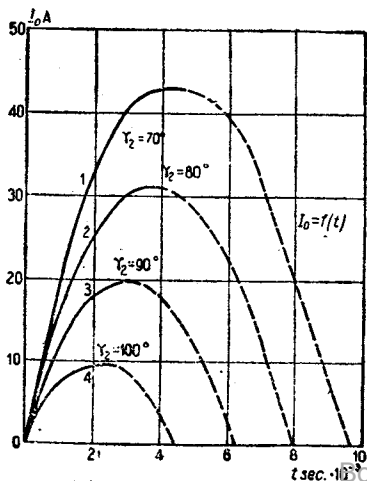


Рис. 7. 1—кривая необходимого времени для скоммутирования начального тока ( $I_0$ ) в зависимости от его величины при установке коммутатора двигателя на  $\gamma_2 = 70^\circ, 2, 3, 4$  — то же для  $\gamma_2 = 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ$

В уравнении (13')  $I_0$  является уже переменной, тогда как в уравнении (10)  $I_0 = \text{const}$ .

По уравнению (13') мы можем найти, какой скоммутировать ток за время  $t$  при заданном

На рис. 7 построены кривые по уравнению с заданными  $E_0 = 230$  В,  $n = 600$  об/мин,  $L = R = 1,54 \Omega$ ,  $m = 6$ ,  $2p = 4$ , но  $I_0 \neq \text{const}$ . По этим мы можем сразу определить:

1) какой максимальный начальный ток  $I_0$  скоммутировать при заданном  $\gamma_2$ ,

2) какой величины начальный ток  $I_0$  можно скоммутировать (при заданном  $\gamma_2$ ) за время  $t$ .

На рис. 7 спадающая часть кривых указана пунктиром, так как эта часть кривой не имеет физического смысла по следующим причинам: всякое значение на спадающей части кривой повторяется на восходящей части кривой. Поэтому, каким бы мы ни задали по кривой начальный ток  $I_0$ , всегда он скоммутируется в пределах восходящей части кривой. По до момента времени  $t$  находящаяся в интервале спадающей части кривой коммутация продолжаться не может.

В пояснение развитой теории коммутации в двигателе произведем сравнение теоретической построенной кривой коммутации по уравнению (соответственно—рис. 6) с кривой, полученной экспериментальным путем на опытной установке. Экспериментальная кривая получена посредством снятия логограмм тока в двух соседних отдельных фазах. Экспериментальная кривая  $I_k = f(t)$  снималась при следующих данных:  $E_0 = 240$  В,  $n = 600$  об/мин,  $m = 6$ ,  $L_n = 0,01$  Н,  $R = 1,54 \Omega$ .

Установка коммутатора двигателя на  $\gamma_1 = 10^\circ$ ,  $\gamma_2 = \gamma_1 + 60^\circ = 70^\circ$ . Установка коммутатора двигателя вследствие реакции (см. "Электричество" № 12) должна быть скорректирована на угол  $\rho$

якоря  $\rho$ . Но так как угол  $\rho$  за время коммутации не меняется, то придется взять среднюю величину. Тогда действительное положение коммутатора будет  $\gamma_2' = \gamma_2 + \rho_{\text{ср}}$ .

Так как опытный вентильный двигатель имел выраженные полюсы, то положение результирующего магнитного поля будет определяться графическим сложением статорного и роторного магнитных полей. Ампервитки статора  $AW_{\text{ст}} = 3700$ , ротора  $AW_{\text{р}} = 1700$ . Произведем их сложение. В начальный момент фазы, а следовательно, и магнитного поля статора находится под углом  $180 - \gamma_2$  (рис. 8, положение к оси ротора. Геометрическое сложение ампервитки ротора и статора (рис. 8) дает результирующие ампервитки  $AW_{\text{рез}}$  и совпадающее с ними по направлению результирующее поле двигателя, которое вследствие реакции якоря (рис. 8) сдвинулось на угол  $\rho$ .

В последний момент вследствие коммутации будет разветвляться уже по двум фазам, взаимно

на  $60^\circ$ . Для момента времени, когда по ка-  
фазе протекает половина якорного тока  $I_0$ , поле  
по сравнению с начальным моментом комму-  
тації повернется на  $30^\circ$ . К концу коммутации весь  
будет идти через фазу, смещенную на  $60^\circ$ , поэтому  
поле статора тоже сместится на  $60^\circ$   
(рис. 8, положение  $\gamma_1$ ). То есть за  
все время коммутации поле статора  
непрерывно смещается, тогда как  
поле ротора вследствие малости  $t_k$   
практически можно считать неподвиж-  
ным. Следовательно, взаимное распо-

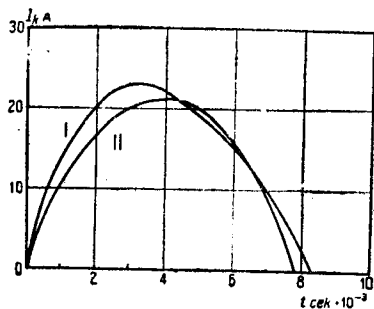


Рис. 9. Кривые  $I_k = f(t)$  при коммутации с фазы на фазу: I — теоретическая кривая; II — экспериментальная кривая

8. Векторная диаграмма  
для нахождения реак-  
ции якоря двигателя

ение полей ротора и статора за время коммутации  
ет все время меняться, поэтому угол  $\rho$  будет тоже  
меняться.

Для того чтобы найти  $\rho_{cp}$ , возьмем начальное зна-  
чение угла реакции якоря  $\rho_1 = 27^\circ$  и конечное значе-  
ние  $\rho_2 = 9^\circ$ . Так как реакция влияет на коммутацию  
сильнее, чем в конце, то удель-  
ный вес  $\rho_1$  в значении  $\rho_{cp}$  должен быть больше, по-  
этому значение  $\rho_{cp}$  найдем по формуле

$$\rho_{cp} = \frac{k\rho_1 + \rho_2}{k + 1}, \quad (14)$$

$k > 1$ ; возьмем  $k \cong 2$ , тогда

$$\rho_{cp} = \frac{2 \cdot 27 + 9}{3} = 21^\circ$$

ответственно

$$\gamma_2 = 70 + 21 = 91^\circ.$$

Следовательно, теоретическая кривая  $I_k = f(t)$  должна  
быть построена по уравнению (10) для  $\gamma_2 = 91^\circ$ .

Сравнение двух кривых коммутации теоретической  
и экспериментальной показано на рис. 9, где I — тео-  
ретическая кривая, II — экспериментальная кривая.

Вследствие приближенных подсчетов реакции якоря  
(среднее значение) теоретическая кривая немного  
отличается от экспериментальной.

### Дополнительные потери коммутации

Из предыдущей фазы переходит в последующую  
сдвинутую от предыдущей на угол  $\left(\frac{2\pi}{mp}\right)^\circ$ . Та-

ким образом поле фазы за время  $t_k$  также переме-  
щается на угол  $\frac{2\pi}{pm}$ ; следовательно, средняя угловая  
скорость его будет

$$\omega_{cp} = \frac{2\pi}{pmt_k}. \quad (15)$$

Если скачкообразное движение статорного поля будет,  
тогда с одной стороны, за время  $t_k$  увеличивать скорость  
результатирующего поля (ротора и статора), т. е. к ско-

рости ротора  $\omega_1$  будет прибавляться скорость  $c(\omega_{cp} - \omega_1)$  (коэффициент  $c < 1$ , так как дополнительная ско-  
рость  $\omega_{cp} - \omega_1$  есть скорость не всего результиру-  
ющего поля, а только одной его компоненты, при поле  
ротора, равном полю статора,  $c = \frac{1}{2}$ ); но, с другой

стороны, за время  $t_1 = \frac{2\pi}{mp\omega_1} - t_k$  скорость результи-  
рующего поля будет уменьшаться на  $c\omega_1$ ; следова-  
тельно, наше результирующее поле будет иметь скоро-  
сть

$$\left. \begin{aligned} \text{за время } t_k \\ \omega_{p1} = \omega_1 + c(\omega_{cp} - \omega_1) = \omega_1(1 - c) + c\omega_{cp} = \omega_1' + c\omega_{cp}, \\ \text{за время } t_1 \\ \omega_{p2} = \omega_1 - c\omega_1 = \omega_1(1 - c) = \omega_1'. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Средняя скорость результирующего поля от коммута-  
ции не зависит, так как

$$\begin{aligned} \omega_{p\text{ ср}} &= \frac{\omega_{p1}t_k + \omega_{p2}t_1}{t_k + t_1} = \frac{\omega_1(1 - c)t_k + c\omega_{cp}t_k + \omega_1(1 + c)t_1}{t_k + t_1} = \\ &= \frac{\omega_1(1 - c)(t_k + t_1) + \frac{c \cdot 2\pi}{pm}}{t_k + t_1} = \omega_1(1 - c) + c\omega_1 = \omega_1, \end{aligned}$$

и поэтому потери на гистерезис не увеличиваются,  
так как они зависят только от средней скорости при  
заданном магнитном потоке. Магнитный поток вслед-  
ствие насыщения при нормальной работе машины бу-  
дет увеличиваться незначительно, чем можно предва-  
рительно пренебречь (см. рис. 10, где  $\Delta AW$  — прираще-  
ние ампервитков по оси результирующего потока  
вследствие относительного перемещения полей статора  
и ротора и  $\Delta\Phi$  — соответствующее им приращение  
потока). Если потери на гистерезис зависят только  
от средней скорости потока (при заданной его вели-  
чине), то потери на токе Фуко зависят и от мгновен-  
ной скорости, т. е. зависят от функции  $\omega = f(t)$  при  
заданной средней скорости  $\omega_{cp}$ .

Для рассмотренного нами выше случая потери на  
токи Фуко будут равняться

$$P_f = \frac{A(\omega_{p1}^2 t_k + \omega_{p2}^2 t_1)}{t_k + t_1}, \quad (17)$$

где  $A$  — постоянная, зависящая от индукции, толщины  
листа, сорта железа и т. д. Подставляя уравнение (16)  
в уравнение (17), получаем

$$\begin{aligned} P_f &= \frac{A}{t_k + t_1} (\omega_1'^2 t_k + 2c\omega_{cp}\omega_1 t_k + c\omega_{cp}^2 t_k + \omega_1'^2 t_1) = \\ &= A\omega_1^2 + \frac{mp\omega_1}{2\pi} A(2c\omega_{cp}\omega_1' t_k + c^2\omega_{cp}^2 t_k). \end{aligned}$$

Так как

$$t_1 + t_k = \frac{2\pi}{mp\omega_1}$$

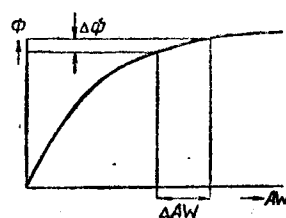


Рис. 10

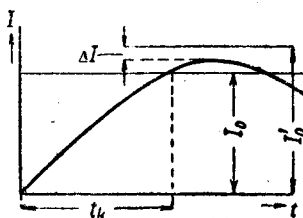


Рис. 11

и

$$t_k = \frac{2\pi}{mp \omega_{2cp}},$$

то

$$\begin{aligned} P_f &= A \omega_1^2 (1-c)^2 + A \omega_1 [2c(1-c) \omega_1 + c^2 \omega_{2cp}] = \\ &= A [\omega_1^2 (1-c)^2 + 2c(1-c) \omega_1^2 + c_1^2 \omega_1 \omega_{2cp}] = \\ &= A [\omega_1^2 (1-c^2) + c_1^2 \omega_1 \omega_{2cp}], \end{aligned} \quad (18)$$

т. е. при заданных  $A$ ,  $c$  и  $\omega_1$  потери  $P_f = F(\omega_{2cp})$ . Чем больше  $\omega_{2cp}$ , тем больше потери на токи Фуко. Следовательно, для уменьшения потерь необходимо иметь  $\omega_2$  как можно меньше, а по уравнению (15) соответственно  $t_k$  должно быть как можно больше, конечно, в пределах  $\frac{2\pi}{pm \omega_1}$ .

При заданном  $I_0$  время  $t_k$  зависит от  $\operatorname{tg} x$  (рис. 5). Возьмем производную от уравнения (10'), так как

$$\operatorname{tg} x = \left( \frac{dI_k}{dt} \right)_{t=0}. \quad (19)$$

Производная  $I'_k = f(t)$  от уравнения 10' имеет вид

$$\begin{aligned} I'_k &= \frac{dI_k}{dt} = -I \sin \left( bt + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right) + \\ &+ \frac{2RI}{L_n} \cos \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right) e^{-\frac{2R}{L_n} t} + \\ &+ I \sin \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right) e^{-\frac{2R}{L_n} t} + \frac{I_0 R}{L_n} e^{-\frac{2R}{L_n} t}, \end{aligned}$$

откуда для  $t=0$  имеем

$$I'_{k,t=0} = \left( \frac{dI_k}{dt} \right)_{t=0} \operatorname{tg} x = \frac{2R}{L_n} I \cos \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right) + \frac{I_0 R}{L_n}. \quad (20)$$

Анализ уравнения (20) показывает, что с увеличением  $\varphi_1 = \operatorname{tg} \frac{2R}{L_n}$  растет  $\cos \left( \gamma_2 - \frac{\pi}{m} - \varphi_1 \right)$ , следовательно,  $\operatorname{tg} x = f \left( \frac{2R}{L} \right)$ , который возрастает с увеличением  $\frac{2R}{L}$ .

Поэтому для того, чтобы уменьшить железные потери за токи Фуко, нужно увеличивать  $L$  и уменьшать  $R$ . Увеличение времени  $t_k$  частично уменьшает джаулевы потери (так как за время  $t_k$  ток  $I_0$  идет по двум фазам), т. е. увеличивается коэффициент мощности двигателя, но, с другой стороны, увеличение  $t_k$  уменьшает угол положения коммутатора двигателя  $\gamma_1 = \gamma_2 - 60^\circ = 120^\circ - \beta - 60^\circ = 60^\circ - bt_k$ , т. е. частично уменьшается коэффициент мощности двигателя (см. ф-лу 12 "Электричество" № 14, 1933 г.). Уменьшать  $\operatorname{tg} x$  можно и увеличением  $\gamma_2$  [уравнение (20)], конечно, до определенных пределов ( $\gamma_2 < 120^\circ - \beta$ ). Но работать на пределе тоже опасно, так как случайный скачок тока до  $I_0'$  потребует большее время коммутации на  $dt_k$ , и поэтому может оказаться, что  $\gamma_2 + \beta = \gamma_2 + b(t_k + dt_k) > 120^\circ$ , коммутация, не закончившись на  $\Delta I$  (рис. 11), примет обратное направление, и фаза в пределах периода эти не перекоммутируется.

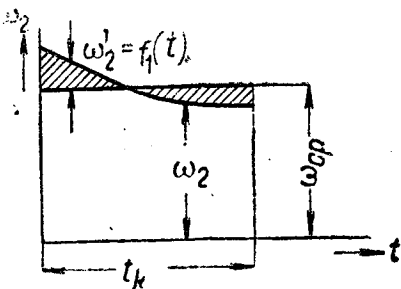


Рис. 12

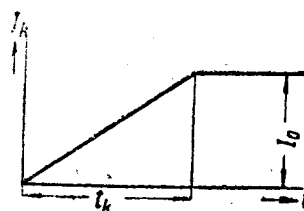


Рис. 13. Случай прямолинейной коммутации

Мы до сего момента говорили о средней скорости движения статорного поля за время коммутации. Потери на токи Фуко также зависят и от формы  $\omega_2 = f(t)$  и соответственно  $\omega_2 = f(t)$ , где  $\omega_2$  — мгновенная скорость статорного поля при заданном  $\omega_{2cp}$ .

В этом случае потери по уравнению (18) будут

$$P_f = \int_0^{t=\frac{2\pi}{mp \omega_1}} \frac{A [\omega_1^2 (1-c^2) + c_1^2 \omega_1 \omega_2] dt}{2\pi pm \omega_1},$$

откуда

$$P_f = A \omega_1^2 (1-c^2) + \frac{cpm}{2\pi} \int_0^{t=\frac{2\pi}{pm \omega_1}} \omega_2^2 dt,$$

т. е. минимум потерь  $P_f$  будет при минимуме

$$\int_0^{t=\frac{2\pi}{pm \omega_1}} \omega_2^2 dt = \int_0^{t_k} \omega_2^2 dt, \text{ предел интегрирования}$$

в пределах  $\left| \frac{2\pi}{pm \omega_1} \right|$  заменяем  $t_k$ , так как  $\omega_2 \neq 0$  только в пределах  $t_k$ .

При заданном  $\omega_{2cp}$  легко показать, что это условие удовлетворяется при  $\omega_2 = \operatorname{const} = \omega_{2cp}$ , а именно, обозначим (рис. 12)  $\omega_2 = \omega_{2cp} + \omega_2' = \omega_{2cp} + f_1(t)$ .

Тогда

$$\begin{aligned} \int_0^{t_k} \omega_2^2 dt &= \int_0^{t_k} [\omega_{2cp} + f_1(t)]^2 dt = \int_0^{t_k} \omega_{2cp}^2 dt + \\ &+ 2\omega_{2cp} \int_0^{t_k} f_1(t) dt + \int_0^{t_k} [f_1(t)]^2 dt. \end{aligned}$$

Так как  $\int_0^{t_k} f_1(t) dt = 0$  (рис. 12), то

$$\int_0^{t_k} \omega_2^2 dt = \omega_{2cp}^2 t_k + \int_0^{t_k} [f(t)]^2 dt.$$

Так как  $\int_0^{t_k} [f_1(t)]^2 dt$  есть величина всегда положительная (потому что подинтегральная функция входила во вторую степень), то  $\int_0^{t_k} \omega_2^2 dt$  принимает минимум

при  $f_1(t) = 0$ , т. е.  $\omega_2 = \omega_{2cp} = \operatorname{const}$ , а для  $\omega_2 = \operatorname{const}$ , функция  $I_k = f(t)$  должна быть линейной, т. е.

$$I_k = kt$$

(рис. 13), т. е. в нашем случае прямолинейная коммутация есть тоже наилучшая коммутация. Но надо отметить, что положительные свойства прямолинейной коммутации в машинах постоянного тока и в вентильном двигателе рассматриваются совершенно с разных точек зрения: если в первом случае коммутация связана с искрением на коллекторе, то в вентильном двигателе, как видно из предыдущих рассуждений, речь идет о добавочных потерях на токи Фуко.

В зависимости от того, имеем ли мы явно выраженные полюсы, или неявно, дополнительная скорость результирующего поля будет меньше или больше. Так как в явно выраженных полюсах поле, главным образом, фиксируется положением этих полюсов, то в нашем случае положением ротора, вращающегося с угловой скоростью  $\omega_1$ , — все рассуждения остаются в силе, но только коммутация влияет на дополнительные потери в меньшей степени.

## II. Коммутация со звезды на звезду

рассмотрим второй случай коммутации с  $n$ -й звезды на  $n'$ -ю фазу II звезды (рис. 14), где короткозамкнутый контур, состоящий из  $n$ -й I звезды двух полуобмоток трансформатора,

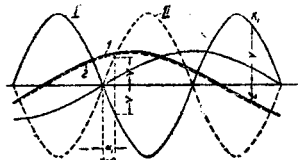
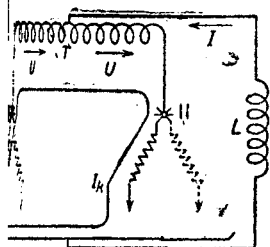


Рис. 15. 1 — напряжение  $n$ -й фазы I звезды; 2 — напряжение  $n'$ -й фазы II звезды; 3 — отсечка (сдвиг коммутатора сети); 4 — напряжение первой и второй полуобмоток трансформатора

1 — 2 вторичные полу- трансформатора; 1 — II — первая и вторая обмотки якоря; 4 — напряжение коммутирующих фаз I и II звезды

II звезды и катода. В рассматриваемом контуре действуют напряжения двух фаз  $n$ -й и  $n'$ -й и двойное напряжение сети  $2U$ , которые в рассматриваемом контуре создают коммутационный ток  $I_k$  (рис. 14), создающий ток в  $n$ -й фазе и создающий ток в  $n'$  фазе. Так как между  $n$  и  $n'$  фазами сдвиг  $\mu = 0$ ,  $E_n = E_{n'}$  и по контуру направлены противоположно друг другу, следовательно, уравнение данного контура будет иметь вид, аналогичный уравнению (3):

$$\sin(at + \alpha_1) = -I_0(R + R_m) + I_k 2(R + R_m) + I_m \frac{dI_k}{dt}, \quad (23)$$

$$\sin(at + \alpha_1) = -I_0 R_{\text{обц}} + I_k 2R_{\text{обц}} + I_m \frac{dI_k}{dt}, \quad (23')$$

сопротивления полуобмотки трансформатора, индуктивности сети,  $L_m$  — коэффициент самоиндукции 2 полуобмотки трансформатора,  $\alpha_1$  — угол полож. «к. с.». Из этого уравнения аналогично уравнению (3) найдем

$$I_k = \frac{2U_0 \sin(at + \alpha_1 - \varphi_2)}{\sqrt{R_{\text{обц}}^2 + a^2 L_m^2}} + \frac{I_0}{2} \left[ \frac{2U_0 \sin(\alpha_1 - \varphi_2)}{\sqrt{R_{\text{обц}}^2 + a^2 L_m^2}} + \frac{I_0}{2} \right] e^{-\frac{R_{\text{обц}}}{L_m} t}, \quad (24)$$

$$I_k = I_2 \sin(at + \alpha_1 - \varphi_2) + \frac{I_0}{2} \left[ I_2 \sin(\alpha_1 - \varphi_2) + \frac{I_0}{2} \right] e^{-\frac{R_{\text{обц}}}{L_m} t}, \quad (24')$$

определяется из соотношения  $\tan \varphi_2 = \frac{aL_m}{R_{\text{обц}}}$ .

Из уравнения (24) видно, что чем больше  $\alpha_1$  (при прочих остальных параметрах), тем сильнее нарастет ток коммутации, следовательно, быстрее произойдет коммутация. Но, кроме того, в этом случае коммутация вообще происходит гораздо быстрее, так как амплитуда напряжения  $2U_0$  коммутации здесь в  $n$  раз больше соответствующей амплитуды предыдущего случая коммутации.

В будущем случае  $U_0 \approx E_0$ , то  $\frac{U_0}{E_0 \sin \frac{\pi}{m}} = \frac{1}{\sin 30^\circ} = 2$ ,

то как рассматриваемые фазы не сдвинуты относительно друга, то коммутация не увеличится.

дает скорости результирующего поля и поэтому не создаются дополнительные потери. В этом случае замедлить процесс коммутации выгодно в отношении уменьшения джауловых потерь из-за параллельного горения двух анодов. Угол  $\beta_2$ , соответствующий времени коммутации  $t_{k2}$ , здесь ограничен следующим неравенством:  $\beta_2 < \pi - \alpha_1$  (все в электрических градусах сети), так как если за полупериод сети не произойдет коммутации данной фазы, то за следующие полупериода будет толчок тока и даже тормозной момент, потому что горящая фаза будет проходить через магнитное поле другого знака (рис. 15) в момент  $K$ , который соответствует режиму короткого замыкания.

Следовательно, при заданных параметрах  $R, L$  и т. д., которые определяют  $t_k$ , может быть найден предел увеличения отсечки  $\alpha_1$ .

Для подтверждения теории коммутации со звезды на звезду произведем сравнение кривой, построенной по уравнению (24), и кривой, полученной экспериментальным путем на опытной установке вентильного двигателя.

Экспериментальная кривая получена посредством снятия осциллограмм тока в двух звездах и соответствующих фазах. Как теоретическая, так и экспериментальная кривые получены при следующих данных: амплитуда напряжения трансформатора  $U_0 = 620$  В, угловая скорость вектора сети  $a = 314$ , отсечка коммутатора сети  $\alpha_1 = 0$ , сопротивление коммутирующего контура  $R_{\text{обц}} = 2R_{\text{фазы}} + R_{\text{тр}} = 3,185$  Ом,  $L_{\text{тр}} = 0,018$  Н,  $\varphi_2 = \arctg \frac{aL_{\text{тр}}}{R_{\text{обц}}} = \arctg 1,778 = 60^\circ 30'$ ,  $I_0 = 31$  А.

Подставляем эти параметры в уравнение

$$I_k = \frac{2U_0 \sin(at + \alpha_1 - \varphi_2) - 2U_0 \sin(\alpha_1 - \varphi_2)}{\sqrt{R_{\text{обц}}^2 + (aL_m)^2}} + \frac{I_0}{2} \left( 1 - e^{-\frac{R_{\text{обц}}}{L} t} \right). \quad (24)$$

Задавая значения  $t$ , находим  $I_k = f(t)$ , что указано на рис. 16 (кривая I). Рядом с теоретической построена экспериментальная кривая II. Как видно из рис. 16, форма этих кривых несколько отличается от кривых коммутации с фазы на фазу на рис. 6. Это объясняется следующим образом: при коммутации с фазы на фазу коммутационное напряжение

$$|E_n - E_{n+1}| = 2E_0 \sin \frac{\pi}{m} \cos \left( bt + \gamma_2 - \frac{\pi}{m} \right)$$

с увеличением  $t$  падает, поэтому коммутация становится все менее и менее интенсивной, кривая  $I_k = f(t)$  загибается вниз, тогда как при коммутации со

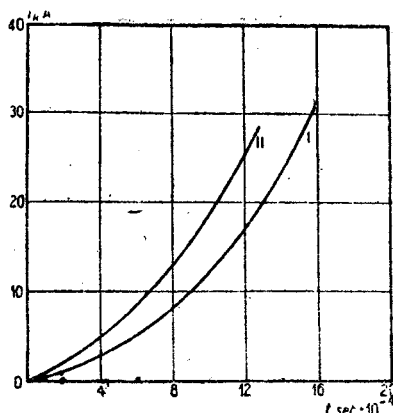


Рис. 16. Кривые  $t_k = f(t)$  при коммутации со звезды на звезду; I — теоретическая кривая; II — экспериментальная кривая

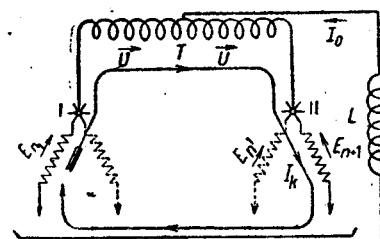


Рис. 17. T-2 вторичные полуобмотки трансформатора; I — II — первая и вторая звезды обмотки якоря;  $E_n, E_{n'}$  — напряжение коммутирующих фаз I и II звезд

звезды на звезду коммутационное напряжение  $2U = 2U_a \sin(at + \alpha_1)$  с увеличением  $t$  возрастает и поэтому коммутация становится все более и более интенсивной, т. е. кривая  $I_k = f(t)$  параболически поднимается вверх.

