

21.3(05)

Э45

36745

1920—1940

Р. С. Ф. С. Р.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ

Высшего Сов. Нар. Хозяйства.

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

План электрификации

Р. С. Ф. С. Р.

Доклад 8-му Съезду
Советов

Государственной Комиссии по Электрифи-
кации России.

“ “ “

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА, Мясницкая, 1. Тел. 2-56-34

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

СОДЕРЖАНИЕ

Письмо И. В. Сталина В. И. Ленину о плане ГОЭЛРО	1	Юров Ю. Я. и Смирнова А. А.— Гашение дуги переменного т	1
Графтико Г. О.— Реальное строительство социализма	3	в магнитном поле	1
Круг К. А.— От ГОЭЛРО — к сталинским пятилеткам	3	Щетинин И. П. и инж. В. Г. Никитин — Передвижная газогене	1
Шателен М. А.— Как создавался план электрификации Северного	4	торная электростанция мощностью 40 kW	1
района	4	Коновалов В. Н.— Лесовозный электровоз переменного тока норма	1
Смирнов М. А.— Как работала Комиссия ГОЭЛРО	7	ной частоты	1
Стекольников И. С.— Пути развития грозозащитных установок	14	Атабеков Г. И.— Измерение напряжений на высокой стороне си	1
Айзенберг Б. Л., Карасик М. Н., Медведевский М. И.— Замкнутая	18	вого трансформатора с помощью трансформаторов напряже	1
сеть без сетевых автоматов	18	установленных на низкой стороне	1
Штейнберг С. В.— Теория и расчет противодействия дуги в импульс	23	Бобов К. С.— Точность работы авиационных регуляторов напряже	1
ном выключателе	23	Старун В. А.— Электронная стабилизация напряжения	1
Ливниченко Н. Н.— Управление высоковольтными выключателями	27	Чухин Н. К.— Метод экспериментального определения активн	1
Дьяченко Д. Г.— Питание приводов выключателей при помощи нон	31	и реактивных сопротивлений прямой и нулевой последователь	1
ных выпрямителей	31	ностей трансформаторов с одной доступной нулевой точкой	1
Маерович Э. А.— Метод операторного решения краевых задач электро	32	Библиография	1
техники, основанный на применении рядов Фурье	32	Рефераты	1
Толстов Ю. Г.— Применение асинхронных генераторов, возбуждае	40	Указатель статей и рецензий, помещенных в журнале „Эле	1
мых со стороны ротора, при передаче электрической энергии	40	чество“ в 1940 г.	1
на большие расстояния	40		

3.
Тесно реальное и единственное
возможное при данных условиях
технически-производ-
ственной базы. Помня
прошлогодин план "Трау-
кам (св. Тезисы) / координи-
ного возрождения" России
на основе массовой приме-
нения к обломкам доверия
и промышленности ^{труда} ~~незамени-~~
повальной кресованной раб-
те-массы (трударии). Ка-
кое улучшение, какие ста-
ности в сравнении с планом
Гозиро! Средневековой ку-

5) защита ваз снабженности и самого снабженца и пр.

4) Так как у раба-
нов империи все фор-
миф качества, все же не
фаворит здорового практи-
цизма (зубофурер в старей-
шеобразии императоров), в
обязательности в нем
судно коммиссии к ним по-
дсе живой практики, ~~содержа-~~
Генеральный по принципу
"исполнение догмат", "вспомо-
ните к сроку" - при

5) Одъезд „ проезд „ испол-

3/ стирю, возмывший
~~свои~~ свои и безновские
герои, призывающие
„спасти“ Россию сагой сра-
рической... А того сраго
действия „единых планов“
подвизающиеся Голдано вни-
ши печати на позор нам,
— дельский лист прихто-
вишек... Или еще: обхва-
тывающий „реализм“ (на самом
деле ~~маниловщина~~ маниловщина),
Рогатова, все еще „кричи-
щего“ Готаро и по чужим
погрязшим в рутине...

б) стили", особенно. "Жанна.
Жанна" замечает полупризра
иной "плана декоративиза-
ции" как в основном, так
и в конкретности, киево-
восточной отделенной обители,
наиболее то существует Жанна
Адела "единицы" тождествен. план,
- это "план декоративиза-
ции" в все остальные
"планы" - единичные, тождественные,
нечеткие и вредные.

Ben Garrison

[illegible]

✓ Not unusual:

- 1) не брать бомбы на одной мануфактуре на фабрику о плане;
- 2) начать немедленно практически приступ к делу;
- 3) интересам этого приступа поглотить по крайней мере $1/3$ нашей работы ($2/3$ чистоты и "чуждой" работы / по ^{и работе} ввозу материалов, возмещение затрат предприятия, расширение работы сил, государственное продовольствие, органи-

Жестко реальных и сдвинутых
Возможности при колоссальной це-
ловити) — железно-производ-
ственной базе. Помните
прошлого: «плен» Тру-
кам (сж. Жесто), колоссаль-
ная «возрождения» России
на основе массовой привив-
ки) к обломкам доверши
Крошечности ^{труда} ~~нехватки~~ ^{нехватки} ~~нехватки~~
повышения красовых рав-
но-массы (трударии). ка-
кая убожество, какой отста-
нот в сравнении с план-
Годиро! Средневековья кч

- 5) зашии баз снабженны и
самого снабженны и пр.
Итак как у работни-
ков не прот при всех форм
и ф. качества, все же не
фварт здоровия практик
цнзма (будущее в стародк
председатели ипотенство), в
обязательно введе в план
суро комиссии к ним по-
дси живот практики, ~~состав~~
генерализующих по принципу
"исполнение довести", "выпол-
нить к сроку" и пр.
- 5) Обязат. кривизн "извл-

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

12

1940

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1880 Г.

ДЕКАБРЬ

ОРГАН НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ И АКАДЕМИИ НАУК СССР

Адрес редакции: Москва, Бол. Калужская, дом 67, 1 этаж, комн. 144, тел. В 2-45-63

Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 648

Реальное строительство социализма

Акад. Г. О. ГРАФТИО

Ленинград

В грозе и буре, в ореоле победы Великой Октябрьской социалистической революции отошел историю 1917 год.

Коммунистическая партия и Советская власть, отсеивая остатки туч, разбивая интервенции, побеждая на всех фронтах гражданской войны, преодолевая голод, холод и разруху, воодушевляя, приводя в действие бесконечно большую энергию многих миллионов людей, открыли победоносное шествие ряда удивительных годов, приведших к сталинским пятилеткам, к Сталинской Конституции, к счастливой и культурной жизни народов, героическим подвигам во всех областях деятельности людей, к несокрушимой мощи советской страны.

Гении Ленина и Сталина создали небывалый подъем хозяйственной мощи страны.

Начало этому победоносному подъему положила гениальная идея Ленина планового восстановления и планового развития народного хозяйства страны и, в первую очередь, ее индустриальной мощи путем применения совершеннейшего и могущественнейшего средства — электрификации. — «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны», — так определил Ленин значение электрификации.

Это определение ясно и логично, как гениально, логично и понятно все мысли Ленина.

Это — объединение самого совершенного орудия временной техники с самой совершенной и могущественной властью на земле.

Затруднения и заботы военного, политического, хозяйственного порядка, сопровождавшие первые годы деятельности Советской власти, не мешали

Ленину немедленно же приступить к осуществлению в плановом порядке электрификации страны.

В феврале 1920 г. Ленин создал Государственную комиссию электрификации России — ГОЭЛРО — из наиболее крупных научных работников и специалистов, пришедших работать с Советской властью, и сам лично подробно интересовался работами Комиссии, давая руководящие указания.

Работа ГОЭЛРО с самого же начала получила не абстрактно-теоретический, а совершенно реальный характер.

Для планирования электрификации Комиссия ГОЭЛРО в первую голову обратилась к изучению состояния и возможного развития главнейших отраслей народного хозяйства: промышленности, сельского хозяйства, транспорта, к изучению главнейших ресурсов страны: угля, нефти, торфа, сланцев, рудных богатств и гидравлической энергии.

Комиссия также обратила внимание на территориальное районирование страны для рациональной взаимной увязки всех районов. Таким образом было положено начало планового развития всего народного хозяйства страны.

В настоящем кратком очерке нет возможности осветить подробно области народного хозяйства, подвергшиеся изучению ГОЭЛРО.

Перечислю лишь главнейшие: топливо, гидроэнергия, металлургия, обработка металлов и машиностроение, текстильная промышленность, промышленная обработка пищевых продуктов, обработка минеральных веществ, бумажная промышленность, химическая промышленность, рудные месторождения, железнодорожный и водный транспорт, сельское хозяйство и многое другое.

С многочисленными поправками Ленина работа Комиссии ГОЭЛРО была закончена в декабре того же 1920 г., и «План электрификации РСФСР» был доложен VIII съезду Советов и им утвержден.

В весьма наглядной и ясной форме схематический план электрификации РСФСР, составленный ГОЭЛРО, был изображен на большой демонстрационной карте, установленной на сцене Большого театра в Москве, где происходили заседания VIII съезда Советов. На этой карте разноцветными электрическими лампочками были обозначены главнейшие существующие и подлежащие постройке электростанции, направления основных линий электропередач и предположенные к электрификации линии железных дорог.

Утвержденный план электрификации не остался планом на бумаге, а немедленно же стал осуществляться.

Осуществление его, сопряженное вначале с многими трудностями и препятствиями и, конечно, встреченное насмешками и злобою со стороны явных и тайных врагов Советской власти, продвигалось успешно под руководством и при неизменном мощном содействии партии и ее гениальных руководителей — Ленина и Сталина.

Вспоминается следующий яркий эпизод.

В один из труднейших периодов постройки Волховстроя, в 1920 г., я написал письмо Ленину о том, что некоторые организации и лица чинят препятствия к скорейшему осуществлению Волхова.

Прошло немного времени, и Ленин, несмотря на огромное количество первоочередных дел, вызвал меня к себе в Кремль, подробно расспросил и тут же дал ряд конкретных указаний об ускорении строительства Волховстроя, а меня обязал в буду-

щем ежемесячно сообщать ему о ходе работ.

Когда я принимал участие в работе ГОЭЛРО, я твердо верил, что работа ГОЭЛРО, руководимая Лениным, есть живая работа, которая неминуемо приведет к осуществлению идей, вложенных в план ГОЭЛРО.

Мои желания более чем осуществились, ибо мне выпала счастливая и почетная задача быть исполнителем по осуществлению первой намеченной планом ГОЭЛРО — Волховской гидростанции, а за нею и Нижне-Свирской.

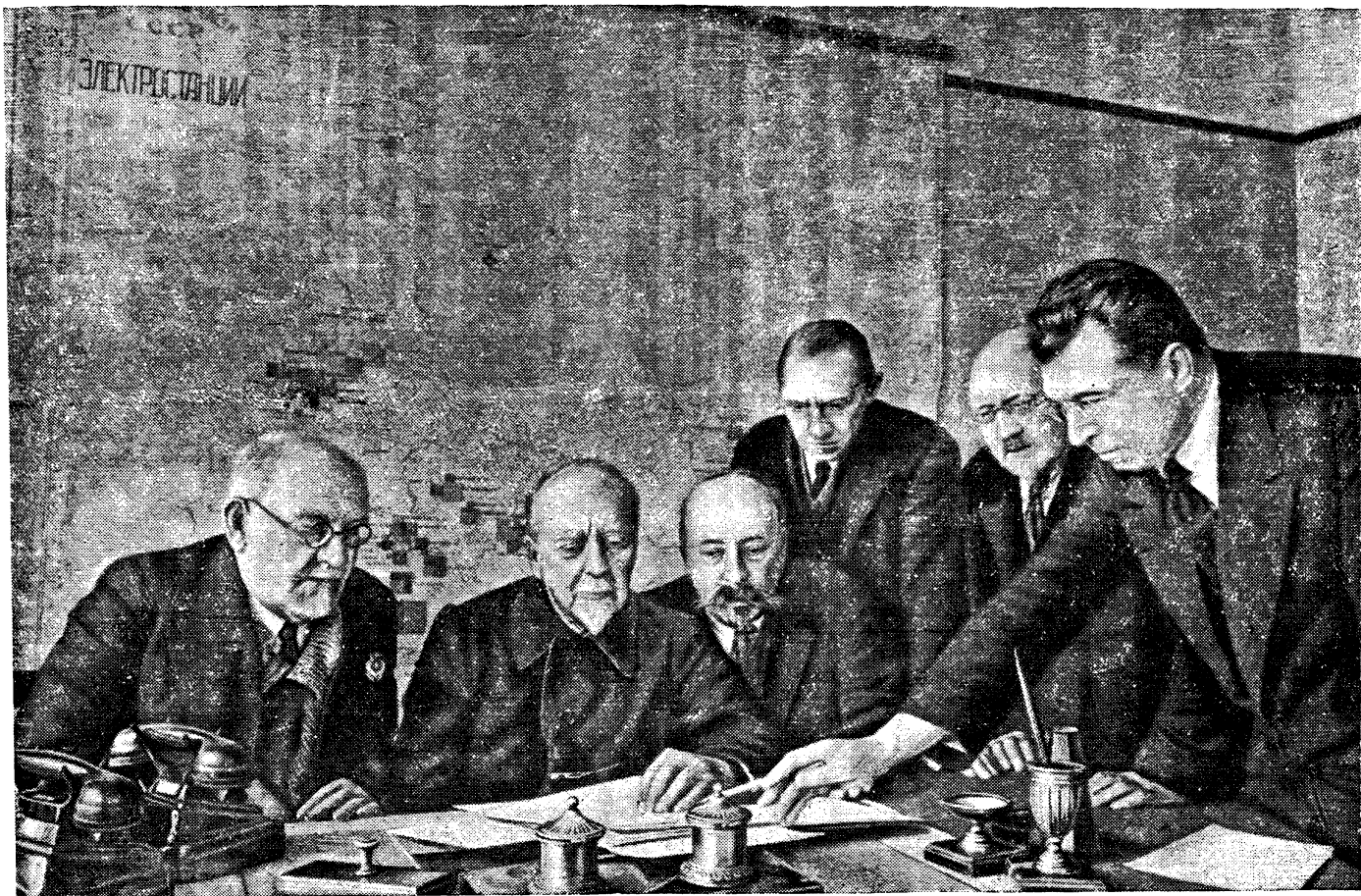
Еще до истечения намеченного 10-летнего срока выполнения плана ГОЭЛРО стало явно очевидным перевыполнение плана, с наступлением же сталинских пятилеток размах и темпы индустриализации не только РСФСР, но всего Союза приняли грандиозные, никогда и нигде невиданные размеры.

Летом 1928 г. товарищ Сталин после осмотра уже действующей Волховской гидростанции, обращаясь ко мне и указывая на здание гидростанции, сказал:

— Вот это есть реальное строительство социализма.

Осуществление Волховстроя и Свирьстроя было сопряжено с рядом больших трудностей и с неустанной борьбой, но победа осталась за нами, ибо коллектив работников Волховстроя и Свирьстроя, и я лично всегда чувствовали, что за нашей борьбой и работой неустанно следят Ленин и Сталин и их ближайшие славные сотрудники, и в трудные минуты мы получали их мощную помощь.

Эти годы борьбы — счастливейшие в моей жизни и в жизни людей, которые принимали активное участие в борьбе за создание Волховстроя и Свирьстроя, как части ленинского плана электрификации страны.



На снимке — группа участников Комиссии ГОЭЛРО, слева направо: проф. К. А. Круг, акад. Г. М. Кржижановский — председатель комиссии, д-р техн. наук Б. И. Угримов, инж. Р. А. Ферман, инж. Н. Н. Вашков и инж. М. А. Смирнов — секретарь комиссии

Фото 1940 г.

От ГОЭЛРО — к сталинским пятилеткам

Член-корр. Академии Наук СССР К. А. КРУГ

Москва

20 лет тому назад VIII Всероссийский съезд Советов одобрил и принял представленный ему комиссией ГОЭЛРО «План электрификации России». Комиссия ГОЭЛРО была образована по инициативе В. И. Ленина в начале 1920 г. Это был период голода и холода, время наибольшего упадка всего народного хозяйства нашей страны, истощенной империалистической войной и интервенциями, когда еще не была вполне закончена гражданская война в ряде районов свирепствовали губительные эпидемии.

Несмотря на необычайно тревожное время, когда советской власти приходилось бороться как с внешними, так и с внутренними врагами, В. И. Лениным был выдвинут план восстановления народного хозяйства. Задание, данное комиссии ГОЭЛРО, первоначально заключалось в разработке плана использования существующих электрических станций и постройки новых, который позволил бы в кратчайший срок изжить топливный кризис и восстановить народное хозяйство.

В. И. Ленин, первый из государственных деятелей,

оценил значение энергетики, как основной базы развития народного хозяйства. И в результате работы комиссии ГОЭЛРО, которые вдохновлялись В. И. Лениным, дали возможность составить перспективный генеральный план не только развития энергетики в узком смысле этого слова, но и развития всего народного хозяйства в целом, включая промышленность, сельское хозяйство и транспорт.

Работа комиссии была затруднена тем, что отсутствовали необходимые сведения, касающиеся тогдашнего состояния народного хозяйства. Кроме скудных сведений бывшего министерства торговли и промышленности и других министерств и некоторых общих трудов, у комиссии не было необходимых статистических сведений, которые могли бы служить основанием для разработки необходимых планов. Положение усугублялось тем, что целые районы, как, например, Кавказ и Дальневосточный край, были отрезаны от центра.

Приходилось, пользуясь имеющимися скудными сведениями, устанавливать какие-то общие отправные точки.

Этими отправными точками были, с одной стороны, данные, касающиеся душевого потребления топлива, энергии, металла, хлопка и т. д., наличия конского поголовья и скота, урожайности и сельского хозяйства, развития транспорта и т. п., а с другой стороны, ресурсы рабочей силы, естественные богатства и особенности отдельных районов.

Эти сравнительные данные выявили картину технико-экономической отсталости нашей страны, которая по качественным и количественным показателям занимала одно из последних мест в Европе.

С самого начала работы комиссии ГОЭЛРО было ясно, что быстрый подъем народного хозяйства, культурной жизни страны, зажиточности населения и мощи государства в целом возможны лишь на базе полной реконструкции сельского хозяйства, промышленности и транспорта, с использованием последних достижений науки и техники.

Комиссия ГОЭЛРО попыталась составить общий план развития народного хозяйства на ближайшие 10—15 лет как в общем разрезе для главных разделов промышленности, сельского хозяйства, транспорта и т. д., так и для отдельных районов. Это была первая попытка составления общего плана развития единого обобществленного хозяйства,

плана развития страны и построения социализма. На основе такого общего плана развития и был составлен план электрификации страны.

Труды комиссии ГОЭЛРО подверглись вначале суровой критике и ожесточенным нападкам врагов. Было много лиц, которые не верили в осуществление намечавшихся ГОЭЛРО масштабов строительства и которые указывали на невозможность при новом тогда строе быстрого восстановления и роста хозяйственной и культурной мощи нашей страны.

Действительность опровергла все сомнения и все проiski врагов Советской власти. За истекшие 20 лет Советская власть под руководством Коммунистической партии и товарища Сталина не только выполнила план ГОЭЛРО, но во много, много раз его перевыполнила. Наша страна гигантскими шагами продолжает двигаться вперед, наверстывая упущения прошедших столетий, догоняя и перегоняя страны и народы всего мира.

Наша страна с ее социалистическим строем, с высокоразвитой передовой техникой, с высокоразвитой сетью высших учебных заведений и исследовательских учреждений является самой могущественной страной, к которой тяготеют массы трудящихся всего мира.

Как создавался план электрификации Северного района

Член-корр. Академии Наук СССР М. А. ШАТЕЛЕН

Вопрос об электрификации Северного района, в особенности Ленинграда, встал на очередь в первые же месяцы существования Советской власти. Уже в начале 1918 г. начались работы по изучению Свири и Волхова. В октябре того же года по указанию Владимира Ильича был организован Центральный электротехнический совет, на который были возложены весьма разнообразные функции, тесно связанные с вопросами электроснабжения, организацией производства предметов электрооборудования, с созданием электротехнических норм и правил и т. д.

Петроградское отделение ЦЭС объединяло наиболее активных энергетиков тогдашнего Петрограда в общей работе над решением этих задач. Существовало даже особое бюро по электрификации, которое специально работало над обеспечением электрической энергией петроградской промышленности.

Таким образом, когда была организована группа ГОЭЛРО Северного района, то в Петрограде был уже ряд энергетиков, вполне подготовленных к крупной плановой работе. Конечно, задачи плана ГОЭЛРО были гораздо шире: «Наиболее полное и совершенное использование имеющихся в распоряжении страны средств производства и рабочей силы для удовлетворения насущных нужд населения — такова основная задача, имевшаяся в виду при разработке плана электрификации России»¹. Задача сама по себе исключительно трудная, но

трудности ее выполнения усугублялись еще тем, что никаких прецедентов такая работа не имела. Во всем мире не было никаких образцов, которые могли бы облегчить работу хотя бы путем критического разбора этих образцов. Большие затруднения представляла трудность сношений в то время с различными местностями района и трудность получения многих необходимых материалов.

Однако энтузиазм и настойчивость энергетиков преодолели все эти трудности, и план электрификации Северного района был составлен в рекордно короткий срок.

Это оказалось возможным только потому, что участникам по составлению плана ГОЭЛРО посчастливилось работать под непосредственным руководством Владимира Ильича, всегда получать от него ясные и определенные указания относительно направления работы и, что самое главное, иметь его полную моральную поддержку в трудные дни работы, происходившей при весьма тяжелых материальных условиях.

Работа над планом электрификации Северного района объединила весьма различных специалистов: над планом, наравне с электротехниками, теплотехниками и гидротехниками, работали и специалисты по горному, лесному и нефтяному делу, химик-кораблестроители, биологи и т. д.

Постановлением Комиссии я был назначен уполномоченным ГОЭЛРО по Северному району, и меня была возложена обязанность объединения всех участников в общей работе. Работали дружно и согласно. Конечно, много было дискуссий, много раз менялись предположения, составлялись разны

¹ План ГОЭЛРО. Пояснительная записка к схематической карте электрификации России.

рианты плана. Особенно большую работу выполнили покойный профессор Александр Викторович Вульф и профессор Александр Александрович Орезов, имевшие незаменимого помощника в лице ныне профессора, а тогда молодого лаборанта Николая Николаевича Пономарева. Нами и был окончательно подготовлен план, составленный на основании результатов отдельных работ по различным вопросам. В исполнении этих работ принимали деятельное участие профессор И. В. Егизаров, А. А. Морозов, А. В. Вульф, А. А. Горев, Н. Н. Пономарев, В. П. Ильинский, М. Д. Каменский, П. П. Виноградов, В. А. Кинд и многие другие.

Район, носивший тогда название Северного, был очень обширен и разнообразен как по своей природе, так и по промышленному развитию. Включая бывшие губернии Архангельскую, Олонецкую (Мурманским краем), Новгородскую, Вологодскую, Петроградскую, Псковскую и Витебскую, Северный район имел в своем составе и более или менее сильно развитые в промышленном отношении уезды и районы, совершенно не тронутые культурой.

Хозяйственный быт различных частей района был чрезвычайно разнообразен, природные ресурсы района мало изучены, да и имевшиеся материалы об этих ресурсах были малоизвестны и малодоступны ввиду своей разбросанности по разным учреждениям и ведомствам. Очень неудовлетворительными были и сведения о состоянии промышленности (особенно вне крупных центров), сельского лесного хозяйства, местного транспорта и т. п. Все эти сведения и материалы необходимо было собрать и обработать в нужном направлении. Это было сделано, и результаты работ вылились в ряд писем, составленных членами группы. Таковы были записки о гидротехнических ресурсах и их эксплуатации, о полезных ископаемых, о деревянном судостроении, об электрификации железных дорог и тяги на каналах, о запасах торфа, о промышленных предприятиях района, об электрификации лесного хозяйства и т. д.

Все они и были использованы при составлении плана электрификации. План ставил своей задачей, с одной стороны, удовлетворения назревшей уже к тому времени потребности района в электрической энергии, с другой — электрификации вызвать к жизни те виды промышленности, которые могут использовать местные естественные богатства, способствовать развитию в районе сельского и лесного хозяйства. При составлении плана учитывал, как главное требование, необходимость использования для нужд электрификации местных энергетических ресурсов, в частности топливных, с тем, чтобы обойтись без дальних перевозок угля. Составители плана электрификации ясно видели, что судьба петроградской промышленности (а также и промышленности Северного района) зависит в сильную зависимость от способов заготовки дальнопривозного топлива. Поэтому они базировали план электрификации на трех естественных источниках энергии, которыми богаты отдельные области района: на торфе, водяной энергии частично на древесном топливе. Были собраны и изучены все имевшиеся материалы, касающиеся этих источников энергии, и из них выделены те, которые казались наиболее целесообразными использовать в первую очередь. Это были залежи торфа, водные силы или расположенные близко к существовавшим крупным центрам потребления, или близкие к месторождениям важных для народного

хозяйства ископаемых, около которых должна была развиваться новая промышленность.

Наибольшее внимание, конечно, уделялось электроснабжению Ленинграда, имевшего уже весьма развитую промышленность. Для удовлетворения ее электрической энергией планом предвиделось сооружение трех гидроэлектрических станций (Свирь 2, Свирь 3 и Волхов) и двух мощных паровых станций на торфу (одна — бывшая Уткина Заводь, получившая затем имя «Красный Октябрь», и вторая — на торфе из Назиевских болот).

Составители плана электрификации, конечно, бросали свои взоры и на другие источники водных сил, которые могли бы быть использованы для снабжения Ленинграда, однако условия тогда были иные, чем теперь, и составители должны были ограничиться в своей записке скромным примечанием: «Вопрос об использовании других источников водной энергии, расположенных вблизи Петрограда, каковы финляндские водопады и р. Нарова, конечно, отпадает по вполне понятным политическим причинам». Только через 22 года Ленинград стал получать энергию от этих водопадов, включение которых еще больше усилило проектированную гидроэнергетическую базу Ленинграда.

Планом электрификации Ленинграда предусматривалось объединение всех станций как тепловых, так и гидроэлектрических для работы на общую сеть. Такое широкое объединение было еще технической новостью, и по этому вопросу было много споров. В конце концов было принято объединение посредством кабельного кольца напряжением порядка 30—40 000 В в зависимости от того, для какого высшего напряжения наша кабельная промышленность будет в состоянии изготовить кабель.

При таком объединении планом предполагалось закрытие всех мелких электростанций мощностью по большей части не свыше 500 kW, которых в Петрограде было более 200, и использование их оборудования для электрификации отдельных местностей и промыслов Северного района. В отношении электрификации различных частей Северного района, кроме Ленинграда и его окрестностей, составители плана обращали особое внимание на удовлетворение потребности в электрической энергии тех областей народного хозяйства, которые тогда, в 1918 г., казались наиболее первоочередными и которые казалось возможным развить при наименьших затратах и в наиболее короткое время. К таким отраслям народного хозяйства относились лесное хозяйство, рыбо-консервная промышленность, металлургия черных и цветных металлов и электрохимические производства (азотистые удобрения, обработка фосфоритов и т. п.), керамическая и стекольная промышленность и сельское хозяйство. В число потребителей были включены и некоторые железные дороги Северного района, которые предполагалось электрифицировать.

В то время далеко не были выявлены те разнообразные минеральные богатства нашего Севера, о которых мы знаем теперь, поэтому металлургическая промышленность проектировалась в весьма скромном масштабе. Тем не менее развитие ее считалось неизбежным, и потребность металлургии в электрической энергии как для металлургических процессов, так и для добычи руд учитывалась, насколько это оказалось возможным. В первую очередь намечалось развитие алюминиевой промышленности с использованием для этой цели Тихвинских месторождений бокситов, а также других под-

копальных минералов, имеющихся в районе. Черную металлургию предполагалось развить на базе озерных руд, руд Туломозерских, Пудожгорских и других месторождений Северного края. При этом предполагалось широкое использование древесного угля и электрической энергии.

Особое внимание планом электрификации Северного района уделялось развитию лесного дела. Лес рассматривался не только как строительный и крепкий материал, но и как сырье для получения древесной массы, для производства целлюлозы, бумаги и подобных продуктов, как исходный материал для получения продуктов сухой перегонки и для попутного получения древесного угля, а также частично как топливо для местных потребностей и даже для электрических станций. На древесное топливо обращалось особое внимание для первого периода электрификации, когда гидроэлектрические станции не будут еще построены и линии электропередач не проведены. Для этого периода предполагалось использовать в качестве топлива отходы переработки леса и т. п. Развитие сельского хозяйства планом ставилось в прямую зависимость от снабжения хозяйств искусственным удобрением, в частности, азотистыми, получаемыми за счет использования азота воздуха, и фосфористыми, получаемыми из фосфоритов, залежами которых богат Северный район.

Транспортными потребителями электрической энергии по плану явились железные дороги с электрической тягой и водные пути по каналам, на которых также предполагалось ввести электрическую тягу.

Группой ГОЭЛРО Северного района были проработаны вопросы о размещении гидроэлектрических и тепловых станций в районе, о магистральных линиях электропередач, о размещении главных подстанций и т. п. в связи с планированным размещением промышленных предприятий. Были подсчитаны мощности станций и подстанций и передаваемые мощности. Наконец, было подсчитано, конечно, очень ориентировочно, количество разного рода строительных материалов и металла, необходимых для электрических сооружений.

План электрификации Северного района был задуман широко. Им предвиделось и развитие промышленности района, и улучшение транспорта, в частности, водного при устройстве гидроэлектрических сооружений, и рост сельского хозяйства. Все соображения, приведшие к принятию тех или иных решений, и самый план были изложены в особой записке, под названием «Основания проекта электрификации Северного района». К записке была приложена карта района² с указанием размещения проектируемых станций, подстанций, линий передач и электрифицируемых железных дорог.

Насколько я помню, записка об электрификации Северного района была первой из подобных записок, представленных на рассмотрение Владимира Ильича. Можно себе представить, с каким волнением мы, работавшие над планом, ждали суждения нашего вдохновителя и с каким глубоким удовлетворением мы узнали, что Владимир Ильич одобрил и наш метод подхода к составлению плана электрификации и самый план³.

В дальнейшем при составлении Государственной

Комиссией по электрификации России сводного плана электрификации многое из запроектированного для Северного района было выпущено. Остались в сводном плане были лишь те станции и линии передач, которые считались совершенно необходимыми на первый период электрификации, т. е. на первые 10—15 лет, как тогда думали.

Из проектируемых группой Северного района гидроэлектрических станций в сводном плане были сохранены только три (Волховская и две Свирские для снабжения Ленинграда и его района и одна на севере (Ковда) для алюминиевой промышленности).

В отношении крупных паровых электростанций сохраняя уже имевшиеся в Ленинграде, сводным планом предполагалось лишь окончание начатой ранее постройки станции на Уткиной Заводи (ныне «Красный Октябрь») с расширением ее до 30 000 kW.

Осторожность Комиссии в подходе к плану электрификации Северного района обуславливалась тогдашним положением Ленинграда — на самой грани государства — и вообще международным положением двадцатого года. По мере улучшения этого положения, по мере роста мощностей стран и удаления государственной границы от Ленинграда изменялись и условия развития и электроснабжения Северного района и, в частности, Ленинграда. Теперь уже оказалось возможным использовать для электроснабжения часть финских водопадов, возможно использование р. Наровы и т. д.

Очень интересным является сопоставление проекта предположений как сводного плана ГОЭЛРС так и предположений группы Северного района с действительным положением электрификации района в настоящее время. Конечно, теперь Северного района в тех границах, в которых он был в 1920 г., не существует, и сравнение можно провести лишь по отдельным областям, входившим в состав этого района. Это сравнение показывает, что за период плана ГОЭЛРО и за последовавшие сталинские пятилетки, т. е. за 20 лет, электрификация этих областей превзошла самые смелые ожидания, но в общем пошла по путям, предуказанным планом ГОЭЛРО, хотя и со многими изменениями как в отношении очередности электрических сооружений, так и в отношении их размещения и мощностей.

В отношении крупных гидроэлектрических станций все сооруженные до сих пор станции, сооружаемые ныне и намеченные к сооружению в ближайшие годы входили в план группы Северного района. Таковы станции на рр. Волхов, Свирь, Нива, Тулома, Мста, Выг и др. Только в большинстве случаев мощности их оказались большими, чем предполагалось планом.

В отношении крупных паровых станций оказалось необходимым не только увеличить мощность станции «Красный Октябрь», но и значительно увеличить мощность остальных станций Ленинграда. Кроме того, необходимой оказалась постройка мощной паровой станции «Дубровка», работающей на торфу, главным образом из Назневских болот, как это и проектировала группа ГОЭЛРО Северного района.

Электрификация магистральных железных дорог тоже началась, как это и было предусмотрено планом ГОЭЛРО, с электрификации Мурманской дороги. Переход на местное топливо был осуществлен полностью. В общем жизнь подтвердила правильность подхода Государственной комиссии

² Карта электрификации Северного района (см. план ГОЭЛРО) дана в приложении к стр. 9 журнала.

³ Протокол заседания ГОЭЛРО от 9 ноября 1920 г.

по электрификации к составлению плана электрификации страны.

Конечно, при составлении своего плана группа ГОЭЛРО Северного района не могла учесть всего того развития теплотехники, электротехники и гидротехники, которыми характеризуются последние годы. Не могла она учесть и всех выгод, даваемых гидроэлектростанциями и применением пара высокого давления, не могла учесть возможности построения мощных турбин паровых и водяных, не могла учесть и возможности применения для передачи очень высоких напряжений, и в особенности сооружения кабельных линий на эти напряжения.

Все эти возможности появились позже, но были своевременно учтены при осуществлении электри-

фикации ленинградскими энергетиками. В Ленинграде была раньше чем где-либо осуществлена теплофикация с получением тепла от электрических станций, было впервые в СССР применено для электропередач напряжение в 220 000 В, был изготовлен и применен первый подземный кабель для напряжения в 35 000 В. Были применены и многие другие достижения науки и техники. Все эти усовершенствования позволили лучше использовать энергетические ресурсы, улучшить качество электроснабжения, но не изменили общего характера плана ГОЭЛРО.

Принципы, заложенные в основу этого плана великим Лениным, остались неизменными при всех дальнейших работах по планированию и осуществлению электрификации.

Как работала Комиссия ГОЭЛРО

Инж. М. А. СМЕРНОВ

Секретарь комиссии ГОЭЛРО в 1920—1921 гг.

20 лет тому назад, 22 декабря 1920 г., со сцены Большого театра в Москве VIII съезду Советов бочо-Крестьянских и Красноармейских депутатов был доложен и, таким образом, впервые обнародован первый план электрификации страны, план ГОЭЛРО, составленный под высоким руководством И. Ленина Государственной Комиссией по электрификации России. Стоявшему в повестке дня съезда докладу об электрификации страны председателя Комиссии ГОЭЛРО Г. М. Кржижановского предшествовал отчетный доклад председателя наркомата В. И. Ленина. В своем докладе Ленин остановился на вопросе электрификации и подчеркнул огромное значение плана ГОЭЛРО для укрепления молодого пролетарского государства и построения социализма путем планового восстановления и коренного переустройства хозяйства на новой технической базе — электрификации.

Именно в этой своей речи В. И. Ленин назвал план ГОЭЛРО «второй программой партии»; в ней повторил также всем ныне известное свое положение: «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны»¹.

Идея восстановления хозяйства страны на основе электрификации возникла у Ленина значительно ранее. Еще в апреле 1918 г. в своем «Наске плана научно-технических работ», предназначенном для Академии Наук, Ленин писал: «...Обращение особого внимания на электрификацию промышленности и транспорта и применение электричества к земледелию. Использование неперевозимых сортов топлива (торф, уголь худших сортов)

получения электрической энергии с наименьшими затратами на добычу и перевоз горючего.

водные силы и ветряные двигатели вообще и применение к земледелию»².

в примечаниях к сочинениям Ленина имеется

следующее указание: «Поводом к написанию Лениным «Наброска плана научно-технических работ» послужило предложение Академией Наук в конце марта 1918 г. ученых услуг Советской власти по исследованию естественных богатств страны. Вопрос этот, по предложению А. В. Луначарского, обсуждался на заседании Совета народных комиссаров 12 апреля 1918 г., принявшему следующее постановление: «пойти навстречу этому предложению, принципиально признать необходимость финансирования соответственных работ Академии и указать ей как особенно важную и неотложную задачу систематическое разрешение проблем правильного распределения в стране промышленности и наиболее рациональное использование ее хозяйственных сил» (Протокол СНК № 94, 12 апреля 1918 г., архив Института Ленина)»³.

Как известно, Академия Наук тогда не занялась вплотную этими вопросами, и вопрос об электрификации, о плановом восстановлении народного хозяйства возник вновь в конце 1919 г. К тому времени разлука в стране, развал промышленности, топливный, продовольственный и транспортный кризис достигли крайних пределов. Транспорт, изношенный в годы империалистической войны, блокады и интервенции, почти не работал. Промышленность замерла. Объем продукции всей промышленности составлял в 1920 г. всего 10% от довоенного. В 1921 г. Ленин сказал в одном из своих выступлений: «Еще два слова о металлургии. В этом отношении наше положение особенно тяжело. Мы производим каких-нибудь, может быть, 6% того, что производили в довоенное время»⁴. Выработка электрической энергии, когда страна была отрезана от топливных баз, резко упала (в 1921 г., например, до 520 млн. kWh, т. е. до 25% от довоенного). В это-то тяжелое время начал составляться великий ленинский план электрификации.

Образование ГОЭЛРО. Комиссия для составления этого плана была образована в соответствии с

¹ Ленин об электрификации. М. — Л. Госиздат, стр. 52. Впервые эту формулу Ленин высказал в речи на Московской губернской партийной конференции 20 ноября г. В. И. Ленин, Соч., т. XXV, стр. 491.
² И. Ленин, Соч., т. XXII, стр. 434.

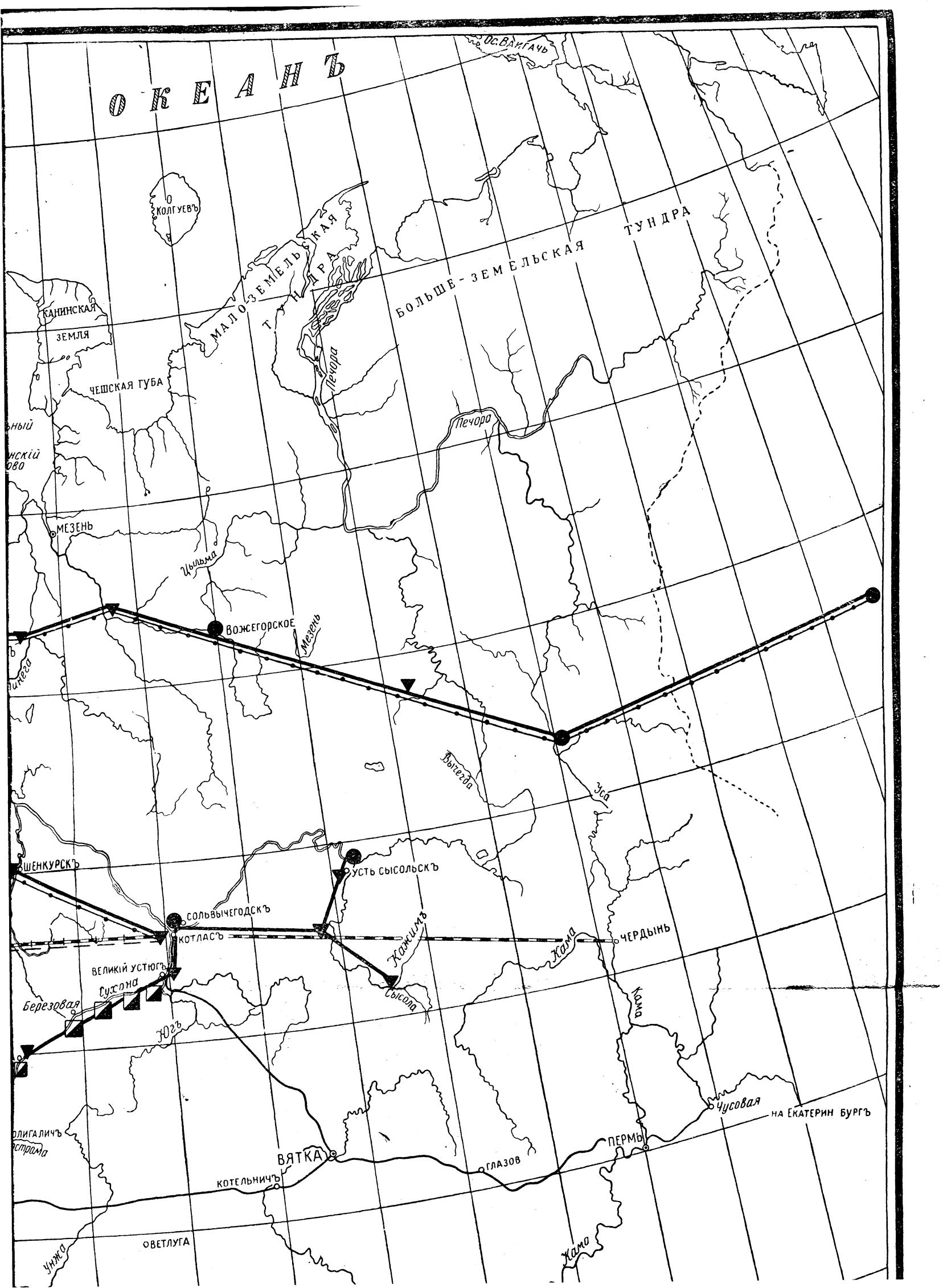
³ В. И. Ленин, Соч., т. XXII, стр. 621.

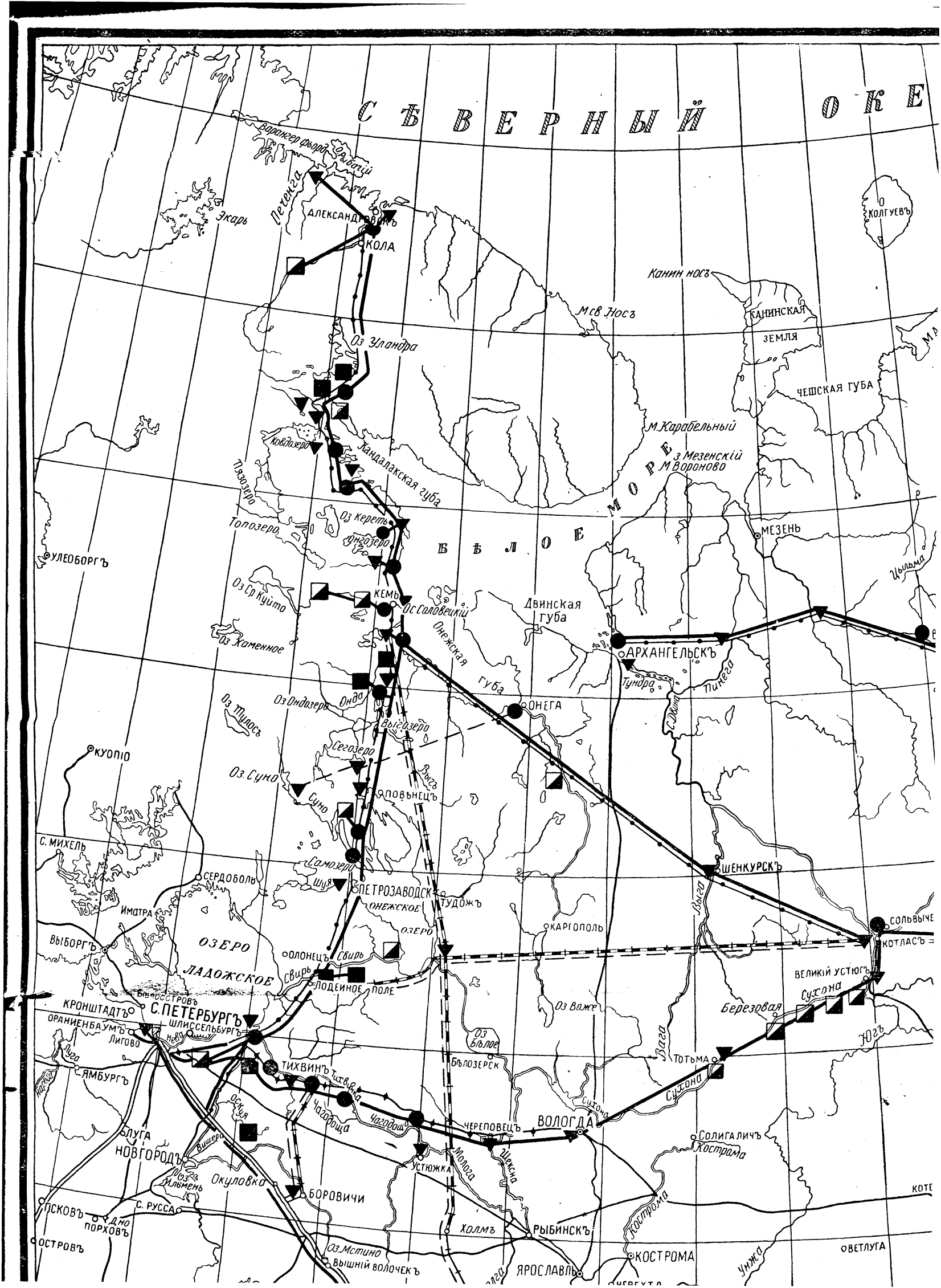
⁴ В. И. Ленин, Соч., т. XXVII, стр. 133.

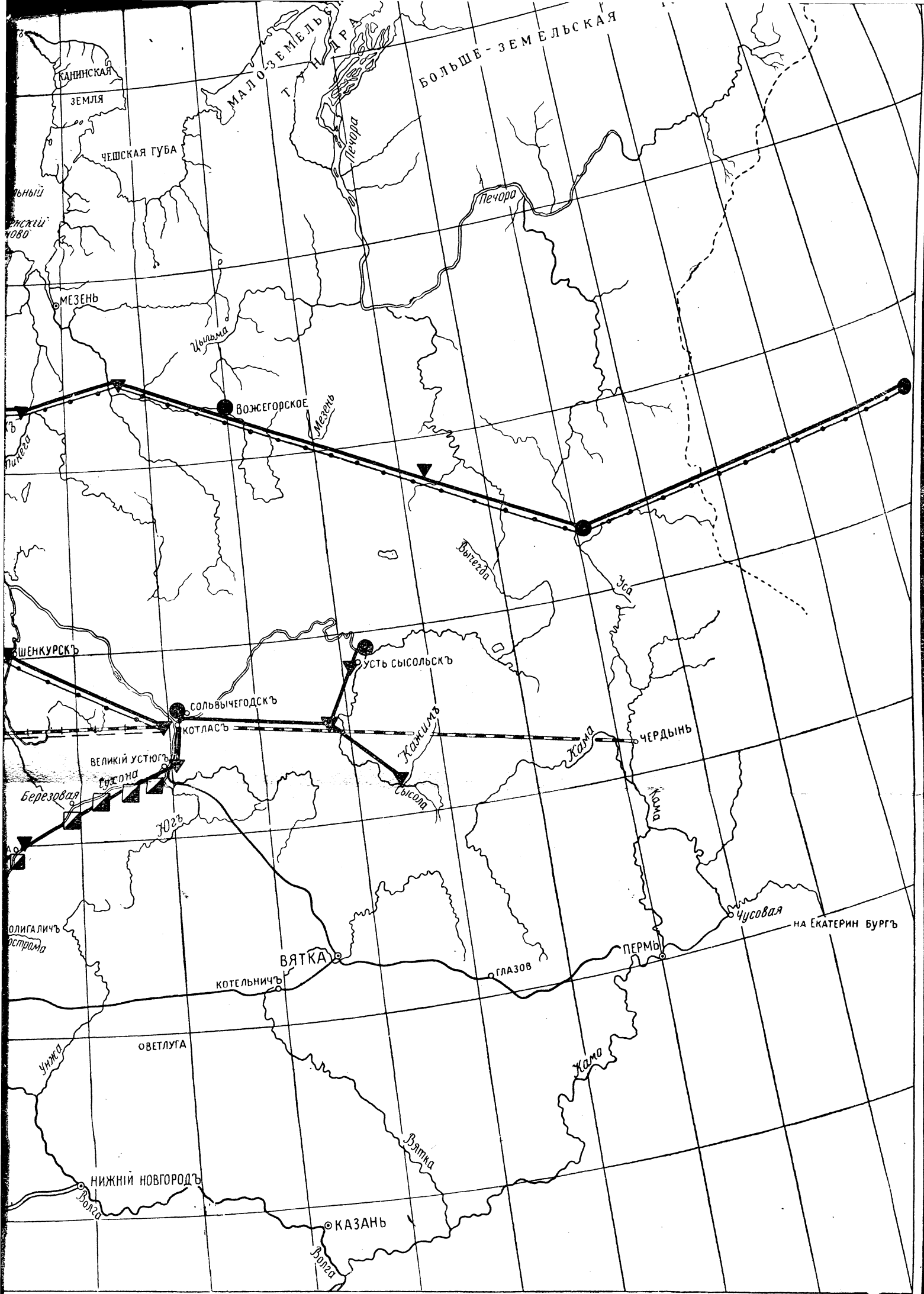
постановлением ВЦИК VII созыва (с 2 по 7 февраля 1920 г.), принявшего известную резолюцию об электрификации России: «Наряду с ближайшими насущнейшими, неотложными и первоочередными задачами по устройству транспорта, устранению кризисов в топливе и продовольствии, борьбе с эпидемиями, организации дисциплинированных армий труда, для Советской России впервые представляется возможность приступить к более планомерному хозяйственному строительству, к научной выработке и последовательному проведению в жизнь государственного плана всего народного хозяйства.

ГОЭЛПРО» № 1). Она представляла собой междуведомственную Комиссию из представителей: Электротдела ВСНХ, Комитета государственных сооружений, Центрального электротехнического совета, Отдела электрификации НКПС, Теплового комитета, Бюро по электрификации сельского хозяйства при Наркомземе и некоторых других.