### III. Коммутация со звезды на звезду (смещенными фазами)

Третий случай коммутации — с  $n$ -й фазы  $I$  звезды на  $(n+1)$ -ю фазу  $II$  звезды (рис. 17). Коммутация в этом случае протекает по аналогичным уравнениям

разобранном в I и во II случаях коммутации. За неимением места не будем повторять выводы логичных вышеуказанных, а лишь отметим некоторые особенности коммутации II случая. Коммутация этого случая происходит между фазами, смещенными на  $60^\circ$ , поэтому здесь, как и в I случае коммутации, имеются дополнительные потери на токи Фуко. Этот случай отличается от I случая тем, что он имеет значение коммутации, равное  $2U$ , которое при коммутации более ускоренно, что влечет за собой увеличение дополнительных потерь на токи Фуко.

## Усиление выключателей фирмы Сименса в сети Мосэнерго и их испытание

Инж. А. Я.  
Москва

### 1. Введение

Установленные в сети Мосэнерго выключатели SSW-100 (германской фирмы Siemens-Schuckert) по номиналу предназначены для разрыва мощностей до 1000 MVA. Однако в настоящее время эта мощность для 100-kV кольца Мосэнерго уже является не максимально возможной; мощности короткого замыкания в этой цепи могут быть порядка 1500 MVA и даже выше. Поэтому явилась крайняя необходимость заменить эти выключатели другими или усилить их. Первый путь был связан с большими валютными расходами, и Мос-

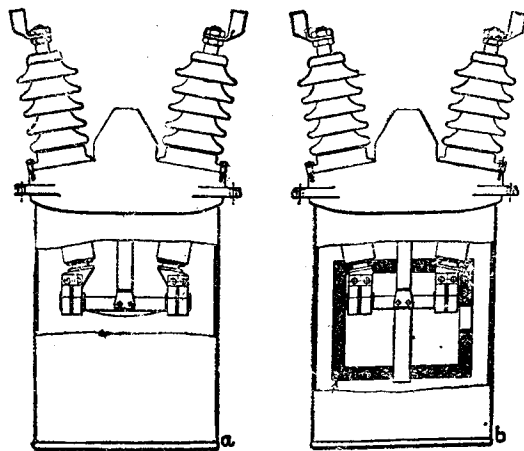


Рис. 1

энерго решил пойти вторым путем: силами специалистов нашего Союза усилить оказавшиеся слабыми выключатели заграничного происхождения.

Все современные масляные выключатели в основном можно разбить на две категории:

- 1) выключатели с простым разрывом под маслом,
- 2) выключатели с тем или иным приспособлением, усиливающим дугогасящие свойства промежутка между контактами.

К первой категории следует отнести масляные выключатели с простым двухкратным разрывом, с многократным разрывом и выключатели с быстродействующими контактами.

Выключатели с многократным разрывом и выключатели с быстродействующими контактами принципиально ничем не отличаются от выключателя с простым двухкратным разрывом: как в том, так и в другом случаях мы имеем дело с простым расхождением контактов друг от друга в баке, наполненном маслом.

К другой категории относятся такие выключатели, как выключатели с масляным дутьем, деионной решеткой, с гасительной камерой и ряд других менее распространенных типов. В этих выключателях имеются некоторые устройства, расположенные под маслом вблизи контактных частей, назначение которых усилить процессы деионизации в дуговом промежутке.

Все современные устройства, предназначенные ускорить процесс гашения дуги в масляном выключателе, в той или иной степени используют для этих целей энергию самой дуги.

Остановимся кратко на тех прототипах устройств, которые применялись для усиления выключателя.

Выключатели с масляным дутьем [1] имеют в основном следующее конструктивное исполнение: для разрыва заключены

в одну камеру, причем эта камера закрыта со всех сторон против одного из мест разрыва имеет небольшое отверстие. При раздвижении контактов и образовании между ними дуги каждого места разрыва образуется газовый пузырь, состоящий из газов и паров, являющихся продуктом испарения масла под действием высокой температуры дуги. В этих пузырях развивается высокое давление, которое стремится вытолкнуть масло из камеры. Так как масло из камеры может вытечь в отверстие, то, следовательно, струя масла стремится в область горения дуги в разрыве, находящегося против него, что сильно снижает температуру области горения дуги и интенсивность его деионизации. Отсюда и название «масляное», хотя в действительности жидкого масла в области горения дуги при высокой температуре не может быть, могут быть только пары и газы, являющиеся результатом разложения масла.

Выключатели с деионной решеткой [1] имеют принцип узкой щели, открытый Слепяном. Слепян [2] предложил дугу поместить в узкую щель, то наличие близости стенок щели и уменьшение сечения дуги сильно способствует деионизации дугового пространства.

В выключателях с деионной решеткой щель образуют мощи фибровых пластин, наложенных определенным образом на друга и имеющих посредине вырезы. Чем уже щель, тем быстрее гаснет дуга, а поэтому устройство для уменьшения ширины щели не представляется возможным, и для получения дуги щели приходится прибегать к искусственному приему. В это время затягивание дуги в щель производится при помощи образных железных пластин, охватывающих щель и расширяющихся по длине решетки (чтобы дуга не попала на ступени, последние изолируются от щели при помощи фибровых пластин особой формы). Электродинамические силы, возникающие между дугой и железной пластинкой, стремятся загнать дугу в щель, где магнитное поле вокруг нее будет максимально, что способствует перемещению дуги от устья щели (где ходит подвижный контакт и где она образуется) вглубь ее.

На рис. 2 показана фотография выключателя с деионной решеткой в исполнении завода «Электроаппарат», где решетка по типу фирмы Westinghouse, впервые применившей этот тип усиления выключателя.

Все разобранные приспособления для масляного выключателя предназначены усилить его работоспособность, показывая при этом свои хорошие качества и в настоящее время широко применяются за границей.

Лабораторные опыты с ними и испытания в сетях [1, 2] дали прекрасные качества этих приспособлений, значительно превосходящие по своим дугогасящим свойствам не только выключатели с простым разрывом под маслом, но и выключатели с гасительной камерой.

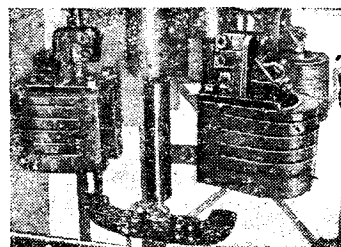


Рис. 2

от разобранных устройств стоят выключатели с эла-  
стичной камерой (экспансионный выключатель). Это уже выключа-  
тели типа, предназначенный заменить собой тип масляного  
выключателя в его теперешнем выполнении. Эластичная камера  
образована из ряда дисков, имеющих в центре отверстие  
и удерживаемых пружинами. В центре камеры ходит подвижной контакт,  
который в виде стержня цилиндрического сечения. При раз-  
рыве контактов и образовании между ними дуги в камере об-  
разуется большое количество паров и газов как продуктов разло-  
ма и испарения масла (или воды), давление которых растет с  
ним временем. Как только давление в камере превысит силу за-  
пружин, стаканы разойдутся и между ними образуются щели.  
Из-за этого температура области горения дуги при этом резко па-  
дает и создаются благоприятные условия для гашения дуги.

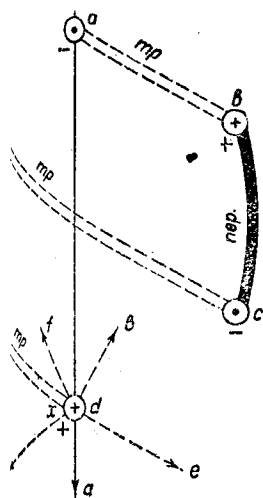


Рис. 4

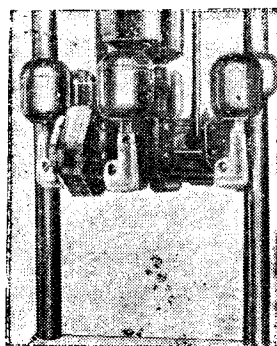


Рис. 5

описанные новые принципы ускорения гашения дуги у нас  
только начинают внедряться. Те из них, которые были при-  
менены для усиления выключателей SSW, на таком высоком напря-  
жении у нас впервые.

## 2. Выбранные способы усиления

предназначенный к реконструкции выключатель SSW представляет  
трехфазный выключатель с шестикратным разрывом на фазу,  
с приводом. Схема соединений одной фазы этого вы-  
ключателя представлена на рис. 4. Двойными линиями на чертеже  
обозначены подвижные токоведущие части выключателя. Все шесть  
разрывов выключателя расположены по правильному шести-  
угольнику. На рис. 5 представлен внутренний вид одной фазы этого

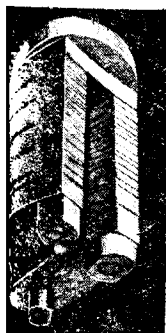


Рис. 6

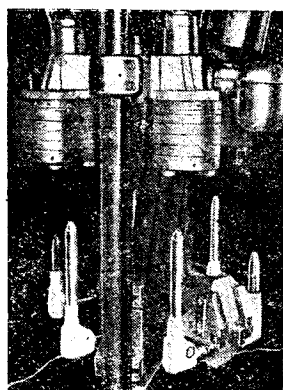


Рис. 7

выключателя в замкнутом положении. Из этой фотографии видно,  
что три траверсы скреплены между собой деревянной конструк-  
цией. Неподвижные контакты прикреплены к двум  
штангам, которые служат направляющими для подвиж-  
ных контактов. Ход контактов выключателя равен 435 мм.

Также указывалось, последними способами усиления масляных  
выключателей являются камеры масляного дутья и деионные  
решетки.

В СССР почти нет опыта в применении указанных конст-  
рукций, но все же работы ВЭИ в 1932 г., проведенные с целью  
испытания разрывной мощности 30-kV масляных выключателей ВВС  
с камерами масляного дутья, показали полную возможность  
увеличить разрывную мощность выключателя. Вместе  
с тем испытания [3] масляного выключателя завода „Электроаппа-  
рат“ с деионными решетками и без них подтвердили то же  
самое для конструкций деионных решеток.

Поэтому обе организации (ВЭИ и завод „Электроаппарат“), кото-  
рым Мосэнерго была поручена работа по разработке усилительных  
приспособлений, в первую очередь остановились на этих двух ти-  
пах: деионные решетки и масляное дутье.

Деионные решетки завода „Электроаппарат“ были  
поставлены на четырех разрывах из имеющихся шести. Каждая из  
решеток (рис. 6) состояла из пяти  
пакетов (считая по числу желе-  
зных пластин), причем железные  
пластины были взяты толщиной  
6 мм и по форме своей сходны  
с таковыми фирмы Westinghouse,  
впервые применившей этот способ  
усиления масляных выключателей.  
Ввиду того что форму контакта

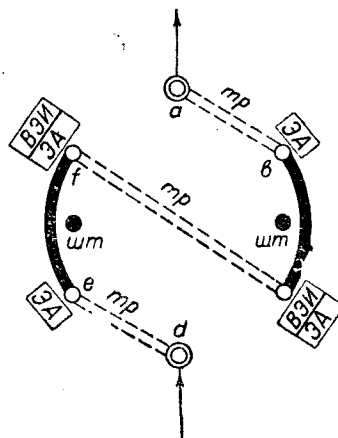


Рис. 8

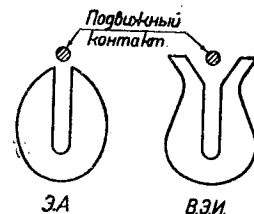


Рис. 8а

изменить было трудно, устье решетки было сделано в виде цилин-  
дрического отверстия, в котором ходил палец подвижного контакта.  
Крепились эти решетки на направляющих штангах, как это показано  
на рис. 7, причем розетки SSW пришлось убрать и заменить вместе  
с перемычками специальной отливкой из бронзы; неподвижные кон-  
такты были подняты по сравнению со своим нормальным положением,  
а подвижные штанги заменены другими, более длинными (вместо  
120 мм палец был взят длиной 300 мм).

Деионные решетки ВЭИ были посажены только на два  
разрыва. На рис. 8 дана схема одной фазы выключателя с указа-  
нием, где были расположены деионные решетки завода „Электро-  
аппарат“ (ЭА) и решетки ВЭИ (рис. 8а). Каждая из решеток (рис. 9)  
состояла из десяти пакетов, причем форма железных пластин была  
взята отличной от фирмы, применяемой Westinghouse, и толщина  
железных пластин была 3 мм. Указанное число решеток было вы-  
брано из тех соображений, что для более эффективного использо-  
вания принципа узкой щели необходимо эту щель сделать возможно  
более длинной, в то же время без поднятия розеток посадить ре-  
шетки на большее число разрывов не представлялось возможным.  
Поднимать же розетки было признано не совсем желательным  
ввиду опасности прорыва горячих газов по вертикальной щели ре-  
шетки в буферное пространство выключателя.

Так как башмак подвижного пальца выключателя SSW очень ши-  
рок и требует устройства широкого устья решетки, он был заменен  
другим более узким с соответствующим удлинением пальца. Ре-  
шетки крепились в направляющей штанге при помощи винтов  
(рис. 10), причем для большей прочности штанга SSW была заме-  
нена другой, с внутренним диаметром в 25 мм вместо 50.

С целью углубления щели и усиления действия решеток вначале  
(считая от неподвижного контакта) ее некоторые пластины были  
сделаны выступающими, с круглым отверстием внутри для подвиж-  
ного контакта (рис. 9); эти выступающие пластины не могли быть  
устроены по всей длине решетки, так как это мешало траверсам,  
упирающимся в них. Как и в решетках завода „Электроаппарат“,  
устье решеток ВЭИ было направлено к центру шестиугольника,  
образованного контактами. Это было сделано затем, чтобы использо-  
вать электродинамические силы, действующие между дугами в раз-  
ных местах разрыва, для более интенсивного втягивания дуги в  
щель решетки. На рис. 4 показаны силы, действующие на один раз-  
рыв от тока в других разрывах.

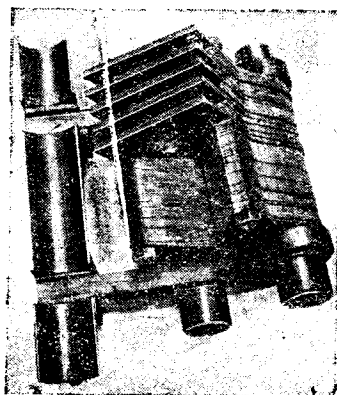


Рис. 9



Рис. 10

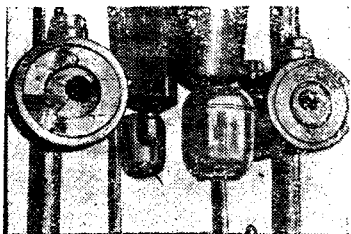


Рис. 11

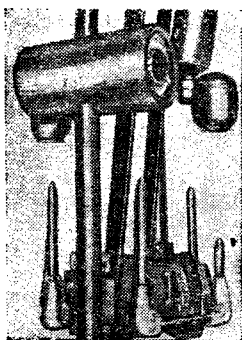


Рис. 12

В заключение отметим, что конструкции, основанные на одном и том же принципе (узкая щель), разнятся между собой в отношении формы железных пластин и длины щели отдельной решетки. Решетки ВЭИ, имея общую длину щели в общем ту же, что и у завода „Электроаппарат“, были разбиты на две части (две решетки), завода „Электроаппарат“ — на четыре части (четыре решетки). Железные пластины решеток завода „Электроаппарат“ были взяты толщиной 6 мм, и подвижной контакт был расположен около щели железной пластинки, в то время как в решетках ВЭИ толщина железных пластин была взята 3 мм и подвижной контакт находился в самом устье указанной щели (рис. 8а).

С точки зрения переделок в самом выключателе решетки ВЭИ требуют только смены башмаков подвижного контакта и удлинения пальца, решетки же завода „Электроаппарат“ требуют смены розеток и перемычек выключателя, подема неподвижных контактов и удлинения штока подвижного контакта.

Что касается смены штанги при креплении решеток ВЭИ, то нам эта смена кажется не обязательной, так как в данном сечении штанги располагалось всего два шурупа диаметром 6 мм и они не могли сколько-нибудь существенно ослабить штангу, имеющую внешний диаметр 70 мм (т. е. полезное сечение уменьшалось не более как на 6%).

Камеры масляного дутья завода „Электроаппарат“ насаживались на два разрыва. На фазу выключателя их смонтировано две, так что они захватывали четыре разрыва из шести. Камеры состоят из бакелитового цилиндра с толщиной стенок 20 мм (рис. 11 и 12), в который вставлен толстостенный деревянный цилиндр, имеющий с одной стороны отверстие; с другой стороны отверстие закрыто дном из листового бакелита, прикрепленного винтами к деревянному цилиндру. Эти камеры надеваются на направляющие и прикрепляются при помощи шпильки. Проходящая внутри цилиндра штанга отчасти закрывает полость цилиндра и тем затрудняет движение гасящей струи масла.

Установить эти камеры, не поднимая неподвижных контактов, не представилось возможным. Поэтому неподвижные контакты были подняты против своего нормального положения на 180 мм вверх, и подвижной контакт был соответственно удлинен. Однако это поднятие контактов значительно менее неприятно, чем при деионных решетках, так как здесь струя горячих газов, вытекая из камеры, имеет в начальный момент горизонтальное направление, а не вертикальное, как это имеет место в деионных решетках.

Розетки и перемычки SSW, как и в случае применения деионных решеток завода „Электроаппарат“, были заменены другими, специально сделанными для этого случая.

Решетка масляного дутья ВЭИ представляет собой оригинальную конструкцию<sup>1)</sup>, в основу которой положены следующие соображения:

При употреблении обычной семейной камеры струя масла, движущаяся через место горения дуги, не целиком проходит через пространство дуги: в месте горения имеется большое давление, и потому струя масла стремится обогнуть это пространство и протекать сбоку от него (рис. 13). Поэтому сузить канал для струи масла и заставить ее течь непосредственно через пространство дуги является

очень желательным. Эта идея осуществлена в конструкции (рис. 14) тем, что на всем протяжении своем канал имеет рину, приблизительно равную толщине пальца подвижного

Второй недостаток нормальной семейной камеры заключается в том, что развиваемое давление в камере гонит весь сток заключенный против отверстия, вне зависимости от длины дуги вначале (когда дуга коротка) большая часть движущегося масла используется для гашения дуги, а когда расстояние между контактами велико, струя масла действует только на определенную длину дуги. В конструкции ВЭИ этот недостаток искан разбивкой хода контактов на ряд отдельных небольших тонких слоев, которые по мере увеличения расстояния между контактами вводят один за другим в работу новые слои масла. Чем больше это расстояние, тем большее число слоев масла в работу, тем мощнее струя масла и тем больше пространство на которое она действует. Горизонтальные слои образуются наложением поочередно пластин *a* и *b* (рис. 15) друг на друга, скрепленных между собой болтами.

Вместе с тем по своей конструкции устройство ВЭИ заставляет дугу гореть в сравнительно узких местах, и следовательно, здесь отчасти используется принцип узкой щели.

Ввиду указанных отличий в работе семейной камеры и конструкции ВЭИ последняя названа „решеткой для масляного дутья“ и в дальнейшем будет фигурировать под этим названием.

В качестве материала для пластин решетки и болтов была взята фибра. На рис. 16 дана схема одной фазы выключателя и показано место расположения решетки масляного дутья ВЭИ и семейной камеры завода „Электроаппарат“. Как видно из этого рисунка, камера завода „Электроаппарат“ охватывает два разрыва, электрически соединенных между собой перемычкой, в то время как решетка ВЭИ укреплена на вводе и на одной из розеток, соединенных только во включенном положении выключателя. Поэтому ВЭИ создает горизонтальную изоляцию между двумя разрывами, что является некоторым недостатком, хотя в данной конструкции выключателя (6-кратный разрыв) этот недостаток не так существен.

Способ укрепления решеток ВЭИ легко понятен из рис.

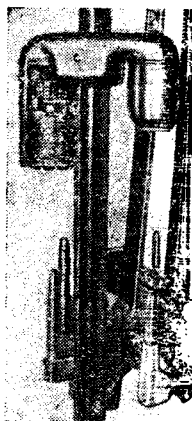


Рис. 14

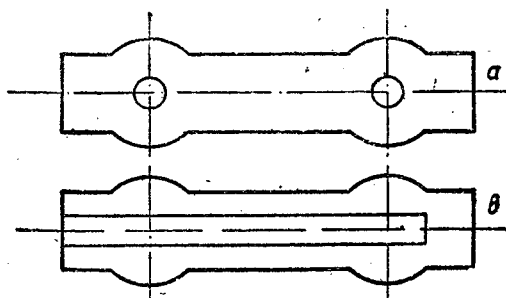


Рис. 15

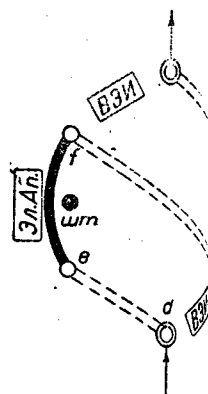


Рис. 16

виден железный неполный цилиндр, который прикрепляется к нормальной розетке SSW.

В первом своем выполнении решетка ВЭИ не предусматривала закрытия верха ее (рис. 14), так что давление, образуемое в месте разрыва, имело „отдушину“ сверху через щель между отдельными пластинками неподвижного тольпанового контакта. В результате нескольких испытаний это было устранено путем надевания на подвижный контакт бакелитового цилиндра толщиной 3 мм с начала короткого, не устраняющего целиком всех щелей решетки, и затем длинного (рис. 17), создающего уже более плотное уплотнение сверху решетки. Одновременно с этим щель была сделана вдвое выше остальных.

Чтобы покончить с описанием конструкции этой решетки, еще, что в дальнейшем, с целью избежания горизонтального течения, решетка была изогнута (рис. 18) и посажена на розетки, что и камера завода „Электроаппарат“, с соответствующим поднятием неподвижных контактов.

Резюмируя описание конструкций камер масляного дутья, заметим следующее: камера завода „Электроаппарат“ требует своего применения поднятия неподвижных контактов и удлинения пальца подвижного контакта, замены розеток и перемычек выключателя. Конструкция ВЭИ в первом выполнении требует смены башмаков и удлинения пальца подвижного контакта.

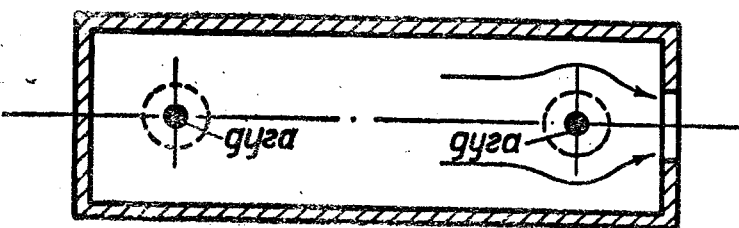


Рис. 13

1) Эта конструкция предложена автором этой статьи.

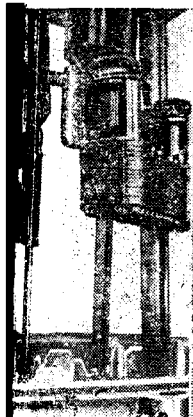


Рис. 17

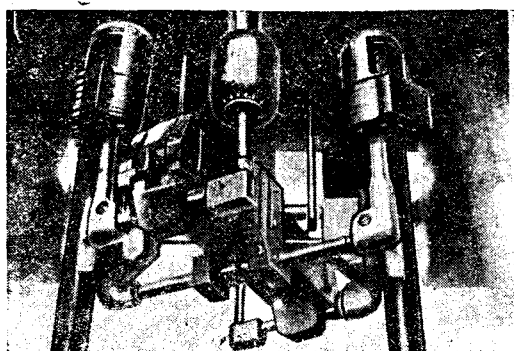


Рис. 18

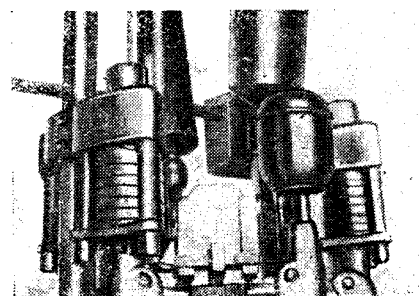


Рис. 19

изменений в нормальной конструкции выключатель не требует. Вводная горизонтальная изоляция все же является недостатком, которым не обладает камера завода „Электроаппарат“. Выполнение решетки для масляного дутья ВЭИ не имеет недостатка и не требует смены башмаков подвижного контактного диска, но требует поднятия неподвижных контактов и удлинения подвижного контакта, как и камера завода „Электроаппарат“. В конструктивном отношении решетка ВЭИ значительно проще камеры завода „Электроаппарат“.

### Камера расширения

Из указанных четырех конструкций, предназначенных для усиления выключателей ССВ, заводом „Электроаппарат“ была сконструирована расширительная камера наподобие той, какую применяли в своих выключателях с расширением. Эта камера (рис. 19) состоит из семи фибровых дисков, сжимаемых пружиной. На рисунке не видна, она расположена сверху камеры. Пружина расположена между основанием неподвижного контактного диска камеры. Другой опорой камеры служит ее дно, связанное с розеткой при помощи трех железных болтов, на которые надеваются цилиндры. Пружины подобраны для такого давления, чтобы расхождение дисков наступило при давлении не ниже 12 ат. Эти камеры тоже охватываются разрывом и укреплены на направляющей штанге (как и решетки ЭА).

### 3. Условия испытания

Указанные усилительные конструкции были подвергнуты испытанию на разрыв ими тока короткого замыкания.

В трех фазах выключателя одновременно монтировались усилительные конструкции и затем они одна за другой испытывались на короткое замыкание по циклу ОСО, т. е. испытуемый выключатель при всех опытах сам замыкал цепь на короткое замыкание и отключал ее.

В качестве усилительного выключателя применялся масляник фирмы Metropolitan, рассчитанный на разрывную мощность в 2 500 МВА.

Испытания производились по схеме, указанной на рис. 20, хотя в некоторых случаях эта схема несколько видоизменялась. Цепи катушек испытуемого и защитного выключателей замыкались через специально изготовленные шайбы, находящиеся на выключателях, причем защитный выключатель приводился в действие вне зависимости от того, разрывал ли цепь тока испытуемый выключатель или нет. Регулировка времени была такова, что испытуемый выключатель, в среднем, начинал разрыв цепь тока, через 0,18 сек. по наступлению короткого, а защитный — через 0,6 сек.