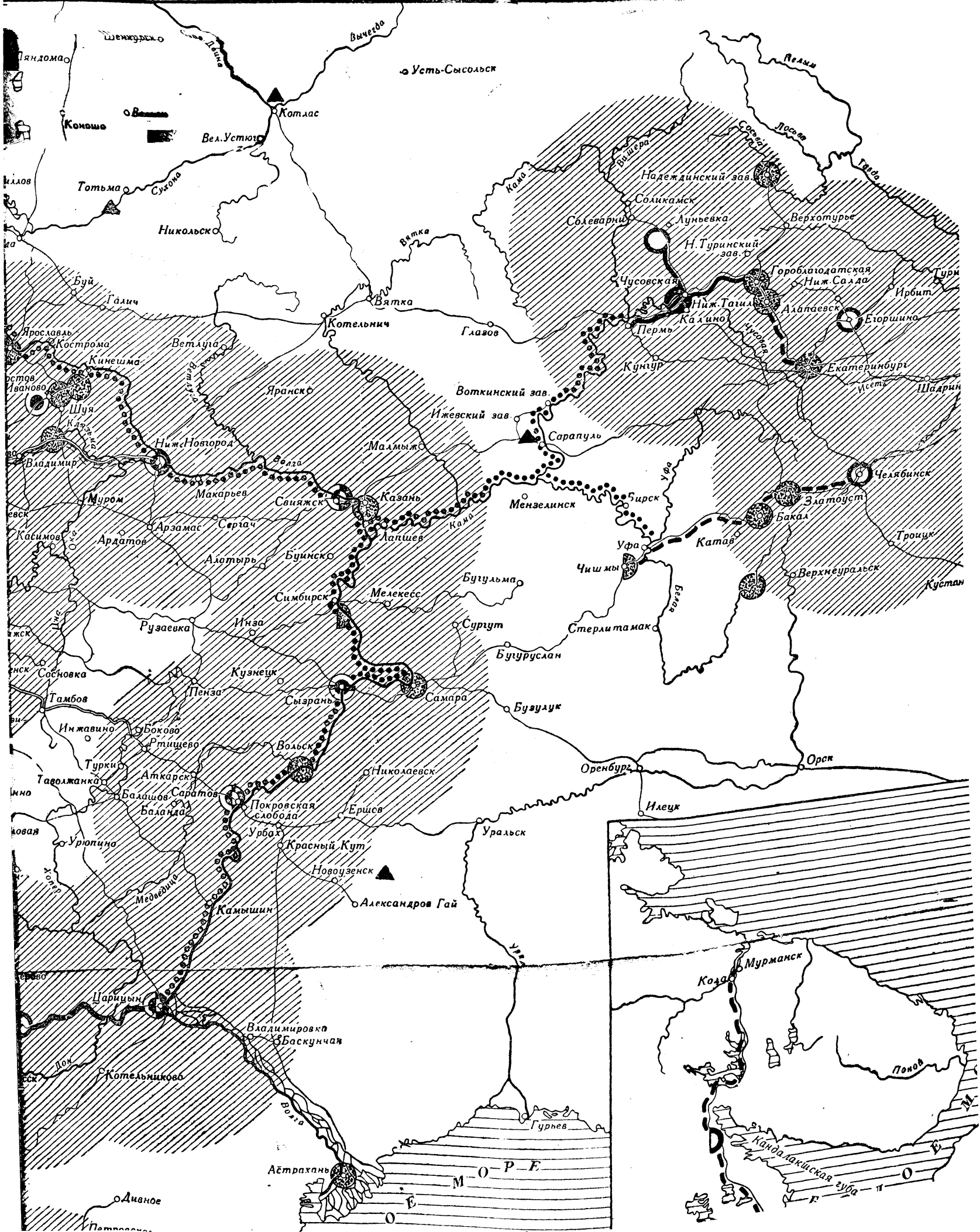
О К Е А Н Ъ



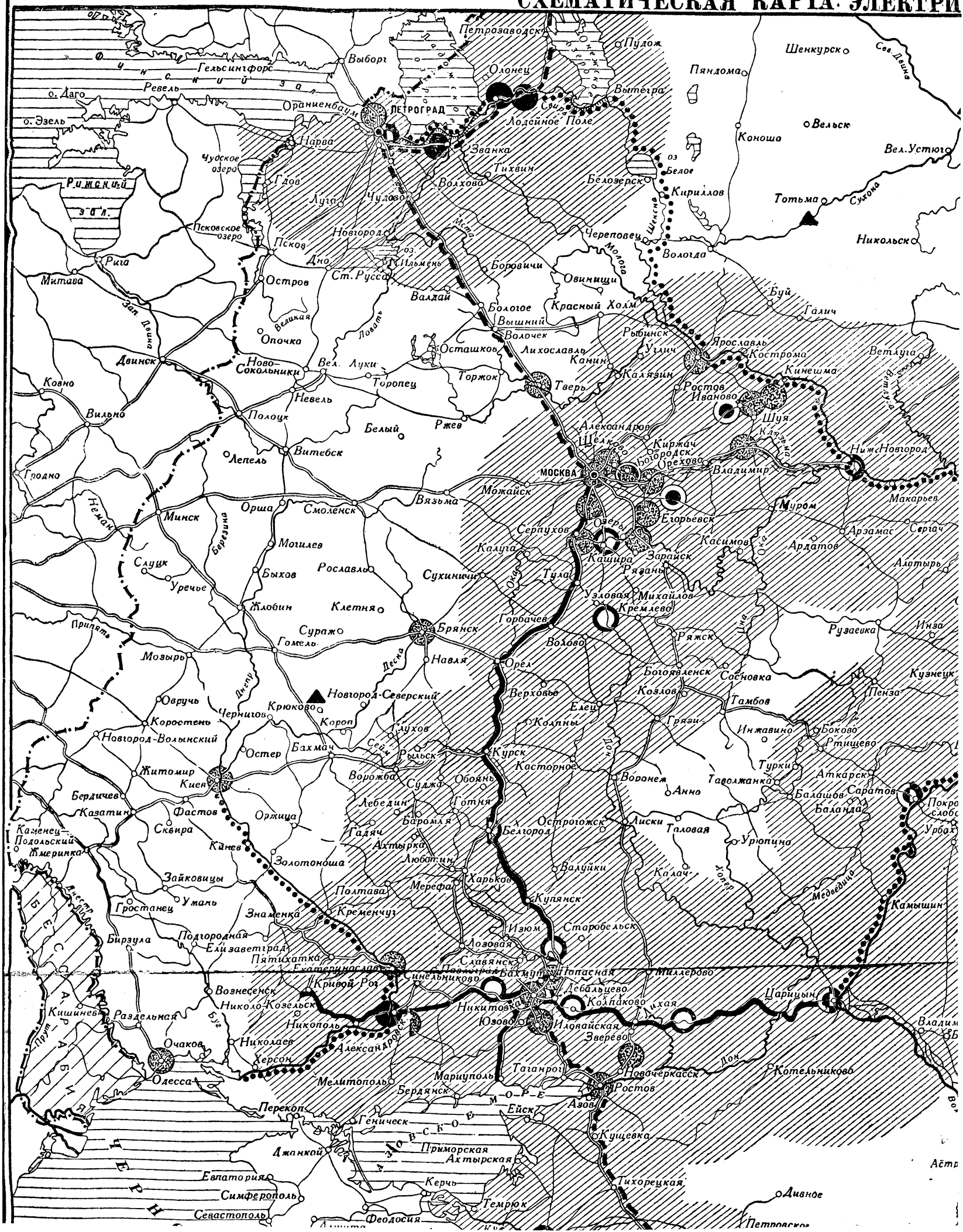


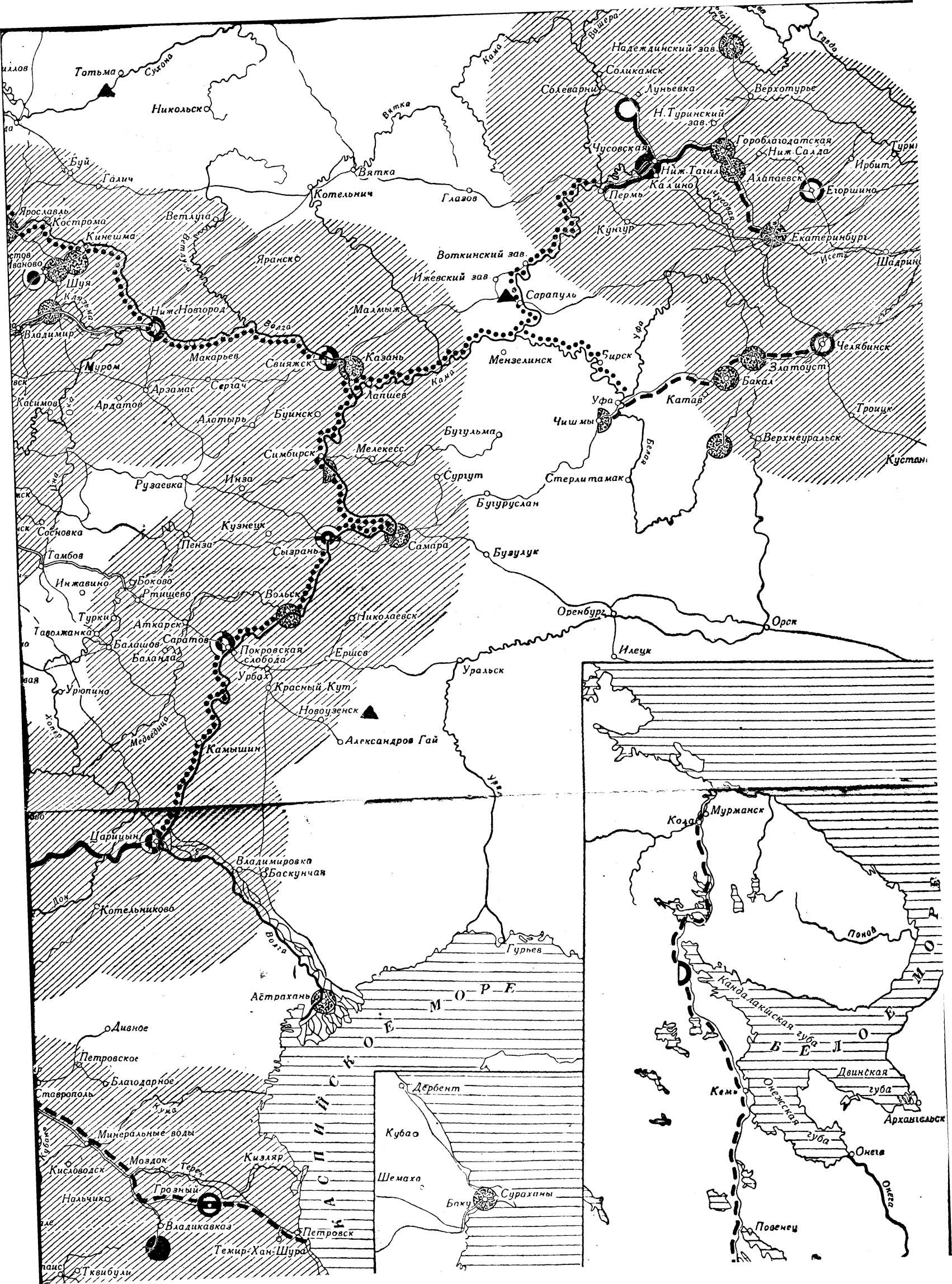


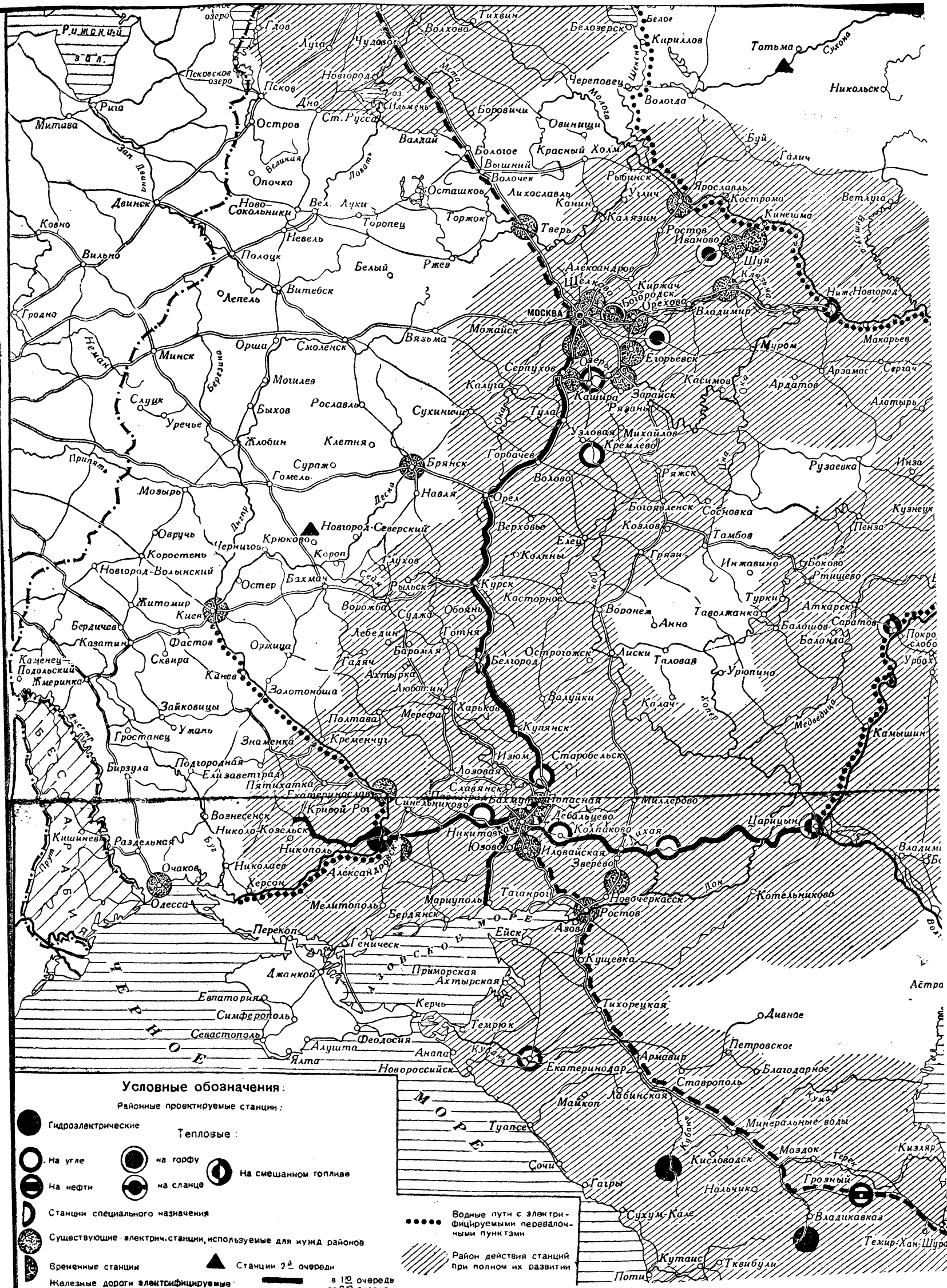
КАРТА ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ РОССИИ



СХЕМАТИЧЕСКАЯ КАРТА ЭЛЕКТРИ







Условные обозначения:

Районные проектируемые станции:

- Гидроэлектрические
- Тепловые:
 - На угле
 - На нефти
 - На торфу
 - На сланце
 - На смешанном топливе
- Станции специального назначения
- Существующие электростанции, используемые для нужд районов
- Временные станции
- Станции 2-й очереди
- Железные дороги электрифицируемые:
 - в 1-ю очередь
 - в 2-ю очередь

Водные пути с электрифицируемыми перевалочными пунктами

Район действия станций при полном их развитии

Как лучше выйти из положения, как лечить больные места, в каком порядке — в этом был вопрос. Комиссия также не могла его обойти. В результате обсуждения этого вопроса Комиссия пришла к заключению о необходимости наряду с составлением общего плана электрификации страны, т. е. плана постройки новых электрических станций, рассчитанного на ряд лет, составить план срочного использования существующих электростанций путем их «кустования» и кольцевания сетей.

Крайне сжатые сроки, которые были поставлены перед Комиссией, требовали особой концентрации ее усилий по выполнению этих заданий. Комиссия не имела возможности при составлении общего плана электрификации производить обследования и собирать вновь нужные ей материалы. Комиссия принуждена была использовать, главным образом, уже имевшиеся к тому времени технические и статистические материалы, в том числе материалы организаций, которые уже работали при Советской власти над электрификацией, а частично и материалы прежних капиталистических предприятий и акционерных обществ, возникших в период войны для постройки электрических станций в промышленных районах (Донецком и Подмосковном).

Ввиду указанных обстоятельств работа комиссии мыслилась, главным образом, как синтетическая, а разработка плана электрификации — только в порядке первого приближения.

Для разработки общего плана электрификации страны со сроком выполнения в 10—15 лет необходимо было представить себе картину развития и электрификации промышленности, сельского и лесного хозяйства, железнодорожного и водного транспорта, для чего потребовалось составление особых обзоров.

Окончательно принятая программа ГОЭЛРО состояла из следующих разделов.

А. «Использование существующих городских, заводских, фабричных и частных электрических станций для снабжения электрической энергией прилегающих районов».

Б. «Составление общего плана электрификации России по отдельным районам».

В. «Выработка плана электрификации сельскохозяйственной и лесной промышленности».

Г. «Выработка плана электрификации железных дорог, водных путей и грунтовых дорог».

Д. «Составление обзоров по отдельным отраслям промышленности в связи с производственными программами на ближайшие 10 лет (добывающая, металлургическая, текстильная и др.)».

Е. «Составление отдельных записок для освещения вопросов, находящихся в связи с электрификацией».

Согласно разделу А программа Комиссии имела в виду, кроме таких центров, как Москва и Ленинград, выделить по всей стране те районы и тот круг потребителей, куда электрическая энергия должна была быть направлена в первую очередь. Правильное решение этой задачи должно было дать в самый кратчайший срок реальные результаты по восстановлению промышленности и иметь самое непосредственное и практическое значение для восстановления народного хозяйства. Роль местного топлива и значение «кустования» фабричных и др. небольших электростанций для электроснабжения и восстановления отдельных промыш-

ленных центров можно видеть из примера электроснабжения Москвы в 1919—1920 гг.

Станции Москвы, отрезанные от Донбасса и от Кавказа и лишенные угля и нефти, должны были работать на только что заготовленных, сырых дровах.

К этому роду топлива обе московские станции, являвшиеся в то время крупнейшими в стране, совсем не были приспособлены. С громадными трудностями рабочие и технический персонал станций, те, кто не покинули своих постов в это голодное и холодное время, поддерживали максимально возможную работу станций, чтобы обеспечить работу наиболее ответственных жизненных и оборонных предприятий Москвы. Временами положение было настолько критическим, что в часы максимума приходилось под котлами станций сжигать не только остатки мазута, но и ценные смазочные масла; и вот тут-то спасала положение первая районная станция, работавшая на местном топливе — торфе, а именно гЭС быв. «Электропередача», ныне станция им. Классона.

Энергия этой станции передавалась в Москву, и только благодаря этому население не было лишено совсем освещения. Но помощи от этой станции было, однако, недостаточно. В целях дальнейшего улучшения электроснабжения решено было использовать и местные более крупные фабрично-заводские станции (Глуховской мануфактуры в Богородске, Франко-Русское о-во в Павлове и Орехово-Зуевские станции), соединив их с высоковольтной сетью станции «Электропередача», а тем самым и с Москвой. Станции эти срочно были приспособлены для работы на торфе или на сырых дровах, которые сжигались в топках очень простой конструкции, предложенной известным теплотехником того времени проф. К. В. Кирш.

Программа А — это была программа «минимум»; по разделу Б программы имелось в виду разработать план электрификации, т. е. создание общегосударственных сетей районных электрических станций и электропередач.

Для выработки плана электрификации в районном разрезе с последующим составлением сводного плана на 10 лет территория России была разбита на 8 районов, а именно: 1) Северный, 2) Центрально-промышленный, 3) Приволжский, 4) Уральский, 5) Южный, 6) Кавказский, 7) Туркестанский и 8) Западно-Сибирский. В Сибири была принята во внимание только западная ее часть, т. е. губернии и области, примыкавшие к Уралу и тесно связанные с уральским хозяйством.

Работа по составлению планов электрификации в районном разрезе проводилась путем передачи специальных поручений отдельным организациям и группам, а последними — отдельным работникам, при строгом соблюдении начала личной ответственности руководителей этих организаций и групп. Так, ответственное руководство работами по Северному, Центрально-промышленному, Южному и Уральскому районам было возложено на ЦЭС (Центральный электротехнический совет), которым были выбраны ответственными руководителями следующие лица:

1. Вульф А. В. — Северный район.

* Инж. Р. Э. Классон — русский инженер, видный строитель электростанций, построивший первую в России районную электростанцию на торфе — «Электропередача».

2. Классон Р. Э. — Центрально-промышленный район.

3. Гефтер С. Д. — Южный район.

4. Вашков Н. Н. — Уральский район.

По другим районам и секциям ответственными руководителями Комиссия считала:

5. Круг К. А. (от Теплокома) — Приволжский район.

6. Графтио Г. О. — Кавказский район.

7. Близняк Е. В. — Западно-Сибирский район.

8. Ризенкамф Г. К. — Туркестанский район.

9. Угримов Б. И. — Секция по электрификации сельского хозяйства и лесной промышленности.

10. Графтио Г. О. — Секция транспорта и безрельсовых дорог.

Общее число всех работников-специалистов, принимавших участие в работе по выполнению поручений ГОЭЛРО, доходило до 180 человек.

Для составления обзоров по отдельным отраслям промышленности в связи с производственной программой на ближайшие 10 лет были составлены свои программы, общие для всех отраслей; при этом преследовалась цель — получить по возможности однородный материал.

Работа по всем указанным в программе разделам велась параллельно, т. е. по планам электрификации в районном разрезе и по планам развития отдельных отраслей промышленности, по электрификации железных дорог и сельского хозяйства в целом, и увязывалась на специальных совещаниях представителей групп, работавших над указанными планами, что представляло очень сложную и крайне трудную работу. Все должно было быть завершено составлением сводки работ по отдельным районам, составлением сводного доклада ГОЭЛРО.

На пленумах Комиссии ГОЭЛРО заслушивались доклады по общим вопросам с целью освещения их с принципиальной точки зрения и для координирования работы районных подкомиссий, и отчеты и результаты работы районных подкомиссий.

Всего за 9 мес. работы Комиссия ГОЭЛРО имела 67 заседаний пленумов и президиума, не считая заседаний подкомиссий.

Ввиду новизны вопросов, подлежавших разработке, большого объема и творческого характера работы, а также наличия всех тех затруднений, главным образом, отсутствия многих необходимых данных и связи с местами, о которых было указано выше, Комиссия естественно не смогла закончить свою работу в двухмесячный срок. С разрешения В. И. Ленина, который с самого начала руководил ее работой и потому был в курсе положения, Комиссия после истечения срока продолжала свою работу.

В июне 1920 г. ею был представлен ВЦИК подробный отчет (около $\frac{3}{4}$ печ. листа) о ходе работы за истекшие 4 месяца; к отчету были приложены «Бюллетени ГОЭЛРО» № 2 и 3.

В этом отчете президиум Комиссии дал объяснение причин запоздания в своей работе, изложил состояние ее и полученные уже результаты. К этому времени уже выяснились основные моменты из жизни ряда районов⁷, и их электрификационные нужды были освещены в отчете. Наряду с этим в отчете было отмечено состояние работ по вопросам электрификации земледелия, транспорта, по топливоснабжению и т. д.

⁷ Северного, Центрально-промышленного, Донецкого, Уральского и Волжского.

В начале июля уже поступили материалы по районам и представилась возможность дать сводную карту основных станций и электрических сетей, с подразделением на очереди, в зависимости от значения этих станций для хозяйства страны. Для сводки всего материала (как известно для ГОЭЛРО было выполнено около 200 отдельных работ), поступившего от районных и других подкомиссий — записок, карт и обзоров, основным работникам ГОЭЛРО было разрешено уехать из Москвы на государственную электростанцию «Электропередача» с тем, чтобы в спокойной обстановке освоить поступивший огромный материал и составить сводную карту и доклад.

В распоряжение работников Комиссии был отведен отдельный дом, стоявший вдали от самой электростанции на островке — суходоле, среди торфяного болота.

Мирное течение работы этих лиц в один прекрасный день было внезапно прервано. В этом году было исключительно жаркое лето и вследствие засухи на болотах то и дело вспыхивали пожары, прозвившие уничтожить запасы торфа и еще больше углубить кризис электроснабжения. И в тот день, когда пожар, возникший на болоте одновременно с трех сторон, угрожал самому дому и всему ценному материалу, который был привезен Комиссией ГОЭЛРО, было решено во избежание потери перевезти его обратно в Москву. Весь материал был немедленно погружен в автомобиль и увезен в Москву. Одновременно уехала и часть членов Комиссии, а оставшаяся приняла участие в дежурствах и в тушении пожара. Постоянные работники станции были так переутомлены непрерывными тревогами и вызовами на пожар, что всякий лишний человек очень в этот момент ценился.

Таким образом пришлось сводный доклад писать уже в Москве.

В начале ноября вышли из печати доклады по электрификации Северного и Волжского районов. Владимир Ильич одобрил эти доклады и дал указание, чтобы доклады по другим районам были представлены в том же виде, как и доклад по Северному району, а именно: «...с указанием конкретных мер по выполнению в ближайшие годы намеченного плана электрификации, с приведением таблицы, иллюстрирующей в цифрах, хотя бы и предположительно, постепенное развитие по годам электрических станций, долженствующих обслуживать районы. В докладах для каждого района должны быть указаны центры, на которые необходимо обратить особое внимание»⁸.

Районные подкомиссии дополнили и переработали согласно указанию Ленина еще не вышедшие из печати доклады, а Комиссия назначила по этим докладам редакторов, которые согласовали окончательно содержание этих докладов с президиумом Комиссии. Сводный доклад был написан председателем Комиссии Г. М. Кржижановским. Пояснительная записка к сводной карте электрификации России и набросок карты — членом Комиссии и ученым секретарем Е. Я. Шульгиным. Окончательный список электростанций, подлежащих постройке по плану, был принят в заседании ГОЭЛРО 23 ноября.

На заседании ГОЭЛРО 9 ноября было решено отпечатать в количестве 4500 экз. сводный обзор и карту, окончательно выработать которую поруче-

⁸ Протокол заседания ГОЭЛРО от 9 ноября 1920 г.

Список электростанций, подлежащих сооружению по плану ГОЭЛРО

	Гидравл. ст. мощн. в тыс. квт	Теплов. ст. мощн. в тыс. квт	Итого
Северный район			
1. Районная, торфяная	—	30	4 ст.—160
2. Свирская 2-я	40	—	
3. Свирская 3-я	60	—	
4. Волховская	30	—	
Центральный район			
5. Шатурская	—	40	6 ст.—280
6. Каширская	—	60	
7. Епифановская	—	60	
8. Нижегородская	—	40	
9. Иваново-Вознесенская . . .	—	40	
10. Белгородская	—	40	
Южный район			
11. Лисичанская	—	80	5 ст.—480
12. Штеровская	—	100	
13. Белокалитвинская	—	60	
14. Гришинская	—	40	
15. Александровская (Днеп- рогэс)	200	—	
Волжский район			
16. Кашпирская	—	20	4 ст.—100
17. Казанская	—	20	
18. Царицынская	—	40	
19. Саратовская	—	20	
Кавказ			
20. Екатеринодарская	—	20	4 ст.—120
21. Кубанская	40	—	
22. Терекская	40	—	
23. Грозненская	—	20	
Урал			
24. Кизилевская	—	40	4 ст.—165
25. Алапаевско-Егоршинская .	—	40	
26. Челябинская	—	60	
27. Чусовская	25	—	
Западная Сибирь			
28. 1-я станция (Кузнецкий район)	—	40	2 ст.—80
29. 2-я станция (Алтайский район)	40	—	
Туркестан			
30. 1-я станция	40	—	1 ст.—40

Итого — 9 гидравлических станций общей мощностью 515 тыс. квт и 21 тепловая станция общей мощностью 910 тыс. квт, а всего 30 станций общей мощностью 1425 тыс. квт.

но было редакционной подкомиссии (Е. Я. Шульгину и М. А. Смирнову)⁹.

Уже на заседании ГОЭЛРО 9 ноября было принято постановление — с выпуском в свет докладов по электрификации отдельных районов, обобщающего доклада и сводной карты электрификации читать работу ГОЭЛРО в первой стадии по задаче ВЦИК законченной¹⁰.

На заседании ГОЭЛРО 23 ноября 1920 г. была подтверждена необходимость подготовки доклада к Съезду Советов 20 декабря, причем было отмечено, что по настоянию В. И. Ленина программа доклада должна быть в соответствии с работами ГОЭЛРО расширена. Кроме обзоров планов элек-

трификации районов, в доклад должны быть включены: а) введение, содержащее общую характеристику электрификации, как основы государственного хозяйственного плана, и б) раздел «Электрификация, как средство выхода из кризиса топлива, производства, транспорта и рабочей силы».

Нужно было срочно составить следующие разделы доклада: А. «Электрификация и план государственного хозяйства», Б. «Электрификация и топливоснабжение», В. «Электрификация и использование водных сил», Г. «Электрификация и сельское хозяйство», Д. «Электрификация и транспорт», Е. «Электрификация и промышленность».

Печатный доклад VIII съезду Советов — «План электрификации РСФСР» состоял из перечисленных статей, сводной карты и «пояснительной записки к схематической карте электрификации России». К докладу были приложены планы электрификации районов, напечатанные отдельно.

Были большие трудности и масса хлопот с печатанием доклада, который по мысли В. И. Ленина должен был быть напечатан в достаточном количестве экземпляров, ибо решено было раздать доклад всем участникам VIII съезда Советов, чтобы последние могли и сами познакомиться с ним, а также, возвратившись, ознакомить с ним широко места. Вспоминаю далее, как В. И. Ленин, придавая большое пропагандистское значение докладу по плану ГОЭЛРО на VIII съезде Советов, проявлял большую заботу об оформлении доклада и рекомендовал сделать хорошую карту в качестве иллюстрации. Помню, как пришлось хлопотать об изготовлении этой карты, к написанию которой был привлечен молодой художник из крестьян (тов. Родионов), как трудно было достать необходимые для изготовления карты материалы. И вот здесь характерные, сжатые записочки-распоряжения В. И. Ленина помогли осуществить задуманное. Теперь, конечно, почти невозможно представить, как трудно было тогда доставать самые простые материалы и делать самые простые вещи. Так или иначе все затруднения были преодолены, карта изготовлена, книга «План электрификации РСФСР» — доклад VIII съезду Советов — напечатана.

Таким образом и оформление работы ГОЭЛРО было закончено.

Несмотря на все трудности, стоявшие на пути работы ГОЭЛРО, ее работниками под руководством В. И. Ленина был создан план электрификации и первый план народного хозяйства страны, заслуживший высокую оценку В. И. Ленина и И. В. Сталина. По авторитетному их признанию этот план был единственно правильным и возможным, единым государственным планом народного хозяйства.

VIII съезд Советов, как известно, принял и одобрил этот план ГОЭЛРО и постановил «провести его в жизнь во что бы то ни стало».

На VIII съезде Советов днем 22 декабря 1920 г. в ожидании отчетного доклада В. И. Ленина, как председателя Совнаркома, в зрительном зале Большого театра царило необычайно приподнятое настроение. Страна уже могла праздновать окончание гражданской войны, так как к этому времени был разбит и опрокинут в Черное море Врангель, и представилась возможность перейти к мирному строительству.

Депутаты жадно ловили слова В. И. Ленина, говорившего в тот день с необыкновенным воодушевлением. В. И. Ленин говорил с авансцены, расхажив-

⁹ Протокол заседания ГОЭЛРО от 9 ноября 1920 г. Карта электрификации России из плана ГОЭЛРО, см. приложение стр. 9.

¹⁰ Протокол заседания ГОЭЛРО от 9 ноября 1920 г.

вая по ней, обращаясь к слушателям в зрительный зал.