В ходе проведения испытаний осциллографировались ток и напряжение замыкаемой фазы (через соответствующие измерительные трансформаторы), давление в баке выключателя, скорость движения контактов и момент расхождения контактов испытуемого и защитного выключателей. Шестой шлейф осциллографа использовался в некоторых опытах для измерения тока через бушинговые трансформаторы тока защитного или испытуемого выключателей и в других опытах — для измерения падения напряжения в заземляющем устройстве подстанции.

Время измерения контактным прибором<sup>1)</sup>, опущенным на испытуемый выключатель со стороны заземленного его ввода, и скорость движения траверсы измерялась при помощи реостата,

ползушка которого при помощи системы рычагов была связана с валом испытуемого выключателя. Схема измерения скорости дана в правом нижнем углу рис. 20.

Для записи момента расхождения контактов испытуемого и защитного выключателей использовалась одна из неучаствовавших в разрыве дуги фаз выключателя: через нее замыкалась цепь постоянного тока со включенным в нее шлейфом осциллографа. Для фиксации указанного момента обоих выключателей использовался один и тот же шлейф: каждый из выключателей включал свою параллельную цепь в цепь шлейфа и тем менял в нем величину тока.

Испытания производились на Карачаровской подстанции Мосэнерго, причем величина тока регулировалась путем приключения и отключения других подстанций и станций. Испытания происходили по четырем основным схемам с расчетными значениями мощностей короткого замыкания в 650, 950, 1 200 и 1 450 МВА.

При проведении испытаний в силу условий эксплуатации было получено значительно больше ступеней мощности короткого замыкания.

### 4. Результаты опытов

Опыты происходили в течение мая-июня 1933 г. Сначала в трех фазах были смонтированы камера масляного дутья ЭА, деионные решетки ЭА и решетка масляного дутья ВЭИ. После испытания этих усилительных приспособлений они были сняты, масло в баках выключателя заменено свежим и в двух фазах были смонтированы деионные решетки ВЭИ и расширительная камера завода „Электроаппарат“, а третья фаза оставлена была без усиления.

После двух опытов с расширительной камерой она была заменена решеткой масляного дутья ВЭИ с окончательным закрытием верха согласно рис. 17. Наконец, после испытания этих трех фаз решетка для масляного дутья была сделана заново для установки ее на те же разрывы, на которых была смонтирована камера масляного дутья завода „Электроаппарат“.

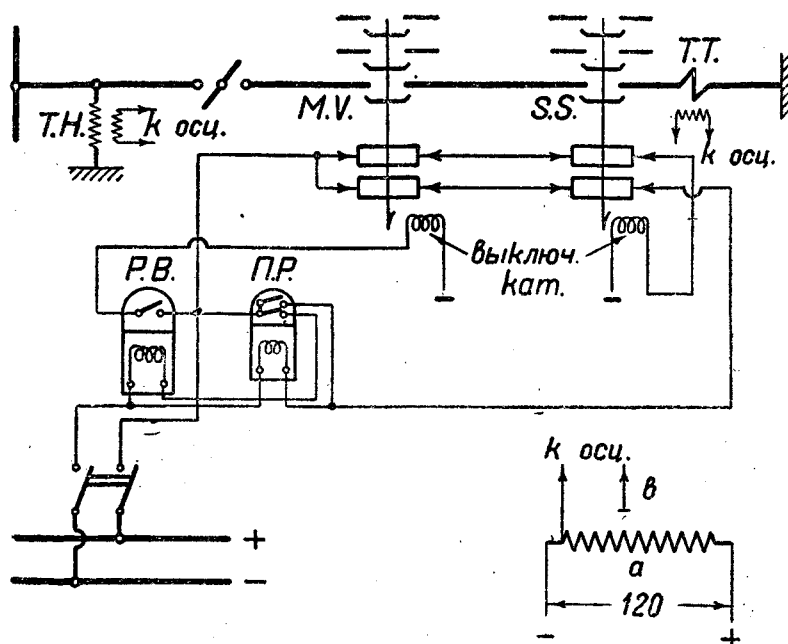


Рис. 20



при расширении были испытаны тоже только на две разрывных мощностей (834 и 1092 МВА по нормам СССР). В случаях горения дуги длилось 11 полупериодов и расстояние между контактами равнялось 14 см. В камерах, повидимому, было сильное давление, так как при испытании этих устройств получились максимальные средние скорости мембран. При обоих опытах мембраны были целы.

В двух опытах было обнаружено сильное обгорание баке-и втулок, имеющихся на стягивающих болтах, и сильное обгорание дисков, ввиду чего, а также ввиду сложности конструкции была снята с испытания и заменена решеткой масляного дутья. На рис. 23 приведена осциллограмма одного из опытов расширительной камерой (осциллограмма 17).

Дейонные решетки АЭ подвергались четырем коротким замыканиям (мощности). Длительность горения дуги колебалась от 18 до 21 полупериода. Расстояние между контактами в момент зажигания дуги было значительно больше общей длины ре-

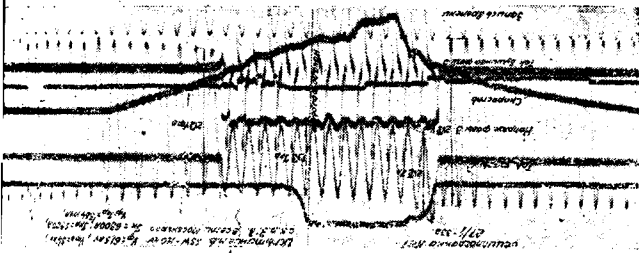


Рис. 23

шети можно считать, что решетка целиком участвовала в разрыве. В трех опытах из четырех мембраны оказались порваны. На рис. 24 приведена осциллограмма одного из опытов с этой камерой (осциллограмма 9).

Дейонные решетки ВЭИ подверглись трем коротким замыканиям. Эти решетки сработали уже значительно лучше. Время горения дуги было 14 полупериодов, и из расстояния между контактами в момент зажигания дуги видно, что не вся решетка вступила в разрыв. Общая длина одной решетки составляет примерно 200 мм, а длина шели (расстояние между контактами минус расстояние между подвижным контактом и решеткой), занятой дугой, превышала 80 ÷ 100 мм, т. е. только половина решетки участвовала в разрыве, другая половина была в запасе. Только в одном опыте мембрана оказалась порвана.

На рис. 25 дана осциллограмма одного из опытов с этой камерой (осциллограмма 23).

Камера масляного дутья ЭА подвергалась шести коротким замыканиям, причем одно из них осциллограф не записал, так что записанных было только пять коротких.

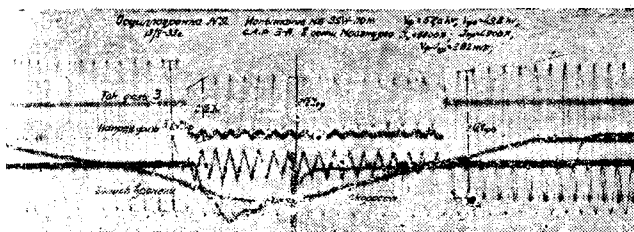


Рис. 24

Результаты опытов, как видно из таблиц, значительно лучше, чем достигнуты конструкциями. Мембраны во всех случаях оставались целыми. Время горения дуги здесь сильно колебалось — от трех до 11 полупериодов. Расстояние между контактами было таково, что подвижной контакт был близок к выходу из камеры. На рис. 26 приведена осциллограмма одного из опытов с этой камерой (осциллограмма 13).

Камера масляного дутья ВЭИ подвергалась десяти коротким замыканиям с открытым верхом (осциллограммы 4, 7, 10), одно с неполным закрытием верха (осциллограмма 11), три короткими замыканиями с закрытым верхом (осциллограммы 20, 21, 22) и, наконец, один при изогнутой решетке, сидящей на тех же разрывных мощностях и в камере ЭА (осциллограммы 24, 25, 26). Эта конструкция, по сравнению с конструкцией с закрытым верхом, показала себя несколько лучше камеры ЭА, хотя это улучшение (по времени горения дуги) незначительно, и практически с этой стороны конструкции можно считать равноценными.

Заметно, что при испытании решетки масляного дутья в камере ВЭИ, получались более высокие значения восстановленного напряжения, чем при испытании камеры масляного дутья ЭА. Так что с этой стороны она подвергалась более тяжелому испытанию.

Время горения дуги, которое получилось в результате испытания камеры масляного дутья после ее изгиба, следует отнести к числу

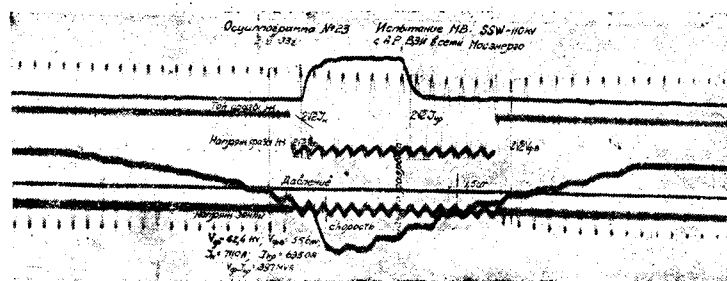


Рис. 25

только за счет плохого выполнения конструкции. Сам изгиб не мог повлиять существенно на скорость струи масла, так как он в основном зависит от инерции столба масла, а последний при поднятии контактов стал даже значительно меньше, чем был у прямой решетки. На рис. 27 приведена осциллограмма 22.

#### б) Данные осмотра

Выключатель периодически вскрывался, и осматривалось как состояние усилительного устройства, так и контактов. После каждого вскрытия контакты защищались.

Выключатель без усиления вскрывался после каждого короткого. В обоих случаях картина была одна и та же; очень сильное обгорание обоих контактов и экранов и очень загрязненное масло.

Расширительная камера. Фаза с этим усилительным устройством вскрывалась один раз — после двух коротких. На рис. 28 дан вид камеры после двух опытов, из которого видно обгорание бакелитовых втулок на стягивающих болтах. Контакты обгорели незначительно. Масло потемнело немного.

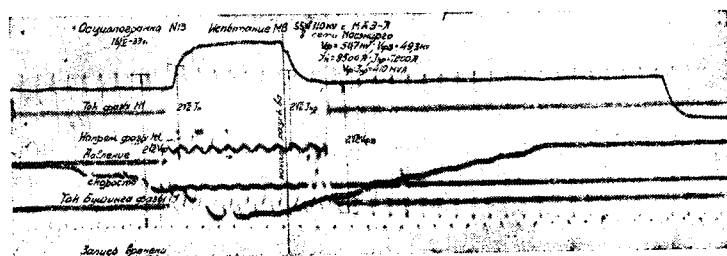


Рис. 26

Дейонные решетки ЭА были осмотрены после первого короткого, причем было отмечено среднее обгорание контактов. После второго короткого контакты уже обгорели очень сильно. Затем они были осмотрены после последних двух опытов с ними. Было обнаружено сильное обгорание контактов и сильное потемнение масла.

Дейонные решетки ВЭИ были осмотрены после первых двух коротких и после третьего. В обоих случаях обгорание подвижного контакта было незначительно; после же третьего опыта с ними неподвижный контакт очень сильно обгорел в направлении шели решетки. Масло после всех коротких потемнело незначительно.

Камеры масляного дутья ЭА были осмотрены после первых трех опытов с ней и после последнего. При первом осмотре обнаружилось, что закрывающий дно диск был оторван от дерева, к которому он привинчен, хотя и оставался на камере (не сорван совсем); со стороны отверстий (рис. 11) был вырван кусок дерева, контакты обгорели незначительно. Указанный диск был снова укреплен, и при втором вскрытии никаких дефектов в камере обнаружено не было. После всех опытов масло потемнело незначительно.

Решетки масляного дутья ВЭИ осматривались после первых двух коротких, после третьего, после четвертого, после седьмого и после десятого. После первых двух коротких было обнаружено, что пружина, стягивающая пальцы неподвижного контакта со стороны закрытой части одной из решеток, перегорела,

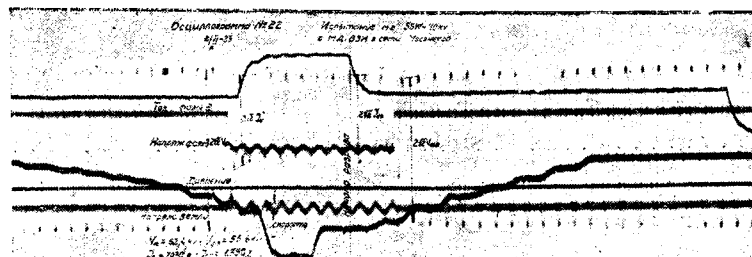


Рис. 27

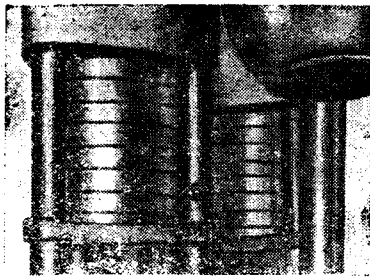


Рис. 28

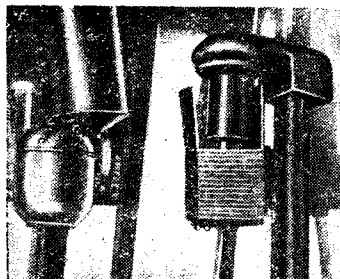


Рис. 29

пальцы сильно обгорели, масло значительно потемнело. После третьего опыта снова была обнаружена перегоревшая пружина. После второго и третьего опытов на поверхности решеток были замечены крупинки меди, которые выбросила с пальцев неподвижного контакта вырвавшаяся через них дуга. После третьего опыта на неподвижные контакты был надет бакелитовый цилиндр, плотно прилегающий к решетке и основанию неподвижных контактов. После четвертого короткого (осциллограмма 11, неполное закрытие) было замечено, что пальцы обгорели незначительно и прежних дефектов с пружиной не повторилось. Контакты обгорели незначительно. После седьмого опыта (полное закрытие) с этими решетками контакты были найдены обгоревшими немного и масло очень мало потемневшим.

После десятого опыта вскрытие показало, что поддерживающий железный полуцилиндр лопнул в месте сварки (рис. 29). Лопнул на этом же разрыве и бакелитовый цилиндр, что собственно и послужило причиной аварии с полуцилиндром. Бакелитовый цилиндр в этом месте был очень неровной толщины, местами доходившей до 1 мм; максимум толщины был 3 мм. Испытание материалов этого цилиндра и соответствующие подсчеты показали, что он мог лопнуть при давлении около 30 ат. Хотя следует заметить, что ввиду сложности его формы он по всей вероятности мог разрушиться и при меньшем давлении. Но сам по себе этот факт является полезным, так как, исходя из него, можно определить порядок величины давления, развиваемого в камере.

Разрушение железного цилиндра следует отнести исключительно за счет плохой сварки и тех постукиваний по нем молотком, какие были при сборке изогнутой решетки, так как железный стакан со стенками толщиной 8 мм, нормально выполненный, безусловно выдержит значительно большее давление.

### 5. Выводы

Прежде всего следует заметить, что все конструкции, предложенные к усилению масляного выключателя SSW-100, в общем оправдали свое назначение: все конструкции дали снижение времени горения дуги. Кроме того, если посмотреть на осциллограммы, то резко бросается в глаза следующий факт: при работе выключателя без усиления активная мощность дуги значительно выше, чем при работе с каким бы то ни было из предложенных усилений. Это обстоятельство с очевидностью вытекает из изменения напряжения дуги при испытании выключателя без усилительных приспособлений и с таковыми. В проводах, соединяющих фазу выключателя с землей, было сравнительно очень большое сопротивление, что видно из кривой напряжения за время, когда контакты выключателя замкнуты. Этот факт сильно мешает более или менее точному подсчету мощности и энергии дуги. Но все же при испытании выключателя без усиления напряжения дуги отчетливо видно за большое число полупериодов, в то время как при испытании, например, его с деионными решетками ЭА, худшей из предложенных конструкций, где время горения дуги отличалось сравнительно немного от такового при неусиленном выключателе, направление дуги видно только в конце ее горения, да и то величина этого напряжения значительно меньше, чем в осциллограмме 19 (рис. 22).

Этот факт наводит на большие размышления. Известно, что например, выключатели с деионными решетками очень сильно снижают энергию дуги, но за счет чего, за счет ли уменьшения времени горения дуги или за счет уменьшения мощности, выделенной в дуге? Этот вопрос нигде до сих пор не рассматривался, и ответить на него без достаточно обоснованного экспериментального материала не представляется возможным. На основании сравнительно небольшого материала, который получен нами при проведении описываемых здесь опытов, ответить на этот вопрос сколь-нибудь определенно тоже не представляется возможным.

Однако следует отметить тот факт, что опыты и теоретические соображения Слепяна [2] говорят за то, что, например, дуга в узкой щели увеличивает свое сопротивление, а потому следовало бы ожидать, что при применении деионной решетки мощность в дуге должна возрасти по сравнению с таковой в выключателе без усиления. Но этого на наблюдалось при опытах.

В настоящее время можно считать установленным, что на напряженность работы выключателя во время разрыва им тока короткого замыкания очень сильное влияние имеет скорость восстановления

напряжения на контактах выключателя во время прохождения своего нулевого значения. Поэтому с точки зрения сравнительных конструкций следует оперировать с величиной мощности, взятой по швейцарским нормам, и учитывать величину восстанавливающегося напряжения.

Величина восстанавливающегося напряжения в какой-ли времени, начиная от момента прохода тока через нуль, и подсчитана по формуле (без учета затухания)

$$e_r = E_r \sqrt{2} \sin \varphi \left[ \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) - \cos \omega_0 t \right],$$

где  $E_r$  — эффективное значение восстанавливающегося промышленной частоты,  $\omega$  — угловая скорость промышленной

системы,  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  — угловая скорость частоты собственных системы,  $\varphi$  — угол сдвига фаз между током и напряжением

$\varphi = \frac{\pi}{2}$  и полагая  $\omega_0 \gg \omega$ , получим для первых полупериодов восстановления напряжения

$$e_r = E_r \sqrt{2} (1 - \cos \omega_0 t) V$$

$$\text{и } \frac{de_r}{dt} = \sqrt{2} E_r \omega_0 \sin \omega_0 t = \sqrt{2} E_r \sqrt{\frac{1}{LC}} \sin \omega_0 t V.$$

Таким образом скорость восстановления напряжения за величины  $E_r$  и произведения из величины емкости и индуктивности системы.

Сложность и разветвленность цепей, имевших место при а также отсутствие всех данных о постоянных элементах цепей не дали возможности точно подсчитать скорость восстановления напряжения. Однако для некоторых схем были все же подсчитаны значения частот собственных колебаний систем.

счеты давали для  $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$  величину, колеблющуюся от 800 пер/сек, что, надо сказать, является обычным для таких (с длинными линиями).

На рис. 30 представлена схематически картина нарастания напряжения на клеммах выключателя при прохождении тока (при  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ), причем пунктиром показана кривая э. д. с. источника энергии (промышленной частоты).

В том случае, когда затухание переходного значения восстанавливающегося напряжения сравнительно невелико, и  $f_0$  — небольшая, шлейфовый осциллограф может отметить точку. Такие осциллограммы получались иногда при проведении вышеназванных опытов. Указанная точка была получена в осциллограммах 9, 10, 11, 13, 22, и 23; в этот момент кривая напряжения в утрированно показанный в правом верхнем углу рис. 30. Имя можно уже определить время  $T$  (рис. 30) — время длительности периода собственной частоты сети. Для указанных осциллограмм и было проделано, причем частота собственных колебаний этим данным получалась в пределах от 400 до 650 пер/сек, что, следует заметить, что ввиду очень малого масштаба времени  $T$  здесь возможны ошибки на десятки процентов. Но в том случае цифры, полученные подсчетом и по осциллограмме, одного порядка.

Если сравнивать условия работы выключателя при прочих опытах с теми условиями, какие могут иметь место в эксплуатации, то следует сказать, что с точки зрения скорости восстановления напряжения он не был поставлен в наихудшие условия. Величина же  $E_r$  была, очевидно, в произведенных опытах минимальных величин, возможных в эксплуатации. Это из тех соображений, что при разрыве двух- и трехполюсного короткого замыкания величина  $E_r$  может принимать значение в 1,5 и даже 1,73 раза большее, чем при однополюсном замыкании. Поэтому к испытанным усилительным конструкциям следует подходить, учитывая более тяжелые условия работы в условиях эксплуатации. Такой подход рекомендует еще тот факт, что при испытании неусиленного выключателя он так или иначе, но разорвал мощность порядка 900 MVA (трехфазную) без существенного ущерба для себя, в то время как при такой же примерно мощности на другой только подстанции Мосэнерго этот же тип выключателя дал трещину в баке.

Вместе с тем проведенные опыты подтверждают мнение американских экспериментаторов [4], что масляный выключатель с простым многократным разрывом может выдерживать мощность не свыше 1000 MVA. Действительно, коммутационный выключатель SSW производит вполне благо-

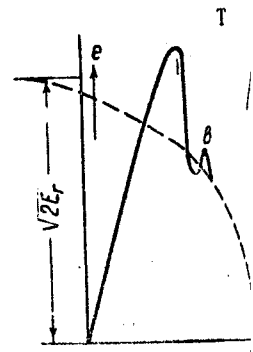


Рис. 30

в сравнении с подобными типами выключателей других. Однако величина в 900 MVA разрядной мощности при не сравнительно скорости восстановления напряжения была получена с большим трудом, — траверса дошла уже почти до окончного положения, когда, наконец, потухла дуга. Из этих общих замечаний перейдем к оценке результатов отдельных усилительных устройств, а также и нормальной работы выключателя.

#### а) Неусиленный выключатель SSW

На основании проведенных опытов можно считать, что та мощность, которая была разорвана этим выключателем, является для нормальной. Если учесть то обстоятельство, что, как указывалось в опытах (при той же мощности) не были наиболее типичны и могущих встретиться на практике в системе Мосэнерго, то уже имели место случаи аварии с этим выключателем, мы признаем, что и эта мощность (порядка  $900 \pm 1\,000$  MVA, по нормам СССР) не всегда будет разорвана выключателем.

#### б) Камера расширения

Усилительная конструкция с точки зрения гашения дуги в общем неплохие качества. Осмотр камеры показал, что дуга при прохождении верхней точкой подвижного контакта с 4-4 дисков из имеющихся семи, так что в запасе оставалось 3-4 диска (половина камеры). Это обстоятельство говорит за данную усилительную конструкцию еще не исчерпала своих возможностей, и есть основание считать, что при более тяжелых разрывах дуги она тоже сработает. Из-за сложности устройства, необходимость регулировки пружин и получающиеся сильные обгорания бакелитовых трубок и загрязнение всей конструкции вообще послужили ей не пригодности уже после двух опытов. Перечисленные при наличии других более совершенных конструкций таким образом сказались не в пользу этой конструкции.

#### в) Денонные решетки

Сравнение двух типов денонных решеток безусловно говорит в пользу конструкции ВЭИ. Следует заметить, что при всех опытах между контактами к моменту погасания дуг получалось то, что денонная решетка ЭА была полностью использована, и ее элементы решетки вступили в работу.

Решетка ВЭИ, можно считать, способна рвать те мощности, которые ей были даны во время испытаний, но при этих же условиях более тяжелой ее работоспособность является сомнительной.

Решетка ВЭИ имела длину порядка 200 мм, в то время как решетки, участвовавшей в деле гашения дуги,  $80 \div 100$  мм. Следует вычесть из расстояния между контактами за счет ширины между неподвижным контактом и самой решеткой). Это обстоятельство говорит за то, что работоспособность ее еще не исчерпана, и есть основание считать, что при более тяжелых условиях разрыва она тоже будет работоспособна.

Из образцов из этих двух конструкций только одна (ВЭИ) считается приемлемой для усиления данных выключателей другой же (ЭА) для этих целей следует считать непригодной. Разница в работе этих двух типов решеток при примерно равной общей длине, при одинаковом числе железных пластин одинаковой в общем конструкция щели очень показательна. В основном разница в конструкциях заключалась в форме щели пластины и длине отдельной решетки, то в этом и следует искать причины их различной работы. Следует заключить, что щель должна быть более или менее длинной щелью и что несомненно удачно подобранная форма железной пластины может не только затормаживания дуги в щель и тем снизить эффективность действия этой конструкции.

#### г) Конструкции масляного дутья

Камера ЭА. Если посмотреть на расстояние между контактами при гашении дуги, то станет очевидным, что дуга, как правило, в момент, близкий к выходу подвижного стержня из камеры, ЭА камера устроена таким образом, что при выходе подвижного контакта из нее должен наступить эффект, близкий к такому, который наблюдается в масляной камере.

Вывод из работы этой камеры таков, что как-будто выключатель этой усилительной конструкцией еще далек от своей предельной разрядной мощности. Однако необходимо заметить следующее: масляная камера по своей идее не может дать длительного горения дуги; если процесс горения дуги затянулся и масляная камера, в основном уже выброшена из нее, то дуга тут же пропадает, и выключатель будет работать примерно так, как если бы данной камеры и не было. Таким образом, в дуге будут, например, те же, что и при опыте (те же давление и та же скорость вытекания масла), а скорость снижения напряжения будет выше и, следовательно, следует ожидать более длительного горения дуги, гарантий в удовлетворительной работе этой камеры нет. Можно только, исходя из тех показателей, какие она дала, ожидать, что и при более тяжелых условиях работы выключатель отключит.

Решетка масляного дутья ВЭИ. Эта усилительная конструкция дала в общем такие же хорошие результаты, как и камера ЭА. То увеличение длительности горения дуги,

какое имело место при переходе от прямой камеры к изогнутой, следует отнести исключительно за счет плохого выполнения последней. Последняя конструкция делалась в очень спешном порядке, по ночам, и потому там были допущены такие дефекты, как увеличение диаметра отверстия, в котором ходит палец подвижного контакта (вместо 36 мм 38 и 40 мм,) очень плохая центровка этих отверстий относительно пальца, плохая подгонка дыр для скрепляющих болтов друг к другу и прочие более мелкие дефекты. Все это, вместе взятое повело к образованию дополнительных щелей и отверстий, в которые могло отсасываться давление, развиваемое в решетке. Насколько же это обстоятельство важно, видно было из предыдущих опытов: когда закрыт был верх, но не плотно (осциллограмма 11), время горения дуги снизилось с 16 полупериодов до 8, а при полном закрытии — до 5-6 полупериодов. Небольшое увеличение времени горения дуги имеет как-раз такой порядок величины, который получился между временем горения дуги при полном закрытии и временем горения дуги при неполном.