«...Мы имеем перед собой результаты работ Государственной комиссии по электрификации России в виде этого томика, который всем вам сегодня или завтра будет роздан. Я надеюсь, что вы этого томика не испугаетесь. Я думаю, что мне не трудно будет убедить вас в особенном значении этого томика. На мой взгляд, это — наша вторая программа партии»¹¹.

Говоря это, В. И. Ленин поднимал кверху книгу «План электрификации РСФСР».

Доклад выступившего затем председателя Комиссии ГОЭЛРО Г. М. Кржижановского, сопровождаемый показом будущих электростанций на большой электрифицированной карте, Съезд слушал с глубоким вниманием и интересом. По окончании заседания В. И. Ленин поздравил подошедших к нему участников работы Комиссии ГОЭЛРО с успехом доклада. Присутствуя при этом (я впервые видел В. И. Ленина так близко), я запомнил навсегда необычайно приветливую и радостную улыбку Владимира Ильича.

В принятой Съездом резолюции по докладу об электрификации республики говорится:

«...Съезд оценивает разработанный по инициативе Высшего Совета Народного Хозяйства Государственной комиссией по электрификации план электрификации России, как первый шаг великого хозяйственного начинания».

«...Съезд выражает непреклонную уверенность, что все советские учреждения, все Советы Депутатов, все рабочие и трудящиеся, и крестьяне направят все силы и не остановятся ни перед какими жертвами для осуществления плана электрификации России во что бы то ни стало, и вопреки всем препятствиям»¹².

Комиссия ГОЭЛРО существовала еще несколько месяцев и была упразднена с 1 июня 1921 г. постановлением Совета Труда и Оборона от 15 июня 1921 г. В этом постановлении СТО отмечено, что при Государственной общеплановой комиссии при СТО (Госплане) выделена секция энергетики, в задачи которой входит дальнейшая разработка и общее наблюдение за исполнением одобренного VIII Всероссийским съездом Советов плана электрификации России. СТО указал, что нужно «...передать все материалы, отчетность и неиспользованные кредиты в распоряжение Государственной общеплановой комиссии по секции энергетики с возложением на последнюю продолжения работ, производившихся ГОЭЛРО»¹³. Главное ядро работников ГОЭЛРО вошло в состав упомянутой секции энергетики Госплана.

После общего утверждения VIII съездом Советов плана электрификации ГОЭЛРО, прежде чем декретировать его исполнение, конкретный план электрификации, т. е. план построения электростанций, был передан на рассмотрение VIII Электротехническому съезду, созванному в октябре 1921 г. специальным декретом СНК.

В положении об этом съезде было указано, что план передается для «всестороннего обсуждения техно-экономических вопросов, связанных с осуществлением плана электрификации».

VIII Электротехнический съезд признал план

«правильной схемой» и предложенную сеть районных станций — основной, а работу ГОЭЛРО, несмотря на крайне тяжелые условия творчества научной мысли, выполненной специалистами с научной добросовестностью и с полным сознанием серьезности возложенного поручения¹⁴.

Роль Ленина в создании плана ГОЭЛРО. Ленин, как было отмечено выше, принимал в работах Комиссии постоянное и живейшее участие.

Являясь инициатором идеи плановой электрификации страны, он с самого начала внимательно и с горячим интересом следил за организацией Комиссии ГОЭЛРО и ее работой. При учреждении Комиссии В. И. Ленин просил передать ее участникам, что он считает, что Комиссия по электрификации будет одним из важнейших государственных органов и будет получать самую усиленную поддержку Советской власти.

Относясь с горячим интересом ко всему делу составления плана электрификации, В. И. Ленин практически руководил работой Комиссии. Им было дано задание — в двухмесячный срок представить научно-разработанную карту опорных электростанций и очередность их постройки. В. И. Ленин указывал, что в карте должны быть ясно очерчены районы, которые обслуживаются электростанциями; должно быть указано, какая промышленность будет при этом обслуживаться. В. И. Лениным был указан и срок, на который должно было быть рассчитано строительство электростанций.

Ленин заботился обо всем, что касалось Комиссии ГОЭЛРО (обеспечение ее финансирования) и ее работников (обеспечение их продовольствием), оказывал им всяческое содействие в работе. Для примера можно привести следующую его телеграмму. Телеграмма В. И. Ленина в Петроград председателю Совета Народного Хозяйства Северного района, 19 марта 1920 г.:

«Предлагаю оказывать возможное содействие в срочном получении материалов и ордеров, необходимых Петроградской группе государственных работников электрификации России.

Предсовнаркома Ленин»¹⁵.

По распоряжению Ленина выписывавшиеся на его имя американские электротехнические журналы передавались в Электроотдел ВСНХ и Комиссию ГОЭЛРО; при содействии Владимира Ильича затем была выписана для ГОЭЛРО и немецкая специальная литература.

В. И. Ленин требовал подробнейших докладов о ходе работы, разрешал спорные вопросы, выправляя линию работы Комиссии. Он был в курсе работ не только отдельных групп, но и отдельных лиц; он вел одновременно и пропаганду плана ГОЭЛРО помощью статей в газетах. Образцом подобных статей может служить статья В. И. Ленина: «Об едином хозяйственном плане»¹⁶, помещенная в газете «Правда» № 39, 22 февраля 1921 г. Известно, с какой решительностью В. И. Ленин отmetal всякие вражеские попытки подорвать роль и значение плана ГОЭЛРО.

От работников ГОЭЛРО В. И. Ленин требовал устройства популярных лекций, которые бы освещали идею электрификации и ее значение, составления популярных брошюр, статей в газеты и т. д. По его настоянию стали выходить бюллетени Ко-

¹¹ В. И. Ленин, Соч., т. XXVI, стр. 45.

¹² Сборн. Узак. № 1, ст. 11, 1921 г.

¹³ Журн. «Красный архив», стр. 62, № 5 (96), 1939.

¹⁴ См. Резолюции VIII Электротехнического съезда, 1921

¹⁵ «Красный архив» № 4 (95) от 1939 г., стр. 46.

¹⁶ В. И. Ленин, Соч., т. XXVI, стр. 168—174.

миссии, которые он просил присылать ему лично. В бюллетенях по его указанию напечатано было распределение главнейших работ по районам, по отдельным отраслям промышленности и т. д. и т. д. между участниками этих работ. Он указывал, что это необходимо для создания делового впечатления о работах Комиссии, в успех которых, нужно прямо сказать, в то время мало кто верил. Всем известно, как люди, разоблаченные впоследствии как враги партии и Советской власти, называли электрификацию «электрофикцией».

Когда был готов сводный план и приступили к его срочному печатанию, необходимо было преодолеть много трудностей. Особенно важно было выполнить указание Владимира Ильича — приготовить 1500 экземпляров доклада к Съезду Советов для раздачи делегатам с тем, чтобы, вернувшись на места, делегаты могли познакомить широкие массы с планом электрификации.

Нужно было лично В. И. Ленину принять меры, чтобы эта работа была закончена в срок. Эти меры состояли не только в проведении ряда поощрений для работников типографии, но и в побуждении угрозой ареста одного из членов Комиссии, ответственного за издание, к обеспечению выхода книги в срок.

Лениным были написаны характерные для него небольшие записочки, например, к коменданту

Большого театра, чтобы в театр были пропущены работники ГОЭЛРО, работавшие над изготовлением карты электрификации¹⁷, которая затем фигурировала в докладе председателя ГОЭЛРО в Большом театре, и др. Для получения при изготовлении карты материалов, холста и красок также необходимо было, чтобы сам Ленин написал свои записки.

Заключение. Основная идея плана ГОЭЛРО — «...подъем в возможно более короткий срок производительности народного труда с расходом минимума трудовых единиц и материальных ресурсов страны»¹⁸ — оправдалась жизнью при осуществлении плана ГОЭЛРО.

Одна из важнейших установок плана ГОЭЛРО — быстрое развитие энергетической базы в национальных республиках и отсталых районах путем сооружения крупных современных тепловых электрических станций на местном топливе и гидроэлектростанций — нашла свое отражение и реализацию в сталинских пятилетках.

Уже к 1930 г., т. е. менее чем в десятилетний срок, план ГОЭЛРО был перевыполнен почти по всем показателям, чем страна прежде всего обязана мудрому руководству товарища Сталина.

¹⁷ Карта выполнялась в специальном помещении, предназначенном для писания декораций и расположенном над зрительным залом.

¹⁸ Из доклада ГОЭЛРО VIII съезду Советов.

Сводка данных по электрификации России

1-й очереди

	Север- ный район.	Центрально- промышленный район.	Южный район.	Волж- ский район.	Ураль- ский район.	Кавказский район.	Сибирь — Туркестан.	Всего
1. Общие данные								
Число паровых станций	1	6	4	4	3	1	1	20
Число гидравлич. станций	3	—	1	—	1	3	2	10
Рабочая мощность паровых стан- ций к. у.	30 000	280 000	280 000	100 000	140 000	20 000	40 000	890 000
Рабочая мощность гидроэлектр. станций к. у.	130 000	—	200 000	—	25 000	100 000	30 000	535 000
Установленная мощность паровых станций к. у.	40 000	360 000	330 000	120 000	180 000	30 000	50 000	1 110 000
Установленная мощность гидро- электр. ст. к. у.	155 000	—	230 000	—	30 000	125 000	100 000	640 000

Данные о главных материалах и сооружениях по электрификации

1-й очереди

Для сооружения 20 паровых и 10 гидроэлектрических районных станций потребуется примерно:

Цемента	6 000 000 бочек
Кирпича	150 000 000 штук
Железа сортового (включая мачты)	8 000 000 пуд.
Меди (не считая электр. машин и приборов)	2 500 000 пуд.
Изоляторов разных	2 000 000 штук

Турбогенераторов на мощность	1 110 000 к. у.
Гидравлич. турбин и генераторов на мощн.	640 000 к. у.
Котлов паровых . . . пов. нагрева	450 000 кв. метр.
Зданий для паровых станций	470 000 куб. саж.
Зданий в поселках для паровых станций	900 000 куб. саж.
Зданий для трансформат. подстанций	100 000 куб. саж.
Служб. поселки при трансф. подст.	90 000 куб. саж.
Рабочих	кругло 370 милл. раб. дней

Пути развития грозозащитных установок

Д-р техн. наук И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ

Энергетический институт Академии наук СССР

Существующие методы грозозащиты можно разбить на два принципиальных типа. К первому следует отнести грозозащитные сооружения, имеющие целью отвести развивающийся над защищаемым объектом разряд молнии в землю по специально для этого созданному металлическому пути. Этот метод, конструктивно различно выполняемый (в виде стержневых молниеотводов, антенн и пр.), получил на практике широкое распространение. В течение ряда последних лет уточнению защитных зон в различных странах было посвящено большое количество исследований, в результате которых, хотя и эмпирическим методом, были найдены практические коэффициенты, служащие базой всех инженерных расчетов этого типа конструкций. Описанный метод защиты мы называем *защитительным*.

Физической основой работы молниеотвода является преимущественное поражение развивающейся молнией, при прочих равных основаниях

(проводимости токоотвода и его заземления, состояние воздуха, распределение в нем температуры и влажности и т. п.), наиболее возвышающегося объекта. Решающим фактором при этом является искажение электрического поля, создаваемого развивающимся разрядом.

Работы автора и его сотрудников показали, какое влияние на работу молниеотводов могут оказать различного рода неоднородности. Дальнейшим уточнением коэффициентов зон защиты, при учете ряда факторов, имеющих значение в процессе моделирования, возможно, удастся добиться более рационального использования грозозащитных конструкций.

Несравненно более плодотворным направлением работ является, однако, изыскание способов увеличения защитного действия стержневых молниеотводов.

Работы автора и его сотрудников, проведенные в лабораторных условиях, показали возможность

Приблизительная стоимость электрификации

1-й очереди

	Количество	Единичная расценка руб.	Сумма, руб.
I. Станции, линии передачи и сеть.			
1. Сооружение паровых районных станций включая поселки и подъездные пути к. у.	1 110 000	230	255 300 000
2. Сооружение гидроэлектрических станций, включая гидротехнические сооружения на полную мощность, поселки, подъездные пути без оборудования к. у.	1 145 000	225	257 625 000
3. Оборудование 1 очереди гидроэлектрических станций к. у.	640 000	90	57 500 000
4. Сооружение трансформаторных подстанций 115 000/35 000 в. и 115 000/6600 в к. у.	950 000	27	25 650 000
5. Сооружение трансформаторных подстанций 35 000 6600—3000 в. . . .	1 247 000	24	29 928 000
6. Сооружение линий передач на 115 000 в. км	7 000	7 000	49 000 000
7. Сооружение линий передач на 35 000 в. км	8 700	4 500	39 150 000
8. Сооружение сети воздушн. с трансформ. и пр. на напр. 6600—210 в. к. у.	1 096 000	70	76 720 000
9. Сооружение сети подземной с трансформаторами и пр. на напр. 6600—3300—210 в. к. у.	220 000	195	42 900 000
Что составляет		кругло	833 873 000
на 1 установленный к. у.	476 рублей золотом		
на 1 рабочий к. у.	602 рубля золотом		
II. Электрификация железных дорог			
. Электрификация пригородных железных дорог, включая подстанции и подвижной состав верст	660	100 000	66 000 000
. Электрификация магистралей, включая подстан., электропровод и пр. верст	2 500	80 000	200 000 000
. Электрификация подъездных путей верст	340	50 000	17 000 000
	3 500		283 000 000

еличить защитную зону стержневого молниеотда путем создания над ним нагретого вертикального столба воздуха.

Механизм этого явления заключается в уменьении электрической прочности нагретого воздуха. Если найти методы ослабления прочности воздуха над молниеотводом, причем добиться го, чтобы этот столб воздуха был устойчивым не зависел от состояния атмосферы, — поставная задача улучшения защитного действияержневых молниеотводов будет решена. Естественно, что при положительном решении легкодет отказаться от металлической части молниевода, возвышающейся над сооружением, и сдесь, таким образом, грозозащиту невидимой.жность такого усовершенствования грозозащитыдно переоценить.

Томимо создания столбов воздуха ослабленнойчности, мыслимо увеличение защитного действия стержневых молниеотводов в результатежого увеличения проводимости атмосферы пуи, например, ионизации. Ионизаторами могутжить радиоактивные вещества или электроитные лучи коротких волн (меньше 3000—0 Å), например, рентгеновские лучи (по-

дробнее об этих способах будет сказано в связи со вторым методом).

Второй метод грозозащиты, который может быть назван *превентивным*, имеет основной идеей предупреждение разряда. Осуществление поставленной задачи мыслится методом дренирования зарядов тучи до того, как их концентрация достигнет таких значений, при которых возможно образование молний. Другими словами, основной превентивного метода является спокойное и равномерное отведение зарядов из тучи для предупреждения кратковременных и бурных атмосферно-электрических разрядов.

Зарождение обоих названных типов грозозащиты произошло почти одновременно, и во всяком случае оба способа борьбы с разрушительным действием молнии упоминаются уже с середины XVIII столетия.

Следующие физические идеи лежат в основе превентивного метода.

Туча и земля имеют заряды различных знаков, которые создают электрическое поле определенной напряженности. В принципиальном виде процесс заряда тучи может быть представлен в виде схемы, изображенной на рис. 1. На схеме: А—

туча, B — земля, C — генератор в стилизованном виде, представляющий аэро-термоэлектродинамические процессы, благодаря которым происходит разделение зарядов между тучей и землей¹.

Ток, вырабатываемый генератором, идет на покрытия естественных потерь: 1) разряды молний (I_m — рис. 1); 2) истечение с острий (I_u); 3) заряды, переносимые дождем (I_d).

Новейшие измерения показали, что количества электричества, разряжающиеся в молниях, могут существенно зависеть от тока, предшествующего или сопровождающего отдельные импульсы разряда. Эти токи имеют обычно малые амплитуды, но сравнительно большую длительность.

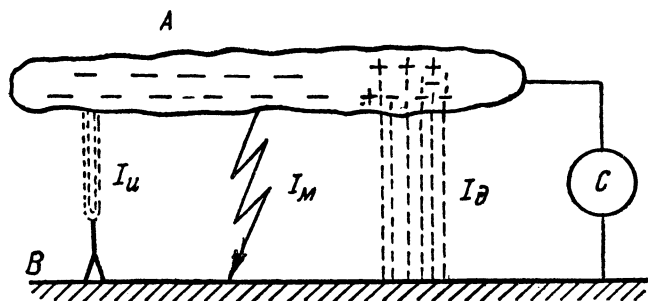


Рис. 1

По измерениям, сделанным автором в Московском районе и в Бакуриани с помощью катодных осциллографов, работавших в схеме с нижним пределом регистрации около 3—5 кА, среднее количество электричества, разряжающееся в одной молнии, равно 1 С. Число молний n , ударяющих в землю на площади в 1 км² в течение одной минуты, колеблется в пределах от 0,1 до 5. Принимая $n = 1$, находим, что в одну минуту туча в указанных условиях разряжает на землю 1 С.

Если учитывать измерения, сделанные с осциллографом, имеющим нижний предел регистрации 50—100 А, то количества электричества Q , разряжающиеся одной молнией, резко увеличатся. По американским данным в 50% случаев $Q = 35$ С. Если принять, что $n = 1$, то в одну минуту на площади, равной 1 км², разряжается около 35 С. При этом среднее значение тока (I_{cp}), генерируемого в туче за время между разрядами, равно $\frac{35}{60} = 0,6$ А.

Истечение зарядов из острий, роль которых выполняют листья деревьев, трава, металлические предметы (коньки крыш и т. п.), заземленные тросы и т. п., в поле тучи достигает весьма существенных значений.

Согласно измерениям Уормелл [2] в Англии с металлического острия, помещенного на высоте 8 м при градиенте 3 кВ/м, происходило истечение 3 мкА, а при более близких грозах ток часто до-

стигал 10 мкА. Шонланд [3], производивший в Южной Африке измерения тока истечения из колючей акации высотой 4 м, дает значения, приведенные в таблице, из которой видно, что ток возрастает значительно быстрее градиентов поля (последние два замера таблицы сделаны при близких грозах).

Заряд дождя, выпадающего во время грозы на площади 1 км², может быть оценен величиной $I_d = 0,01 - 0,02$ А [4].

Согласно подсчетам, сделанным Шонландом [3] на основании своих двухлетних измерений, проведенных в Южной Африке, баланс токов при грозе определяется следующими цифрами: истечение из острий — 2,1 А; средний ток молний — 0,1 и ток дождя — 0,02 А.

Таким образом при работе тучевого генератора по схеме, изображенной на рис. 1, ток, проходящий через него, должен иметь величину, равную 2,2 А, а при среднем токе молнии 0,6 А величину 2,7 А. При сильных грозах этот ток может быть значительно больше.

Предупреждение разрядов молнии дренированием зарядов тучи принципиально мыслимо методом создания противотока.

Между грозовой тучей и землей существует, как было указано, электрическое поле. Поэтому поставленная задача будет решена, если создать проводимость туча—земля. В силу того, что туча в неионизированном состоянии является изолятором, проводимость, — даже металлическая, — созданная в одной точке тучи, не будет достаточной для дренирования зарядов всего объема тучи. Согласно опытам, произведенным автором, при подъеме в область тучи металлического хорошо заземленного троса (на высоту 1000—2000 м) молнии отнюдь не прекращались, а продолжали поражать землю на определенном расстоянии от основания троса; не предупреждали образования молний и несколько одновременно поднятых в область тучи соединенных в земле металлических тросов. Для действительного дренирования зарядов необходимо, следовательно, распределить противоток приблизительно равномерно по площади тучи, что сводится к рассеянию зарядов в атмосферу под тучей.

Для осуществления этой задачи могут быть использованы несколько способов. К первому относится усиление истечения электричества из острий, ко второму — искусственная ионизация воздуха, например, при помощи лучистой энергии.

Проанализируем эти возможности.

1. Активизация истечения электричества с земной поверхности при данной напряженности поля может быть осуществлена, например, подвеской заземленных колючих проволок (как это рекомендуется системой Кейдж [8]) или другими аналогичными средствами.

По американским данным ток, рассеиваемый тремя рядами колючей проволоки, подвешенной на высоте около 30 м с одного погонного метра длины устройства, достигает 1200 мкА.

Таким образом казалось бы, что подвеска 2—3 км колючей проволоки² произведет дренирование зарядов тучи, питающейся током 2—3 А

Т а б л и ц а

Напряженность поля кВ/м	Ток мкА	Напряженность поля кВ/м	Ток мкА
3,5	0,07	11,0	1,0
5,5	0,20	16	4,0

¹ Схема, в которой генератор включен между двумя слоями туч, принципиально не отличается от схемы рис. 1.

² Исходя из того, что якобы зарядный ток тучи диаметра 1,6 км равен 0,02 А, американцы [8] считали, что для предупреждения молний достаточно устройство из 15 м колючей проволоки.

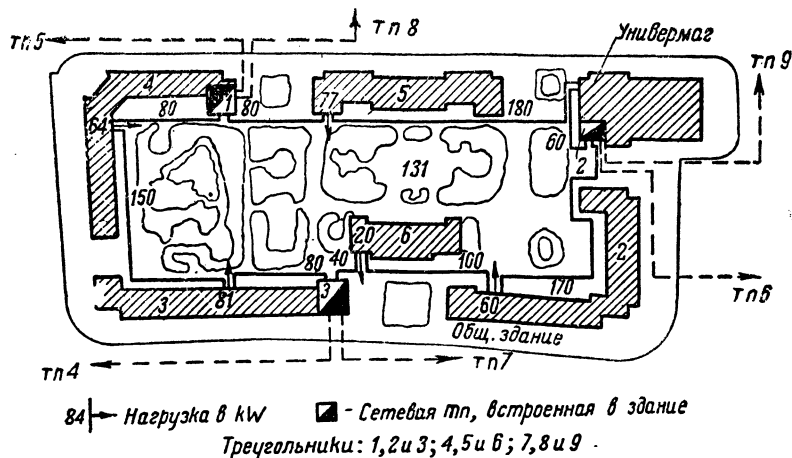


Рис. 1. Пример выполнения замкнутой сети низкого напряжения по схеме „треугольник“ в квартале нового жилищного строительства в Ленинграде

была разработана система автоматического подключения резервных фидеров после отключения рабочих. По сетям низкого напряжения проводятся опыты применения схемы американской сети [3, 4, 5].

Идея автоматических переключений разработана также Электропромом [6, 7, 8].

Киевская городская сеть применила метод автоматического подключения полумшейфов (полунаправлений) распределительной сети 6 kV в точках стыка, разработав для этой цели специальную систему грузовых приводов [9, 10]. В опубликованных материалах нет только указаний о методах построения фидерной сети 6—10 kV.

На тот же путь стали, очевидно, также и работники завода «Уралэлектромашина», предложившие применение для таких переключений разъединителей мощности с грузовыми приводами [11].

Дальнейшее изучение вопроса в Ленэнерго показало, что для городских сетей можно применить другие методы реконструкции и сооружения новых сетей как 6 и 10-kV, так и низкого напряжения.

К каждой фидерной подстанции подводится только один питающий 6-kV фидер. Несколько таких подстанций соединяются между собой шлейфами (направлениями) распределительной сети 6 kV без осуществления параллельной работы на высоком напряжении. Взаимное их резервирование происходит через параллельно работающую сеть низкого напряжения.

Защита в такой сети низкого напряжения осуществляется только плавкими предохранителями [12]. Как уже указывалось в печати, такая схема сети приводит к большому снижению мощностей к. з. в сети 6 kV и, следовательно, к возможности применения облегченных сечений в 6-kV распределительной сети, что компенсирует повышение расхода металла из-за увеличения длины распределительной сети по новой схеме. Точно также эта схема сети позволяет осуществить замкнутую сеть без применения дорогостоящих автоматов обратной мощности (сохранением прочих достоинств замкнутой сети (бесперебойность питания, снижение потерь и т. д.). Следует также иметь в виду, что схема весьма универсальна и ее можно применить не только в кабельной, но и воздушной сети.

Характерно, что аналогичный принцип построения городских сетей предложил и Денцель [13].

Приведенные в журнале «Электричество» простейшие примеры схем сети оказались удачными применительно к новому жилищному строительству.

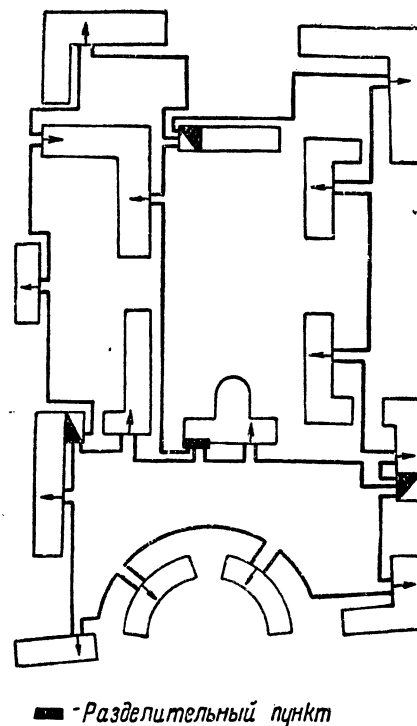


Рис. 2. Пример выполнения замкнутой сети низкого напряжения по схеме „треугольник с внутренней звездой“ в квартале нового жилищного строительства

Особенность планировки новых участков — это расположение основных жилых зданий по периферии каждого квартала, внутренняя же часть квартала отводится под зеленые насаждения, спортплощадки и проезды. Как показано на рис. 1, в таких случаях сеть низкого напряжения может быть удачно выполнена равносоставленным треугольником. В тех отдельных, сравнительно редких случаях, когда внутри квартала имеются здания со значительной потребляемой мощностью, сеть можно выполнить в виде треугольника с внутренней звездой (рис. 2).

В этом случае разделительный, вернее узловой, пункт может быть выполнен отдельно стоящим киоском или в виде увеличенного вводного щитка.

Изложенный принцип был положен в основу проектов сетей новых ленинградских жилищных массивов в Автове, Малой Охте и Большой Щемиловке. Сопоставление проектов сетей, выполненных по указанной схеме, с проектами, осуществленными по старой шлейфной схеме построения сети, показало, что по расходу цветного металла (см. таблицу) и экономическим показателям новая сеть не уступает прежней, обеспечивая в то же время гораздо более высокую степень бесперебойности электроснабжения потребителей.

При неоднократном обсуждении новых принципов построения городской сети в качестве основных дефектов указанных простейших вариантов схемы отмечалось: затруднительность симметричности схемы как при расширении сети по окончании расчетного периода или при появлении новых, не предусмотренных проектом нагрузок, так и в первый период сооружения сети, в соответствии с различной очередностью сооружения зданий; проектировщик связан с требованием симметричности сторон «треугольников».

Однако вопрос о способах расширения сети, присоединения непредусмотренных нагрузок и работы

Наконец, в промежуточном случае, наиболее неблагоприятном, при замыкании на землю в сети высокого напряжения могут перегорать не вставки трансформаторных предохранителей, а вставки предохранителей в разделительных пунктах. Тем самым вся сеть вместо замкнутой (при аварии указанного типа в кабеле, питающем нового индивидуального потребителя) становится полужамкнутой, продолжая

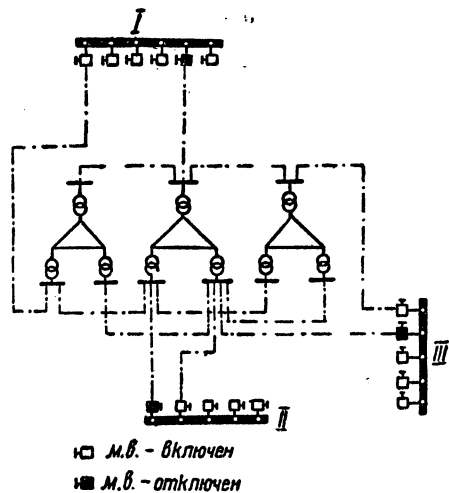


Рис. 5. Модификация схемы высокого напряжения, питающей замкнутую сеть, выполненную треугольником; шлейфы выполнены разветвленными

работать в части селективного действия предохранителей как в системе замкнутой сети в случае трехполюсного к. з. в этом кабеле (ав) и при любой аварии в остальных кабелях (аб и бв).