То обстоятельство, что решетка получилась несколько изогнутой, увеличило, конечно, сопротивление трения для струи масла, но это почти не играет никакой роли. Гораздо большую роль на скорость вытекания масла играет инерция столба масла, которое приходится выталкивать давлением. С этой же стороны изогнутые решетки поставлены даже в более выгодные условия, чем прямые, так как величины столба масла над ними вследствие подъема неподвижных контактов уменьшились.

Переходя к оценке работы решеток для масляного дутья при более тяжелых условиях, необходимо заметить следующее:

Расстояние между контактами к моменту гашения дуги было таковым, что становится вполне очевидным, что не все щели решеток вступили в работу. Работали только первые 1-2, остальные же щели были в запасе. Это обстоятельство определенно указывает на то, что возможности выключателя с этими решетками далеко не исчерпаны: при утолщении процесса выключения и удлинения времени горения дуги вступят в строй новые щели. Эффект, сходный с таковым, наступающим в масляной камере, и отмеченный для камеры ЭА, очевидно имеет и здесь место, так как с этой стороны конструкции их очень сходны.

#### Заключение

Резюмируя все вышеизложенное, можно сказать, что лучшие показатели дали конструкции, использующие принципы масляного дутья.

При испытаниях, которые проводило ВЭИ в 1932 г. [3] в сети с напряжением 30 kV, и денонные решетки и камеры масляного дутья показали себя как: той, так и другой конструкции с очень хорошей стороны. Следует ли отсюда, что в сети с напряжением 100 kV масляное дутье вообще лучше, чем денонные решетки, сказать очень трудно. Решение этого вопроса усложняется в значительной степени тем обстоятельством, что все усилительные приспособления приходилось "подгонять" под имеющуюся уже конструкцию выключателя, и поэтому некоторые конструктивные оформления той или иной детали брались не столько потому, что так нужно делать, сколько из-за того, что для данного выключателя, не прибегая к слишком большой переделке его, другой конструкции применить было невозможно. В особенности это относится к денонным решеткам, для которых конструкция ножа траверсы является очень важным фактором и которая по сути дела уже была задана.

Для усиления же данного выключателя, очевидно, следует остановиться на масляном дутье.

То обстоятельство, что при последнем опыте у решеток масляного дутья ВЭИ лопнул бакелитовый цилиндр и лопнуло место сварки поддерживающего стержня, не должно существенным образом влиять на выбор конструкции, так как все эти дефекты следует отнести за счет плохого изготовления ее и связанных с этим трудностей монтажа, при которых приходилось подпиливать, отгибать, пристукивать и пр.

В целях уничтожения могущих быть дефектов того же порядка, в настоящее время конструкция крепления решеток к розеткам переделана. Вместо металлического полуцилиндра для крепления и бакелитового цилиндра для уплотнения взят металлический цилиндр, служащий одновременно и скрепляющим и уплотняющим устройством.

Исходя из всего вышеизложенного, следует в первую очередь остановиться на решетке масляного дутья ВЭИ, тем более, что она проще и дешевле камеры ЭА. Однако и последняя дала такие хорошие показатели, что мимо них пройти нельзя. Поэтому следует принять для переоборудования выключателей SSW решетки ВЭИ, установить и камеры масляного дутья ЭА с тем, чтобы проверить обе эти конструкции в эксплуатации.

В заключение отметим, что на основании произведенных испытаний можно утверждать, что часто выключатели следует не заменять новыми, более дорогими, а лишь их усилить.

#### Библиография

1. "Transaction of AIEE", № 1, 1931.
2. "Transaction of AIEE", № 2, 1930.
3. "Электричество" № 21, 1931 и № 23—24, 1932.
4. "AIEE", XLVI, стр. 620 и 698.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

## Мощность переменного тока в комплексном выражении

Проф. П. Г. Седов

Ростов, Северокавказский

По аналогии с произведениями векторной алгебры часто активную и реактивную составляющие мощности переменного тока называют „скалярным“ и „векторным“ произведением векторов напряжения и тока. Эти выражения не точны и приводят к противоречию<sup>1)</sup>.

Однако выражение полной (кажущейся) мощности в комплексной форме представляет при вычислительных операциях ряд преимуществ. Практически они особенно сказываются при расчетах электрических систем с трансформаторами, где благодаря этому приходится иметь дело одновременно с несколькими напряжениями.

Чтобы разобраться в действительном положении вопроса, начнем с простого случая сопротивлений и проводимостей.

В соответствии с рис. 1 полное сопротивление  $\dot{z}$  в комплексной форме равно

$$\dot{z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{Ue^{j(\alpha+\varphi)}}{Ie^{j\varphi}} = \frac{U}{I} e^{j\varphi} = ze^{j\varphi}. \quad (1)$$

Мы пришли к выводу, что вектор  $\dot{z}$ , независимо от положения векторов  $\dot{U}$  и  $\dot{I}$ , всегда смещен относительно оси действительных величин на угол  $\varphi$ . Если мы повернем оси на некоторый угол, то при неизменном положении в пространстве  $\dot{U}$  и  $\dot{I}$  для выполнения равенства (1) вектор  $\dot{z}$  должен будет повернуться одновременно с осями координат, чтобы сохранить угол  $\varphi$  прежним.

Мы пришли к выводу, что комплексные числа  $\dot{U}$ ,  $\dot{I}$ ,  $\dot{z}$ , хотя и изображаются векторами, но по сути дела благодаря отсутствию инвариантности относительно вращения осей координат—это не векторы. И обозначаются они по проекту стандарта условных обозначений не чертой над буквой, а точкой.

На рис. 2, аналогичном рис. 1, изображена проводимость:

$$\dot{y} = \frac{1}{\dot{z}} = \frac{1}{z} e^{-j\varphi} = ye^{-j\varphi}, \quad (2)$$

образующая всегда угол  $-\varphi$  с положительным направлением оси действительных величин.

<sup>1)</sup> См., например, Обердорфер, Расчеты по методу симметричных составляющих, ГНТИ, 1931, стр. 35—37.

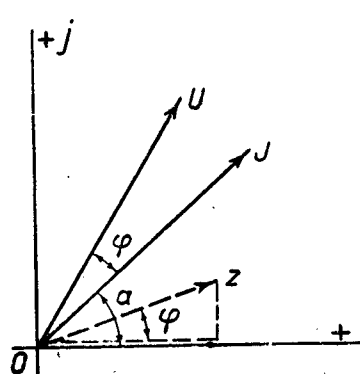


Рис. 1

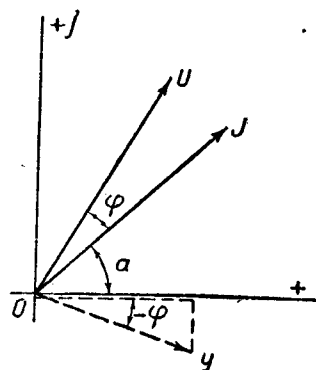


Рис. 2

Если мы теперь полную (кажущуюся) мощность попытаемся дать в форме произведения комплексных величин  $\dot{U}$  и  $\dot{I}$ , то придем к практически некому результату. Действительно, в соответствии 1 или 2:

$$\dot{P} = \dot{U} \dot{I} = Ue^{j(\alpha+\varphi)} Ie^{j\alpha} = P \cdot e^{j(2\alpha+\varphi)}$$

Это и понятно, так как, с одной стороны, напряжение по своей физической сущности — (плотность тока—вектор). Направление „вектора“ на диаграмме не имеет ничего общего с направлением тока в пространстве, но дает только картину по фазе, т. е. во времени, относительно „вектора“.

Реально существуют только мгновенные величины  $u$ ,  $i$ ,  $p = ui$ . Причем  $p$  имеет период вдвое меньший, чем  $u$  и  $i$ . Поэтому для множителя времени у мощности естественно и необходимо выражение  $e^{j2\alpha}$ , а не  $e^{j\alpha}$ .

Для того чтобы избавиться от двойки в показателе степени правой части уравнения (3), берем для вектора напряжения или тока сопряженную с ним величину, повернутую на тот же угол относительно осей действительных величин, что и исходный вектор, но противоположную сторону.

Для случая индуктивной нагрузки, применяя сопряженный вектор напряжения, имеем

$$\dot{P} = \hat{U} \dot{I} = Ue^{-j(\alpha+\varphi)} Ie^{j\alpha} = UIe^{-j\varphi} = P e^{-j\varphi}$$

или

$$\dot{P} = P_a - jP_r,$$

т. е. вектор полной мощности всегда совпадает с вектором полной проводимости (рис. 2).

Применяя сопряженный вектор тока, имеем:

$$\dot{P} = \hat{U} \dot{I} = Ue^{j(\alpha+\varphi)} Ie^{-j\alpha} = UIe^{j\varphi},$$

или

$$\dot{P} = P_a + jP_r,$$

т. е. вектор полной мощности всегда совпадает с вектором полного сопротивления (рис. 1).

Оба способа изображения мощности  $p = ui$  в комплексной форме известны и полезны. Однако за неимением сопряженного напряжения имеется некоторое практическое преимущество.

При расчетах электрических систем методов комплексных величин часто принимают вектор напряжения  $\dot{U}$  совпадающим с положительным направлением оси действительных величин. Тогда в уравнении (4а) следует положить  $\alpha + \varphi = 0$ , или  $\alpha = -\varphi$ .

$$\dot{P} = Ue^{-j(\varphi+\varphi)} Ie^{-j\varphi} = Ue^{j0} Ie^{-j\varphi} = UIe^{-j\varphi} = \hat{U} \dot{I}$$

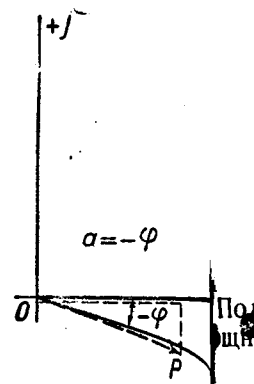


Рис. 3

$$P = UIe^{-j\varphi} = Pe^{-j\varphi}. \quad (6b)$$

В уравнении (6) следует, во-первых, что  $U$  образует скаляр, и во-вторых, что векторы  $\dot{I}$  и  $\dot{P}$  совпадают по направлению.

Интересны также формулы для вычисления мощности в комплексном виде непосредственно по сопротивлению или проводимости цепи. Прежде всего замечу, что произведение двух сопряженных векторов дает скаляр. Например

$$\hat{U}\hat{U} = Ue^{j(\alpha+\varphi)} Ue^{-j(\alpha+\varphi)} = U^2.$$

А для трехфазного тока, если  $\hat{U}$  обозначает линейное напряжение,

$$\dot{P} = \dot{I}\hat{U}\sqrt{3} = \frac{\hat{U}}{z\sqrt{3}}\hat{U} = \frac{U^2}{z} = U^2 y. \quad (7a)$$

отлично

$$\dot{P} = \dot{I}\hat{U}\sqrt{3} = \dot{I}\hat{I}z\sqrt{3}\sqrt{3} = 3\dot{I}^2 z = \frac{3\dot{I}^3}{y}. \quad (7b)$$

Уравнения (7) весьма удобны, например, при расчетах коротких замыканий, а также при определении мощностей или сопротивлений, эквивалентных единичной нагрузке.

В расчетах устойчивости, или коротких замыканий, весьма часто встречается способ относительных (процентных) сопротивлений. Как известно, относительное сопротивление для трехфазного тока

$$z = z \frac{I\sqrt{3}}{U} = z \frac{P}{U^2}, \text{ или } z = z_* \frac{U}{I\sqrt{3}} = \frac{U^2}{P}. \quad (8)$$

Подставляя значение  $z$  в уравнение (7a), получаем для короткого замыкания:

$$\dot{P}_k = \frac{U^2}{z} = \frac{U^2 I\sqrt{3}}{z_* U} = \frac{UI\sqrt{3}}{z_*} = \frac{P}{z_*}, \quad (9)$$

где  $P$  — генерирующая мощность, к которой было отнесено  $z_*$ .

Или, если мощность выражена также в относительных единицах,

$$\dot{P}_{k*} = \frac{\dot{P}_k}{P} = \frac{1}{z_*} = y_*. \quad (10)$$

В то время как для тока короткого замыкания в абсолютных единицах

$$\dot{I}_k = \frac{\hat{U}}{z\sqrt{3}} = \frac{\hat{U}I\sqrt{3}}{z_* U\sqrt{3}} = \frac{I}{z_*} \cdot \frac{\hat{U}}{U} = \frac{I}{z_*} e^{j(\alpha+\varphi)} \quad (11)$$

и в относительных

$$\dot{I}_{k*} = \frac{\dot{I}_k}{I} = \frac{e^{j(\alpha+\varphi)}}{z_*}, \quad (12)$$

удобная формулировка может получиться только при совпадении вектора напряжения  $\hat{U}$  с положительным направлением оси действительных величин.

Вычисление мощности согласно уравнению (5) при посредстве сопряженного тока имеет преимущество положительного знака перед мнимой частью в более распространенном случае индуктивной нагрузки. Однако при этом в законе Ома для мощности, представленной уравнением (7a),  $z$  и  $U$  должны быть взяты сопряженными, что нежелательно. Поэтому полагаем более целесообразным остановиться на вычислении мощности по сопряженному напряжению (4), при котором на векторной диаграмме мощность смещена относительно от действительных величин на угол  $\varphi$  того же знака, как и ток относительно напряжения. Для  $U = U$ , как мы уже видели,  $P$  совпадает с  $\dot{I}$ .

Учитывая ряд удобств, представляемых применением мощности в комплексной форме, считаем необходимым высказать пожелание о введении ее в стандарт условных электротехнических обозначений в форме фиксированной уравнениями (4).

## О расчете механических колебательных систем с помощью эквивалентных электрических контуров<sup>1)</sup>

Проф. М. Ю. Юрьев  
Москва

Механические системы эквивалентными электрическими схемами с целью облегчить механический расчет известны уже давно. За последнее время, в особенности в области электроакустики, этот способ расчета получил большое распространение и не без основания, ибо между электрическими контурами и некоторыми механическими системами существует полное соответствие и не только формальное, но и по существу.

Весьма необходимо, во избежание недоразумений, подчеркнуть, что не всякие механические системы могут быть заменены электрическими контурами. Это объясняется следующим образом: известно, что элементы, из которых состоят электрические контуры, могут находиться в последовательном, парал-

лельном или скрещенном соединении; в механических же системах имеет место значительно большее число комбинаций из составных элементов, ибо в этих системах движение может происходить в трех взаимно перпендикулярных плоскостях.

Поэтому только те механические системы, которые соответствуют последовательному, параллельному или скрещенному соединениям, могут быть по существу заменены электрическими контурами. Отсюда следует, что при замене механической системы электрическим контуром необходимо выяснить, не только из каких элементов состоит механическая система, но и в какой взаимной связи они находятся.

В дальнейшем мы будем пользоваться следующими условными обозначениями.

### Электрические величины

$e$  — мгновенное значение напряжения между двумя точками электрической схемы,

$i$  — мгновенное значение силы тока,

$L$  — индуктивность,

$C$  — емкость,

$R$  — омическое сопротивление,

$t$  — время.

<sup>1)</sup> Эта в существенной своей части была написана более года назад; не опубликовывалась она мной потому, что я не мог найти разницы при сопоставлении электрических и механических величин. За последнее время в иностранной литературе появилось ряд статей, подтверждающих мою мысль о целесообразности рассмотреть и уточнить возможность замены механических систем электрическими, поэтому я не вижу причин, которые помешали бы мне опубликовать эту статью. Автор.

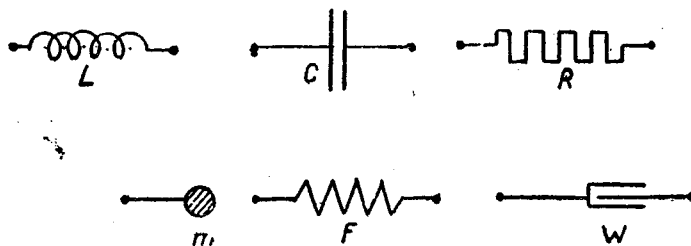


Рис. 1

## Механические величины

$p$ —мгновенное значение механической силы,  
 $v$ —скорость.

$\int_0^t v dt$ —путь между двумя точками,

$m$ —масса (1 грам-масса  $\equiv$  1 дина  $\cdot$  сек<sup>2</sup>/см),

$\frac{1}{F}$ —коэффициент упругости <sup>2)</sup> (если, например, коэф-

фициент упругости телефонной мембраны равен  $\frac{1}{F} = 10^7$  дина/см, то это означает, что сила, равная  $10^6$  дин  $\equiv$  100 грам-масса, вызывает прогиб мембраны на 0,1 мм),

$W$ —коэффициент сопротивления при трении (при движении одной точки относительно другой в какой-либо механической системе возникает благодаря трению сила, которая пропорциональна скорости движения  $v$ , тогда  $W = \frac{p}{v}$ ).

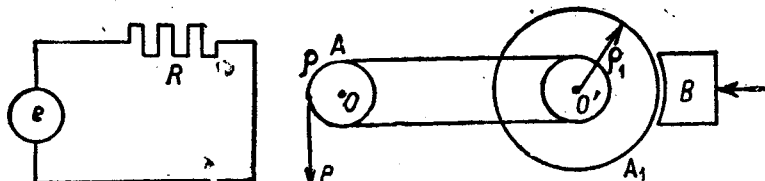


Рис. 2

Рис. 3

На чертежах перечисленные величины будут обозначаться согласно рис. 1.

Теперь приведем некоторые простейшие аналогии.

Электрической схеме по рис. 2, где  $R$ —омическое сопротивление и  $e = iR$ —падение напряжения в нем, соответствует механическая система по рис. 3, состоящая из двух шайб  $A$  и  $A_1$  (лишенных массы), вращающихся на осях  $O$  и  $O'$  и связанных между собой передачей (например, ремнем, который не скользит и не растягивается). Шайба  $A_1$  находится под давлением колодки  $B$ , чем обуславливается некоторое сопротивление, зависящее от коэффициента трения  $W$  между шайбой  $A_1$  и колодкой  $B$ . Так как сила трения пропорциональна скорости  $v$  по окружности шайбы  $A_1$  и коэффициенту трения  $W$ , и так как шайба  $A$  находится под действием постоянной силы  $P$ , то

$$P\rho = vW\rho'.$$

<sup>2)</sup> Величина  $F$  по-немецки обозначается термином Nachgiebigkeit — податливость; насколько мне известно, по русски это слово в терминологию пока не введено, тем не менее мы будем величину  $F$  называть „коэффициентом податливости“.

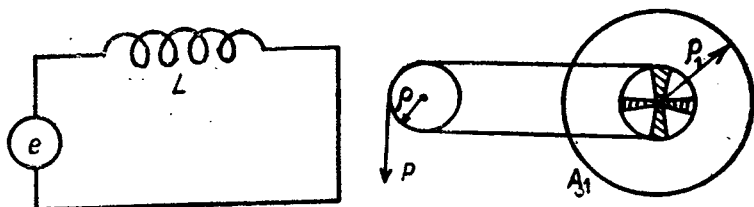


Рис. 4

Рис. 5

Если  $\rho = \rho'$ , то  $P = vW$ .

Это уравнение является как бы законом (механической системы, причем между электрическими и механическими величинами существует следующая аналогия.

## Электрические величины

$e$ —напряжение (V),

$i$ —сила тока (A),

$R$ —омическое сопротивление (Ω):

## Механические величины

$P$ —сила (дина),

$v$ —скорость (м/сек),

$W$ —коэффициент трения (дина/сек).

Обратимся теперь к рис. 4 и 5. Вследствие индуктивного сопротивления при каждом изменении тока возникает обратная электродвижущая сила

$$e = L \frac{di}{dt}$$

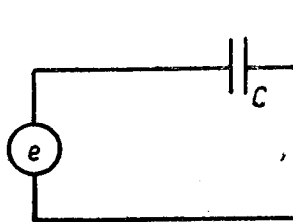


Рис. 6

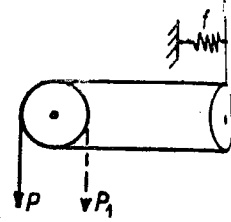


Рис. 7

Этому электрическому контуру соответствует механическая система по рис. 5. Маховик с моментом инерции приводится в движение благодаря вращающему моменту  $P\rho$ ; масса маховика обуславливает обратную силу, которая определяется из уравнения:

$$P\rho = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{J}{\rho_1} \frac{dv}{dt}$$

Если  $\rho = \rho_1$ , то

$$P = \frac{J}{\rho^2} \frac{dv}{dt} = m \frac{dv}{dt}.$$

Здесь  $\omega$ —угловая скорость,  $v$ —скорость на окружности маховика,  $m$ —масса маховика.

Здесь имеем, следовательно, такую аналогию:

## Электрические величины

$e$ —напряжение,

$L$ —индуктивность,

$i$ —сила тока.

## Механические величины

$P$ —сила,

$m$ —масса,

$v$ —скорость.

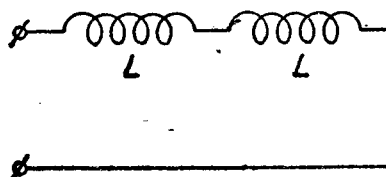
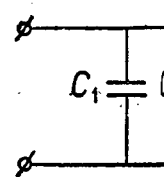


Рис. 7



Наконец, переходим к рис. 6 и 7. При всяком изменении напряжения  $e$  возникает ток смещения  $= C \frac{de}{dt}$ ; следовательно, напряжение на конденсаторе равно:

$$e = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = \frac{q}{C}.$$

Эквивалентная механическая система представлена на рис. 7: шайба  $A_1$  закреплена с помощью пружин  $f$  и  $f'$ ; под действием силы  $P$  или  $P_1$  может двигаться лишь удлинение пружин  $f$  или  $f'$ . Обозначим  $F$  удлинением пружины, которое вызывается

м (диной); тогда полное удлинение пружины действием силы  $P_1$  будет равно  $S = FP$ ; если пружина удлинилась на величину  $S$  за время  $t$ , то скорость перемещения точки  $K$  равна  $v = \frac{dS}{dt}$  или

$$S = \int_0^t v dt.$$

Следовательно,

$$\int_0^t v dt = S = FP \text{ и } v dt = F dP,$$

$$v = F \frac{dP}{dt}.$$

Таким образом и здесь между электрическими и механическими величинами имеет место следующее соотношение:

Механические величины

Электрические величины

$$\frac{1}{F} \int v dt = \frac{S}{F},$$

$$e = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{q}{C};$$

$$v = F \frac{dP}{dt}.$$

$$i = C \frac{de}{dt}.$$

коэффициент податливости (см/дина),

$C$  — емкость (F),

перемещение точки (см),

$q$  — заряд (кулон),

длина (дина),

$e$  — напряжение (V),

скорость.

$i$  — сила тока (A).

Выводя, наконец, дифференциальное уравнение движения для материальной точки, связанной упругими силами с положением равновесия

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + W \frac{dx}{dt} + \frac{1}{F} x = m \frac{dv}{dt} + Wv + \frac{1}{F} \int v dt = P$$

дифференциальным уравнением электрического контура при последовательном соединении индуктивности, емкости и омического сопротивления

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = e,$$

т. е. что механическую систему можно сопоставить электрическому контуру, соединяя последовательно  $C$  (F) и  $R$  (W).

Здесь возникает сразу сомнение в возможности использования аналогии между электрическими контурами и механическими системами, ибо выходит, что материальная точка, любым образом связанная упругими силами с положением равновесия, может быть сопоставлена электрическим контуру лишь с последовательным соединением составных элементов.

Ответ на это сомнение будет дан ниже, а сейчас покажем, что между электрическими и механическими величинами можно привести и другое сопоставление; для всего этого покажем для электрического контура, состоящего из омического сопротивления (рис. 2); следовательно, закон Ома мы можем написать таким образом:

$$i = \frac{1}{R} e = Ge,$$

$\frac{1}{R} = G$  — проводимость. Сопоставляя это уравнение

с механическими величинами, можно провести такую аналогию:

Электрические величины

Механические величины

$i$  — сила тока,

$P$  — сила,

$G = \frac{1}{R}$  — проводимость,

$W$  — механическое сопротивление,

$e$  — напряжение.

$v$  — скорость.

Дабы показать, что подобное сопоставление имеет место для контуров, содержащих также емкость и самоиндукцию, необходимо вспомнить теорему, доказываемую в теории четырехполюсников и гласящую, что любой электрический контур имеет свой „антипод“, т. е. контур, сопротивление которого равно сопротивлению первого контура, но по характеру своему обратно ему (например, емкостное и индуктивное сопротивление). Поэтому, контур, состоящий из  $n$  последовательно соединенных „прямых“ элементов, соответствует контуру из  $n$  „обратных“ элементов, соединенных последовательно. Например, сопротивление двух последовательно соединенных индуктивностей  $L_1$  и  $L_2$  равно сопротивлению двух параллельно включенных емкостей  $C_1$  и  $C_2$ , если  $\omega L_1 = \frac{1}{\omega C_1}$  и  $\omega L_2 = \frac{1}{\omega C_2}$  (рис. 7').

В самом простом виде такие взаимно обратные элементы представлены на рис. 8.

Согласно определения

$$\frac{e_1}{i_1} = A = \omega L \text{ и } \frac{e_2}{i_2} = A = \frac{1}{\omega C_2}$$

или

$$\frac{e_1}{i_1} = A = \frac{1}{\omega C_1} \text{ и } \frac{e_2}{i_2} = A = \omega L_2,$$

$$\frac{L_2}{C_1} = A^2, \quad \frac{L_1}{C_2} = A^2, \quad R_1 R_2 = A^2.$$

Следовательно,

$$e_2 = i_2 \frac{e_1}{i_1} = i_2 A = A i_2, \quad \frac{i_1}{i_2} = \frac{A i_1}{i_1} = A i_1 B,$$

где  $B = \frac{i_2}{i_1}$ ,

$$e_1 = i_1 \frac{e_2}{i_2} = i_1 \frac{i_2}{i_2} A = A i_2, \quad \frac{i_1}{i_2} = \frac{A}{B} i_2.$$

Итак,

$$e_2 = A B i_1, \quad i_2 = \frac{B}{A} e_1, \quad L_2 = A^2 C_1, \quad C_2 = \frac{1}{A^2} L_1,$$

$$R_2 = A^2 \frac{1}{R_1}.$$

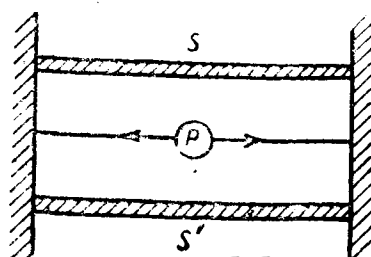


Рис 9

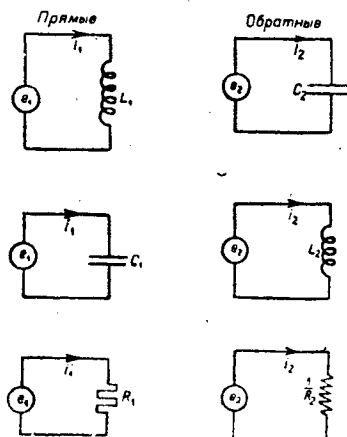


Рис. 8

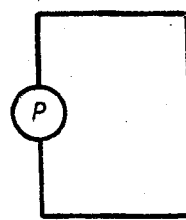


Рис. 10

Иначе говоря, мы можем сделать два сопоставления

### 1-е сопоставление

Электрические величины	Механические величины
$e$ —напряжение,	$P$ —сила,
$L$ —индуктивность,	$m$ —масса,
$i$ —сила тока,	$v$ —скорость,
$R$ —омическое сопротивление,	$W$ —механическое сопротивление,
$C$ —емкость.	$F$ —податливость.