В каждом отдельном случае необходимо решить, следует ли идти на такое ухудшение схемы электроснабжения основных потребителей, или же дать рассматриваемому новому потребителю прямое питание от фидерной подстанции отдельным кабелем.

С целью удешевления сети и уменьшения длины кабелей высокого напряжения в отдельных случаях могут применяться модификации схем, опубликованных авторами [12].

Так например, полужлейф сети высокого напряжения может и не заводиться на вторую фидерную подстанцию ввиду наличия резерва питания потребителей через замкнутую сеть низкого напряжения. Выполнение шлейфов разветвленными (рис. 5) во многих случаях позволяет сильно сократить протяженность сети высокого напряжения, что опять-таки возможно благодаря резервированию через сеть низкого напряжения. При таком выполнении сети высокого напряжения, как показали некоторые из выполненных проектов, протяженность новой распределительной сети высокого напряжения уже не превышает протяженности ее при выполнении по старой шлейфной схеме.

Как показал ряд расчетов, селективную работу предохранителей можно вполне обеспечить и при отступлении от полной симметрии треугольников на 20—25%. Таким образом при проектировании сетей указанного типа и для нового жилищного строительства в этом отношении каких-либо серьезных затруднений не встретилось. Применение системы плавких вставок, изготавливаемых с достаточной точностью (см. ниже), позволяет увеличить это отступление до 50%, что практически дает достаточную свободу проектировщику. Рассмотрение городской сети низкого напряжения в Ленинграде показало, что хотя разбивка ее на треугольники в большинстве случаев не вызывает затруднений, обеспе-

чить сколько-нибудь удовлетворительное соотношение электрических сопротивлений сторон этих треугольников не представляется возможным; в подавляющем большинстве случаев соотношение максимального и минимального сопротивлений превышает 1,5:1 и часто доходит до 2:1.

Вместо лимитеров [14], совершенно не обеспечивающих защиту кабелей от перегрузки, следует применить плавкие вставки, характеристика которых обеспечивает защиту от перегрузки как кабелей, так и сетевых трансформаторов. Возможность защиты элементов электрической сети вполне подтверждена рядом испытаний, проведенных авторами в Ленинградской кабельной сети [2, 15, 16].

Вставки (рис. 6), широко применяемые в Ленинградской кабельной сети уже в течение двух лет, перегорают при небольших перегрузках вблизи утолщения в средней части: сечение вставки у наконечников из-за наличия отверстий много меньше, но лучшие условия отвода тепла в этой части вставки обуславливают там более низкую температуру; при коротком же замыкании, когда процесс перегорания вставки происходит в крайне незначительный промежуток времени, отвод тепла не успевает оказать сколько-нибудь заметного влияния, и вставки перегорают в местах минимального сечения (рис. 7). Обеспеченный благодаря форме вставки двукратный разрыв дуги повышает разрывную мощность вставки и снижает продолжительность перегорания.

Ряд опытов показал, что даже при небольшой разнице в сечении последовательно установленных вставок одинаковой конструкции и выполненных из одного материала всегда перегорает вставка меньшего сечения. С другой стороны, изготовленные в Ленинградской кабельной сети и испытанные вставки разной конструкции на различные номинальные токи, при одинаковом сечении в ослабленных местах вблизи наконечников перегорают одновременно. На основании этих данных авторами предложена следующая примерная схема изготовления плавких вставок открытого типа для сети 220/127 и 3×120 V и трубчатого типа для сетей 380/220 V.

Плавкие вставки изготавливаются штамповкой из листовой меди, или же из другого материала (но

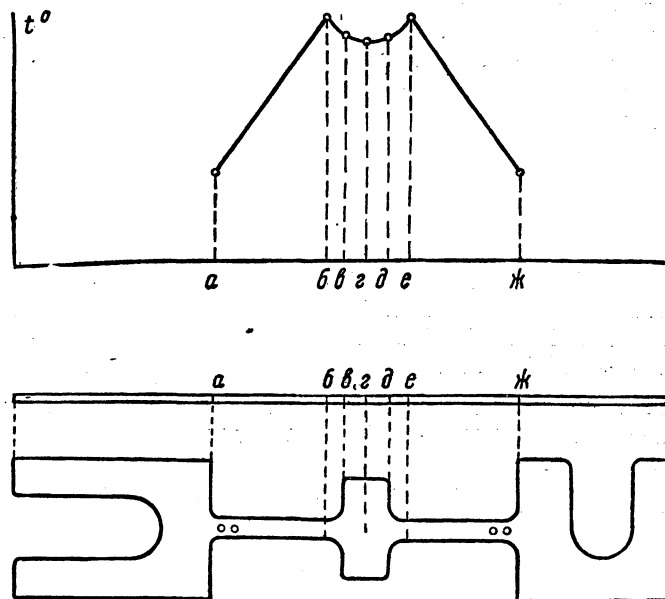


Рис. 6. Распределение температуры по длине плавкой вставки при нагрузке ее током, близким к номинальному

одного и того же для всей сети) — цинк, латунь, свинец¹, при условии неизменности его химического состава. Форма вставок (рис. 7) должна обеспечить перегорание посредине от перегрузки и в ослабленных местах у наконечников при к. з. Вставки выполняются по сериям.

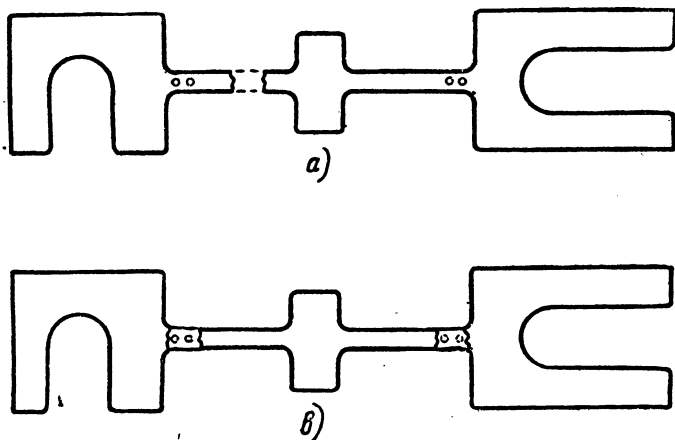


Рис. 7. Перегорание плавкой вставки при перегрузке (а) и к. з. (б)

Серия А выполняется из более толстого листового металла. Вставки этой серии устанавливаются в трансформаторных предохранителях. Серия Б — из листового металла, толщина которого процентов на 15 меньше, чем у применяемого для серии А. Вставки этой серии применяются в предохранителях на щитках т. п., защищающих головные участки магистралей низкого напряжения. Вставки серии В штампуются из листов, толщина которых на 30% меньше толщины листов серии А. Эти вставки устанавливаются в разделительных пунктах магистралей низкого напряжения и на вводах к потребителям. Для сетей 220/127 и 120 В целесообразно предусмотреть четвертую серию вставок из еще более тонкого листового металла.

Вставки должны изготавливаться по нескольким модификациям в пределах каждой серии. Благодаря тому, что форма вставки у наконечников для всех модификаций неизменна, сечение вставки в тех ее частях, которые перегорают при к. з., зависит исключительно от толщины листа, т. е. от серии вставки.

Так как соотношение сечений вставок предохранителей трансформаторного, кабельного и в разделительном пункте отвечает отношению 1 : 0,85 : 0,7, то соответствующее соотношение времен их перегорания, пропорциональное квадрату сечения, составляет, примерно, 1 : 0,73 : 0,5 при одинаковом токе к. з.

При к. з. в сети высокого напряжения, когда ток, проходящий через трансформаторный предохранитель, в худшем случае (отвечающем неравномерности сопротивлений сторон «треугольников» в 150%) в 1,67 раза больше тока, идущего через разделительный пункт, и, следовательно, термическое его действие больше в 2,78 раза, первоочередное пе-

регорание трансформаторной вставки вполне обеспечено ($1 : 0,5 = 2 > \frac{2,78}{2} = 1,39$).

Вместе с тем изменение формы и размеров средней части вставки при различных модификациях позволяет в необходимых пределах варьировать номинальный ток вставки, что обеспечивает защиту кабелей и трансформаторов от перегрузки теми же вставками.

Предлагаемая схема сети, несомненно, много надежнее сети с лимитерами, не требует применения кабелей с особой теплостойкой изоляцией и, в частности, поэтому более пригодна для Дворца Советов, чем принятая в настоящее время схема сети. Следует только принять предлагаемую систему выполнения вставок, а также те конструктивные их формы, которые обеспечивают достаточную разрывную мощность предохранителей.

Инж. Бажанов предложил [17] применить в отдельных случаях вместо резервных трансформаторов на каждой подстанции промышленного предприятия общий трансформаторный резерв с выполнением кабельных перемычек низшего напряжения между подстанциями. Вместе с принятым в настоящее время дроблением подстанций промпредприятий по предложению инж. А. С. Либермана такие сети уже не отличаются по существу от сетей городских. Таким образом и к сетям промпредприятий может быть вполне применена предлагаемая система построения городской сети, являющаяся одновременно и логическим завершением предложений инж. Бажанова в отношении сети промпредприятий. Детали этого вопроса являются темой для отдельной работы.

Литература

1. В. Н. Степанов. Замечания по проекту «Руководящих указаний для проектирования городских электросетей», «Электричество», стр. 55—57, № 4, 1939.
2. «Электричество», стр. 20—25, № 16, 1935 и «Электрические станции», стр. 17—21, № 10, 1937.
3. П. В. Савельев. Автоматизация и защита кабельных городских сетей, «Электричество», стр. 6—16, № 13, 1937.
4. П. В. Савельев. Модернизация и автоматизация распределительных сетей для электроснабжения средних и мелких промышленных потребителей, «Электричество», стр. 10—17, № 7, 1938.
5. Инж. К. Л. Плюснин. Низковольтная замкнутая сетка в Московской кабельной сети, «Электричество», стр. 7—13, № 22, 1937.
6. Я. И. Лейбзон и М. Р. Найфельд. Автоматическая блокировка вводов на подстанции, имеющих ручное управление масляных выключателей, «Электромонтер», стр. 327—331, № 10, 1937.
7. С. К. Бажанов. Схема взаимной блокировки двух масляных выключателей, «Бюллетень Электропрома», стр. 75—79, № 2, 1938.
8. А. В. Нетушил. Автоматическое замещение вводов, «Бюллетень Электропрома», стр. 1—7, № 6, 1939.
9. И. М. Сирота и Г. М. Дужанский. Трансформаторные пункты для городской кабельной сети, «Электромонтер», стр. 13—17, № 10, 1939.
10. Инж. И. М. Сирота. Грузовые приводы для автоматического включения масляных выключателей, «Электрические станции», стр. 30—34, № 1, 1940.
11. Н. Н. Линниченко. Автоматическое резервирование с применением грузового привода, «Электричество», стр. 51—52, № 12, 1939.
12. Б. Л. Айзенберг, М. Н. Карасик и М. И. Медведский. «Электричество» № 7, 1939, «Новое в строительстве городских электрических сетей».
13. ETZ, № 49, 1939.

¹ Наконечники свинцовых вставок должны выполняться из твердого материала.

ВОПРОСЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КОММУТАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Теория и расчет противодействия дуги в импульсном выключателе

Инж. С. В. ШТЕЙНБЕРГ

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

I. Выключатель с принудительным дутьем масла (импульсный) работает в 2—2,5 раза быстрее, чем масляный с автодутьем. Время действия импульсного выключателя весьма стабильно и, в частности, не зависит от силы отключаемого тока. Расход масла в таком 220-kV выключателе составляет всего 6 т против 50 т в выключателе с большим объемом масла.

Крайнее быстродействие импульсного выключателя, сочетающееся с необходимостью принудительного дутья, приводит к весьма сложной конструкции, создание которой невозможно без геометрического расчета, согласованного с необходимыми опытными данными.

До сего времени были разработаны [1, 2] теория и расчет холостого отключения импульсного выключателя — при отсутствии дуги. В 1937 г. проф. Г. Т. Третьяк предложил метод гидродинамического расчета дугогасящих устройств [3]. В 1938—1939 гг. инженеры А. М. Курбатов и Н. И. Антонов в аппаратной лаборатории ЛЭТИ произвели обширное экспериментальное исследование работы модели импульсного выключателя при горении дуги [4]. Таким образом возникла возможность предложить теорию и расчет гидродинамических явлений процесса отключения импульсного выключателя. Указанные теория и расчет разработаны автором под руководством проф. Г. Т. Третьяка и представляют в основном теоретическую обработку экспериментального материала ЛЭТИ [4].

На рис. 1 изображена принципиальная схема конструкции импульсного выключателя с четырьмя разрывами. Каждый разрыв состоит из пары контактов, расположенных против щелей дугогасящего устройства (рис. 2). При отключении дуга возникает одновременно во всех разрывах. Одно-

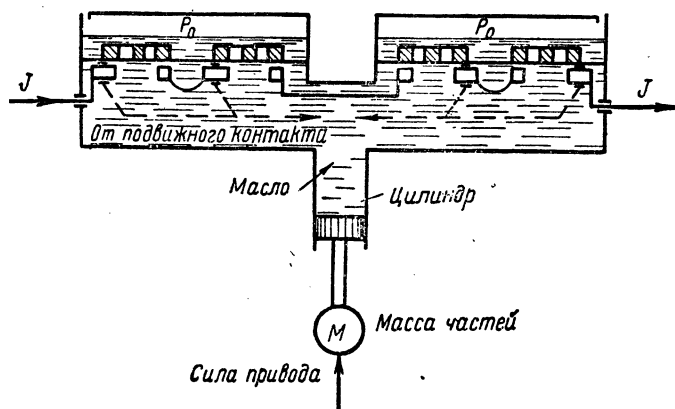


Рис. 1. Принципиальная схема импульсного выключателя с четырьмя разрывами (по две щели на разрыв)

временно движется поршень и выталкивает масло через щели.

Опыты показывают, что для правильной работы выключателя необходимо, чтобы расход масла через щели во время горения дуги не снижался ниже некоторой допустимой величины. Иными словами, скорость поршня выключателя данной конструкции задается скоростью восстановления напряжения сети. Поэтому привод поршня выключателя должен быть рассчитан так, чтобы преодолеть противодействие газов, образующихся в дугогасящем устройстве при горении дуги, и обеспечить достаточный расход масла через щели. Таким образом возникает необходимость расчета противодействия дуги.

Разрывы выключателя (рис. 1) не могут работать совершенно одинаково, так как условия горения дуги и газообразования не могут быть одинаковы во всех разрывах и к тому же разрывы расположены асимметрично относительно поршня. Однако можно произвести расчет давления для одного разрыва при наихудших условиях и считать, что это давление характерно для всего выключателя. При таком расчете давление в выключателе будет завышено и будет сделана ошибка в сторону запаса.

Исследование осциллограмм и расчет на основе некоторых установленных теоретических положений заставляют предполагать следующую картину работы дугогасящего устройства импульсного выключателя.

В течение времени от начала движения поршня и контактов до возникновения дуги происходит разгон масла и подвижных частей выключателя. В момент возникновения дуги генерируемый газ вызывает повышение давления в выключателе (рис. 3); газ вытесняет масло и вызывает увеличение расхода и скорости масла в щелях. Эта

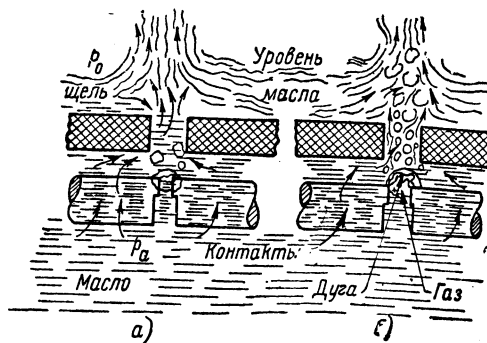


Рис. 2. Работа дугогасящего устройства импульсного выключателя при малой мощности дуги
а — стадия замкнутого пузыря; б — стадия истечения смеси

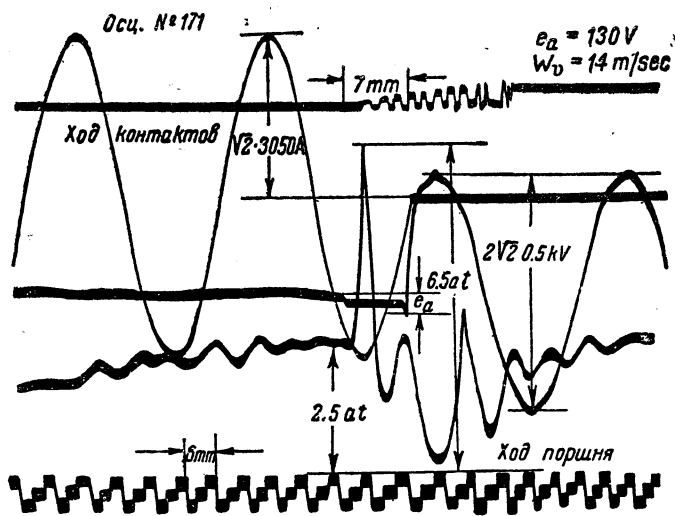


Рис. 3. Осциллограмма опыта с моделью импульсного выключателя в ЛЭТИ [4]. Пик давления соответствует стадии замкнутого пузыря, возникшей в момент размыкания контактов

стадия работы дугогасящего устройства может быть условно названа стадией замкнутого газового пузыря, так как газ через щели не истекает.

Стадия замкнутого пузыря длится недолго, — пузырьки газа, двигаясь вместе и относительно движущегося масла, пробираются в щели и выбрасываются в смеси с маслом. Наступающая стадия работы дугогасящего устройства может быть названа стадией истечения смеси масла и газа. Стадия истечения смеси автором не исследовалась.

При достаточной силе отключаемого тока и некотором расстоянии между контактами образуется столь много газа, что отдельные „пузырьки газа“ сливаются в струю, занимающую часть площади щелей. Остальная часть площади щелей остается занятой струей масла, которое течет параллельно струе газа. Таким образом стадия истечения смеси переходит в новую стадию работы дугогасящего устройства, которая может быть названа стадией параллельного истечения (см. ниже рис. 5).

В нормальных дугогасящих устройствах импульсного выключателя стадия замкнутого пузыря и стадия истечения смеси вместе длятся не более 1—2 мсек и затем переходят в стадию параллельного истечения.

Давление в выключателе в стадии замкнутого пузыря значительно больше, чем в стадии параллельного истечения. Поэтому ликвидация стадии замкнутого пузыря сопровождается резким падением давления (рис. 3).

В процессе отключения возможны переходы стадии параллельного истечения в стадию замкнутого пузыря (рис. 4) или в стадию истечения смеси. Такие переходы сопровождаются резкими пиками давления.

Так как стадии замкнутого пузыря и истечения смеси длятся очень короткое время, то эффектом торможения поршня благодаря противодействию дуги в этих стадиях возможно пренебречь.

При расчетах противодействия дуги будем приближенно считать движение масла в щелях установившимся и принимать во внимание только местные потери напора в струе масла в щелях.

В этом разделе приводятся расчеты противо-

действия дуги в импульсном выключателе в стадии замкнутого пузыря.

Введем следующие термины и обозначения.

Мощность дуги на один разрыв

$$P = ei \text{ [kW]}, \quad (1)$$

где e — напряжение на дуге, i — ток (мгновенные значения).

Скорость газообразования

$$\Omega = \Omega_0 P \left[\frac{1}{\text{sec}} \right], \quad (2)$$

причем Ω приведено к 1 ат и температуре газового пузыря; коэффициент Ω_0 будем считать независимым от мощности дуги, давления и т. д. и равным $0,4 \frac{1}{\text{kW sec}}$ [5]. p_a — давление в области контактов выключателя, p_0 — давление над щелями дугогасящего устройства снаружи (рис. 2). При правильной конструкции вентиляционных отверстий, отводящих газ, выбрасываемый из щелей выключателя, p_0 постоянно и равно 1 ат. Разность $p_a - p_0$ будем называть противодействием дуги.

Расход масла $\left(\text{в } \frac{1}{\text{sec}} \right)$ через щели одного разрыва обозначим J , расход масла из цилиндра выключателя на один разрыв

$$J_v = 0,1 \cdot w_v f, \quad (3)$$

где w_v — скорость поршня в $\frac{m}{\text{sec}}$, приведенная к площади щелей (v — индекс скорости поршня), f — площадь щелей одного разрыва выключателя в cm^2 . Во время стадии замкнутого пузыря

$$J > J_v.$$

Противодействие дуги (ат):

$$p_a - p_0 = \rho (1 + k) \frac{w^2}{2}, \quad (4)$$

где ρ — плотность масла, k — коэффициент местных потерь напора в щелях, w — скорость масла в щелях во время стадии замкнутого пузыря:

$$w = \frac{J}{f}$$

и, очевидно,

$$p_a - p_0 = \rho (1 + k) \frac{J_v^2}{2f^2} \cdot \frac{J^2}{J_v^2}.$$

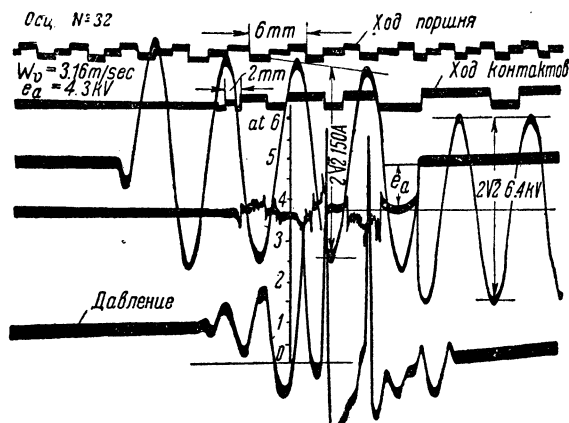


Рис. 4. Осциллограмма опыта с моделью импульсного выключателя в ЛЭТИ [4]. Пики давления 3,2; 5,8 и 5,5 ат соответствуют стадиям замкнутого пузыря, которые повторялись во время горения дуги

$$p(1+k)\frac{J_v^2}{2f^2} = (p_a - p_0)v \quad (5)$$

можно назвать давлением от расхода, — имеется в виду расход масла из цилиндра выключателя; давление от расхода равно давлению в выключателе в те моменты, когда дуги нет и $J = J_v$.

Если давление от расхода неизвестно из осциллограмм, то можно положить $k = 1,4 \div 1,7$ [4, 6] (без учета сопротивления обтекания контактов) и давление от расхода подсчитывать по такой формуле:

$$(p_a - p_0)v = \frac{w_v^2}{100}.$$

Таким образом противодействие дуги

$$p_a - p_0 = (p_a - p_0)v \frac{J^2}{J_v^2}.$$

Для объема газа в области контактов во время стадии замкнутого пузыря можно составить следующее уравнение состояния (n — показатель политропы):

$$p_a^{\frac{1}{n}} \int_0^t [J - J_v] dt = \int_0^t \Omega dt.$$

Здесь $\int_0^t \Omega dt$ — объем газа (при 1 ат), образовавшегося за время t от момента возникновения стадии замкнутого пузыря. $\int_0^t [J - J_v] dt$ — объем,

занимаемый газом в дугогасящем устройстве при давлении p_a . Предполагается, что в масле выключателя практически не имеется буферных пространств или ранее образовавшихся газовых включений; объемом испаряющегося масла пренебрегаем.

Дифференцируя, находим:

$$J - J_v = \Omega p_a^{-\frac{1}{n}} - \frac{1}{n} p_a^{-1-\frac{1}{n}} \frac{dp_a}{dt} \int_0^t \Omega dt.$$

Для упрощения положим $n=1$ и $t=0$, тогда

$$\frac{J}{J_v} = 1 + \frac{\Omega}{p_a J_v}.$$

Следовательно, для противодействия дуги в момент возникновения стадии замкнутого пузыря ($t=0$) получаем формулу:

$$p_a - p_0 = (p_a - p_0)v \left[1 + \frac{\Omega}{p_a J_v} \right]^2. \quad (6)$$

На рис. 3 и 4 представлены осциллограммы работы модели импульсного выключателя с одним разрывом, полученные в аппаратной лаборатории ЛЭТИ. Расшифровка этих и других аналогичных осциллограмм приведена в левой части табл. 1. Во всех этих опытах возникала стадия замкнутого пузыря и расшифровка произведена для момента пика давления. Площадь поршня модели $F = 44,5 \text{ см}^2$.

В правой части таблицы приведены значения противодействия дуги, вычисленные по формуле (6). II. Рассмотрим теперь теорию и расчет противо-

Таблица 1

№ осц.	По осциллограммам ЛЭТИ						Расчет			
	$(p_a - p_0)v$ at	w_v m/sec	f cm ²	$p_a - p_0$ at	i A	e V	P kW	Ω l/sec	J_v l/sec	$p_a - p_0$ at
32 *	0,8	3,16	5,7	5,8	180	330	60	24	1,8	7
209	1,9	11,5	1,7	4,8	200	180	36	14	2	6,8
161	2,5	14,8	5,7	5,2	3350	45	151	60	8,4	8
171	2,5	14	5,7	6,5	4100	50	205	80	8	9,5
175	1,8	12,5	5,7	8	3000	100	300	120	7,1	10,5
111	0,7	6,5	5,7	11,5	200	600	320	130	3,7	11
315	0,7	8,1	1,7	7,2	200	880	136	54	1,4	11,6
97	0,7	7,8	5,7	11	145	3200	465	186	4,5	12

* Цилиндровое масло, вязкость 400° Энглера.

давления дуги в стадии параллельного истечения, когда газ и масло истекают через щели дугогасящего устройства в виде двух параллельно расположенных потоков (рис. 5).

Длительность стадии параллельного истечения намного больше длительности стадии замкнутого пузыря (полупериод вместо 1—2 мсек, рис. 6). Устойчивость стадии параллельного истечения объясняется тем, что давление во время этой стадии минимально по сравнению с величиной давления в других стадиях. Кривая нарастания и спада давления в стадии параллельного истечения носит также более спокойный характер, следуя за изменением мощности, теряемой в дуге.

Величина противодействия в дуге позволяет объективно различить стадии замкнутого пузыря и параллельного истечения.

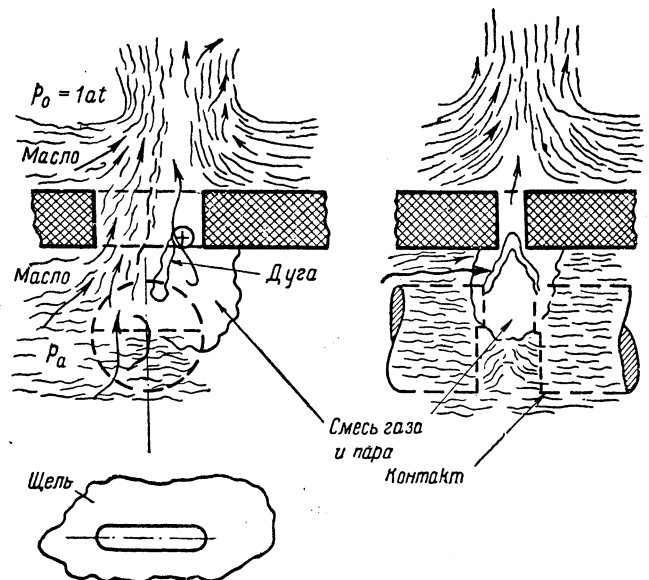


Рис. 5. Работа дугогасящего устройства импульсного выключателя при большой мощности дуги (стадия параллельного истечения)

Пусть площадь (в см^2) щелей одного разрыва равна f и пусть струя газа занимает часть этой площади, равную f_0 (рис. 5).