### 2-е сопоставление

$i$ —сила тока,	$P$ —сила,
$\frac{1}{R}$ —проводимость,	$W$ —механическое сопротивление,
$C$ —емкость,	$m$ —масса,
$e$ —напряжение,	$v$ —скорость,
$L$ —индуктивность.	$F$ —податливость.

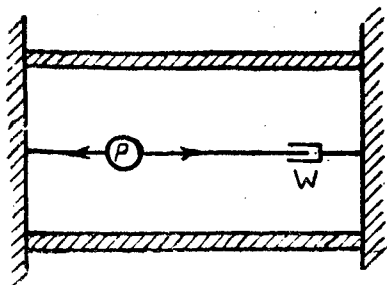


Рис. 11

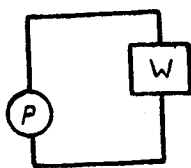


Рис. 12

Поэтому, если  $e_1 = L_1 \frac{di_1}{dt}$ , то

$$\frac{A}{B} i_2 = A^2 C_2 \frac{1}{AB} \frac{de_2}{dt},$$

$$\frac{A}{B} i_2 = \frac{A}{B} C_2 \frac{de_2}{dt},$$

$$i_2 = C_2 \frac{de_2}{dt}.$$

Аналогично

$$e_1 = \frac{1}{C_1} \int_0^t i_1 dt,$$

$$i_2 \frac{A}{B} = \frac{A^2}{L_2} \int_0^t \frac{e_2}{AB} dt,$$

$$i_2 \frac{A}{B} = \frac{A}{B} \frac{1}{L_2} \int_0^t e_2 dt,$$

$$i_2 = \frac{1}{L_2} \int_0^t e_2 dt,$$

$$e_1 = R_1 i_1,$$

$$\frac{A}{B} i_2 = \frac{A^2}{R_2} \frac{1}{AB} e_2,$$

$$i_2 = \frac{1}{R_2} e_2.$$

Отсюда заключаем, что при проведении аналогии с механическими системами в качестве электрических контуров мы можем применять или контуры с „прямым“ или с „обратным“ сопротивлением, а именно:

Механическая система

$$P = vW,$$

$$P = m \frac{dv}{dt},$$

$$P = \frac{1}{F} \int_0^t v dt.$$

Электрическая система

$$e = Ri, \text{ или } i = \frac{1}{R} e,$$

$$e = L \frac{di}{dt}, \text{ или } i = C \frac{de}{dt},$$

$$e = \frac{1}{C} \int_0^t i dt, \text{ или } i =$$

$$= \frac{1}{L} \int_0^t e dt.$$

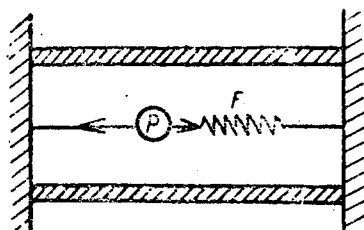


Рис. 13

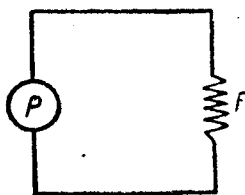


Рис. 14

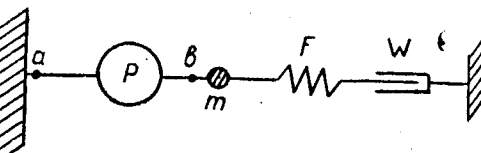


Рис. 15

Мы видим, что „механическая цепь“, наподобие электрической, в данном случае может рассматриваться как замкнутая цепь.

2. Пусть теперь между силой  $P$  и одной из движущих стенок помещен элемент, обуславливающий сопротивление от трения (рис. 11). Здесь сила  $P$  (механический генератор) уже не замкнута накоротко, так как во внешней цепи находится сопротивление  $W$ . Символически изобразим эту систему согласно рис. 12.

3. Аналогично обстоит дело, если в механической цепи последовательно с генератором включен элемент „податливости“  $F$  (рис. 13 и 14).

4. Если сила  $P$  работает на элемент „массы“  $m$ , картина с внешней стороны получается иная, а именно та же самая (рис. 15).

Точка  $a$  находится в покое (конечно, по отношению к наблюдателю); но точка  $b$ , связанная с массой, может свободно двигаться. Между точками  $a$  и  $b$  действует сила  $P$ . Обратная сила, возникающая в начале движения массы  $m$ , может быть заменена давлением между точкой  $b$  и точкой, находящейся в покое. Так как в данном случае такой точкой является точка  $a$ , то и здесь механическая цепь, существуя дела, является замкнутой. Необходимо иметь в виду, что если механическая система состоит из нескольких элементов ( $F$ ,  $m$ ,  $W$ ), то при символическом изображении механической системы

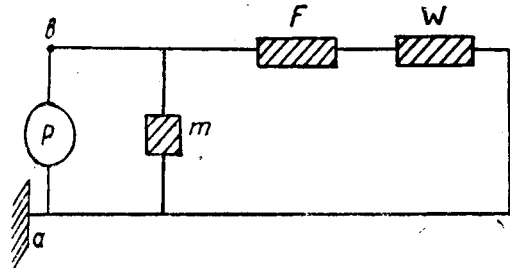


Рис. 17

нужно массу  $m$  включать всегда между движущейся точкой и точкой, находящейся в покое; например, механическая система по рис. 16 символически изобразится согласно рис. 17, а рис. 19 является символическим изображением механической системы по рис. 18.

Рассмотрим пример.

Предположим, мы имеем медную ниточку, натянутую между двумя неподвижными точками (рис. 20).

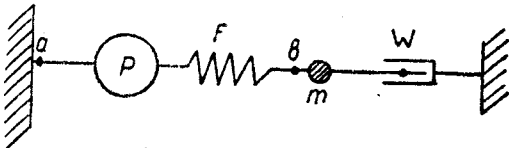


Рис. 18

На ниточку действует сила  $P$ ; нетрудно видеть, что все три элемента  $m$ ,  $F$  и  $W$  находятся в параллельном соединении; следовательно, можем эту механическую систему изобразить согласно рис. 21.

Символически система изобразится, как показано на рис. 22; поэтому ее можно заменить электрическим контуром при втором сопоставлении (рис. 23) и при первом сопоставлении (рис. 24).

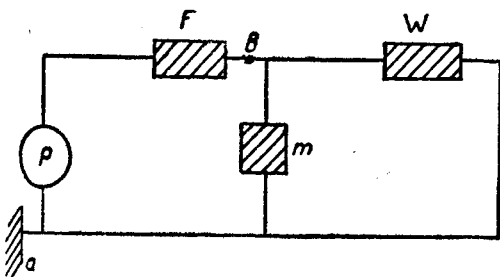


Рис. 19

Видно, что символическое изображение механической системы (рис. 22) вполне соответствует электрическому контуру по рис. 23; поэтому второе сопоставление удобнее первого.

Как было указано, что первое сопоставление получается, из уравнения  $P = m \frac{d^2x}{dt^2} + W \frac{dx}{dt} + \frac{1}{f} x = m \frac{dv}{dt} + Wv + \int v dt$  и сравнивая его с уравнением  $L \frac{di}{dt} + R_1 i + \int i dt = e$ .

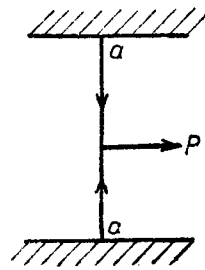


Рис. 20

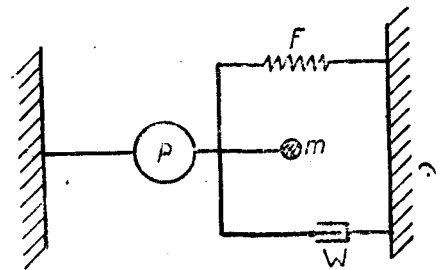


Рис. 21

Теперь надо связать величины  $P$ ,  $m$ ,  $F$  и  $W$  с величинами  $i$ ,  $C$ ,  $L$  и  $R$ .

Если по ниточке, которая находится в магнитном поле  $H$ , протекает ток  $i$ , то

$$P = lHi, \text{ или } i = \frac{1}{lH} P,$$

где  $l$  — длина нити.

Если ниточка приведена в колебание со скоростью  $v$  какой-то посторонней силы (например, звуковыми колебаниями), то напряжение, индуцируемое на зажимах нити, равно:

$$e = lHv,$$

Кроме того,

$$m = \frac{P}{\frac{dv}{dt}}, \quad W = \frac{P}{v}, \quad F = \frac{v}{\frac{dP}{dt}}.$$

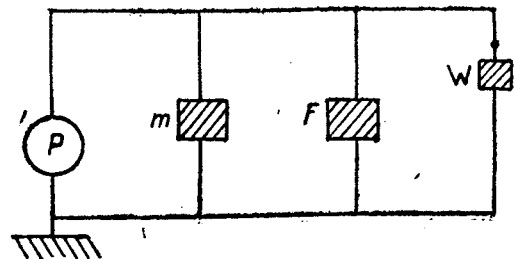


Рис. 22

Таким образом,

$$m = \frac{i l H}{\frac{1}{l H} \frac{de}{dt}} = \frac{l^2 H^2 i}{\frac{de}{dt}},$$

$$W = \frac{l H i}{\frac{e}{l H}} = l^2 H^2 \frac{i}{e},$$

$$F = \frac{\frac{e}{l H}}{\frac{l H}{l H} \frac{di}{dt}} = \frac{1}{l^2 H^2} \frac{e}{\frac{di}{dt}}.$$

Но

$$C = i \frac{1}{\frac{de}{dt}}, \quad R = \frac{e}{i}, \quad L = \frac{e}{\frac{di}{dt}}.$$

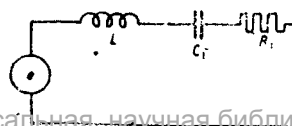


Рис. 23

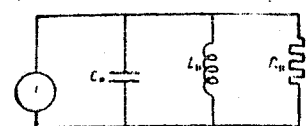


Рис. 24

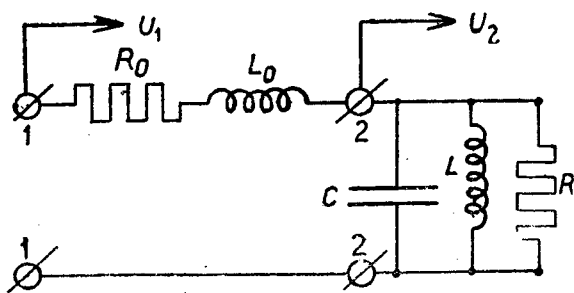


Рис. 25

Поэтому

$$\left. \begin{aligned} m &= l^2 H^2 C, \text{ или } C = \frac{m}{l^2 H^2}, \\ W &= l^2 H^2 \frac{1}{R}, \text{ или } R = \frac{l^2 H^2}{W}, \\ F &= \frac{1}{l^2 H^2} L, \text{ или } L = l^2 H^2 F, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Если омическое сопротивление нити и ее индуктивность равны  $R_0$  и  $L_0$ , то получим электрический контур по рис. 25, заменяющий и механическую систему, состоящую из натянутой нити, по которой протекает электрический ток и которая находится в постоянном магнитном поле.

Обозначая входное сопротивление в точках 2 и 1 соответственно буквами  $U_2$  и  $U_1$ ; найдем, что к. п. д. выразится следующим образом:

$$\eta = \frac{|U_2|}{|U_1|}.$$

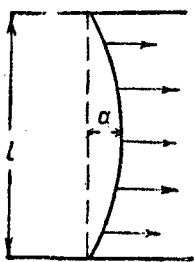


Рис. 26

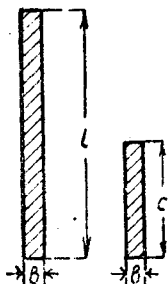


Рис. 27

Вычислив  $|U_2|$  и  $|U_1|$  в зависимости от частоты, получим частотную характеристику колебаний ниточки.

Приведенным примером можно воспользоваться для расчета резонансной кривой нити осциллографа звукозаписывающего аппарата системы А. Ф. Шорина.

Нить осциллографа, сопротивлением около 0,5  $\Omega$  (самоиндукцией ее пренебрегаем), расположена в магнитном поле  $H = 20\,000$  гауссов; длина части нити, находящейся в магнитном поле, равна  $l = 1$  см.

Для определения  $C$ ,  $R$  и  $L$  по уравнениям (1) необходимо знать:  $m$ —массу нити,  $F$ —ее коэффициент «податливости» и  $W$ —механическое сопротивление.

Что касается массы  $m$  нити, то такая равна (при длине нити  $l = 1$  см):

$$m = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ дин/см sec}^2.$$

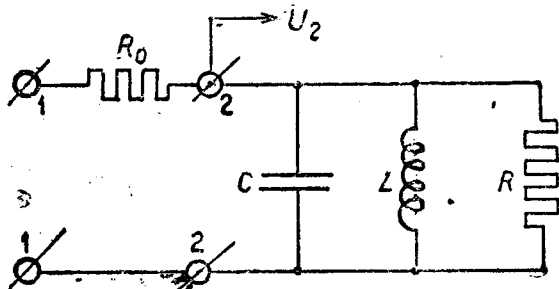


Рис. 28

Для определения  $F$  рассуждаем следующим зом.

Нить может быть рассматриваема как нить провод, имеющий провес, вызываемый весом; да; но нить «провисает» не под влиянием силы тяжести, а благодаря воздействию тока, протекающего по нити, и постоянного магнитного поля. Влияние тяжести здесь ничтожно мало, им можно пренебречь. а магнитное поле действует равномерно по всей нити, и она изогнется по рис. 26.

Стрела провеса  $a$  (см) в зависимости от  $U_2$  (дина), длина нити  $l$  (см) и силы  $S$  (дина), с которой натянута нить, выражается так:

$$a = \frac{Pl}{8S}.$$

Следовательно,

$$F = \frac{a}{P} = \frac{l}{8S} \text{ см/дина}.$$

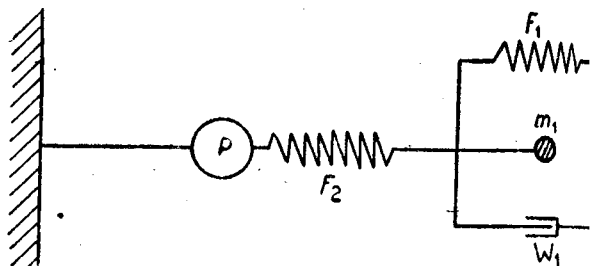


Рис. 29

Так как  $l = 1$  см,  $S = 100$  г (вес)  $= 10^5$  дин.

$$F = \frac{l}{8 \cdot 10^5} = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ см/дина}.$$

Это значит, что сила, равная  $8 \cdot 10^3 \approx 8$  г (вес) вызывает увеличение стрелы провеса на 0,1 мм: случае, если нить натянута силой  $10^5$  дин (вес).

Таким образом коэффициент податливости характеризует также зависимость между удлинением нити, вызывавшей это удлинение; во всех дальнейших расчетах принято, что сила и удлинение находятся линейной зависимости между собой.

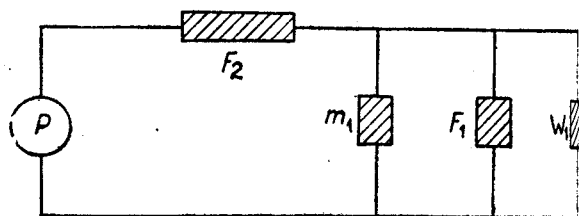


Рис. 30

Переходим к определению механического сопротивления  $W$ . Известно, что  $W = W_b + W_s$ , где  $W_b$ —сопротивление от трения и  $W_s$ —сопротивление нити; в том случае, если нить находится в масле (а не в воздухе), величиной  $W_b$  можно пренебречь. же касается величины  $W_s$ , то такая вычисляется известному уравнению лорда Rayleigh

$$W_s = u \rho \pi r_0^2 \frac{y^2}{8},$$

где  $u = 3,4 \cdot 10^4$  см/сек—скорость звука в воздухе,  $\theta = 20^\circ$ ,  $\rho = 1,2 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>—плотность воздуха

$r_0$  — радиус круга, площадь которого равна прямой площади поперечного сечения нити:

$$y = 2 \frac{r_0}{u} \omega.$$

меры нити усматриваются из рис. 27:  $l = 1$  см,  $b = 10^{-4}$  см,  $c = 15 \cdot 10^{-3}$  см. Поперечное сечение  $q = bc = 8 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>,  $\pi r_0^2 = 8 \cdot 10^{-4}$   $r_0^2 = \frac{8}{\pi} 10^{-4}$ ,

т. е.  $r_0 = 1,6 \cdot 10^{-2}$  см.

значения  $y = 2 \frac{r_0}{u} \omega$  и  $W_1$  в зависимости от  $\omega$  приведены в табл. 31.

Таблица 1

$\omega$	$y$	$W_1$ (CGS)	$R$ (Ω)
500	$5 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-10}$	$4 \cdot 10^8$
5 000	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$400 \cdot 10^4$
10 000	$10 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$100 \cdot 10^4$
20 000	$20 \cdot 10^{-3}$	$16 \cdot 10^{-7}$	$25 \cdot 10^4$
30 000	$30 \cdot 10^{-3}$	$36 \cdot 10^{-7}$	$11,0 \cdot 10^4$
40 000	$40 \cdot 10^{-3}$	$64 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^4$
50 000	$50 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^4$
60 000	$60 \cdot 10^{-3}$	$144 \cdot 10^{-7}$	$2,75 \cdot 10^4$
70 000	—	—	$0,7 \cdot 10^4$

теперь можем вычислить величины  $C$ ,  $L$  и  $R$  по уравнению (1) (для примера  $R$  возьмем для  $\omega = 60 000$ );

$$\frac{F H^2}{W_1} = \frac{4 \cdot 10^8}{144 \cdot 10^7} = 2,75 \cdot 10^{13} \text{ (CGS)} = 2,75 \cdot 10^4 \Omega,$$

$$H^2 F = 4 \cdot 10^8 \cdot 1,25 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^2 \text{ (CGS)} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Н},$$

$$\frac{m}{F H^2} = \frac{0,6 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^8} = 0,75 \cdot 10^{-12} \text{ (CGS)} = 75 \cdot 10^{-5} \text{ F},$$

таким образом, электрическая схема принимает следующий вид (рис. 28).

Входящее сопротивление, измеренное из точек 1, равно:

$$U = \frac{\omega^2 L^2 R + j \omega L R^2 (1 - \omega^2 L C)}{R^2 (1 - \omega^2 L C)^2 + \omega^2 L^2}.$$

Мощность, воспринятая сопротивлением  $U_2$ , пропорциональна величине

$$\rho = \frac{\omega^2 L^2 R}{R^2 (1 - \omega^2 L C)^2 + \omega^2 L^2}.$$

Так как  $\frac{1}{LC} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-7} \cdot 75 \cdot 10^{-5}} = \frac{10^{12}}{375} = 26,6 \cdot 10^8$ , то

полная характеристика при  $\omega = \sqrt{26,6 \cdot 10^8} = 52 000$  имеет ярко выраженный максимум (при  $\omega = 52 000$ ,  $R = 4 \cdot 10^4$ ).

Необходимо обратить внимание на то, что, несмотря на ничтожно малую массу нити, она оказывает большое влияние на резонансную частоту. Стоит только увеличить длину нити в  $2^{1/2}$  раза, как резонансная частота становится равной  $\omega \approx 40 000$ .

Нетрудно видеть, что чем большее напряжение вызывает нить, тем меньше коэффициент податливости и тем выше лежит резонансная частота колебания. Все приведенное говорит за то, что дюралюминевая нить имеет значительное преимущество перед стальной или медной.

Посмотрим, что же будет при демпфировании нити маслом. Благодаря тому что нить колеблется в масле, увеличивается, во-первых, масса нити на величину массы масла, колеблющегося совместно с нитью, и во-вторых, увеличивается сопротивление излучения.

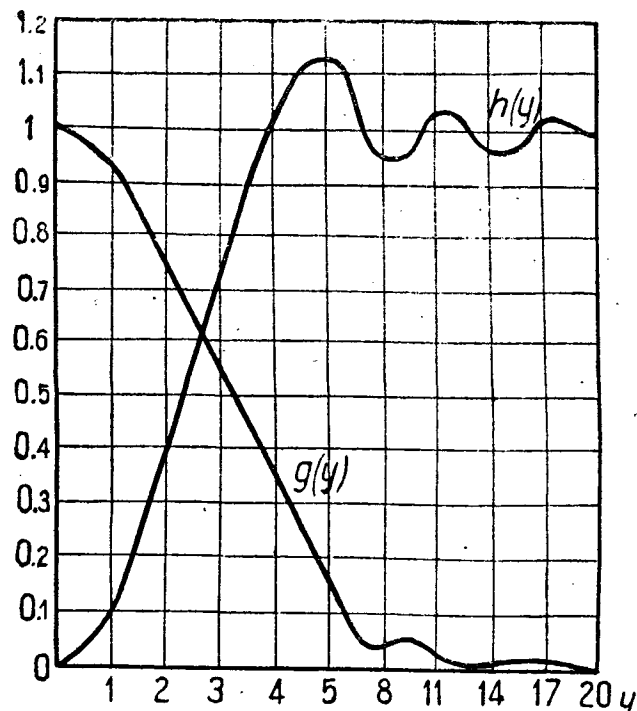


Рис. 31

Увеличение массы понизит резонансную частоту, а увеличение сопротивления сгладит резонансную кривую.

Пользуясь уравнениями Rayleigh, найдем сопротивление  $W_1$  и затем вычислим  $R$  (табл. 2).

Таблица 2

$\omega$	$W_1$	$R$
500	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$2,35 \cdot 10^{-6}$
5 000	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,35 \cdot 10^{-4}$
10 000	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$0,53 \cdot 10^{-4}$
20 000	$30 \cdot 10^{-5}$	1 300
40 000	$120 \cdot 10^{-5}$	330
50 000	$200 \cdot 10^{-5}$	200
60 000	$280 \cdot 10^{-5}$	140

Резонансная частота будет теперь лежать около  $\omega = 40 000$ ; причем здесь  $R = 330 \Omega$ . Отсюда ясно видны все преимущества осциллографа без масла, что вполне подтверждается и практикой, ибо устанавливающиеся процессы, которые хотели устранять маслом, на осциллограммах и в звуке не наблюдаются.

В качестве второго примера рассчитаем резонансную кривую обыкновенного электромагнитного телефона.

Символическое изображение механической системы телефона по рис. 29 изображено на рис. 30. Здесь  $F_1$  — коэффициент податливости мембраны,  $m_1 = m + m_s$  —

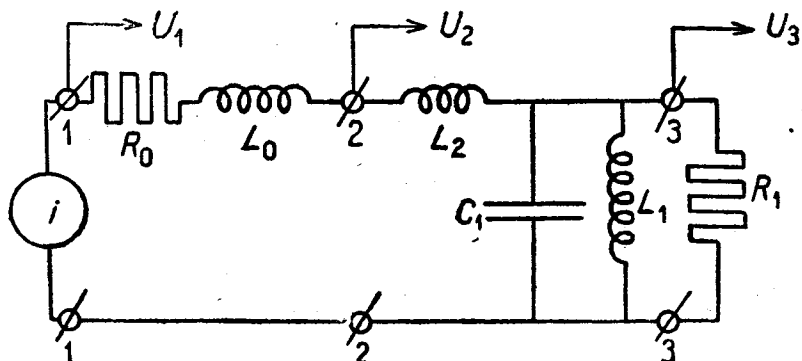


Рис. 32

масса мембраны, сложенная с совместно колеблющейся массой воздуха,  $W_1$ —сопротивление излучения,  $F_2$ —коэффициент податливости объема воздуха в телефонной капсуле (между мембраной и стенками капсулы).

$m_s$  и  $W_1$  вычисляем по формулам Rayleigh:

$$m_s = \frac{8}{3} \rho r_0^3 g(y) \text{ и } W_1 = u \rho \pi r_0^2 h(y),$$

где  $\rho$ —плотность воздуха,  $u$ —скорость звука в воздухе,  $r_0$ —радиус мембраны, равный 2,6 см,  $h(y)$  и  $g(y)$ —некоторые функции от  $y = 2 \frac{r_0}{u} \omega$ , вычисляемые по кривым рис. 31.

$$F_1 = 10^7 \text{ см/дина},$$

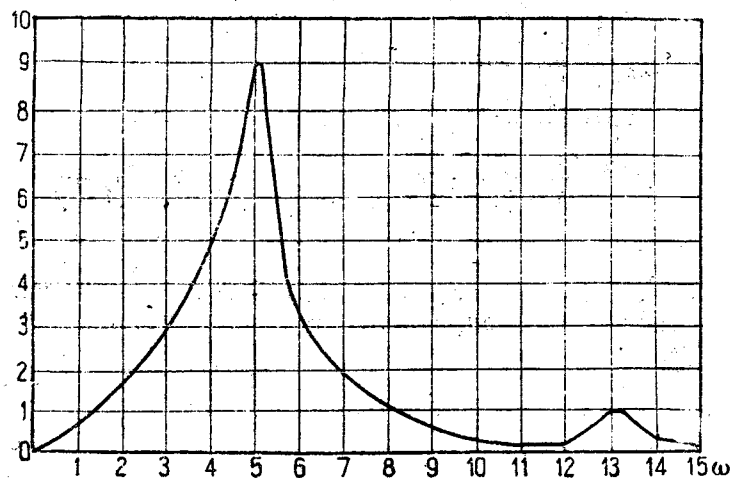


Рис. 33

Для расчета  $F_2$  предположим, что сжатие и расширение воздуха, находящегося в капсуле, происходит адиабатически по формуле

$$PV^\alpha = P_0 V_0^\alpha,$$

где

$$\alpha = \frac{C_p}{C_v} = 1,4.$$

Тогда

$$\frac{1}{F_2} = \frac{\alpha (\pi r_0)^2 P_0}{V_0}.$$

Здесь  $P_0$  равно одной атмосфере, или 1 033·981 дина/см²,  $V_0$ —объем воздуха в капсуле, причем  $V_0 = 11 \text{ см}^3$ ,  $r_0 = 2,6 \text{ см}$ .

Следовательно,

$$F_2 = \frac{11}{1,4 (\pi \cdot 2,6)^2 \cdot 1 033 \cdot 981} = 1,6 \cdot 10^{-8} \text{ см/дина}.$$

При протекании тока  $i$  по обмотке телефона сила  $P_1$ , благодаря которой мембрана отклоняется из своего нормального положения, равна  $P = ki$ , где

$$k = 0,5 \frac{\pi \xi^2 Q}{b}, \quad \xi \text{—число витков телефона (около}$$

1 000),  $Q$ —поперечное сечение полюсного наконечника (равное 0,6 см²),  $b$ —расстояние между мембраной и полюсным наконечником (равное 0,2 см). Тогда

$$k = 0,5 \frac{3,14 \cdot 10^6 \cdot 0,6}{0,2} = 4,8 \cdot 10^6.$$

При колебании же мембраны под действием сторонней силы в обмотке телефона возникает  $e = kv$ , где  $v$ —скорость колебания мембраны.

$$C_1 = \frac{m_1}{(480 \cdot 10^4)^2},$$

$$L_1 = F_1 (480 \cdot 10^4)^2,$$

$$R_1 = \frac{(480 \cdot 10^4)^2}{W_1},$$

$$L_2 = F_2 (480 \cdot 10^4)^2.$$

Таким образом имеем электрическую схему рис. 32, где  $R_0$  и  $L_0$ —сопротивление и индуктивность обмотки телефона при заторможенной мембране;  $U_3$ ,  $U_1$ —кажущиеся сопротивления в точках 3-3, 2-2 (причем  $U^2 = R_1$ ).

Коэффициент полезного действия по этой схеме

$$\eta = \frac{|U_2|^2}{R_1 |U_1|^2}.$$

Вычислив  $U_3$ ,  $U_1$  и  $R_1$  при различных частотах, получим частотную характеристику, т. е. величину  $\eta$  в зависимости от частоты.

Результаты подсчетов усматриваются из табл. 3 и 4.

Табл.

$\omega$	$R_0$	$\omega L_0$	$m_s$	$W_1$	$C_1$
1 000	150	42	0,47	40	$2,35 \cdot 10^{-3}$
2 000	180	85	0,47	160	$2,35 \cdot 10^{-3}$
4 000	240	170	0,42	540	$2,10 \cdot 10^{-3}$
5 000	260	200	0,40	1 080	$2,00 \cdot 10^{-3}$
6 000	295	250	0,38	1 440	$1,90 \cdot 10^{-3}$
8 000	360	340	0,30	2 350	$1,50 \cdot 10^{-3}$
10 000	400	400	0,26	2 900	$1,30 \cdot 10^{-3}$
12 000	470	500	0,19	3 600	$0,95 \cdot 10^{-3}$
13 000	510	550	0,15	3 700	$0,75 \cdot 10^{-3}$
14 000	530	590	0,14	3 700	$0,70 \cdot 10^{-3}$

Таблица 4

$\omega$	$ U_1 $	$ U_2 $	$\eta\%$
1 000	156	0,96	0,7
2 000	173	10,58	1,8
4 000	236	125	4,6
5 000	257	533	9,0
6 000	284	229	2,7
8 000	359	140	0,78
10 000	415	58	0,25
12 000	512	56	0,145
13 000	568	212	1,00
14 000	608	84	0,166

Таким образом частотная характеристика имеет максимум: первый обусловливается свойствами мембраны, а второй—объемом воздуха в капсуле и свойствами мембраны.

Сравнивая полученную кривую по рис. 33 с известными по измерениям, замечаем их совпадение.

## К исследованию свойств эмалированных светильников

Инж. Н. Н. Ермолинский

ВЭИ

вместии с действующими правилами освещения во многих, как например, при освещении улиц, площадей, открытых работ и т. д. в основном требуется создание заданной яркости на горизонтальной плоскости, все точки которой в равном смысле равноценны. Поверхности вертикальные, расположенные над данной плоскостью, либо отсутствуют, либо не входят в расчет.

В этих случаях экономика освещения, диктующая наилучшее использование светового потока при наименьшей затрате энергии, приводит осветителя к стремлению распределить весь поток на плоскости так, чтобы освещенность во всех точках была равномерной и близкой к заданной (распределение без потерь). Затрачиваемый при этом поток будет наименьший.

Экономической и теоретической точек зрения можно установить, в какой мере эмалированные светильники, как единственные нашедшие в Союзе широкое распространение, удовлетворяют поставленным условиям. Приведенное ниже исследование доказывает, что получение равномерной освещенности симметричными светильниками при отсутствии других вспомогательных поверхностей возможно только в узких пределах и при весьма низком коэффициенте использования, т. е. в установках для освещения открытых пространств, а в помещениях с темными стенами при больших высотах подвеса, применение эмалированных светильников заведомо неэкономично, и им должны уступить место более совершенные зеркальные и призматические арматуры.

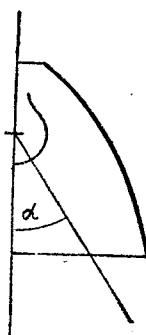


Рис. 1

Чем выше, качество светильника в рассматриваемом нами случае тем выше, чем больше доля потока источника света, падающая на горизонтальной плоскости в пределах от 0 до угла  $\alpha$  (рис. 1), в пределах которого при данной освещенности светораспределение светильника удовлетворяет усло-

$$I_{\alpha} = \frac{Eh^2}{\cos^3 \alpha},$$

const. Как известно, световой поток симметричного светового источника  $F_{\alpha}$  в телесном угле  $\tau_{\alpha}$ , соответствующем линейному углу  $\alpha$ , выражается формулой:

$$F_{\alpha} = F_{\alpha, \partial} + F_{\alpha, z} + F_{\alpha, \lambda} \quad (1)$$

где  $F_{\alpha, z}$  и  $F_{\alpha, \lambda}$  — потоки диффузной и зеркальной составляющей лампы.

Для равномерного распределения должен удовлетворять условию равномерности на горизонтальной плоскости в пределах от 0 до угла  $\alpha$  для этого случая через соответствующие силы света, что сила света лампы для  $\alpha$  от 0° до 30° меняется по закону:

$$I_{\alpha, \lambda} = I_{\alpha=0, \lambda} \cdot \cos \alpha,$$

фактически только для этих пределов соответствует средней светораспределению газополных ламп мощностью 50 ÷ 500 W, формула (1) может быть представлена в виде:

$$\int_0^{\alpha} \frac{Eh^2}{\cos^3 \alpha} \sin \alpha d\alpha - 2\pi (I_{\alpha=0, \partial} + I_{\alpha=0, \lambda}) \int_0^{\alpha} \cos \alpha \sin \alpha d\alpha = F_{\alpha, z} \quad (2)$$

Полученное после интегрирования (2) выражение имеет при  $Eh^2 = I_{\alpha=0, \partial} + I_{\alpha=0, \lambda}$  следующее решение:

$$\cos \alpha = \sqrt{B - \sqrt{B^2 - 1}}, \quad (3)$$

где  $B = \frac{F_{\alpha, z}}{2\pi(I_{\alpha=0, \partial} + I_{\alpha=0, \lambda})} + 1$ . Из равенства (3), зная коэффициенты

диффузного ( $\rho_{\partial}$ ) и зеркального ( $\rho_z$ ) отражений, легко определить искомый максимальный угол  $\alpha$ , если для  $F_{\alpha, z}$  взять всю зеркальную составляющую потока светильника. Результаты подсчетов в зависимости от диффузной составляющей и защитного угла при  $\rho_{\partial} = 0,60$  и  $\rho_z = 0,05$  и потере потока в держателе около 7% потока голый лампы приведены в табл. 1. Лампа газополная ВЭО 50—500 W.

Таблица 1

Диффузная составляющая в свечах	Угол $\alpha$ в градусах при защитном угле					Примечание
	0°	10°	20°	30°	40°	
60	26	27	28	28	29	Лампа ВЭО газополная 50—500 W
80	—	26	27	28	29	
100	—	—	26	27	28	
120	—	—	—	26	27	

В табл. 2 при тех же условиях даны коэффициенты использования общего потока лампы в пределах найденных углов  $\alpha$ .

Таблица 2

Диффузная составляющая в свечах	Коэффициент использования при защитном угле					Примечание
	0°	10°	20°	30°	40°	
60	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	Лампа ВЭО газополная 50—500 W
80	—	0,13	0,14	0,15	0,16	
100	—	—	0,14	0,16	0,17	
120	—	—	—	0,17	0,19	

Для лампы с зигзагообразной нитью равенство (3) недействительно. Однако при наличии интегральной кривой потока лампы изложенный расчет может быть произведен графо-аналитически непосредственно по уравнению (1).

Подсчеты показали, что максимальные значения углов и коэффициентов использования для лампы с зигзагообразной нитью и прочих данных, как выше, лежат в пределах  $\alpha$  от 23° до 33° и коэффициенты использования от 0,06 до 0,23.

В заключение пользуюсь случаем выразить глубокую благодарность проф. С. О. Майзелю за ряд ценных указаний и советов.

# Объективный фотометр для массового контроля ламп накаливания

Инж. В. Л.  
ВЭИ

Описанный в настоящей заметке фотометр может служить для контроля как светового потока, так и световой отдачи ламп.

Общая электрическая схема прибора представлена на рис. 1. Измеряемую лампу  $L_1$  помещают в шар Ульбрихта  $G$ , перед отверстием которого находится пустотный фотоэлемент  $Ph_1$ . В цепь лампы  $L_1$  включены амперметр  $A$  и реостат  $R$ . Другая лампа („сравнения“)  $L_2$  включена параллельно лампе  $L_1$ . Вольтметром  $V$  измеряют напряжение на обеих лампах. Фотоэлемент  $Ph_1$ , освещенный

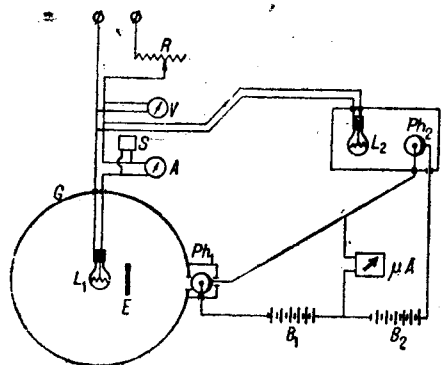


Рис. 1.

поток измеряемой лампы  $L_1$  будет пропорционален  $F_0 - F_1$ . Колебания напряжения сильно сказываются на малой величине  $F_1$ , и, следовательно, отсчет светового потока  $F_0 - F_1$  весьма слабо зависит от напряжения. Оказывается возможным производить установку напряжения с точностью до  $1 \div 2$  V без существенного снижения точности измерений светового потока.

Отсчет светового потока производят на шкале микроамперметра от некоторой постоянной точки шкалы  $F_0$ , приведение к которой выполняется перемещением лампы сравнения  $L_2$  при выключенной лампе  $L_1$ . Шкалу градуируют в процентах от номинального светового потока или в люменах. В шар помещают эталон светового потока и перемещением фотоэлемента  $Ph_1$  добиваются номинального отсчета микроамперметра.

Амперметр  $A$  имеет набор шунтов  $S$ , подобранных таким образом, что прибор показывает мощность ламп каждого типа.

Curt S. mson<sup>1)</sup> в лаборатории Osram использовал для контроля световой отдачи зеркальные микроамперметр и амперметр, установлен-

ные таким образом, что световой пучок объективного мещается ими в двух перпендикулярных направлениях. цели в нашем устройстве было применено оптическое шкал амперметра и микроамперметра. Приборы  $A_1$  и  $A_2$  помещены в фокальных плоскостях объективов  $L_1$  и  $L_2$ . Попадает на линзу  $L_2$ , пройдя сквозь полусеребряную из  $L_1$ , отразившись от нее. В фокальной плоскости  $F$  изображение обоих приборов  $A_1$  и  $A_2$ . Соответственно последней добиваются расположения изображений на рис. 3. Пересекающиеся изображения шкал приборов образуют „вещественный“ прямоугольник длины и светового потока. Углы  $M$  и  $N$  прямоугольника соответствуют большой и малой световой отдаче, отсчитываемой в  $F$  (рис. 2). При массовом контроле сводится к наблюдению точки пересечения  $O$

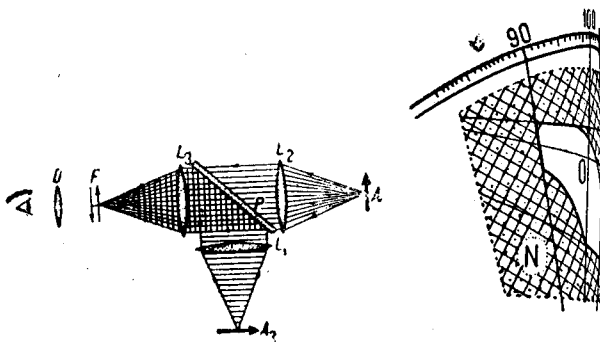


Рис. 2.

Рис. 3.

приборов: если пересечение происходит внутри шкалы допусков—лампа не выходит из норм мощности, световой отдачи. В отличие от прибора фирмы Osram оптическая система позволяет применять обычные приборы.

Автор выражает свою глубокую благодарность проф. бергу и проф. С. О. Майзелю за исключительно отношение к работе и ряд ценных советов.

1) „Licht und Lampe“ № 7, 1931

## Простой фотометрический кубик

Инж. В. Гинзбург, инж. В. Л.  
инж. В. Фабрикант  
Москва

Сложный в изготовлении и поэтому дорогой кубик Луммер-Бродхуна во многих случаях может быть с успехом заменен стеклянным кубиком, изображенным на рис. 1.

Как видно из оптической схемы, граница между полями создается ребром  $B$ , которое должно быть достаточно острым. Углы  $A$  и  $C$  параллелограмма могут быть любыми, в пределах, определяемых показателем преломления стекла (необходимо получить два полных внутренних отражения).

При установлении полей на равенство граница между ними исчезает полностью. Фотометр с описанной призмой в течение года применялся для измерений в оптической лаборатории СВТО ВЭИ. Та же призма использована в люксметре конструкции оптической лаборатории с хорошими результатами.

Изготовление фотометрического кубика доступно любому шлифовальщику. Особое внимание следует обращать на остроту ребра  $B$ , от которого зависит качество границы между полями.

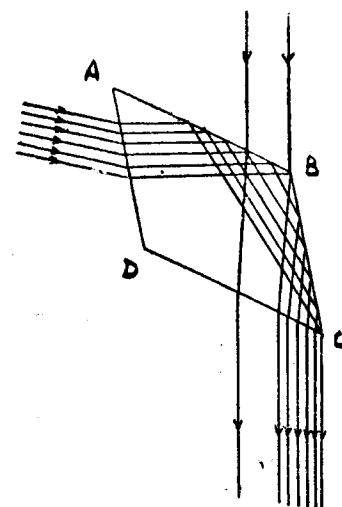


Рис. 1

# К вопросу об освещении посадочных площадок аэродромов

Проф. Б. Ф. Федоров  
ВЭИ

малой длине воздушных линий в СССР со многими ночными посадочными площадками должны иметь хорошее и равномерное освещение. Различение летчиком поверхности происходит при движении самолета. Вследствие отсутствия, характеризующих зрение летчика в этих условиях, при ВЭИ были поставлены специальные опыты по определению начала движения предмета в зависимости от его поверхности. В качестве объекта для наблюдений был принят, окрашенный под цвет травы. Экран, получающий свет от специального осветительного устройства, передвигался навстречу наблюдателю, который должен был указать момент различения движения.

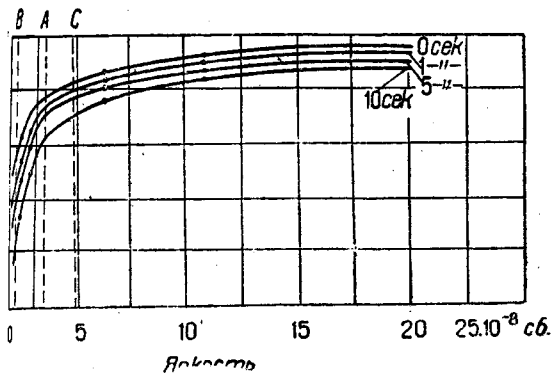


Рис. 1

Результаты измерений (рис. 1) показывают, что перегиб кривых яркости приблизительно  $2 \div 3 \cdot 10^{-8}$  Sb, при которой различается начало движения экрана с расстояния около соответствующей вертикальной освещенности покрова площадки (будет равна  $1.5 \div 2.0$  lx. Как известно, подобную же освещенности требуют также и нормы САСШ 1). Значение световых свойств покровов посадочных площадок по следующим результатам (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты отражений и коэффициенты усиления яркости различных покровов

Покров	Средний коэффициент отражений	Коэффициент усиления
Земля	0,14	1,30
Трава	0,17	1,12
Снег	0,69	0,74

Значение яркости указанных покровов неравномерно (рис. 2, в направлении посадки ( $5^\circ \div 15^\circ$  к горизонту) для травы несколько увеличивается, а для снега — уменьшается.

Для определения величины вертикальной освещенности, расчет освещения посадочной площадки удобнее вести по силе света, принимая во внимание усиление яркости в направлении посадки. Расчет освещенности, как не учитывающий неравномерности освещения, дает неправильные результаты.

Department of Commerce Aeronautic Branch. Notes on Airport Lighting. 1929.

Исследование прожекторов типа СА-60, с лампой мощностью 1 kW показало малую пригодность таких прожекторов для целей освещения посадочных площадок вследствие недостаточной силы света, не превосходящей в испытанных образцах 220 000 св. Соответ-

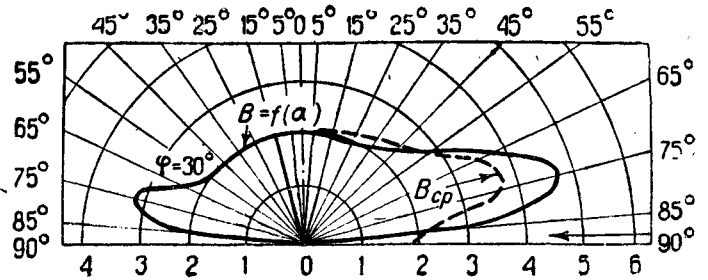


Рис. 2

ствующие подсчеты и измерения на опытной установке, оборудованной на одном из аэродромов, показали, что для создания требуемого освещения необходима установка не менее 24 прожекторов, осуществление которой затруднительно.

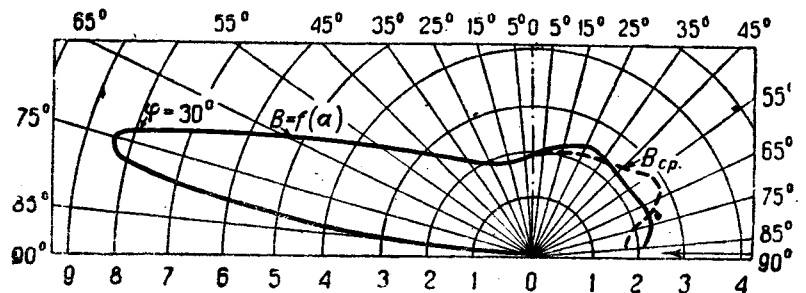


Рис. 3

Результаты работы по освещению посадочных площадок, выполненной в ВЭИ в 1931—1932 гг., приводят к следующим основным выводам:

1) необходимо немедленно приступить к изготовлению ламп прожекторного типа мощностью 3,5 и 10 kW,

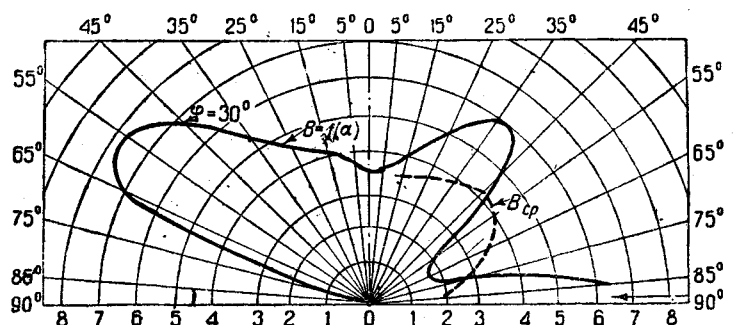


Рис. 4

2) начать разработку осветительного прибора, дающего лучший коэффициент использования.

Только при выполнении указанных задач возможно обеспечить надежность и безопасность ночных посадок.

# НОРМЫ И СТАНДАРТЫ

## Общесоюзный стандарт на электрические лампы накаливания

Инж. П. А. Алаторцев и инж. И. П. Макаров  
Электrolамповый завод комбината „Электросталь“

Табл.

Размеры ламп

Номинальное напряжение, В	Номинальная мощность, W	Диаметр, D	Допуски для диаметра колбы, ±	Полная длина лампы, L	Допуски для полной длины лампы, ±	Высота светового центра, H
110	15	60	1	103	4	73
	25	60	1	103	4	73
	40	65	1	120	4	88
	60	65	1	120	4	88
	100	75	1	155	4	118
	120	75	1	155	4	118
	127	75	1	155	4	118
	200	95	1,5	200	5	153
	300	110	1,5	235	7	180
	400	130	1,5	250	8	185
220	500	130	1,5	250	8	185
	750	165	2	335	8	253
	1 000	165	2	335	8	253
	1 000	165	2	335	8	253

**Примечание.** Высотой светового центра является расстояние от геометрического центра проекции тела лампы на вертикальную плоскость, проходящую через ось уровня поверхности контактной пластинки цоколя. В 15 W согласно § 1А изготавливаются лишь на напряжениях 120 и 127 В. 3. Указанные в табл. 1 полная длина светового центра лампы в 300 W относится к лампам Е-40; при изготовлении с цоколем Е-27 полная длина светового центра лампы в 300 W составляет соотношения 230 и 175 мм.

§ 5. Колба должна быть без носика. Стекло для колбы должно быть чистым, без изъёмов и дефектов (камней, резких свищей, пузырей).

§ 6. Размер, форма и свойство цоколя должны соответствовать особому стандарту. Лампы мощностью до 300 W имеют цоколь Е-27, а лампы от 300 W и выше изготавливаются с цоколем Е-40 (лампы мощностью в 300 W могут изготавливаться с цоколем Е-27 и Е-40). Цоколь должен быть плотно прикреплен к лежащей тепло-влажностойкой мастикой или путем надежного ханического крепления. Крепление цоколя в колбе должно быть достаточно прочным, не допускающим отделения цоколя при приложении к цоколю скручивающего момента, не нарастающего до максимум 0,3 кг/м для новых ламп и до 1 кг/м для ламп к моменту окончания нормального срока службы (1 000 час.).

§ 7. Электроды должны быть прочно припаяны без изъёмов на цоколе. Пайка в контактной пластинке должна впасть в соответствующем отверстии, вполне залитом обеспечивающим достаточный контакт с патроном.

### В. Маркировка и упаковка

§ 8. На лампах (колбе или цоколе) должна быть отчетливая маркировка с указанием номинального напряжения, номинальной мощности, даты изготовления (год и месяц) и фабричного клейма.

§ 9. Каждая лампа упаковывается в индивидуальные пакеты из гофрированной бумаги, снабженные этикеткой с указанием типа и фабричного клейма, или завертывается в гофрированную бумагу с последующей заверткой в оберточную бумагу, которой обозначается ОСТ 5154, тип и фабричное клеймо. Лампы мощностью до 200 W упаковываются в картонные коробки: лампы до 60 W по 100—125 шт. и в 150 и 200 W по 10 шт. в коробке.

Лампы мощностью свыше 200 W упаковываются в ящики.

Лампы в 300 W по 30 шт., 400 и 500 W по 15 шт., 750 W по 10 шт. в ящике.

### Г. Правила приемки

1. Отбор проб и браковка. § 10. Для оценки размеров электрических и механических свойств согласно § 3, 4, 5, 6 и 7, для опробования под напряжением отбор проб и браковка проводится следующим образом: из предназначенной к сдаче отбирается группа ламп в 5% от общего их количества.

Освоение новой техники массового производства электрических ламп, достигающего в 1933 г. выпуска 57 000 тыс. штук по „Электросталь“ и 12 000 тыс. штук по заводу „Светлана“, выдвигает перед электропромышленностью страны наряду с другими проблемами проблему разработки и освоения ряда новых стандартов электрических ламп, подробно регламентирующих их качество на основании современных требований советского и мирового рынков. Введение всякого нового стандарта в условиях Советского союза является новым шагом борьбы за новые технические показатели. Введение ОСТ 5154, приходящего на смену ОСТ 195 является борьбой за экономию электрической энергии, т. е. повышением световой отдачи лампы, за снижение эксплуатационных расходов по освещению, т. е. значительным увеличением срока службы лампы, и за освоение новых более совершенных конструкций, позволяющих почти исключить применение импортных материалов. Вопросы, связанные с разработкой ОСТ 5154, уже освещались в литературе<sup>1)</sup>, и поэтому в задачи настоящей статьи входит исключительно освещение вопросов, связанных с изменениями, внесенными в опубликованный ранее проект, и с освоением стандарта в производстве.

4 мая 1933 г. Всесоюзный комитет по стандартизации утвердил окончательную редакцию ОСТ 5154. В основном эта редакция отличается от проекта стандарта в том, что:

1. Из стандарта исключены напряжения 115; 125; 130; 230; 250 В и оставлены напряжения 110; 120; 127; 220 В. 2. Лампы мощностью 50 и 75 W исключены из стандарта. Лампы мощностью 15 W должны изготавливаться только для напряжений 110, 120 и 127 В. 3. Унифицированы размеры ламп мощностью 15 и 25, 40 и 60 W, сокращена длина ламп мощностью 200 и 300 W на 5 мм, с соответствующим уменьшением высоты светового центра. 4. На основании многочисленных лабораторных испытаний расширены пределы для световой отдачи ламп мощностью до 100 W включительно до  $\pm 12$  вместо предусмотренных проектом  $\pm 8\%$ . Соответственно расширены допуски для удельной мощности. Расширены допуски для диаметра колбы:  $\pm 1,5$  мм для диаметра 95, 110, 130 мм,  $\pm 2$  мм для диаметра 165 мм вместо указанного в проекте единого допуска для всех диаметров  $\pm 1$  мм. 5. В разделе „правила приемки“ в зависимости от количества ламп в партии установлено количество ламп, подлежащих испытанию на срок службы. 6. В текст стандарта внесены указания относительно изготовления ламп до 300 W, с цоколем Е-27, 300 W.