Вес газа G , истекающего в 1 сек через отверстие с площадью f_0 , при надкритическом перепаде давлений в дугогасящем устройстве (p_a , рис. 5) и над свободной поверхностью масла в выключа-

теле p_0 , т. е. при $p_a - p_0 \geq 0,7-1$ ат, выражается следующей формулой [7]:

$$G = \psi f_Q \sqrt{P_a \gamma_a},$$

где ψ — некоторый коэффициент, γ_a — плотность газа в газовом пузыре в дугогасящем устройстве при давлении p_a и температуре газового пузыря.

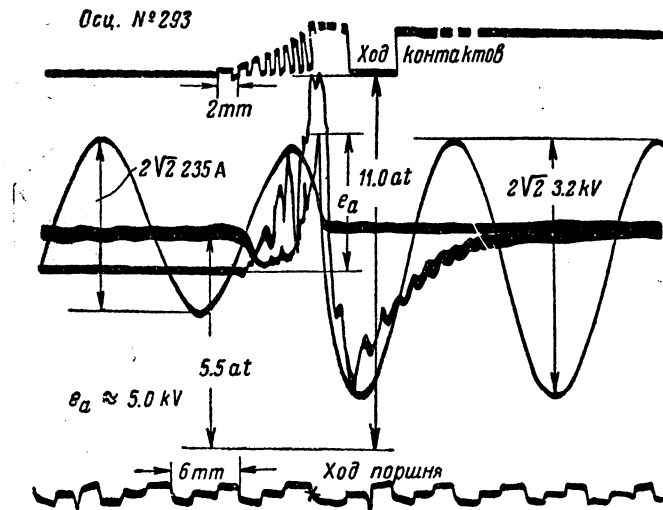


Рис. 6. Осциллограмма опыта с моделью импульсного выключателя в ЛЭТИ [4]. Нарастание давления при горении дуги соответствует стадии параллельного истечения

В дальнейшем будем сравнивать объем газа Q' , истекающего из газового пузыря, с объемом газа Ω , генерируемого дугой в 1 sec.

Очевидно, объем газа Q' , приведенный к одной атмосфере ($p_0 = 1$ ат),

$$Q = Q' \frac{p_a}{p_0} = \frac{\psi}{p_0} \sqrt{\frac{p_a}{\gamma_a}} f_Q p_a = Q_0 f_Q p_a. \quad (7)$$

Выражение

$$Q_0 = \frac{\psi}{p_0} \sqrt{\frac{p_a}{\gamma_a}} Q_0 \left[\frac{1}{\text{sec cm ат}} \right]$$

назовем коэффициентом истечения.

Расчеты также приводят к выводу, что во время стадии параллельного истечения весь газ удаляется из дугогасящего устройства, т. е.

$$Q = \Omega = \Omega_0 P.$$

Поэтому

$$f_Q = \frac{\Omega}{Q_0 p_a}. \quad (8)$$

Расчеты приводят к выводу, что во время стадии параллельного истечения практически возможно считать расход масла через щели J равным расходу масла из цилиндра J_v .

Кроме того, возможно принять коэффициент местных потерь напора k не зависящим от площади сечения струи масла в щели ($f - f_Q$). При таких допущениях перепад давления в щели согласно формулам (4), (5) и (8) будет:

$$p_a - p_0 = \frac{(p_a - p_0)_v}{\left[1 - \frac{\Omega}{Q_0 f p_a} \right]^2}. \quad (9)$$

Формулу (9) можно разрешить относительно Q_0 .

На рис. 7 построен¹ график зависимости Q_0 от удельной мощности дуги (т. е. мощности дуги, отнесенной к 1 см² площади щелей).

¹ Для подсчета Q_0 было принято $\Omega_0 = 0,4 \frac{1}{\text{kW sec}}$, остальные данные — опытные.

Как видим², при увеличении давления и мощности дуги Q возрастает и при мощностях свыше $100 \frac{\text{kW}}{\text{cm}^2}$ практически Q не бывает меньше $17-20 \frac{1}{\text{sec cm}^2 \text{ ат}}$ (рис. 7).

Расшифруем, например, осциллограмму рис. 6 для момента, отмеченного на линии фазы поршня крестом (рис. 6). Площадь щели $f = 1,7$ см².

Из осциллограммы имеем в указанный момент: напряжение на дуге $e = 3,3$ kV, ток $i = 165$ А, противодействие дуги $p_a - p_0 = 11$ ат. Давление от расхода для интересующего нас момента определяем путем пересчета давления в начале горения дуги (5,5 ат) по квадрату отношения скоростей поршня в начале горения дуги и в момент расчета. Указанное отношение скоростей может быть заменено обратным отношением длин „ступенек“ записи хода на осциллограмме для соответствующих моментов времени. Итак, находим ($p_a - p_0 = 2,8$ ат).

Теперь:

$$P = ei = 3,3 \cdot 165 = 550 \text{ kW};$$

$$\Omega = 0,4P = 0,4 \cdot 550 = 220 \frac{1}{\text{sec}}.$$

По формуле (9), решенной относительно Q_0 , находим:

$$Q_0 = \frac{\Omega}{f p_a \left[1 - \sqrt{\frac{(p_a - p_0)_v}{p_a - p_0}} \right]} = \frac{220}{1,7 \cdot 12 \left[1 - \sqrt{\frac{2,8}{11}} \right]} = 22 \frac{1}{\text{sec cm}^2 \text{ ат}}.$$

Расчет и эксперимент позволяют прийти к таким выводам:

1. При достаточной величине отключаемого тока, т. е. при достаточной величине мощности, теряемой в дуге (свыше примерно $100 \frac{\text{kW}}{\text{cm}^2}$), устойчивой стадией работы импульсного выключателя является стадия параллельного истечения. Механический эффект противодействия дуги практически обусловлен противодействием дуги в этой стадии.

² Теоретическое исследование термодинамического состояния газового пузыря подтверждает, что Q_0 может колебаться в пределах, указанных на рис. 7, если допустить, что от носительное количество пара, содержащееся в газовом пузыре, убывает при увеличении мощности дуги и давления в выключателе.

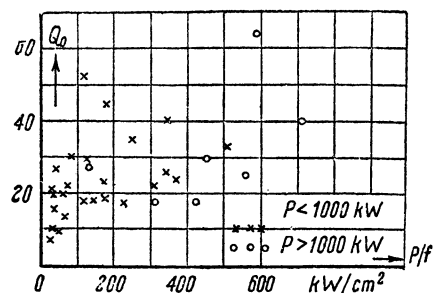


Рис. 7. Зависимость коэффициента истечения Q_0 от удельной мощности дуги при разных условиях опыта

Мгновенные значения для момента вычисления Q_0 были: мощность дуги от 115 до 9700 kW на разрыв; напряжение на дуге — от 40 В до 21 kV; ток — от 155 до 7000 А; противодействие дуги — от 2,2 до 21 ат; давление расхода от 2,2 до 10,5 ат. Число щелей — 1, 2 и 6. Суммарная площадь щелей на разрыв — 1,7; 5,7; 18 см².

2. Расчет противодействия дуги во время стадии параллельного истечения может производиться по формуле (9), где $\Omega = \Omega_0 P$, при $\Omega_0 = 0,4 \frac{1}{\text{kW sec}}$ и $Q_0 = 20 \frac{1}{\text{sec cm}^2 \text{ at}}$, независимо от силы тока, напряжения и мощности дуги, давления в выключателе, числа и площади щелей, давления от расхода и т. д.

Применим полученные результаты для практического случая расчета противодействия дуги в импульсном выключателе, который должен отключать 6500 А при скорости восстановления напряжения $1600 \frac{\text{V}}{\mu \text{ sec}}$ на 1 разрыв. Примем, что число щелей дугогасящего устройства равно двум и их площадь $f = 8,3 \text{ cm}^2$. По данным, приведенным в El. Eng. (рис. 5, 8), с известной осторожностью примем, что давление от расхода, необходимое для отключения $1600 \frac{\text{V}}{\mu \text{ sec}}$, $(p_a - p_0) = 2,2 \text{ at}$. Допустим, что эта цифра правильна и определим противодействие дуги при условии, что теряемая в дуге мощность $P = 8000 \text{ kW}$ на разрыв.

Имеем:

$$\Omega = 0,4 \cdot P = 0,4 \cdot 8000 = 3200 \frac{1}{\text{sec}};$$

$$p_a - p_0 = \frac{(p_a - p_0)v}{\left[1 - \frac{\Omega}{Q_0 f p_a}\right]^2} = \frac{2,2}{\left[1 - \frac{3200}{20 \cdot 8,3}\right]^2} = 26,1 \text{ at}.$$

Как видим, противодействие дуги оказалось в 12 раз больше давления от расхода (2,2 at), которое было бы в выключателе при отсутствии дуги.

Эта цифра позволяет оценить порядок давления, которое можно ожидать при тяжелом отключении в импульсном выключателе с отключающей способностью $1600 \frac{\text{V}}{\mu \text{ sec}}$ на разрыв.

Литература

1. А. М. Курбатов. Гидротехнический расчет выключателя с принудительным дутьем масла. Отчет аппаратной лаборатории ЛЭТИ, 1937.
2. В. В. Каплан и Г. Б. Холявский. Гидромеханический расчет быстродействующих высоковольтных выключателей с принудительным дутьем масла, "Электричество" № 12, 1939.
3. Г. Т. Третьяк. Теоретические положения по расчету дугогасящих устройств. Отчет аппаратной лаборатории ЛЭТИ, 1939.
4. Г. Т. Третьяк, С. В. Авакян и другие. Расчет камер кроссжет. Отчет аппаратной лаборатории ЛЭТИ, 1938.
5. А. М. Курбатов и Н. И. Антонов. Исследование выключателя с принудительным дутьем масла при горении дуги. Влияние массы поршня, вязкости масла и др. факторов на работу выключателя. Отчеты аппаратной лаборатории ЛЭТИ, 1939.
6. А. М. Залесский. Масляные выключатели, стр. 21, 84, 85, 86—88, 98, 120, 121, 137.
7. В. Л. Александров. Техническая гидромеханика, стр. 158.
8. В. Шюле. Техническая термодинамика, том 1, книга 1, стр. 288—292, 1935.
9. El. Eng., p. 366, april, 1935.

Управление высоковольтными выключателями

Инж. Н. Н. ЛИННИЧЕНКО

Наркомат электропромышленности СССР

Системы управления высоковольтной коммутационной аппаратурой различны. По степени возрастающей сложности необходимых для управления устройств эти системы можно разбить на следующие: 1) ручное управление, 2) приводное, 3) щитовое управление и 4) связно-щитовое управление. Переход от простого ручного управления к конструктивно более сложной системе управления всегда должен быть обоснован действительной необходимостью. Ниже рассматриваются мотивы, которые побуждают переходить ко все более и более сложным системам управления, и описана структура этих систем.

Приводное управление. Можно отметить несколько случаев, когда следует переходить от простого ручного управления к приводному. Рассмотрение этих случаев позволит нам решить вопрос о наиболее рациональных типах приводов высоковольтных выключателей.

Случай, когда требуется быстрое включение, например, при повторном включении или при подключении резерва. Если на подстанции имеется всего один выключатель, требующий повторного включения, то наиболее рациональным способом осуществления повторного включения является установка на выключателе пружинного привода с ручным заводом или пружинного привода. Оба привода конструктивно просты, надежны, удобны в экс-

плуатации и не требуют наличия независимого источника энергии.

Если на подстанции имеется несколько фидеров, требующих повторного включения, то наиболее целесообразно повторное включение всех фидеров осуществлять с помощью одного выключателя по схеме рис. 1.

В случае к. з. на фидере С отключается вся секция с помощью выключателя А с мгновенной выдержкой времени. Вслед за этим подключается резервный фидер В. Если причина, вызвавшая аварию на фидере С, не исчезла за время снятия напряжения (между отключением А и подключением В), то по истечении 1 sec отключится фидер С.

Для того чтобы перебой в снабжении энергией вследствие отключения всей секции не был замечен потребителями, время перебоя не должно превосходить 0,2—0,25 sec. С этой целью на выключателе А устанавливают первичное максимальное

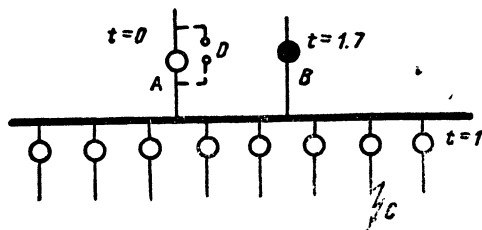


Рис. 1

реле непосредственного действия. Полное время отключения к. з. выключателем А будет — $0,01 + 0,04 + 0,03 = 0,08$ sec, где 0,01 — время действия реле, 0,04 — движения в контактах, 0,03 — время гашения дуги. Таким образом на включении выключателя В останется время 0,12—0,17 sec. С помощью пружинного привода такое время трудно получить.

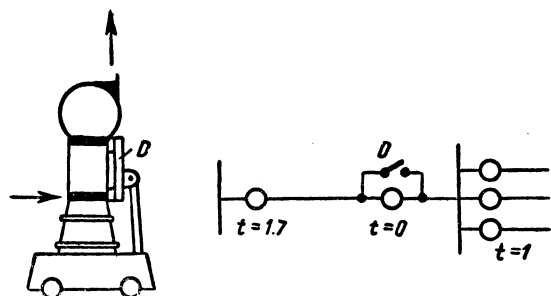


Рис. 2

Kaufmann¹ предлагает повторное включение производить с помощью параллельного разъединителя D; объединенного с выключателем в один аппарат (рис. 2). Справа на рис. 2 показана схема, в которой возможно применение указанного аппарата, названного «гасителем к. з.».

Задача резервирования заключается в том, чтобы при исчезновении напряжения на питающем фидере он отключался и автоматически подключался бы резервный фидер; при восстановлении напряжения на питающем фидере процесс протекал бы в обратном порядке. Можно считать, что полное число операций (включений и отключений), связанных с указанным резервированием, не превысит 10 за один год на один выключатель. Количество выключателей, необходимых для осуществления указанной автоматики, может быть от 2 до 6. При этих условиях автоматику наиболее целесообразно осуществить с помощью разъединителей мощности и грузового привода² многократного действия, описанного нами в журнале «Электричество» № 12, 1939 г.

Случай, когда требуется дистанционное управление. Мы рассмотрим здесь только случай, когда на подстанции имеются лишь единичные выключатели, требующие дистанционного управления, причем дистанционное управление необходимо производить каждый день по несколько раз. Такой случай может иметь место при дистанционном управлении трансформаторными киосками, которые желательно в течение дня подключать и отключать в зависимости от нагрузки.

Систему телеуправления такими киосками, повидимому, рациональнее всего построить по типу «Транскомандо» AEG³. В этой системе телеуправление совершается с помощью специального однофазного выключателя (тастшальтера), который одну команду производит путем трехкратного разрыва фазы высоковольтной цепи, питающей киоски. Выбор желательной группы киосков из числа всех, присоединенных к данной цепи, совершается изменением интервалов между тремя последовательными разрывами. Улавливаются эти разрывы специальными реле напряжения; каждое реле реагирует только на одну определенную последо-

вательность разрывов. Реле передает команду соответствующему приводу. В качестве привода в киосках наиболее рационально иметь пружинный привод с моторным автоматическим заводом пружины от трансформатора напряжения (НОМ-6).

С единичным дистанционным приводом многократного действия мы встречаемся также, например, когда необходимо производить коммутацию двигателя непосредственно с места его установки. Очевидно, коммутацию проще всего производить с помощью выключателя, установленного на фидере данного двигателя, на подстанции, а не ставить еще второй выключатель у двигателя. И в данном случае, как и в предыдущем, наиболее рациональным типом привода будет пружинный с моторным заводом от трансформатора напряжения.

Случай, когда требуется строгая последовательность и точная своевременность коммутационных операций. Такой случай мы имеем, например, при запуске синхронных двигателей. Если запуск синхронного двигателя индивидуальный, с помощью двух или трех выключателей, то наиболее правильно применить для запуска специальный пружинный привод с ручным заводом. Блокировка должна разрешать производство запуска только тогда, когда привод заведен. В случае применения для запуска легких выключателей типа разъединителей мощности предлагаемый нами привод не должен получиться громоздким.

Когда запуск группы синхронных двигателей производится с помощью общего пускового устройства, вместо ряда пружинных приводов целесообразно применить пневматический привод. Пневматику можно применить с упрощенным режимом компрессорной установки. Сущность этого режима заключается в том, что нормально баллон компрессорной установки не находится под давлением; при запуске же прежде всего включается компрессорная установка, а через 3 min, когда давление в баллоне дойдет до требуемой величины, автоматически с помощью реле давления включается магнитная станция. При указанном методе применения пневматики устраняется ее основной недостаток — необходимость иметь всегда воздух под давлением, а следовательно, хорошие уплотнения в системе, частую работу мотор-компрессора и связанную со всем этим усложненную эксплуатацию.

Случай, когда простое ручное включение невозможно по условиям сети и конструкции выключателей. Известно, что если мощность к. з. в сети превосходит 150 MVA, ручное включение в случае баковых масляных выключателей не рекомендуется. В новых типах высоковольтных выключателей (водяном, с твердым дугогасящим веществом), в которых включение производится не в изолирующей среде, ручное включение недопустимо. Обычно в новых выключателях применяется пружинный привод, который очень часто встраивается в выключатель. При этом снаружи ячейки помещается простой, как у разъединителей, рычажный привод, служащий для завода пружинного привода. В конце поворота рычага этого привода (угол поворота 180°) пружина срывается и производит включение. В описанном виде все устройство получается столь простым и удобным, что, по видимому, в настоящее время нельзя предложить ничего другого лучшего.

Дело, однако, существенно меняется, когда речь идет не о местном приводном, а о дистанционном управлении со щита всеми выключателями подстанции. Тогда, кроме пружинного привода, на

¹ ETZ, стр. 241—245, № 9, 1939; Siemens Zeitsch. № 1 1940.

² По существу этот привод является пружинным с грузовым заводом.

³ AEG-Mitt. № 3, 1938.

Следует указать, что в нашей практике часто наблюдается чрезмерное увлечение щитами и что часто щиты, а следовательно, и связанные с ними дистанционные приводы устанавливаются там, где в этом нет никакой необходимости.

Постараемся перечислить те случаи, когда сооружение щита действительно необходимо:

1. Когда имеется распредустройство открытого типа, так как совершенно очевидно, что управление есть достаточно серьезное действие и его нельзя вести вне защиты от разнообразных атмосферных условий — дождя, снега, метели, ветра.

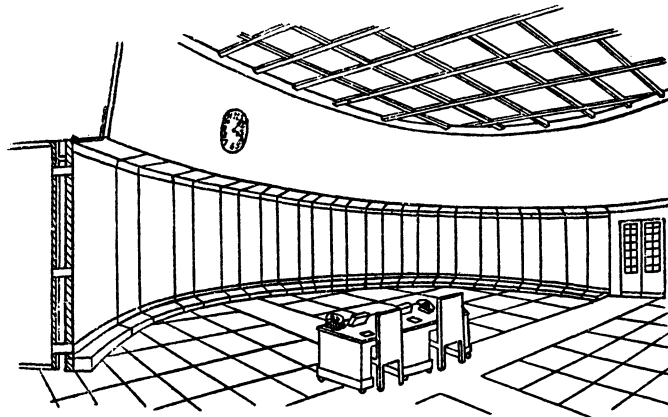


Рис. 4

2. В том случае, когда оно служит для защиты от шума (машин, станков и т. д.), так как управление аппаратурой должно совершаться, по возможности, в более спокойной обстановке.

3. Когда элементы, подлежащие управлению, разбросаны по большой территории (диспетчерский щит).

4. Если при управлении одним фидером одновременно требуется следить за состоянием других фидеров.

Остановимся на последнем требовании. Наличие этого требования заставляет переходить к еще более сложной системе щитового управления, названного нами связно-щитовым управлением.

Связно-щитовое управление. На рис. 4 представлен пример простого щита⁴, служащего для управления двадцатью железнодорожными подстанциями, расположенными вдоль электрической железной дороги. Каждой подстанции на щите соответствует определенная панель, на которой сосредоточены органы измерения, сигнализации и управления. Всех панелей получается 20, установленных друг подле друга. Естественно, что когда щитовой оперирует на панели А, ему не видно, что делается на панели В; однако в данном случае видеть, что делается на панели В и не требуется, поскольку подстанции удалены друг от друга на значительное расстояние, и потому процессы, совершающиеся на одной из них, совершенно не отражаются на процессах, происходящих на других.

В том случае, когда связь между процессами,

происходящими на отдельных панелях, существует, например случай генераторов, необходимо прибегать к более сложной конструкции щита. Прежде всего необходимо управление отделить от измерительной части щита и вынести его на особое устройство — пульт управления, расположенное по отношению к измерительному щиту так, чтобы оператору, стоящему за пультом, было видно то, что происходит на всех панелях. Если схема, подлежащая контро-

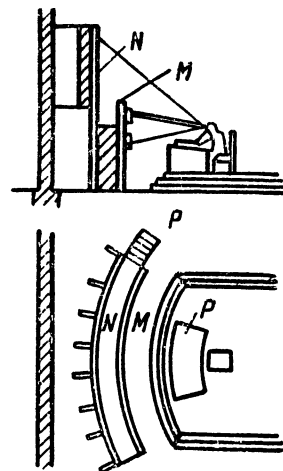


Рис. 5

лю, достаточно сложна, целесообразно щит выполнить в виде мнемонической схемы, врезав в нее в соответствующих местах измерительные приборы. В случае особо большого количества фидеров, требующих связного наблюдения, целесообразно переходить на миниатюрные щиты и аппаратуру.

На рис. 5 показан разрез по очень сложному щиту, в котором требуется не только связность панелей, но и необходимо постоянно следить за группой регистрирующих измерительных приборов, дающих диспетчеру представление о состоянии системы не только в данный момент, но и о предшествующем состоянии. На рисунке Р — пульт, М — щит с регистрирующими измерительными приборами, N — мнемоническая схема. Щит рис. 5 является наиболее сложным примером связно-щитового управления.

Отметим здесь, что, как и в предыдущих случаях, переходить к связно-щитовому управлению, требующему отдельного пульта, следует только в случае действительной необходимости. Надо помнить, что пульт вносит дополнительные осложнения монтажной схемы.

Данный в статье анализ системы управления высоковольтными выключателями полностью выявляет актуальность освоения электропромышленностью серий пневматических и пружинных приводов с вариантами исполнения, соответствующими различным практическим случаям. План освоения новых приводов должен быть согласован с планом освоения новых выключателей.

⁴ Meiners. Von der Kraftwerkswarte zur Netzwarde. E. u. M. № 6, 1937.

Питание приводов выключателей при помощи ионных выпрямителей

Канд. техн. наук Д. Г. ДЬЯЧЕНКО

Киевский индустриальный институт

Союзные аппаратостроительные заводы снабжают значительное большинство силовых выключателей электромагнитными приводами постоянного тока. Серьезным недостатком этих приводов является потребность в мощной аккумуляторной батарее. Очень часто потребность в батарее значительной емкости или даже самая необходимость в ней вызывается только наличием электромагнитных приводов. При осуществлении автоматического повторного включения, когда возможно одновременное включение нескольких выключателей, емкость батарей значительно возрастает. Между тем аккумуляторные батареи дефицитны и дороги, требуют зарядное устройство, для установки их нужно большое помещение; для ухода за ними и зарядным устройством необходим квалифицированный персонал. Затраты возрастают, когда для надежности устанавливаются две батареи.

Поэтому возникает весьма настоятельная потребность в питании включающих катушек электромагнитных приводов выключателей от сети переменного тока через выпрямители. Разрешение этого вопроса может также дать иное направление развитию приводов переменного тока. Особенно велика потребность в подобных приводах на автоматизированных и обслуживаемых электрических установках, где аккумуляторные батареи отсутствуют.

Обычно надежность питания переменным током в современных электрических установках достаточно высока. Так, на электрических станциях питание потребителей собственных нужд настолько обеспечено, что возможность исчезновения питания напряжения их почти исключена. На подстанциях, имеющих в большинстве случаев многостороннюю связь, напряжение переменного тока может отсутствовать лишь при к. з. на шинах. Но при помощи специальных схем присоединения выпрямителей, например, до выключателя, питающего подстанцию фидера, можно и в этом случае обеспечить наличие переменного тока.

Для рассматриваемой цели могут быть применены меднозакисные (купроксные) или ионные выпрямители. Меднозакисные выпрямители, наряду с значительными эксплуатационными удобствами, имеют весьма существенный недостаток. Благодаря резко изменяющейся вольтамперной характеристике и в зависимости от условий работы они вызывают значительные колебания напряжения у приводов разных мощностей или при одновременном срабатывании нескольких приводов. Эти колебания напряжения могут далеко превзойти допустимые нормы. Автор производил исследования с газотронами завода «Светлана» типа ВГ-163. Определялись скоростные характеристики у масляного выключателя завода «Электроаппарат» типа ВМ-22 с электромагнитным приводом типа ГП-125 (номинальное напряжение 220 В).

Было выяснено влияние пульсации выпрямленного тока на работу привода при различных схемах включения ионных приборов.

Индуктивность включающей катушки оказывает сглаживающее действие на пульсации тока. Однако

при однополупериодном выпрямлении сердечник включающего соленоида даже не трогается с места. Поэтому однополупериодная схема для рассматриваемой цели непригодна. При двухполупериодном выпрямлении ток в соленоиде катушки изменяется по значительно сглаженной пульсирующей кривой (рис. 1), и сердечник вытягивается.

При движении сердечника в цепи включающего соленоида возникает противо-э. д. с. $\frac{d\Phi}{dt}$, возрастающая с увеличением скорости движения сердечника. Волнистость тока возрастает, и кривая тока ухудшается. Однако, несмотря на ухудшение кривой тока в катушке при движении сердечника, движение это происходит с достаточной скоростью.

Питание привода выключателя можно осуществить также и при трехфазном выпрямлении. Осциллограммы напряжения и тока в соленоиде при этой схеме приведены на рис. 2. Как видно из рис. 1 и 2, средняя величина тока в соленоиде и коэффициент волнистости уже для двухполупериодной и трехфазной схем весьма мало различаются. Практически не целесообразно добиваться большего сглаживания пульсаций тока.

Были определены скоростные характеристики включения при постоянном токе и при выпрямленном токе по двухполупериодной схеме с двумя колбами и трехфазной схеме с тремя колбами. Во всех трех случаях скоростные характеристики оказались практически идентичными, как это видно из рис. 3, где приведены кривые скоростей включения при напряжениях, близких к номинальному. Построенные кривые скоростей включения при повышенных и пониженных напряжениях против номинального практически также оказались идентичными для всех трех случаев.

Эти опыты показали, что простая двухполупериодная схема с двумя выпрямителями вполне может заменить аккумуляторную батарею для питания включающих катушек электромагнитных приводов.