Е-27 или Е-40 и ламп большей мощности с цоколем Е-40 опущены данные об изоляции цоколя, так как эти данные помещены в стандарте на цоколя, введены правила упаковки кроме правил маркировки, имевшихся в проекте, и принято иное расположение текста. Ниже приводим окончательный текст стандарта, утвержденный Всесоюзным комитетом по стандартизации при СТО.

Настоящий стандарт<sup>2)</sup> относится к нормальным осветительным лампам накаливания с вольфрамовой нитью, с прозрачной и матированной колбой, предназначенным для параллельного включения в сети переменного и постоянного токов.

**Примечание.** Лампы, предназначенные для экспорта, изготавливаются по специальным заказам экспортирующих организаций.

### А. Классификация

§ 1. Нормальные осветительные лампы накаливания разделяются по мощности и напряжению на

а) Лампы накаливания мощностью 15; 25; 40; 60; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 750 и 1 000 W при напряжении 110, 120 и 127 В;

б) лампы накаливания мощностью в 25; 40; 60; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 750 и 1 000 W при напряжении 220 В.

### Б. Технические условия

§ 2. Для всех ламп предусматривается одна и та же конструкция тела накала в виде спирали.

§ 3. Размеры ламп и высота светового центра с соответствующими пределами отклонения должны соответствовать нормам, указанным в табл. 1, применительно к нормальным цоколям с винтовой резьбой, изготавливаемым по особому стандарту.

### III. Световые и электрические характеристики ламп

§ 4. После предварительного отжига ламп в течение одного часа при номинальном напряжении или в течение 20 мин. при напряжении на 15% выше номинального световые и электрические характеристики должны удовлетворять нормам с соответствующими допусками отклонений, указанными в табл. 2.

Для ламп матированных (изнутри) номинальные значения светового потока и световой отдачи и допустимые пределы отклонений для световой отдачи понижаются на 3%; соответствующим образом изменяются номинальные значения и допустимые пределы отклонений для силы света и удельной мощности.

<sup>1)</sup> „Светотехника“ № 5—6, 7, 1932.

<sup>2)</sup> Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при СТО 8/IX 1932 г. как обязательный с 1/VII 1933 г.

10 шт. Отбор пробных ламп из незапакованных в коробки ведется по указанию приемщика. В случае упаковки из каждого ящика или коробки берется равное количество.

Число неудовлетворительных ламп превышает 20% от отобранного количества, то вторично отбирается 10% от общего количества партии, но не менее 20 шт. для повторной проверки. Если число неудовлетворительных ламп при повторной проверке превышает 10%, то вся партия подлежит забракованию. Если производится не на заводе, то партия бракуется, если число неудовлетворительных ламп при первой проверке превышает 30%, второй 20% от отобранного количества.

Примечание. Термин „группа“ определяет лампы, взятые одной и той же партией для соответствующих испытаний. Термин „партия“ определяет лампы одного класса, предназначенные для одновременной сдачи приемщикам. Термин „класс“ употребляется для определения ламп одинакового типа с одинаковыми номинальными электрическими и световыми характеристиками. Термин „тип“ употребляется для определения ламп, предназначенных для одного и того же применения.

Для оценки начальной мощности светового потока (средней силы света), световой отдачи (удельной мощности) и § 4 отбор проб и браковка производится следующим образом. В случае партии отбирается группа ламп общего их количества в партии, но не менее 10 шт. Отбор ламп из незапакованных в коробки или ящики ведется по указанию приемщика. В случае упаковки ламп в коробки или пробные лампы должны быть взяты поровну из каждого из коробок.

Если 20% отобранных ламп после соответствующего отбора удовлетворяют данным табл. 2, то вторично отбираются того количества приемной партии, но не менее 20 шт. для повторной проверки. Если число неудовлетворительных ламп при повторной проверке превышает 10% взятых пробных ламп, то вся партия подлежит забракованию.

Примечание. Для оценки начальных световых и электрических характеристик могут быть взяты лампы из числа подвергавшихся проверке в размерах, физических и механических свойствах, если они оказались удовлетворяющими этим испытаниям. 2. Основой фотометрического измерения для всех ламп является полный световой поток, излучаемый лампой при номинальном напряжении; однако световые характеристики допускается выражать и в средней сферической силе света численно равной световому потоку, разделенному на 12, 56 (4 П). 3. При измерении световых и электрических величин, надлежит руководствоваться единицами, установленными соответствующими техническими правилами и стандартами.

§ 12. Для испытания на срок службы ламп отбор проб и браковка производится следующим образом:

Из партии до 1 000 ламп отбирается 2%, до 10 000—30 ламп и по 10 ламп с каждой тысячи сверх первой, до 100 000—120 ламп и по 20 ламп с каждого десятка тысяч ламп сверх первого, до 1 000 000—300 ламп и по 40 ламп с каждой сотни тысяч ламп сверх первой.

Отбор пробных незапакованных ламп ведется по указанию приемщика. В случае упаковки ламп в коробки или ящики пробные лампы должны быть взяты поровну из каждой коробки или ящика. Если средний срок службы испытанной группы ламп окажется ниже 1 000 час. (при испытании на номинальном напряжении на 15% выше номинального), то вся партия, из которой взята проба, подлежит забракованию. Партия подлежит забракованию и в том случае, если в испытанной группе число ламп с нормальным сроком службы (1 000 час. при номинальном напряжении или 150 час. при напряжении на 15% выше номинального) окажется менее 50%.

Примечание. Средним сроком службы ламп называется среднее арифметическое из сроков службы всех ламп данной группы. 2. Средним сокращенным сроком службы ламп называется среднее арифметическое из сокращенных сроков службы всех ламп данной группы. Испытание группы ламп на средний срок службы или же на средний сокращенный срок службы мо-

Таблица 2

Световые и электрические характеристики ламп

Номинальные значения					Допускаемые пределы отклонения						Срок службы в часах	Предел уменьше- ния свето- вого пото- ка служ- бы %
Мощ- ность W	Свето- вой поток lm	Свето- вая отдача lm/W	Сила света C	Удель- ная мощ- ность W/C	мощность		световой отдачи		удельн. мощности			
					Наиб.	Наим.	Наиб.	Наим.	Наиб.	Наим.		
					W		lm/W		W/C			
15	124	8.25	9,9	1.52	16,5	13,5	9.24	7.26	1.73	1.36	1 000	20
25	225	9.00	17,9	1.40	27,5	22,5	10.08	7.92	1.59	1.25		
40	380	9.50	30,3	1.32	44,0	36,0	10.64	8.36	1.50	1.18		
60	645	10.75	51,4	1.17	66,0	54,0	11.83	9.68	1.30	1.06		
100	1 275	12.75	101	0.99	110,0	90,0	14.03	11.48	1.09	0.90		
150	2 175	14.50	173	0.87	165,0	135,0	15.95	13.05	0.96	0.79		
200	3 050	15.25	243	0.82	220,0	180,0	16.78	13.73	0.91	0.75		
300	4 875	16.25	388	0.77	330,0	270,0	17.88	14.63	0.86	0.70		
400	6 760	16.90	538	0.74	440,0	360,0	18.59	15.21	0.82	0.68		
500	8 725	17.45	695	0.72	550,0	450,0	19.20	15.71	0.80	0.65		
750	13 690	18.25	1 090	0.69	825,0	675,0	20.08	16.43	0.76	0.63		
1 000	19 000	19,00	1 513	0,66	1 100,0	900,0	20,90	17,10	0,73	0,60		
25	191	7.65	15,2	1.64	27,5	22,5	8.57	6.73	1.87	1.47	1 000	20
40	336	8.40	26,8	1.49	44,0	36,0	9.41	7.39	1.70	1.33		
60	540	9.00	48,0	1.40	66,0	64,0	10.08	7.92	1.59	1.25		
100	1 000	10.00	79,6	1.26	110,0	90,0	11,0	9,00	1.39	1.14		
150	1 710	11.41	136,0	1.10	165,0	135,0	12.55	10.27	1.22	1.00		
200	2 510	12.66	200,0	1.00	220,0	180,0	13.82	11.30	1.11	0.91		
300	4 100	13.65	326,0	0.92	330,0	270,0	15.02	12.29	1.02	0.84		
400	5 760	14.40	458,0	0.87	440,0	360,0	15.84	12.96	0.97	0.97		
500	7 560	15.12	602,0	0.83	550,0	450,0	16.63	13.61	0.92	0.75		
750	12 230	16.31	974,0	0.77	825,0	675,0	17.94	14.68	0.85	0.70		
1 000	17 200	17,20	1 370,0	0,73	1 100,0	900,0	18,92	15,48	0,81	0,66		

Примечание. Для собственных нужд электростанций, для ламп заводских цехов, близко расположенных к трансформаторам в 400 В и т. д. допускается изготовление ламп на напряжение 230 В. 2. Номинальным напряжением лампы называется напряжение, выраженное в вольтах, при котором лампа предназначена к работе. Номинальной мощностью лампы называется обозначенная на лампе и выраженная в ваттах электрическая мощность. Номинальным световым потоком лампы называется выраженный в люменах световой поток, который должна излучать новая лампа при нормальном напряжении. Номинальной световой отдачей лампы называется выраженный в люменах на ватт отношение номинального светового потока к номинальной мощности лампы. За номинальную силу

света принята выраженная в свечах средняя сферическая сила света лампы при номинальном напряжении. Номинальной удельной мощностью лампы называется выраженное в ваттах на свечу отношение номинальной мощности лампы к ее номинальной силе света. Средним сроком службы каждой лампы называется выраженная в часах продолжительность горения при номинальном напряжении, исчисленная от начала горения до уменьшения светового потока на 20% по сравнению с начальным или же до перегорания, если лампа перегорит ранее этого срока. Под начальным световым потоком следует понимать световой поток, излучаемый новой лампой после ее предварительного отжига (в течение одного часа при номинальном напряжении, или в течение 20 мин. при напряжении на 15% выше номинального).

Таблица 4

Средние величины мощности по сортам и проценты отклонения от номинала стандарта

W V	Средние величины мощности по испытаниям												Проценты отклонений от номинала стандарта												Средний % отклоне- ний
	15	25	40	60	100	150	200	300	400	500	750	1000	15	25	40	60	100	150	200	300	400	500	750	1000	
110.....	15,2	24,4	38,9	59,4	102,7	147,4	212,5	298,0	404,0	494,0	740,8	1042,0	+1,0	-2,0	-2,5	-0,9	+2,7	-1,7	+6,3	-0,7	+1,0	-1,2	-0,2	+4,2	+0,5
120.....	15,3	24,6	38,5	59,8	102,5	147,5	207,0	287,0	402,0	488,0	783,3	980,0	+2,0	-1,5	-5,5	-0,4	+2,5	-1,6	+3,5	-4,4	+0,5	-2,3	+4,2	-2,0	-0,417
127.....	15,3	24,4	40,6	59,9	103,6	154,2	197,5	301,7	419,0	508,7	734,8	995,5	+2,0	-2,0	+2,0	-0,2	+3,6	+2,9	-1,3	+0,5	+4,9	+1,8	-2,1	+0,5	+0,966
220.....	—	26,5	39,5	60,3	97,2	150,2	193,7	305,0	417,0	515,5	760,2	972,0	—	+6,0	-1,2	+1,0	-2,8	+0,1	-3,5	+1,8	+4,2	+3,1	+1,4	+2,8	+0,608
Средний % откло- нений ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+1,25	+0,125	-1,8	-0,125	+1,5	-0,075	+1,25	-0,7	+2,65	+0,35	+0,825	-0,275	+0,4

Таблица 5

Средние величины светового потока по сортам и проценты отклонения от номинала стандарта

W V	Средние величины светового потока по испытаниям												Процент отклонений от номинала стандарта												Средний % отклоне- ний
	15	25	40	60	100	150	200	300	400	500	750	1000	15	25	40	60	100	150	200	300	400	500	750	1000	
110.....	123	232	365	642	1298	2006	3127	4630	6630	9050	13590	19880	-0,8	+3,0	-4,0	-0,5	+1,8	-7,7	+2,5	-4,9	-2,0	+3,8	-0,7	+4,5	-0,416
120.....	126	224	357	675	1373	2081	3157	4652	6540	8650	13900	19700	+1,8	-0,6	-6,1	+4,7	+7,8	-7,3	+3,5	-4,4	-3,4	-0,8	+1,6	+3,7	+0,041
127.....	123	216	375	631	1302	2180	3100	5110	6840	8920	13883	18950	-0,8	-4,2	-1,3	-2,3	-2,1	+0,2	+1,8	+4,8	+1,2	+2,2	+1,3	-0,1	+0,408
220.....	—	205	332	532	972	1669	2438	4120	6170	8038	12220	17250	—	+7,4	-1,2	-1,3	-2,8	-2,6	-2,8	+0,3	+8,1	+6,2	-0,1	+3,0	+1,183
Средний % откло- нений ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+0,5	+1,4	-3,15	+0,15	+2,25	-4,35	+1,25	-1,05	+0,975	+2,85	+0,525	+2,775	+0,3

Таблица 6

Средние величины световой отдачи по сортам и проценты отклонений от номинала стандарта

W V	Средние величины световой отдачи по испытаниям												Проценты отклонений от номинала стандарта												Средний % отклоне- ний
	15	25	40	60	100	150	200	300	400	500	750	1000	15	25	40	60	100	150	200	300	400	500	750	1000	
110.....	8,4	9,25	9,36	10,68	12,62	14,32	14,71	15,62	16,38	18,28	18,34	18,97	+1,8	+2,8	-1,5	-0,6	-1,1	-1,2	-3,6	-4,8	-3,1	+4,8	+0,7	-0,2	-0,5
120.....	8,26	9,1	9,23	11,3	13,45	14,14	15,2	16,3	16,28	17,7	18,92	20,0	+0,1	+1,0	-2,8	+3,8	+5,5	-2,4	-0,4	+0,5	-3,7	+1,5	+3,8	+5,2	+1,008
127.....	7,99	8,85	9,26	10,66	11,58	14,84	15,56	16,88	16,33	17,66	18,88	19,1	-3,2	-1,7	-2,4	-1,0	-9,2	+2,4	+1,9	+3,8	-3,4	+1,1	+3,5	+0,6	-0,633
220.....	—	7,83	8,43	8,82	9,99	11,1	12,61	13,2	14,89	15,59	16,06	17,7	—	+2,5	+0,3	-2,0	-0,1	-3,3	+0,4	-3,3	+3,3	+3,0	-1,6	+3,0	+0,183
Средний % откло- нений ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-0,425	+1,15	-1,6	+0,05	-1,225	-1,125	-0,425	-0,95	-1,725	+2,6	+1,6	+2,15	+0,01

Таблица 7

Средняя продолжительность горения по сортам и проценты отклонений от номинала стандарта

W V	Средняя продолжительность горения при испытании												Процент отклонений от номинала стандарта												Средний % отклоне- ний
	15	25	40	60	100	150	200	300	400	500	750	1000	15	25	40	60	100	150	200	300	400	500	750	1000	
110.....	1000	1036	1000	1018	1010	950	1150	854	1000	1001	1000	848	0,0	+3,6	0,0	+1,8	+1,0	-5,0	+15,0	-14,6	0,0	+0,1	0,0	-15,2	-1,108
120.....	1016	959	1000	944	970	1000	909	1000	1000	1000	1000	832	+1,6	-4,1	0,0	5,6	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-16,8	-2,325
127.....	1050	1259	1006	1000	1008	1000	1000	958	1000	1000	1000	1000	+5,0	+2,8	+5,0	0,0	+0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+0,95
220.....	—	1008	950	999	1000	1000	1000	1012	934	1006	1000	1000	—	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-0,95

быть прекращено, когда первый достигнет 1 000 час. или 150 час. 3. Выбор метода испытания ламп на срок службы (нормальный или сокращенный) предоставляется в каждом отдельном случае приемщику. 4. Для упомянутых выше испытаний на срок службы должны отбираться лишь лампы, имеющие характеристики которых после соответствующего отжига удовлетворяют табл. 2, и лампы, не удовлетворяющие этим данным, заменяются другими.

#### Д. Методы испытаний

А. Вид тока. Все световые и электрические измерения ламп проводятся при постоянном токе. Испытания на срок службы производятся как при переменном токе с частотой от 40 до 60 Гц, так и при постоянном токе.

Б. Напряжение. При всех испытаниях ламп, имеющих целью измерение мощности светового потока (средней сферической света) и световой отдачи (удельной мощности), напряжение ламп поддерживается постоянным (колебания допускаются в пределах  $\pm 0,5\%$ ) и равным номинальному для данных ламп.

В. Отжиг лампы. Все лампы, предназначенные для проверки световых и электрических характеристик, предварительно подлежат отжигу в течение одного часа при номинальном напряжении или в течение 20 мин. при напряжении на 15% выше номинального.

Г. Электрические измерения должны производиться с точностью соответствующей электрическим правилам и нормам ВЭС для измерительных приборов 1-го класса. Световые измерения должны проводиться с точностью до  $\pm 2,5\%$ .

Д. Испытание ламп на срок службы. Лампы при испытании должны гореть в нормальном положении (вертикально, цоколем вверх). Напряжение при испытании необходимо поддерживать равным номинальному при обычных испытаниях или же повышенному при сокращенных испытаниях, причем временное колебание напряжения не должно превышать  $\pm 2\%$  от установленного для лампы. У ламп, подвергающихся испытанию на срок службы, проводится измерение мощности, светового потока и световой отдачи через каждые 200 час. при обычных испытаниях и через 30 час. при сокращенных испытаниях, пока нить не перегорит. Световой поток не убавится больше чем на 20% по сравнению с начальным значением после предварительного отжига.

З. Примечания: 1. Срок службы каждой лампы вычисляется в предположении, что изменение светового потока в промежутках между двумя смежными измерениями следует в прямолинейной зависимости. 2. При испытании на срок службы не принимается во внимание те лампы, у которых продолжительность жизни сократилась вследствие случайных причин, как-то: внешних механических сотрясаний, включения на несоответствующие напряжения и т. д.

И. Испытание на прочность скрепления цоколя производится специальными приборами, обеспечивающих постепенно нарастающий

крутящий момент до максимума 0,3 кг/м для новых ламп и 0,1 кг/м для ламп, прогоревших 1 000 час.

Президиум ВКС утвердил следующие сроки введения стандарта в производство: 1. Лампы, мощностью 15, 25, 40, 60, 100, 150, 200, 300, 400, 500 W—к 1 июля, 2. 750, 1 000 W—к 1 сентября.

В настоящее время в лаборатории электролампового завода разработаны все сорта ламп по новому стандарту и введено в производство 25 сортов из 47, предусмотренных стандартом (табл. 3).

Таблица 3

W \ V	15	25	40	60	100	150	200	300	400	500	750	1 000
110 . . . . .	x	x	x	x	x	x	x	x	/	/	/	/
120 . . . . .	x	x	x	x	x	x	/	/	/	/	/	/
127 . . . . .	x	x	x	x	x	x	/	/	/	/	/	/
220 . . . . .	—	x	x	x	x	/	x	/	/	/	/	x

Обозначения: / — разработано в лаборатории;  
x — введено в производство.

Средние результаты практических испытаний ламп по новому стандарту в результате лабораторной разработки представлены в табл. 4, 5, 6, 7. Подробный анализ указанных таблиц, на котором не позволяют остановиться размеры журнальной статьи, показывает вполне удовлетворительные результаты первой фазы работы лаборатории завода над стандартом.

На пути внедрения стандарта ОСТ 5154 в производство перед электроламповым заводом возник ряд трудностей, на которых следует заострить внимание советской общественности. Здесь прежде всего следует указать на реальную угрозу недостатка колб стеклокерамическими заводами, не обеспеченными до настоящего времени новыми формами для выдувания колб. Кроме того имеется не менее реальная угроза со стороны завода „Сжатый газ“. ОСТ 5154 предусматривает наполнение ламп всех мощностей смесью аргона с азотом. До настоящего времени завод „Сжатый газ“ не может подавать электроламповому заводу нужного количества аргона даже для меньшего ассортимента. В решении этих вопросов слово принадлежит правлению ВЭО.

В заключение напомним, что перечисленные вначале преимущества нового стандарта выгодно отличают его от ОСТ 195 и, таким образом, внедрение стандарта ОСТ 5154 в производство является одной из новых побед электроламповой промышленности Союза.

## Всесоюзный электротехнический институт

### Работы ВЭИ по изучению разряда в неоне

Положительное свечение разряда в неоне находит все большее практическое применение в виде различных конструкций трубок. В качестве сигнальных огней и рекламного освещения свет неона имеет тем преимущество перед светом ламп накаливания, что не требует фильтров, поглощающих значительную часть энергии. В последнее время намечается применение разрядных трубок для выращивания некоторых агрономических культур.

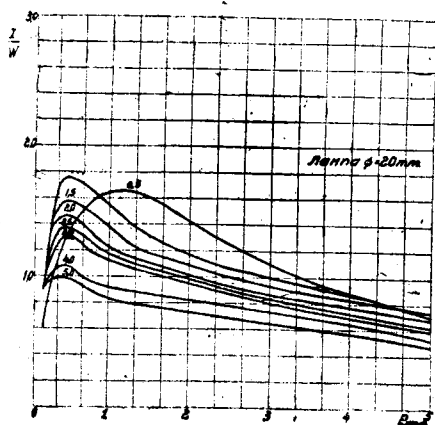


Рис. 1

В целях выяснения и освоения условий горения неоновой разрядной трубки в ВЭИ под руководством В. Н. Клярфельда проведена исследовательская работа, давшая следующие результаты: 1) получена зависимость экономичности и яркости свечения неона от давления газа, диаметра трубки и силы тока; 2) разработан тип оксидного катода на 10—15 А разрядного тока; 3) проработаны схемы зажигания и питания трубок; 4) исследовано влияние примесей аргона и гелия на световую отдачу неона; 5) выяснен ряд вопросов теоретического характера.

При использовании неоновой трубки в качестве источника света важную роль играет ее экономичность свечей (W). Последняя сильно зависит от давления неона, диаметра трубки и плотности тока. Для трубок от 20 до 60 мм диаметром оптимальное давление составляет менее 1 мм рт. ст.

На рис. 1 приведены кривые зависимости экономичности в положительном столбе неона от давления для разных сил тока, относящихся к трубке диаметром 20 мм. С увеличением диаметра трубки при прочих равных условиях растет экономичность разряда, но уменьшается его яркость. Удельное потребление с учетом всех потерь мощности на внешних частях схемы и на накал катодах для трубок 40 мм диаметром приблизительно равно 0,7—0,8 W св.

На рис. 2 даны соответствующие кривые для трубки 20 мм диаметром. Путем усложнения конструкции разработана трубка, дающая более высокую яркость свечения неона, но с меньшей экономичностью.

Для трубок интенсивного горения необходимы оксидные катоды, обладающие богатой эмиссионной способностью и длительным сроком службы. Разработанные в ВЭИ катоды показали вполне удовлетворительные качества. Некоторые трубки с этими катодами горели при силе тока 13—15 А более тысячи часов.

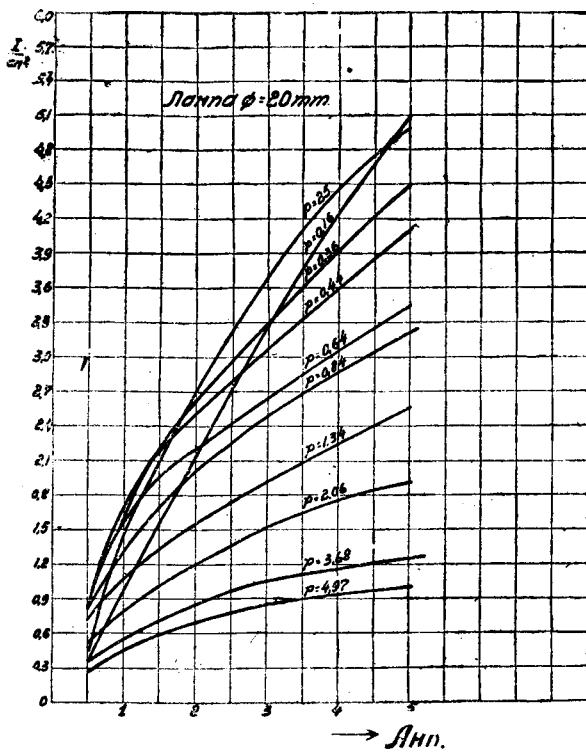


Рис. 2

Схемы питания оказывают существенное влияние на надежность и экономичность установки трубки. Удалось разработать сравнительно удобную схему питания от сети переменного тока 120 В без применения трансформаторов накала. По этой схеме первоначально накаливаются катоды, а затем простым переключением зажигается трубка, после чего зажигательное приспособление автоматически выключается. Нагревание катодов под влиянием падения за ту половину периода, когда катод служит анодом, является достаточным для дальнейшего поддержания течения катодов без отдельного тока накала. Изготовленные образцы, работающие по этой схеме, дают общую силу света, сравнимую с международными свечами. Средняя яркость свечения столба — продолжительность службы порядка — 1 000 час.

Выяснено, что светоотдача не зависит от сорта стекла трубки при низких давлениях неона (до 1 мм рт. ст.) заметно не зависит от температуры трубки. Присутствие примеси аргона до 0,5% снижает существенно светоотдачу неона, снижает потенциал зажигания и делает горение разряда в трубке более устойчивым. Присутствие примеси гелия в пределах 5—10% вызывает повышение светоотдачи до 25—30% и увеличивает яркость свечения. Следовательно, примешивание в указанных количествах неону может быть рекомендовано для улучшения световых характеристик трубок интенсивного горения, так и трубок с холодными катодами.

Очень важным практическим преимуществом трубок с холодными катодами является то, что у них отсутствует непрерывное поглощение газа при разряде, как это имеет место у трубок с горячими электродами.