Благодаря большой индуктивности катушки уже при двухполупериодной схеме достигается почти предельное использование ионного выпрямителя, — среднее значение тока в катушке почти равно амплитудному его значению (рис. 1).

Время нарастания тока в катушке до начала движения сердечника для рассматриваемых двух выпрямительных схем и при питании постоянным

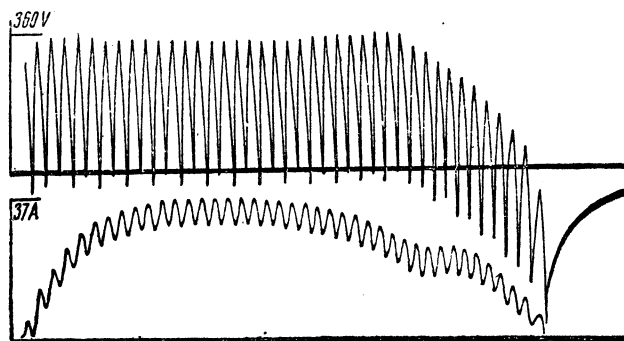


Рис. 1

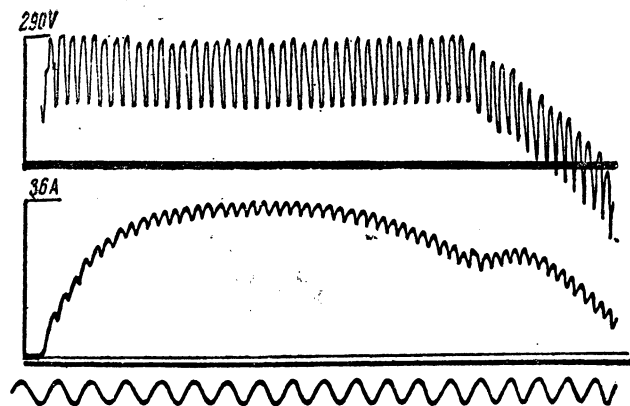


Рис. 2

током одинаково (около 0,10 sec). Это время должно быть небольшим из условий быстрогодействующего автоматического повторного выключения и преодоления электродинамических усилий при включении на к. з.

Полученные результаты могут быть достигнуты с любыми ионными выпрямителями. Но в эксплуатационном отношении эти выпрямители далеко не равноценны.

Газотроны имеют небольшой срок службы благодаря быстрому изнашиванию накаливаемого катода, особенно при перегрузках. Кроме того, они требуют к тому же стабильного накала.

По этим соображениям газотроны для рассматриваемой цели непригодны.

Выпрямители с ртутным катодом можно значительно перегружать, так как катод при этом не изнашивается, а опасность обратных зажигания исключена благодаря низким рабочим напряжениям привода. Ртутные выпрямители, хотя и имеют большой срок службы даже при перегрузках, неудобны тем, что требуют постоянного поддержания накаленного катодного пятна и имеют сложную электромеханическую цепь управления анодами зажигания и возбуждения.

Вполне пригодны для исследуемой цели ионные газотроны, у которых процесс зажигания создается автоматически в каждую рабочую полуволну напряжения.

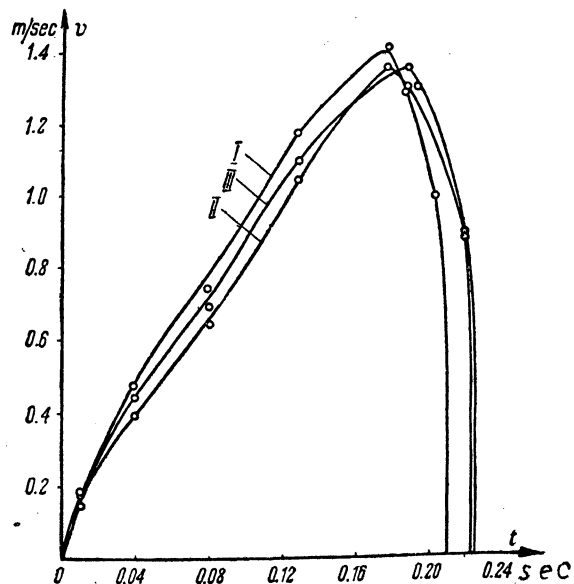


Рис. 3. Кривые скоростей включения ВМ-22 с приводом ГП-125: I — напряжения сети постоянного тока $U=218$ В; II — двухполупериодное выпрямленное напряжение $U_{ср}=216$ В; III — трехфазное выпрямленное напряжение $U=218$ В

В последнее время цепь зажигания ионных газотронов значительно упростили, и необходимость ионного выпрямителя в этой цепи исключена. При питании включающих катушек в силу кратковременного характера нагрузки ионные газотроны могут допускать очень большие перегрузки. Так, по опубликованным данным¹ ионный газотрон на 10 А безупречно работал при длительных нагрузках до 27 А и в течение полупериода свободно включал ток с амплитудой до 3000 А.

Ионные выпрямители с холодными электродами и вентильной сеткой в современной стадии их развития непригодны, так как их напряжение зажигания велико, — оно в несколько раз превосходит рабочее напряжение привода.

¹ ЕТЖ № 8, 1938.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Метод операторного решения краевых задач электротехники, основанный на применении рядов Фурье

Канд. техн. наук., доц. Э. А. МЕЕРОВИЧ

Энергетический институт Академии наук СССР

Операторный метод, обычно применяемый для решения задач электротехники и в последнее время получающий все большее распространение в различных областях технической физики, базируется на теории интеграла Фурье.

В свое время нам удалось показать, что этот метод можно распространить на краевые задачи электротехники, производя при этом символические операции одновременно над всеми входящими в расчет независимыми переменными.

Однако существенным недостатком этого метода является то обстоятельство, что для полу-

чения окончательного результата необходимо вычисление интеграла весьма сложного вида. Этим часто снижается эффективность метода и затрудняется его применение на практике.

В настоящей работе мы показываем, что можно построить операторный метод, аналогичный обычному, положив в основу расчета теорию рядов Фурье.

При решении этим методом окончательный результат получается путем суммирования дискретного ряда. Вычисление можно произвести с определенной степенью приближения, зависящей исключительно

от числа членов ряда учтенных при суммировании.

Ниже применяется этот метод для расчета процессов в линии. При символических преобразованиях относительно переменного t мы сохраняем обычные формулы операторного метода.

В работе рассматривается также случай применения разработанного нами метода к расчету плоскопараллельного электрического и магнитного поля.

Исходные соотношения и обозначения. Пусть задана функция $f(x)$ в интервале $0 \leq x \leq l$. Продолжим эту функцию за пределы указанного промежутка так, чтобы образовать периодическую функцию с периодом кратным l , которую мы обозначим $f^{\sim}(x)$. Это продолжение можно осуществить различным образом. Нас в дальнейшем будут интересовать следующие способы продолжения.

Образуем:

а) четную функцию $f_c^{\sim}(x)$ с периодом $2l$ так, что $f_c^{\sim}(-x) = f_c^{\sim}(x)$;

б) нечетную функцию $f_s^{\sim}(x)$ с периодом $2l$ так, что $f_s^{\sim}(-x) = -f_s^{\sim}(x)$;

в) нечетную функцию $f_{sc}^{\sim}(x)$ с периодом $4l$, причем в промежутке $l \leq x \leq 2l$ задаем ее так, что $f_{sc}^{\sim}(l+y) = f_{sc}^{\sim}(l-y)$, где $y \leq l$;

г) четную функцию $f_{cs}^{\sim}(x)$ с периодом $4l$, причем в промежутке $l \leq x \leq 2l$ задаем ее так, что $f_{cs}^{\sim}(l-y) = -f_{cs}^{\sim}(l-y)$, где $y \leq l$.

Относительно функций $f(x)$ в дальнейшем предполагаем, что она обладает всеми свойствами, необходимыми для того, чтобы $f^{\sim}(x)$ можно было представить с помощью разложения в ряд Фурье. То же самое будем предполагать и относительно всех производных $f(x)$, которые примем существующими до того порядка включительно, который может в дальнейшем понадобиться. Разложение в ряд представим в комплексной форме. Имеем известное соотношение:

$$f^{\sim}(x) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} a(n) e^{i \frac{2\pi n x}{X}}. \quad (1)$$

Здесь обозначено:

$$a(n) = \frac{1}{X} \int_{-\frac{X}{2}}^{+\frac{X}{2}} f^{\sim}(\xi) e^{i \frac{2\pi n \xi}{X}} d\xi \quad (1.1)$$

X — период функции $f^{\sim}(x)$.

Для упомянутых выше случаев образования функций $f^{\sim}(x)$ формулу (1.1) можно несколько преобразовать. Именно: для функции

$$\begin{aligned} f_c^{\sim}(x): a_c(n) &= \frac{1}{2l} \int_{-l}^l f_c^{\sim}(\xi) e^{-i \frac{2\pi n}{l} \xi} d\xi = \\ &= \frac{1}{2l} \cdot 2 \int_0^l f(\xi) \cos \frac{\pi n}{l} \xi d\xi, \end{aligned} \quad (2)$$

для функции

$$\begin{aligned} f_s^{\sim}(x): a(n) &= \frac{1}{2l} \int_{-l}^l f_s^{\sim}(\xi) e^{-i \frac{2\pi n}{l} \xi} d\xi = \\ &= \frac{1}{2l} \cdot \frac{2}{i} \int_0^l f(\xi) \sin \frac{\pi n}{l} \xi d\xi, \end{aligned} \quad (3)$$

для других двух случаев можно вывести аналогичные формулы, поэтому мы их отдельно не будем рассматривать.

Введем следующие обозначения

$$f_c(n) = 2 \int_0^l f(\xi) \cos \frac{\pi n}{l} \xi d\xi, \quad (2.1)$$

$$f_s(n) = \frac{2}{i} \int_0^l f(\xi) \sin \frac{\pi n}{l} \xi d\xi. \quad (3.1)$$

При этих обозначениях получим:

$$f_c^{\sim}(x) = \frac{1}{2l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} f_c(n) e^{i \frac{\pi n}{l} x}, \quad (1.2)$$

$$f_s^{\sim}(x) = \frac{1}{2l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} f_s(n) e^{i \frac{\pi n}{l} x}. \quad (1.3)$$

Для сокращенной записи соотношений (1.2) и (2.1) введем принятое в настоящее время в операторном исчислении обозначение:

$$f(x) \doteq f_c(n). \quad (4)$$

Соответственно соотношения (3.1) и (1.3) в сокращенной записи будут иметь вид

$$f(x) \doteq f_s(n). \quad (5)$$

Сохраняя терминологию операторного исчисления, будем называть правые части выражений (4) и (5) символическими изображениями функций стоящих слева. При этом $f_c(n)$ будем обозначать как C — изображение и $f_s(n)$ как S — изображение функции $f(x)$.

Основные формулы. Выведем ряд основных формул, которые имеют общее значение и необходимы в дальнейшем. Обозначим через $f^{(1)}(x)$, $f^{(2)}(x)$, ..., $f^{(n)}(x)$ производные от функции $f(x)$ заданной в интервале $0 \leq x \leq l$. В точке $x=0$ примем за значение производной ее значение справа и в точке $x=l$ — ее значение слева. Через

$\tilde{f}^{(1)}(x)$, $\tilde{f}^{(2)}(x)$, ..., $\tilde{f}^{(n)}(x)$ будем понимать функции, полученные соответственно из $f^{(1)}(x)$, $f^{(2)}(x)$, ..., $f^{(n)}(x)$ путем продолжения за пределы промежутка $[0, l]$ таким образом, как это было показано ранее для $f(x)$. Найдем S и C — изображения этих функций. Получаем, применяя метод интегрирования по частям:

$$\left. \begin{aligned} f_c^{(1)}(n) &= 2 \{ (-1)^n f(l) - f(0) \} + n' f_s(n), \\ f_c^{(2)}(n) &= 2 \{ (-1)^n f^{(1)}(l) - f^{(1)}(0) \} + n'^2 f_c(n), \\ f_c^{(3)}(n) &= 2n'^2 \{ (-1)^n f(l) - f(0) \} + \\ &\quad + 2 \{ (-1)^n f'(l) - f'(0) \} + n'^3 f_s(n), \\ f_c^{(4)}(n) &= 2n'^2 \{ (-1)^n f^{(1)}(l) - f^{(1)}(0) \} + \\ &\quad + 2 \{ (-1)^n f^{(3)}(l) - f^{(3)}(0) \} + n'^4 f_c(n) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

и т. д.

$$f_s^{(1)}(n) = n' f_c(n),$$

$$f_s^{(2)}(n) = 2 \{ (-1)^n f(l) - f(0) \} n' + n'^2 f_s(n),$$

$$f_s^{(3)}(n) = 2n' \{ (-1)^n f^{(1)}(l) - f^{(1)}(0) \} + n'^3 f_c(n)$$

и т. д.

Из формул (6) получается, кроме того, соотношение:

$$f_s^{(k)}(n) = n' f_c^{(k-1)}(n). \quad (7)$$

В формулах (6), (7) принято обозначение: $n' = i \frac{\pi}{l} n$, $f(0), f'(0) \dots f^{(k)}(0), f(l), f'(l) \dots f^{(k)}(l)$ значения функции и ее производных при $x=0$ и при $x=l$.

Действительны также следующие соотношения:

$$\begin{aligned} f_s(n) &= -f_s(-n), \\ f_c(n) &= f_c(-n). \end{aligned} \quad (8)$$

Зная C — изображение функции, можно найти ее S — изображение, и обратно.

Так,

$$f_s(k) = \frac{1}{il} \int_0^l \left(\sum_{n=-\infty}^{+\infty} f_c(n) \cos \frac{\pi n}{l} \xi \right) \sin \frac{\pi n}{l} \xi d\xi. \quad (9)$$

Или, учитывая возможность почленного интегрирования ряда, получаем после преобразования:

$$f_s(k) = \frac{k}{i\pi} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} f_c(n) \frac{1 - \cos \pi k \cos \pi n}{n^2 - k^2}. \quad (9.1)$$

Далее можно записать:

$$f_c(k) = \frac{l}{l} \int_0^l \left(\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} f_s(n) \sin \frac{\pi n}{l} \xi \right) \cos \frac{\pi n}{l} \xi d\xi; \quad (10)$$

или преобразуя аналогично предыдущему:

$$f_c(k) = \frac{l}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} f_s(n) \frac{n}{k - n^2} (1 - \cos \pi k \cos \pi n). \quad (10.1)$$

Из (7) и (9.1) получаем

$$f_c(k) = -\frac{l}{\pi^2} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} f_c^{(1)}(n) \frac{1 - \cos \pi k \cos \pi n}{n^2 - k^2}. \quad (11)$$

Из (7) и (10):

$$f_s^{(1)}(k) = -\frac{k}{l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} f_s(n) \frac{n}{k - n^2} (1 - \cos \pi k \cos \pi n). \quad (12)$$

Формулы (11) и (12) связывают изображения функции и ее производной. Формулы (6) показывают, что операциям дифференцирования, производимым над некоторыми функциями, соответствуют алгебраические операции, производимые над их изображениями. При последовательном дифференцировании совершается переход от изображения одного вида к изображению другого вида. Между обоими видами изображений существует связь, даваемая формулами (9.1) и (10.1). Нетрудно также вывести соответствующие формулы для операции интегрирования, однако мы их здесь не приводим.

Очень существенным является то обстоятельство, что теорема Бореля, имеющая важное значение для применения операторного исчисления к решениям практических задач, действительна и при наших обозначениях.

В самом деле, пусть даны изображения двух функций:

$$\left. \begin{aligned} f_1(n) &= \int_{-l}^{+l} f_1^{\sim}(\xi) e^{-\frac{i\pi n}{l} \xi} d\xi, \\ f_2(n) &= \int_{-l}^{+l} f_2^{\sim}(\xi) e^{-\frac{i\pi n}{l} \xi} d\xi. \end{aligned} \right\} \quad (13.1)$$

Находим функцию, изображение которой представляет произведение $f_1(n) \cdot f_2(n)$:

$$\begin{aligned} f_1(n) \cdot f_2(n) &= \int_{-l}^{+l} f_1^{\sim}(\xi) e^{-\frac{i\pi n}{l} \xi} d\xi \int_{-l}^{+l} f_2^{\sim}(\xi) e^{-\frac{i\pi n}{l} \xi} d\xi = \\ &= \int_{-l}^{+l} d\xi_1 \int_{-l}^{+l} f_1(\xi_1) f_2(\xi_2) e^{\frac{i\pi n}{l} (\xi_1 + \xi_2)} d\xi_2. \end{aligned}$$

Вводя во внутренний интеграл новую переменную $\psi = \xi_2 + \xi_1$, получаем

$$f_1(n) f_2(n) = \int_{-l}^{+l} d\xi_1 \int_{\xi_1-l}^{\xi_1+l} f_1^{\sim}(\xi_1) f_2^{\sim}(\psi - \xi_1) e^{-\frac{i\pi n}{l} \psi} d\psi.$$

Или, учитывая периодичность функции:

$$f_1(n) f_2(n) = \int_{-l}^{+l} d\xi_1 \int_{-l}^{+l} f_1^{\sim}(\xi_1) f_2^{\sim}(\psi - \xi_1) e^{-\frac{i\pi n}{l} \psi} d\psi.$$

Здесь возможна замена порядка интегрирования. Окончательно получаем:

$$f_1(n) f_2(n) = \int_{-l}^{+l} e^{-\frac{i\pi n}{l} \psi} \left\{ \int_{-l}^{+l} f_1(\xi) f_2(\psi - \xi) d\xi \right\} d\psi, \quad (13.2)$$

т. е.

$$f_1(n) f_2(n) = \int_{-l}^{+l} f_1^{\sim}(\xi) f_2^{\sim}(\psi - \xi) d\xi.$$

Формула (13.2) отличается от обычно применяемой формулы операторного исчисления значением пределов интегрирования. Рассмотрим

свойства функции $f^{\sim}(\psi) = \int_{-l}^{+l} f_1^{\sim}(\xi) f_2^{\sim}(\psi - \xi) d\xi$.

а) Пусть $f_1(n)$ и $f_2(n)$ в формуле (13.1) представляют собой C — изображения для $f_1(\xi)$ и $f_2(\xi)$ соответственно. При этом

$$\begin{aligned} f(\psi) &= \int_{-l}^{+l} f_1^{\sim}(\xi) f_2^{\sim}(\psi - \xi) d\xi = \\ &= \int_{-l}^{+l} f_1^{\sim}(\xi) f_2^{\sim}(-\psi - \xi) d\xi. \end{aligned}$$

т. е.

$$f^{\sim}(\psi) = f^{\sim}(-\psi).$$

Отсюда получаем:

$$f_{c_1}(n) \cdot f_{c_2}(n) = f_c(n) = f(\psi). \quad (1)$$

венное значение тока в той же точке; E — мгновенное значение напряженности электрического поля, наведенного извне.

Все три рассматриваемые величины имеют смысл только в интервале $[0, l]$; R, L, C, G — параметры линии, отнесенные в единице длины.

Уравнениям (22) соответствует определенная связь между изображениями входящих в них функций. При составлении уравнений для изображений учтем следующее.

Рассматривая каждый член уравнений (22) как функцию, определенную в промежутке $[0, l]$, мы можем продолжить эти функции, не нарушая уравнения за пределы указанного промежутка, выбрав любой из указанных в начале статьи способов продолжения. Для первого из уравнений выберем способ продолжения (б), т. е. образуем нечетные, с периодом $2l$, функции. Для второго уравнения выберем способ продолжения (а), т. е. образуем четные, с периодом $2l$, функции. Получаем:

$$\left. \begin{aligned} \left(-\frac{\partial u}{\partial x}\right)_s &= (i\tilde{R})_s + \left(L\frac{\partial i}{\partial t}\right)_s + E_s, \\ \left(-\frac{\partial i}{\partial x}\right)_c &= (uG)_c + \left(C\frac{\partial u}{\partial t}\right)_c. \end{aligned} \right\} \quad (22.2)$$

Продолжая первое уравнение четным, а второе нечетным образом, мы должны в (22.2) поменять местами индексы s и c . а) *Символические операции относительно одного переменного.* Вводя символические операции относительно переменного x , получаем следующие выражения.

На основании (22.2) получаем:

$$\left. \begin{aligned} -n'u_c(n, t) &= Ri_s(n, t) + L\frac{\partial i_s(n, t)}{\partial t} + e_s(n, t), \\ -2\{(-1)^n i(l, t) - i(0, t)\} - n'i_s(n, t) &= \\ &= Gu_c(n, t) + C\frac{\partial u_c(n, t)}{\partial t}. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

При изменении же способа продолжения получим:

$$\left. \begin{aligned} -2\{(-1)^n u(l, t) - u(0, t)\} - n'u_s(n, t) &= \\ &= Ri_c(n, t) + L\frac{\partial i_c(n, t)}{\partial t} + e_c(n, t), \\ -n'i_c(n, t) &= Gu_s(n, t) + C\frac{\partial u_s(n, t)}{\partial t}. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Исключая неизвестные, получаем следующие уравнения

$$\left. \begin{aligned} LC\frac{d^2 i_s}{dt^2} + (RC + LG)\frac{di_s}{dt} + (RG - n'^2)i_s &= \\ &= n'i(0, l) - e_s G - C\frac{de_s}{dt}, \end{aligned} \right\} \quad (23.1)$$

$$\left. \begin{aligned} LC\frac{d^2 u_c}{dt^2} + (RG + LG)\frac{du_c}{dt} + (RG - n'^2)u_c &= \\ &= -Ri(0, l) - L\frac{di(0, l)}{dt} + e_s n', \end{aligned} \right\} \quad (23.1)$$

и далее:

$$\left. \begin{aligned} LC\frac{d^2 u_s}{dt^2} + (RC + LG)\frac{du_s}{dt} + (RG - n'^2)u_s &= \\ &= n'e_s(n, t) + u(0, l), \\ LC\frac{d^2 i_c}{dt^2} + (RC + LG)\frac{di_c}{dt} + (RG - n'^2)i_c &= \\ &= -Gu(0, l) - C\frac{du(0, l)}{dt} - Ge_c(n, t) - C\frac{de_c(n, t)}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (24.1)$$

Здесь обозначено

$$\begin{aligned} 2 \cdot \{(-1)^n i(l, t) - i(0, t)\} &= i(0, l), \\ 2 \cdot \{(-1)^n u(l, t) - u(0, t)\} &= u(0, l). \end{aligned}$$

Полученные выражения позволяют найти решение в тех случаях, когда на концах линии заданы токи или напряжения. Особенно простой вид приобретает решение в том случае, когда линия на концах замкнута или разомкнута.

Так, рассмотрим случай, когда задано некоторое первоначальное распределение напряжения и тока вдоль короткозамкнутой линии, и найдем ток в линии для некоторого произвольного момента времени.

Уравнение (24.1) получает вид:

$$LC\frac{d^2 i_c}{dt^2} + (RC + LG)\frac{di_c}{dt} + (RG - n'^2)i_c = 0, \quad (25)$$

так как $u(0, l)$ принято равным нулю.

Решение (25) находится весьма просто:

$$i_c = e^{-\delta t} \left\{ A_n e^{\sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}} t} + B_n e^{-\sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}} t} \right\}, \quad (25.1)$$

где введено обозначение:

$$\delta = \frac{R}{2L} + \frac{G}{2C} \quad \text{и} \quad \Delta = \frac{R}{2L} - \frac{G}{2C}.$$

Постоянные интегрирования находим из начальных условий

$$\begin{aligned} i_c(n, 0) &= A_n + B_n, \\ u_s(n, 0) &= \end{aligned}$$

$$= -\frac{1}{n'} \left[(R - L\delta)(A_n + B_n) + L\sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}}(A_n - B_n) \right]. \quad (25.2)$$

Отсюда:

$$A_n = \frac{i_c(n, 0) \left\{ L \left(\sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}} + \delta \right) - R \right\} - n'u_s(n, 0)}{2L \sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}}}; \quad B_n = \frac{i_c(n, 0) \left\{ L \left(\sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}} - \delta \right) + R \right\} + n'u_s(n, 0)}{2L \sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}}}. \quad (25.3)$$

Окончательное решение для этого случая находится в следующем виде:

$$i(x, t) = \frac{1}{2 \cdot l} e^{-\delta t} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} e^{n'x} \left\{ i_c(n, 0) \operatorname{ch} \sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}} t - \frac{i_c(n, 0)(R - L\delta) + n'u_s(n, 0)}{L \sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}}} \operatorname{sh} \sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}} t \right\}. \quad (25.4)$$

Прибегая к любому способу, можно убедиться в преимуществе принятого нами метода решения.

Рассмотрим еще случай включения короткозамкнутой линии на постоянное напряжение.

Уравнение (24.1) переписывается таким образом:

$$LC\frac{d^2 i_c}{dt^2} + (RC + LG)\frac{di_c}{dt} + (RG - n'^2)i_c = 2Gu(0, t). \quad (26.1)$$

В нашем случае $u(0, t) = E$.

Решение определяется таким образом:

$$i_c = e^{-\delta t} \left\{ A_n e^{\sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}} t} + \right.$$

$$\left. + B_n e^{-\sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}} t} \right\} + \frac{2GE}{RG - n'^2}. \quad (26.2)$$

При отсутствии в начальный момент токов и зарядов уравнения для определения коэффициентов получают следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} A_n + B_n &= -\frac{2GE}{RG - n'^2}, \\ -L\delta(A_n + B_n) + L \left(\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC} \right) (A_n - B_n) &= 2E \end{aligned} \right\}. \quad (26.3)$$

$$\left. \begin{aligned} A_n &= E \left\{ -\frac{G}{RG - n'^2} \left(1 + \frac{\delta}{\sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}}} \right) + \frac{1}{L \sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}}} \right\}, \\ B_n &= E \left\{ \frac{G}{RG - n'^2} \left(-1 + \frac{\delta}{\sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}}} \right) - \frac{1}{L \sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}}} \right\}, \end{aligned} \right\} \quad (26.4)$$

Решение задачи получаем в следующем виде:

$$i_c(x, t) = \left\{ \frac{e^{-\delta t}}{l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \left[\frac{1}{L \sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}}} \left(1 - \frac{LG\delta}{RG - n'^2} \right) \operatorname{sh} \sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}} t - \frac{G}{RG - n'^2} \operatorname{ch} \sqrt{\Delta^2 + \frac{n'^2}{LC}} t \right] e^{n'x} + \right. \\ \left. + \frac{1}{l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{G}{RG - n'^2} e^{n'x} \right\} E. \quad (26.5)$$

Формула (40) дает распределение тока и напряжения вдоль линии, включаемой на постоянное напряжение и короткозамкнутой на конце.

Таким же образом можно, воспользовавшись теми же исходными формулами, решать и ряд других задач.

б) *Символические операции относительно двух переменных.* Перейдем к расчету процессов в линии с применением символических операций относительно обоих переменных.

После перехода от выражений (22.2) к уравнению, связывающему изображения функции, получим:

$$\begin{aligned} -u_{x_s}(n, p) &= Ri_s(n, p) + Li_s(n, p) + e_s(n, p), \\ -i_{x_c}(n, p) &= Gu_c(n, p) + Ci_c(n, p). \end{aligned} \quad (27.1)$$

Выражение (27.1) получено из выражения (22.2) путем замены каждого члена в нем — его изображением.

Переходя от изображений производных к изображениям самих функций, получаем из (27.1).

$$\begin{aligned} -n' u_c(n, p) &= Ri_s(n, p) + Lp \left[i_s(n, p) - \right. \\ &\quad \left. - i_s(n, 0) \cdot \frac{1}{p} \right] + e_s(n, p), \\ -2 \{ (-1)^n i(l, p) - i(0, p) \} - ni_s(n, p) &= Gu_c(n, p) + \\ &\quad + pC \left[u_c(n, p) - u_c(n, 0) \frac{1}{p} \right]. \end{aligned} \quad (27.2)$$

В (27.2) входят изображения тока и напряжения. Решив оба уравнения совместно, можно выразить каждое из этих изображений через известные величины.