На основании разбора элементарных процессов в неоновом разряде было дано качественное объяснение для полученных результатов экономичности от различных факторов. Оказалось, что в разряде, при которых возбужденные неоновые атомы, находясь в S-состояниях (два S-уровня —  $S_3$ ,  $S_5$  — являются метастабильными), обладают максимальной устойчивостью, т. е. при большой концентрации атомов в этих состояниях.

Инж. И. М. Ткачев

## ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ

### Электромашиностроение

Е. BINARI, Однофазная нагрузка на трансформатор схемы „звезда-звезда“, „ETZ“ № 43, 1932

В статье описано испытание трансформатора на однофазную нагрузку.

При испытании использован трансформатор схемы „звезда-звезда“ с выведенным нулем. Как известно, данное соединение — наилучшее для однофазной нагрузки. Оно не обеспечивает магнитного равновесия, и намагничивающее действие первичного тока не соответствует размагничивающему действию вторичного тока. Получается излишек намагничивания на  $1/3$  нулевой нагрузки. Он создает поток через воздух или кожух трансформатора. В результате этого имеем дополнительные потери на токи Фуко в кожухе, что ухудшает охлаждение. Одновременно имеем искажение напряжений и смещение нуля.

Чтобы воспрепятствовать прохождению потока через кожух, автор применил специальный „компенсирующий виток“ подобно тому, ко-

торый получил распространение для борьбы с высшими гармониками в потоке.

Результаты испытаний приведены на рис. 1 и 2. При этом соотношение токов в первичной обмотке оказалось 74% вместо ожидаемого 66,6:33,3:33,3%, что объяснимо перекрестными явлениями, в свою очередь влияющего на токораспределение на рабочий ток из-за перенасыщения накладывается значительный ток.

Испытания подтвердили благоприятное действие „компенсирующего витка“. Он значительно снизил потери в кожухе и смещение нуля. Потери в витке при этом незначительны.

Если допустить смещение нуля 3,5%, то пределом однофазной нагрузки является 10% без „компенсирующего витка“ и 20% с „компенсирующим витком“. При допущении смещения нуля 5% пределом однофазной нагрузки является 20% без „компенсирующего витка“ и 30% с „компенсирующим витком“.

Инж. Е. Н. Прикип

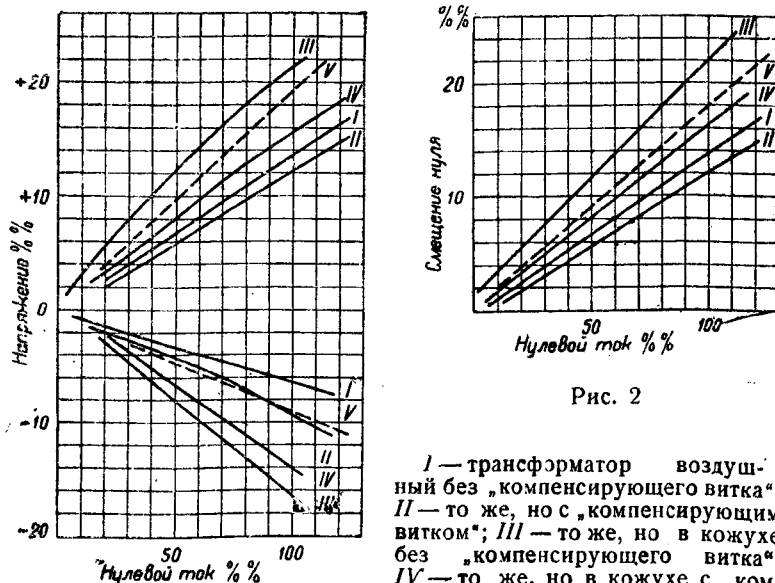


Рис. 2

I — трансформатор воздушный без „компенсирующего витка“; II — то же, но с „компенсирующим витком“; III — то же, но в кожухе без „компенсирующего витка“; IV — то же, но в кожухе с „компенсирующим витком“; V — по расчету на короткое

### Техника высокого напряжения и линия пер

Модернизированные линии безопасности от гроз, „El. W.“ № 25, 25 июня 1933, стр. 820—822

Благодаря установке деионных разрядников на линии Power Co между Clinton и Dubuque (Iowa) не наблюдается выключения, несмотря на проходившие большие грозы. Длина линий 87 км, из них 75 км одноцепных с грозозащитным расположением проводов (расстояние между проводами 12 км двухцепных линий). Изоляция из четырех элементов 254 мм и высотой 146 мм на промежуточных опорах — гирианды — из пяти элементов. Требовавшееся увеличение упорности линий могло быть достигнуто лишь применением нескольких мер. Установку двух тросов не допускала конструкция опор, не рассчитанной на связанные с установкой тросов усилия. Увеличение числа элементов в гирианде не было произведено из-за недостаточности габаритов опоры, а также надлежащей величины сопротивления заземления затруднена ствами грунта. Однако даже при установке двух тросов ишем заземлении ввиду недостаточной изоляции можно было дать от 8 до 10 выключений в год. Поэтому получение изоупорной линии могло быть достигнуто лишь за счет перестройки линии, связанной с большими капитальными затратами. Во время изучения вопроса реконструкции линии, в 1933 году уже появились деионные разрядники, хотя для эксплуатации не имелось. Результаты лабораторных испы

что разрядники не только защищают линию от перекрытия, но и прерывают уже возникшую дугу. В основном прибор состоит из внутренней и наружной фибровых трубок с металлическими электродами по концам. Во внутренней трубке установлен промежуток такой величины, что при всяких обстоятельствах происходит внутри, а не снаружи прибора; чтобы разрядник не находился все время под рабочим напряжением, между ней и верхним концом его создан искровой промежуток (минимум 102 мм и максимальный 127 мм). На верхнем конце укреплены рога, обеспечивающие постоянство величины промежутка при качаниях гирлянды. На нижнем конце предусмотрено вентиляционное отверстие для отвода газов во время разряда. После ряда испытаний было решено установить деионизаторы как наиболее дешевый прибор, дающий в то же время максимум защиты. Над разрядниками был произведен ряд испытаний от источника тока на 60 kV с заземленной нейтралью, при этом короткого замыкания однополюсные, двухполюсные и фазные варьировались от 600 А до 1200 А (симметричная нагрузка). Импульсные испытания производились волной  $1\frac{1}{2}$ —40 мкс с максимумом в 1500 kV. Из приведенных кривых свечения следует, что наибольшее защитное действие получается при более высоких потенциалах. Разрядник должен устанавливаться на каждой опоре, так как в противном случае благодаря разности потенциалов между разрядными напряжениями гирлянды разрядник будет перекрыт незащищенная гирлянда, прежде чем успеет разрядник соседней опоры. При испытаниях промышленной частотой (60 периодов) сухое разрядное напряжение оказывалось в 82 kV и мокрое 82 kV. При испытаниях на разрыв рабочего напряжения и внутренний искровой промежуток закорачивались проволокой и на разрядник подавалось напряжение 38 kV относительно к земле. Ни в одном случае разрядник не отказался работать. После произведенных испытаний разрядники были установлены на линии, и за двухлетний период работы показали отличное защитное действие, сведя к нулю выключения грозозащитного устройства.

Благодаря своей относительной простоте и возможности легкой установки их на уже существующих линиях разрядники данного типа получили распространение на линиях Союза.

Инж. П. Требулев

## Электроматериалы

UZZI, Применение алюминия в электротехнике, "L'Energia Elettrica", 1933, июнь, стр. 479—489 (с 21 рис.)

Д-р Франческо Януцци представляет собой весьма подробный обзор различных случаев применения алюминия как проводника и конструктивного материала в электротехнической практике. Поскольку эта тема уже многократно разрабатывалась в литературе, в частности, читатели "Электричества" уже знакомы со значительной частью материала статьи по ранее помещенным "Электричеству" заметкам, мы ограничимся при реферировании статьи рассмотрением лишь нескольких моментов, до сих пор еще не рассмотренных.

Применение алюминия для линий электропередач продолжает развиваться. В особенности велико его значение для более высоких напряжений: так, все линии 220 kV Италии (Cardano-Cislago-Lavis), линии Maréges-Chevilly, Maréges Monistrol, Kembs-Troyes), большая часть линий 220 kV CACIII (26 линий из общего числа 30) имеют алюминиевые провода. Широко применяются сплавы алюминия—алюбрей, алюминия—алюбрей, хорошо зарекомендовал себя новый сплав алюминия—алюбрей, механическими, электрическими и антикоррозийными свойствами—антикоррозаль.

Свойства телекаля: 1,5% Si; 0,3% Fe; 0,1% Zr; прочее—Al; удельное сопротивление 3,226  $\mu\Omega$  см, прочность на разрыв 35 kg/mm<sup>2</sup>, удлинение при разрыве 5%. Для антикоррозали: 1% Si; 0,35% Fe, 0,6% Mg, прочее—Al; удельный вес 2,71, прочность на разрыв 35 kg/mm<sup>2</sup>, удлинение при разрыве 11—14%, твердость по Бриггсу 90—100; удельное сопротивление 3,7  $\mu\Omega$  см, т. е. проводимость около 49% проводимости меди. Состав французского алюмелека: 0,2—0,3% Fe, 0,7% Mg, прочее—Al; состав итальянского алюбрея: 0,2—0,3% Fe, 0,4—0,5% Mg, прочее в обоих случаях—Al. Для сравнения, что для чистого алюминия следует считать нормальным на разрыв от 8 до 18 kg/mm<sup>2</sup> и проводимость по отношению к меди 61—63%.

Алюминий успешно применяется в аппаратуре электрических измерительных устройств. Реферруемая статья дает выполнение обмоток реакторов и пр. из алюминия.

В статье большое внимание уделяется применению алюминия в кабельной технике (мы имеем в виду изолированные кабельные системы) и разнообразным случаям использования оксидированного алюминия, давая, правда, не слишком много новых сведений. В качестве основных преимуществ проводов с оксидной изоляцией отмечаются: малый вес алюминия по сравнению с медью, допустимость высокой рабочей температуры (до 400—500° C) и возможность работы во влажных помещениях.

В статье сравнение двух выполнений катушки из меди с двойной изоляционной изоляцией и из алюминия с оксидной изоляцией. Размеры катушек одинаковы.

Материал провода	Размер провода $\varnothing$ в мм	Число ампер-перевитков	Число слоев обмотки	Сопротивление обмотки при 20° в $\Omega$	Тока А	Плотность тока А/мм <sup>2</sup>	Вес катушки кг
Медь . . .	1,4/1,7	15 400	20	22,6	4,62	3,0	31,0
Алюминий .	1,6 $\times$ 1,6	15 400	20	21,8	4,61	2,8	14,5

Как видно, получаются весьма благоприятные для алюминия соотношения.

Отметим также все возрастающее применение легких сплавов алюминия для построения вагонов электрических железных дорог.

Инж. Б. М. Тареев

## Аппаратура

Новый реостат с плавной регулировкой „ETZ“ № 6, 1933, стр. 133

Фирмой Reichardt (Берлин) разработан новый тип реостата с плавной регулировкой сопротивления, отличающийся весьма любопытной конструкцией. Многожильный (в случае больших токов) гибкий провод *a* (рис. 1) лежит в винтовой канавке барабана *e*, выполненного из теплоустойчивого изоляционного материала, и переключается при этом вокруг ролика *f* специально подобранной для получения надежного контакта формы. Ось *f* ролика *e* отжимается кверху пружинками, что обеспечивает хороший контакт между роликом и проводом. По концам барабана *b* посажены контактные кольца, по которым скользят пружинящие щетки *c* и *d*. При вращении барабана *b* проволока *a* перематывается через ролик *e* в ту или другую сторону и сопротивление между *c* и *f* и между *f* и *d* изменяется весьма плавно. Переходное сопротивление между *a* и *f* не превосходит 0,0002  $\Omega$ . Реостат выполняется на силу тока до 15 А и получается весьма дешевыми и удобными в работе. Возможно также бифилярное выполнение для устранения влияния индуктивности обмотки.

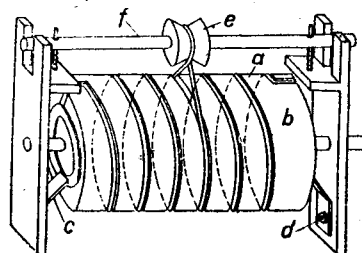


Рис. 1

Инж. Б. М. Тареев

## Разное

Н. Н. SKILLING, Электрические аналогии сложных явлений "El. Eng.", ноябрь 1931, стр. 862.

Некоторые исследователи, желающие создать наглядное представление физической картины явлений, происходящих в электрической цепи, конструируют механические модели, в которых механические характеристики отдельных частей подобраны и связаны между собой по аналогии с электрическими постоянными данного контура; энергия движения частей модели играет роль электрической энергии контура <sup>1)</sup>. За последнее время авторами предложен целый ряд таких „механических аналогий“ <sup>2)</sup>.

При исследовании движущихся механизмов могут быть случаи, когда точное математическое решение вопроса представляет исключительные трудности, приближенные же решения ненадежны и в сугубо ответственных случаях на них нельзя полагаться. Для экспериментальной оценки количественной стороны явлений можно поставить задачу обратную предыдущей, именно, создать электрический контур по аналогии с данным механизмом, в котором благодаря специфическим свойствам электрической энергии можно было бы непосредственно измерить все величины, требуемые постановкой вопроса. Такого рода работа была произведена автором реферруемой статьи для исследования свойств недавно сконструированного приспособления для успокоения крутильных колебаний вала двигателя Дизеля. Эквивалентная схема дизеля, снабженного успокоителем, дана на рис. 1. Здесь *A* — главный маховик, маховик *B* — момент инерции поршней, шатунов и других движущихся частей (в этой же точке к системе приложен пульсирующий рабочий момент), *C* — собственно успокоитель, т. е. маховик, насаженный на вал без шпонки и вращающийся вместе с валом благодаря трению между лейкой вала и втулкой маховика.

<sup>1)</sup> Стремление свести физические явления электричества к явлениям в „аналогических“ механических моделях должно быть оценено, как чисто механическая тенденция в исследовательской работе. Подобные „анalogии“ не учитывают качественной стороны явлений, страдают большим несовершенством и требуют сугубо критического к себе отношения. Ред.

<sup>2)</sup> Механическая аналогия параллельной работы синхронных машин. Стенограмма доклада инж. А. Д. Довжикова (Вестингауз) в ЛЭТИ в 1930 г. См. также статью Durris в журнале Bulletin d'Association Suisse des Electriciens, 1929 № 8, стр. 794.

Опасные напряжения в материале вала могут появиться в том случае, если частота зажигания в цилиндрах станет равной частоте собственных колебаний механической системы. При каждой пульсации поршня вал упруго закручивается на некоторый угол. Если машину снабдить успокоителем, то последний, не успевая следовать за пульсирующими закручиваниями вала, будет проскальзывать по его поверхности и тем самым рассеивать часть энергии колебаний.

Схема электрической аналогии устройства дана на рис. 2. Упругость вала представлена конденсатором  $C$ , самоиндукция  $L$  аналогична моменту инерции маховика  $B$ ,  $C$  и  $L$  представляют колеблющуюся систему, поскольку главный маховик  $A$  можно считать бесконечно большим и не участвующим в колебательном режиме. Масса успокоителя представлена самоиндукцией  $L'$ . Сила трения между успокоителем и валом зависит от рода трущихся поверхностей и от их взаимного давления, но не зависит от скорости их относительного перемещения. Поэтому прибор, представляющий аналогию силы трения, должен иметь постоянное падение напряжения, независимое

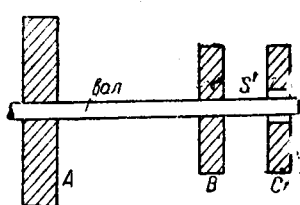


Рис. 1

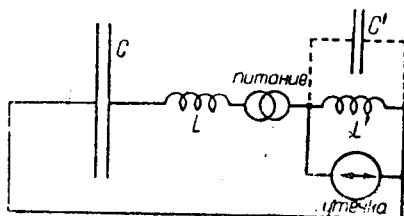


Рис. 2

от тока. Этому условию удовлетворяют некоторые конструкции трубок с тлеющим разрядом в атмосфере разряженного газа <sup>3)</sup>. Такого рода „утечки с постоянным падением“ включается параллельно с самоиндукцией  $L'$ . Автор применял две трубки для пропуска тока в обоих направлениях. Последовательно с каждой из них включался источник постоянного напряжения, которое можно было изменить, прибавляя или вычитая его из падения в трубке. Для питания схемы был применен небольшой альтернатор, скорость вращения и напряжение которого можно было изменять в широких пределах.

Основной целью исследования было выяснение эффективности успокоителя, т. е. его влияние на максимальные значения механических напряжений ( $S$ ) в вале. Эти напряжения чрезвычайно трудно измерить на опыте; аналогичные же им напряжения на обкладках конденсатора  $C$  в электрической схеме определяются простым отсчетом по амплитудному вольтметру. Минимум кривой  $S$ , построенной как функции момента трения  $T$ , во втулке успокоителя (падение напряжения в утечке в электрической аналогии), определяет величину оптимального давления между втулкой и валом. Если строить не  $S = f(T)$ , а  $\frac{S}{M} = f\left(\frac{T}{M}\right)$ , где  $M$  амплитуда приложенного момента

(амплитуда питающего напряжения), то можно избежать обращения с именованными числами; численные значения механических и аналогичных им электрических величин, очевидно, идентичны.

Если участок вала, обозначенный на рисунке через  $S'$ , считать абсолютно жестким, то точное математическое решение задачи, хотя громоздко, но возможно. Исследование аналогии для этого случая было проведено для сравнения полученных данных с данными аналитического расчета. Расхождение оказалось в пределах экспериментальной ошибки. При учете упругости вала  $S'$  аналитический подход к вопросу отпадает и электрическая аналогия при этом приобретает большое значение. Упругость вала  $S'$  в аналогии представлена конденсатором  $C$ . При исследовании такой схемы обнаружено новое, весьма интересное явление, до тех пор неизвестное. Именно, при изменении частоты питающего напряжения, напряжение на обкладках конденсатора  $C$  имеет не один максимум, но три, в зависимости от того, как комбинируются между собой емкости и самоиндукции цепи. В частности, если собственные частоты контуров  $CL$  и  $CL'$  равны, при резонансе реактивное сопротивление контура  $CL$  близка к нулю, а контура  $CL'$  бесконечно велико, ток

<sup>3)</sup> Например неосновной выпрямитель, в котором падение напряжения независимо от тока равно около 80 В. О. Т.

в цепи мал и один максимум пропадает. Два остальных наступают при повышении и пониженной частоте, ничуть не действуя утечки. Опыты с аналогией показали эффективность успокоителя при упругом вале  $S'$ , при абсолютной жестком; упругость его должны составлять 1,10 упругости главного вала.

Инж. П.

### Индукционная печь с ферромагнитным муфелем и электрической регулировкой температуры. L'Usine, Vol. 40, стр.

Печь, сконструированная R. Perrin'ом и V. Sorrel'ем, меняется при наиболее распространенной частоте 50 Hz. Коэффициент полезного действия и ее мощность значительнее, чем у аналогичных ей печей.

Печь состоит из полого ферромагнитного сердечника, является муфелем, находящимся в переменном магнитном поле. Сердечник окружен оболочкой, которая при рабочей температуре является немагнитной, но обладает электропроводностью. Перемагничиванию в муфеле и цилиндре будет вызвано обусловленное токами Фуко и потерями на гистерезис. Так как муфель имеет тепловую изоляцию, то его температура повышается до точки Кюри.

Материалом для муфеля служит сплав железа с 30% никеля. Размеры его следующие: внешний диаметр 150 мм, высота 100 мм, толщина стенок 12 мм.

Муфель окружен оболочкой из никеля, толщина стенок которой 3 мм. Сверх этой оболочки расположен слой тепловой изоляции, и затем расположена намагничивающая индукционная катушка. Поток снаружи замыкается через железный сердечник.

Автоматически поддерживаемая температура в муфеле 960°. Так как температура магнитного превращения никеля 350°, то в интервале от 350° до 960° оболочка является заведомо немагнитной, но не обладает магнитными свойствами.

Таким образом при достижении точки Кюри потери энергии так как исчезнут магнитные свойства и соответственно это значит температура печи. Следовательно, можно подобрать материал, что потери будут равны потерям печи на луче и т. п., и температура печи будет оставаться постоянной.

Используя этот принцип для стабилизации температуры, проделали опыты над печью, сделанной из вышеприведенных материалов.

Изменяя силу тока намагничивающей индукционной катушки, они установили, что при токе 40 А развиваемое количество тепла достаточно для достижения точки Кюри.

Результаты опыта даны в таблице:

Сила тока в катушке А	Температура муфеля t°	Время для достижения установившейся температуры в минутах	cos φ печи установившейся температуры	
			до	после
40	946	250	0,76	0,64
50	955	90	0,73	0,44
80	960	55	0,72	0,34
100	465	30	0,7	0,3
120	972	25	0,68	0,28

Пользуясь этим способом, можно получать стали разных сортов, варьируя температуру от 15° до 1100°, выбирая материал муфеля, изменяя температуру соответствующий материал муфеля, изменяя материал муфеля.

При рабочей температуре ниже 400° никелевый цилиндр является материалом, который в пределах рабочей температуры является немагнитным, но не обладает магнитными свойствами аустенитная сталь.

Инж. П. П.

ОНТИ—ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Технич. редактор Г. Г. Андреев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: инж. Е. С. Аватков, проф. В. И. Вейд, инж. В. И. Завен, инж. М. Н. Грановская, инж. Я. А. Климовицкий, ак. Кржижановский, инж. И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, инж. Сазонов, проф. М. А. Шателен, проф. Я. Н. Шнильрейс.  
ОТВ. РЕДАКТОР инж. Н. А. Сазонов

Сдано в набор 1/X—33 г., подписано к печати 2/XI—33 г. Бумага 62×94. Печатных листов 7. Печатных знаков в

Уполн. Глав. В—70762

Москва, типография Госбанка СССР, Неглинная, 12.

Зак. 4219

# О Б Ё Я В Л Е Н И Е

В целях наиболее полного удовлетворения нужд промышленности и учебных заведений в энергетической литературе Госэнергоиздат приступает к проработке **проекта темплана** на 1934 г. по научно-исследовательским институтам, вузам и ведущим предприятиям. Энергоиздат просит все заинтересованные организации, предприятия и отдельных лиц сообщить не позже 1 ноября, свои замечания, список авторов и темы, которые они считают необходимым включить в темплан издательства.

**Замечания и предложения направлять по адресу:**  
**Москва, центр, Неглинный проезд, 6/2, ЭНЕРГОИЗДАТ.**

Предприятия и отдельные лица, не получившие еще проекта темплана на 1934 г., могут затребовать его (бесплатно) по тому же адресу.

**ЗА ЛУЧШУЮ ПРОРАБОТКУ ПРОЕКТА ТЕМПЛАНА УЧРЕЖДЕНИЯ И ПРЕДПРИЯТИЯ БУДУТ ПРЕМИРОВАНЫ БИБЛИОТЕКАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:**

<b>I</b>	<b>премия — библиотека . . .</b>	<b>200 томов</b>
<b>II</b>	<b>„ . . .</b>	<b>150 „</b>
<b>III</b>	<b>„ . . .</b>	<b>100 „</b>

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

О Н Т И

Энергоиздат

**ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА 1933 год**  
**на ежемесячный научно-технический журнал**

## „ТЕПЛО И СИЛА“

орган Главэнерго

**9-й ГОД ИЗДАНИЯ**

**12 НОМЕРОВ В ГОД**

### ПРОГРАММА ЖУРНАЛА:

Вопросы проектирования станций высокого давления и теплоэлектроцентралей. Тепловые схемы станций. Советские конструкции турбин высокого давления, высоких температур и большой мощности. Теплофикационные турбины. Стандартизация схем турбинных установок. Советские котлы высокого давления и большой паропроизводительности. Вопросы экранирования. Стандарты котлов и разработка типовых котельных агрегатов. Котлы с естественной и принудительной циркуляцией. Сжигание низкосортных местных топлив. Топливоподача. Топливоприготовление. Золо- и шлакоудаление. Золо- и сероудаление. Стандартизация топочного оборудования. Водо- и воздухоподогреватели. Аккумуляторы. Советские конструкции и стандартизация водоочистителей, деаэраторов, фильтров, испарителей, уфформеров и насосов. Типовые схемы теплового контроля. Измерительные приборы. Вопросы теплофикации промышленности. Схемы тепловых сетей. Типовые расчеты сетей. Теплопроводы. Изоляция. Монтаж турбинного и котельного оборудования. Наладка и пуск оборудования. Обмен эксплуатационным опытом. Вопросы подготовки кадров. Аварии теплосилового оборудования и методы их ликвидации. Хроника. Научно-техническая информация. Критика. Библиография.

### ЖУРНАЛ РАССЧИТАН:

на инженеров, техников, учащихся вузов, научно-исследовательские институты, проектирующие организации.

### ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год—18 р., на 6 мес.—9 р. Отдельный номер—1 р. 50 к.

Подписка принимается во всех почтовых отделениях, у письмоношцев, во всех отделениях и магазинах КНИГОЦЕНТРА

Розничная продажа производится во всех киосках Союзпечати

Вологодская областная универсальная научная библиотека

# ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 г. НА ЖУРНАЛ „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

**Год издания 54-й**

Орган союзных электро-  
энергетических учрежде-  
ний и организаций (ВЭО,  
Главэнерго НКТП СССР,  
Энергетического инсти-  
тута, Академии наук  
СССР и ВЭК)

20 номеров в год

**Подписная цена:**

на 12 мес. . . . . 24 р.  
на 6 мес. . . . . 12 р.  
Отдельный номер 1 р. 20 к.

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

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

**Подписка принимается** во всех магазинах и отделениях Книгоцентра, у писмоношцев и в ПОЧТЕ. Розничная продажа производится во всех киосках Союзпечати

# ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 год НА ЖУРНАЛ ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И ЭЛЕКТРОМОНТЕР

орган Всесоюзного электротехнического объединения ВЭО

**10 номеров в год**

**Год издания 11-й**

**Задачи журнала:** освещение вопросов монтажа и применения электротехнического оборудования в различных отраслях народного хозяйства. Популяризация знаний в области электротехники сильных токов. Обмен опытом между работниками электромонтажей и электрохозяйства. Информация о достижениях союзной электропромышленности. Информация о новостях иностранной техники в области электрификации и сильнотоочной промышленности.

**Журнал рассчитан:** на квалифицированных электромонтеров, студентов, младший и средний техперсонал.

**Подписная цена:** на год 7 р. 20 к.; на 6 мес. 3 р. 60 к. Отдельный номер—72 коп.