Решение получается в следующем виде:

$$\begin{aligned} u_c(n, p) &= \frac{(R + pL) Cu_c(n, 0) - n' Li_s(n, 0) - 2 \{ (-1)^n i(l, p) - i(0, p) \} (R + pL) + n' e_s(n, p)}{(R + Lp)(G + pC) - n'^2}, \\ i_s(n, p) &= \frac{-n' Cu_c(n, 0) - 2n' \{ (-1)^n i(l, p) - i(0, p) \} + L(G + pC) i_s(n, 0) - (G + pC) e_s(n, p)}{(R + Lp)(G + pC) - n'^2}. \end{aligned} \quad (28)$$

В полученной формуле для изображения тока и напряжения за известные величины приняты значения токов на концах линии $i(0, t)$ и $i(l, t)$, а также значения токов и напряжений в начальный момент $u(x, 0)$ и $i(x, 0)$.

Если произвести продолжение функции в соответствии с выражением (24), то можно выразить изображения искомых величин через значения напряжения на концах линии.

Получаем:

$$\begin{aligned} 2 \{ (-1)^n u(l, p) - u(0, p) \} + n' u_s(n, p) &= Ri_c(n, p) + \\ &\quad + Lp \left\{ i_c(n, p) - \frac{i_c(n, 0)}{p} \right\} + e_s(n, p). \\ -n' i_c(n, p) &= Gu_s(n, p) + pC \left\{ u_s(n, p) - \frac{u_s(n, p)}{p} \right\}. \end{aligned} \quad (29)$$

Решая совместно, получаем:

$$\begin{aligned} u_s(n, p) &= \frac{C(R + pL) u_s(n, 0) - n' Li_c(n, 0) + 2 \{ (-1)^n u(l, p) - u(0, p) \} n' + n' e_c(n, p)}{(G + pC)(R + pL) - n'^2}, \\ i_c(n, p) &= \frac{L(G + pC) i_c(n, 0) - 2(G + pC) \{ (-1)^n u(l, p) - u(0, p) \} - n' Cu_s(n, 0) + (G + pC) e_c(n, p)}{(G + pC)(R + pL) - n'^2}. \end{aligned} \quad (30)$$

В (30) мы получили изображение тока и напряжения, выраженные с помощью значений напряжения на концах линий $-u(0, t)$ и $u(l, t)$, а также начальных значений тока и напряжения $u(x, 0)$ и $i(x, 0)$.

Воспользовавшись способами продолжения функции, обозначенными в начале статьи через в) и г), мы могли бы произвести решение, использовав значение тока, заданное на одном конце линии, и значение напряжения, заданное на другом конце.

Нас интересует теперь случай, когда краевые условия заданы в более общем виде.

Предположим, что в начале и конце линии действуют некоторые электродвижущие силы, включенные через произвольные сосредоточенные сопротивления. Зададимся со-

противлениями, составленными из индуктивности и омического сопротивления.

Уравнения для тока и напряжений в начале и в конце линии будут иметь вид:

$$\begin{aligned} u(0, t) &= E_0(t) - i(0, t) R_0 - L_0 \frac{di(0, t)}{dt}, \\ u(l, t) &= E_l(t) + i(l, t) R_l + L_l \frac{di(l, t)}{dt}. \end{aligned} \quad (31.1)$$

Переходя к операторным выражениям, получим:

$$\begin{aligned} u(0, p) &= E_0(p) - i(0, p)(R_0 + L_0 p) + L_0 i(0, 0), \\ u(l, p) &= E_l(p) + i(l, p)(R_l + L_l p) - L_l i(l, 0). \end{aligned} \quad (31.2)$$

Для того чтобы исключить из найденных изображений искомых величин (28) и (30) значения неизвестных, в данном случае токов и напряжений на концах линии, поступаем следующим образом.

Выражаем ток на концах линии с помощью (30):

$$i(0, p) = \frac{1}{2l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} i_c(n, p),$$

$$i(l, p) = \frac{1}{2l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} i_c(n, p) (-1)^n, \quad (32)$$

В (32) ток в начале и в конце линии выражен через напряжения. Подставляем найденные выражения $i(0, p)$ и $i(l, p)$ в (31.2) и получаем уравнения, которые легко разрешить относительно $u(0, p)$ и $u(l, p)$.

Полученные значения для $u(0, p)$ и $u(l, p)$ подставляем в (30). Результаты расчета дают:

$$u(0, p) = \frac{E_0^*(p) [1 + Z_l(p) Y_1(p)] + E_l^*(p) Z_0(p) Y_2(p)}{\{1 + Z_0(p) Y_1(p)\} \{1 + Z_l(p) Y_1(p)\} - Z_0(p) Z_l(p) Y_2^2(p)},$$

$$u(l, p) = \frac{E_l^*(p) [1 + Z_0(p) Y_1(p)] + E_0^*(p) Z_l(p) Y_2(p)}{\{1 + Z_0(p) Y_1(p)\} \{1 + Z_l(p) Y_1(p)\} - Z_0(p) Z_l(p) Y_2^2(p)}.$$

где

$$E_0^*(p) = E_0(p) + L_0 i(0, 0) - \frac{1}{2l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{Z(G + pC) i_c(n, 0) - n' C U_1(n, 0) + (G + pC) l_c(n, p)}{(G + pC)(R + pL) - n'^2} (R_0 + pL_0),$$

$$E_l^*(p) = E_l(p) - L_l i(l, 0) + \frac{1}{2l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} (-1)^n \frac{L(G + pC) i_c(n, 0) + (G + pC) l_c(n, p) - n' C u_s(n, 0)}{(G + pC)(R + pL) - n'^2} (R_l + pL_l), \quad (33.1)$$

$$Y_1(p) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{G + pC}{(R + pL)(G + pC) - n'^2},$$

$$Y_2(p) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{(G + pC)(-1)^n}{(R + pL)(G + pC) - n'^2},$$

$$Z_0(p) = R_0 + pL_0, \quad Z_l(p) = R_l + pL_l.$$

$$\frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{(G + pC)}{(G + pC)(R + pL) - n'^2} = \frac{1}{2} w(p) \operatorname{cth} \alpha(p) l$$

$$\frac{1}{2l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{(G + pC)(-1)^n}{(G + pC)(R + pL) - n'^2} = \frac{1}{2} w(p) \operatorname{cosech} \alpha(p) l,$$

где

$$w(p) = \sqrt{\frac{G + pC}{R + pL}}; \quad \alpha(p) = \sqrt{(R + pL)(G + pC)}.$$

Используем следующие формулы суммирования:

Подставляя, получаем:

$$u(0, p) = \frac{E_0^*(p) \{1 + w(p) Z_l \operatorname{cth} \alpha(p) l\} + E_l^*(p) w(p) Z_0 \operatorname{cosech} \alpha(p) l}{1 + w^2(p) Z_0 Z_l + w(p) [Z_0(p) + Z_l(p)] \operatorname{ctgh} \alpha(p) l},$$

$$u(l, p) = \frac{E_l^*(p) \{1 + w(p) Z_0(p) \operatorname{cth} \alpha(p) l\} + E_0^*(p) w(p) Z_l(p) \operatorname{cosech} \alpha(p) l}{1 + w^2(p) Z_0(p) Z_l(p) + w(p) [Z_0(p) + Z_l(p)] \operatorname{cth} \alpha(p) l}. \quad (33.2)$$

Подставляя (33.2) в (30), мы получаем изображения искомых функций при весьма общих граничных (31.2) и начальных условиях. Будем в дальнейшем специализировать задачу, отыскивая решение для частных случаев.

Пусть линия, имеющая на обоих концах индуктивное сопротивление, включается на постоянное напряжение.

Исходные данные для расчета:

$$E_l(p) = 0; \quad E_0(p) = E;$$

$$i(n, 0) = 0; \quad u(n, 0) = 0; \quad e = 0. \quad (34.1)$$

Из физических соображений ясно, что в этом случае

$$i(0, 0) = 0$$

$$i(l, 0) = 0. \quad (34.2)$$

Напряжение в любой точке линии будем искать с помощью выражения (30):

$$u_s(n, p) = \frac{2 [(-1)^n u(l, p) - u(0, p)] n'}{(G + pC)(R + pL) - n'^2}, \quad (34.3)$$

где $u(0, p)$ и $u(l, p)$ определяем из (33.2).

Входящие в (33.2) величины $E_0^*(p)$ и $E_l^*(p)$ получают на основании (33.1) и (34.1) следующий вид:

$$E_0^*(p) = \frac{E}{p}; \quad E_l^*(p) = 0. \quad (34.4)$$

Таким образом вместо (33.2) получаем:

$$u(0, p) = \frac{E_0}{p} \cdot \frac{\{1 + w(p) Z_l \operatorname{cth} \alpha(p) l\}}{\{1 + w(p)^2 Z_0(p) Z_l(p) + w(p) [Z_0(p) + Z_l(p)] \operatorname{cth} \alpha(p) l\}},$$

$$u(p) = \frac{E}{p} \cdot \frac{w(p) Z_l(p) \operatorname{cosech} \alpha(p) l}{1 + w(p)^2 Z_0(p) Z_l(p) + w(p) [Z_0(p) + Z_l(p)] \operatorname{cth} \alpha(p) l}. \quad (34.5)$$

Выражения (34.5) могут быть сравнены с аналогичными формулами, полученными другим способом. Подставляя эти формулы в (34.3), получаем S -изображение искомой функции.

Рассмотрим далее линию, наводящуюся под постоянным напряжением и обтекаемую постоянным током, которая в некоторый момент отключается от этого напряжения.

Исходные данные для расчета:

$$i(0, t) = 0; E(l, t) = 0; e(x, t) = 0;$$

кроме того, заданы

$$u(x, 0) \text{ и } i(x, 0).$$

Решение проводим следующим образом. Предполагаем, что отключение линии от постоянного напряжения соответствует приключению в начале линии некоторого дополнительного источника, создающего постоянный входной ток, равный $-I_1$. Расчет токов и напряжений, создаваемых этим источником, можно произвести при следующих условиях:

$$i(0, p) = -\frac{I_1}{p}, \quad u'_c(n, 0) = 0, \quad i'_c(n, 0) = 0,$$

из (28) имеем

$$u'(l, p) = -\frac{1}{l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{(-1)^n}{\alpha^2(p) - n'^2} \left[(-1)^n i(l, p) + \frac{I_1}{p} \right] (R + pL) = i'(l, p) Z_l(p), \quad (35.1)$$

учитывая, что

$$\frac{1}{l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{(-1)^n}{\alpha^2(p) - n'^2} = \frac{1}{\alpha(p) \operatorname{sh} \alpha(p) l}$$

$$\frac{1}{l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{1}{\alpha^2(p) - n'^2} = \frac{1}{\alpha} \operatorname{cth} \alpha(p) l,$$

получаем после преобразования

$$i'(l, p) = \frac{-I_1}{p [Z_l(p) \operatorname{sh} \alpha(p) l + \operatorname{ch} \alpha(p) l]}.$$

Подставляя в (28), находим:

$$u'_c(n, p) = \frac{2(R + pL)}{\alpha^2(p) - n'^2} \times$$

$$\times \left[(-1)^n \frac{I_1}{p [Z_l(p) \operatorname{sh} \alpha(p) l + \operatorname{ch} \alpha(p) l]} - \frac{I_1}{p} \right]. \quad (35.2)$$

Прибавляя найденное таким образом напряжение к напряжению $u(x, 0)$, существовавшему в начале процесса, мы получаем решение поставленной задачи.

О вычислении функции по их изображениям. Для перехода от изображений функции к их выражениям в области независимых переменных x и t необходимо произвести некоторые вычислительные операции.

Для перехода к переменному x необходимо произвести суммирование ряда по индексу n . В случае плохой сходимости можно применить все способы улучшения сходимости, используемые при вычислении рядов Фурье.

При переходе к переменному t в общем случае нужно вычислить интеграл в комплексной области. В трудных случаях, однако, целесообразно воспользоваться приближенным методом, представляющим собой небольшое видоизменение численного метода Коисуми. Вычисление по этому методу приводит также к суммированию тригонометрических рядов.

Идея метода основана на том, чтобы вместо функции $f(t)$, определенной на всем интервале $t \geq 0$, найти четную функцию, совпадающую с $f(t)$ на промежутке $0, T$ и для других значений t , периодически повторяющуюся с периодом $2T$. Образованную так функцию обозначим $\Phi_{\text{CT}}^{\sim}(t)$. Замечаем, что

$$\Phi_{\text{CT}}^{\sim}(t) = \frac{e^{\lambda t}}{2T} \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} e^{i \frac{\pi k}{T} t} \int_{-T}^{+T} \Phi_{\text{CT}}^{\sim} e^{-\frac{i \pi k}{T} t} e^{-\lambda t} dt \quad (36)$$

для $0 \leq t \leq T$,

Это соотношение можно переписать так:

$$f(t) = \frac{e^{\lambda t}}{2T} \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} e^{i \frac{\pi k}{T} t} \left\{ \int_0^T e^{-\left(\lambda - \frac{i \pi k}{T}\right) t} f(t) dt + \int_0^T e^{-\left(\lambda + \frac{i \pi k}{T}\right) t} f(t) dt \right\} \quad (36.1)$$

при $0 \leq t \leq T$, где λ — положительная действительная величина.

При достаточно большом значении λ коэффициенты ряда Фурье можно приближенно принять следующими:

$$\left\{ \int_0^T e^{-\left(\lambda - \frac{i \pi k}{T}\right) t} f(t) dt + \int_0^T e^{-\left(\lambda + \frac{i \pi k}{T}\right) t} f(t) dt \right\} \approx$$

$$\approx \int_0^\infty e^{-\left(\lambda - \frac{i \pi k}{T}\right) t} f(t) dt + \int_0^\infty e^{-\left(\lambda + \frac{i \pi k}{T}\right) t} f(t) dt. \quad (36.2)$$

В правой части стоят изображения функции, причем величина p заменяется через $\lambda - \frac{i \pi k}{T}$ и $\lambda + \frac{i \pi k}{T}$.

Окончательно можно записать для указанного интервала

$$f(t) \approx \frac{e^{\lambda t}}{2T} \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} e^{i \frac{\pi k}{T} t} 2 \operatorname{Re} \left\{ F \left(\lambda + \frac{i \pi k}{T} \right) \right\},$$

где

$$F(p) \doteq f(t).$$

Ошибка в определении коэффициента ряда равна

$$\int_T^\infty e^{-\lambda t} f(t) \cos \frac{\pi k}{T} t dt$$

и может быть сделана в практических случаях весьма малой. Таким образом метод Коисуми позволяет и в отношении переменной t свести решение к вычислению тригонометрических рядов.

Применение к другим проблемам электротехники. Введенный выше метод рассмотрения может быть применен к другим типам линейных дифференциальных уравнений. Основное значение с точки зрения пригодности этого метода имеет вид контура, вдоль которого заданы краевые условия, однозначно определяющие решение.

В рассмотренных до сих пор задачах, двумерная область, для которой производилось решение, имела вид бесконечной полосы, ограниченной осью x и двумя прямыми, параллельными оси t и расположенными на расстоянии l друг от друга. Тем же способом может быть решен ряд задач для случая прямоугольных областей.

Рассмотрим электростатическую задачу, исследуемую с помощью уравнения Пуассона

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = f(x, y). \quad (38)$$

Примем, что решение задачи нужно найти внутри прямоугольника шириной l в направлении x и высотой h в направлении оси y .

Расположение осей координат выберем параллельно сторонам прямоугольника. Будем считать заданными значения потенциала на прямоугольном контуре.

Символическое преобразование произведем последовательно относительно обоих независимых переменных x и y .

Уравнение, которому удовлетворяет S -изображение, получается на основании выведенных ранее общих правил в таком виде:

$$2 [(-1)^n u_s(l, k) - u_s(0, k)] n' + n'^2 u_s(n, k) +$$

$$+ 2 [(-1)^k u_s(n, h) - u_s(n, 0)] k' + k'^2 u_s(n, k) = f_s(n, k). \quad (38.1)$$

Решение (38.1) записывается таким образом:

$$u_s(n, k) = \frac{f_s(n, k) - u_k(l, 0) n' - u_n(h, 0) k'}{n'^2 + k'^2} \doteq u(x, y). \quad (39)$$

Здесь через $u_k(l, 0)$ обозначено $2 [(-1)^n u_s(l, k) - u(0, k)]$ и $u_n(h, 0)$ и обозначено $2 [(-1)^k u_s(h, n) - u_s(0, n)]$.

Окончательное решение получаем следующее:

$$u(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} e^{\frac{i\pi k}{n}y + i\frac{\pi n}{l}x} u_s(n, k). \quad (40)$$

В том случае, когда на границе области задана производная искомой функции, решение удобно искать с помощью C — изображении. Вместо (39) получаем в соответствии с этими формулами

$$u_c(n, k) = \frac{f_c(n, k) - u_k^{(1)}(l, 0) - u_n^{(1)}(h, 0)}{n'^2 + k'^2}, \quad (41)$$

где через $u_k^{(1)}(l, 0)$ обозначена величина $2 [(-1)^n u_c^{(1)}(l, k) - u_c^{(1)}(0, k)]$, через $u_n^{(1)}(n, 0)$ обозначена величина $2 [(-1)^k u_c^{(1)}(h, n) - u_c^{(1)}(0, n)]$.

Рассмотрим несколько частных примеров.

Пусть при

$$\left. \begin{aligned} x=0, \quad u=0; \quad x=l, \quad u=1; \\ y=0, \quad u=\frac{x}{l}; \\ v=h, \quad u=\frac{x}{l}; \quad f(x, y)=0. \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

Этим условиям соответствует однородное поле плоского конденсатора.

Изображения функции (42) имеют следующий вид h :

$$u_s(n, 0) = -\frac{2 \cos \pi n}{n} = u_s(n, h);$$

$$u_s(0, k) = 0; \quad u_s(l, k) = \frac{2}{k} (\cos \pi k - 1).$$

Подставляя в (39), получаем:

$$u_s(n, k) = \frac{4 \cos \pi n (\cos \pi k - 1)}{n' k'} \div \frac{x}{l} \quad (43)$$

и отсюда

$$u(x, y) = \frac{x}{l}. \quad (43.1)$$

Рассмотрим другой пример.

При расчете магнитного плоскопараллельного поля уравнение Пуассона удовлетворяется для векторного потенциала.

Правая часть при этом характеризует собой распределение плотности тока. При расчете поля рассеяния в электрических машинах весьма важным случаем является расчет поля токов, расположенных в прямоугольной области, ограниченной со всех сторон железными массами. На границе области значение производной векторного потенциала по нормали можно принять равной нулю.

Для расчета можно применить формулу (41), которая принимает вид:

$$u_c(n, k) = \frac{f_c(n, k)}{n'^2 + k'^2} = u(x, y), \quad (44)$$

вид функции $f_c(n, k) \div f(x, y)$ зависит от распределения тока в отверстии.

Полученное здесь как частный случай решение полностью соответствует расчету, произведенному Э. Ротом, для определения поля рассеяния трансформатора. Несмотря на принятое в этом расчете разрывное распределение плотности тока, ряды оказались удобными для практических вычислений.

Применение асинхронных генераторов, возбуждаемых со стороны ротора, при передаче электрической энергии на большие расстояния

Инж. Ю. Г. ТОЛСТОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

В предыдущей статье¹ нами было показано, что передача электрической энергии на дальние расстояния от асинхронных машин с короткозамкнутым ротором ничем себя не оправдывает сравнительно с передачей от синхронных машин и во многих отношениях она оказывается даже хуже принятой системы передачи. Возбуждение (намагничивание) асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором происходит из основной цепи, в которую генератор отдает свою энергию. Однако ток возбуждения к асинхронной машине можно подвести также и со стороны ротора. Для более полной оценки асинхронных машин как генераторов электрической энергии при передаче этой энергии на большие расстояния необходимо рассмотреть возможности дальних передач и от возбужденных со стороны ротора асинхронных генераторов.

Возбудители асинхронных генераторов. Трехфазные возбудители бывают двух типов: возбудители с собственным возбуждением и с независимым возбуждением. Первые возбуждаются током ротора главной асинхронной машины, вторые имеют независимое возбуждение. Ток возбуждения вторых должен иметь ту же частоту,

что и частота сети, к которой приключена главная асинхронная машина, и может подводиться к возбудителю либо от этой же сети, либо от специального синхронного подвозбудителя.

К первому типу относятся возбудители Леблана-Шербиуса, так называемые последовательные возбудители SSW, Валькера и Гейланда, шунтовой возбудитель Шербиуса и возбудители со смешанным возбуждением ВВС. Ко второму типу возбудителей относятся собственно преобразователи частоты и компенсированные преобразователи частоты, так называемые машины Коцизека.

Многие из возбудителей с собственным возбуждением обладают весьма совершенной коммутацией, однако применение их для асинхронных машин, используемых в качестве генераторов электрической энергии, не может быть оправдано; асинхронный генератор, как и всякий другой генератор, работающий как самостоятельная единица (например на отдельной мощной станции) должен, помимо прочего, удовлетворять следующим требованиям: иметь достаточно широкий диапазон изменения напряжения на клеммах при любом режиме; напряжения на клеммах генератора должно возможно меньше зависеть от режима его работы; должна быть обеспечена воз-

¹ Журнал „Электричество“ № 6, 1940.

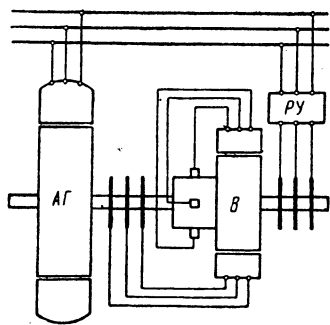


Рис. 1. Схема включения асинхронного генератора с возбудителем Коцизека

возможность применения быстродействующих автоматических регуляторов напряжения.

Генераторы с возбудителями первого типа (с собственным возбуждением) не удовлетворяют ни одному из этих трех требований.

Возбудители же второго типа удовлетворяют изложенным выше требованиям. Они могут работать и при $s=0$, к тому же само возбуждение их не связано с числом оборотов и режимом главной машины и может регулироваться точно таким же способом, как и у возбудителей синхронных машин.

Условия коммутации в машине Коцизека несравненно лучше, чем в простом преобразователе частоты. В тех машинах Коцизека, которые выполнены фирмой SSW и эксплуатируются, отсутствуют, правда, специальные приспособления для компенсации трансформаторной э. д. с., и поэтому их условия коммутации несколько хуже, чем, например, у компенсированных возбудителей Шербиуса, где применены дополнительные полюсы.

Однако в машинах Коцизека не исключена возможность применения средств, улучшающих коммутацию, и надо полагать, что с развитием этих машин все необходимые средства будут использованы.

Мощность асинхронного генератора, возбуждаемого со стороны ротора. На рис. 1 представлена принципиальная схема включения асинхронного генератора с возбудителем Коцизека. К кольцам возбудителя через регулирующее устройство РУ подводится напряжение той же

частоты, что и напряжение на клеммах генератора. Ток регулирующего устройства, протекающий по обмоткам ротора возбудителя В, создает вращающееся магнитное поле, которое индуцирует в обмотках ротора э. д. с. \dot{E}_k , частота и абсолютная величина которой не зависят от того, находится ли ротор в состоянии покоя или вращается.

Если пренебречь падением напряжения от намагничивающего тока, подводимого от РУ, то э. д. с. \dot{E}_k можно считать равной по величине и фазе напряжению, подводимому к кольцам возбудителя от РУ.

На статоре возбудителя имеется компенсационная обмотка, которая создает поле, полностью компенсирующее поле, создаваемое током ротора асинхронного генератора в якоре возбудителя. Разумеется, для полной компенсации реакции якоря положение щеток на коллекторе возбудителя должно быть строго фиксированным. Изменение фазы \dot{E}_k можно производить регулирующим устройством.

Напряжение на щетках возбудителя \dot{E}_i может быть определено следующим образом: при вращении якоря магнитное поле вращается относительно обмотки статора со скоростью скольжения и индуцирует в ней э. д. с. $s\dot{E}_k$; в обмотках якоря индуцируется э. д. с. \dot{E}_k . Результирующая э. д. с.

$$\dot{E}_i = \dot{E}_k (1 + s). \quad (1)$$

В соответствии с законом Кирхгофа:

$$s\dot{E}_2 + \dot{E}_k (1 + s) = \dot{I}_2 (r_2 - jsx_2). \quad (2)$$

Здесь \dot{E}_2 , \dot{I}_2 — э. д. с. и ток ротора асинхронного генератора; r_2 и x_2 — активное (включая и сопротивление возбудителя) и реактивное сопротивление всей роторной цепи асинхронного генератора (при частоте главной цепи). На рис. 2 представлена векторная диаграмма токов и напряжений асинхронного генератора, возбужденного по схеме Коцизека. Пользуясь диаграммой и известным соотношением $P = \dot{U}\hat{I}$, можно написать выражение полной мощности асинхронного генератора:

$$\dot{P} = \frac{U^2 (1 + b_0 x_2) - \dot{U}\hat{E}_k - (\dot{U}\hat{E}_k + jU^2 b_0 r_2) \frac{1}{s}}{j(x_1 + Ax_2) + Ar_2 \frac{1}{s}}. \quad (3)$$

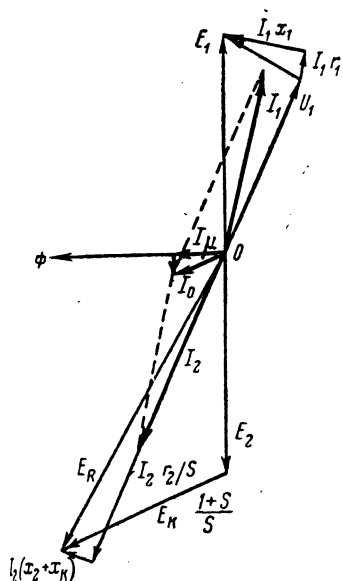


Рис. 2. Векторная диаграмма асинхронного генератора с возбудителем Коцизека

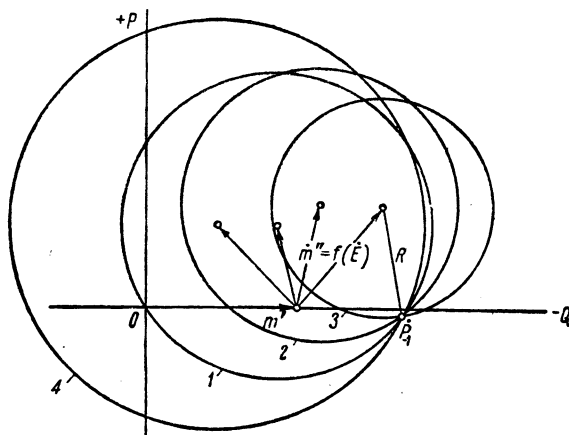


Рис. 3. Круговые диаграммы мощностей асинхронного генератора при различных значениях величины и фазы э. д. с. возбудителя

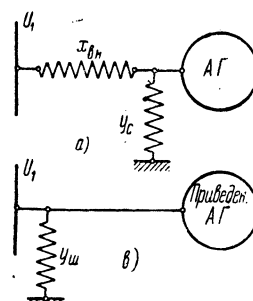


Рис. 4. Приведение схемы передачи энергии к простейшей

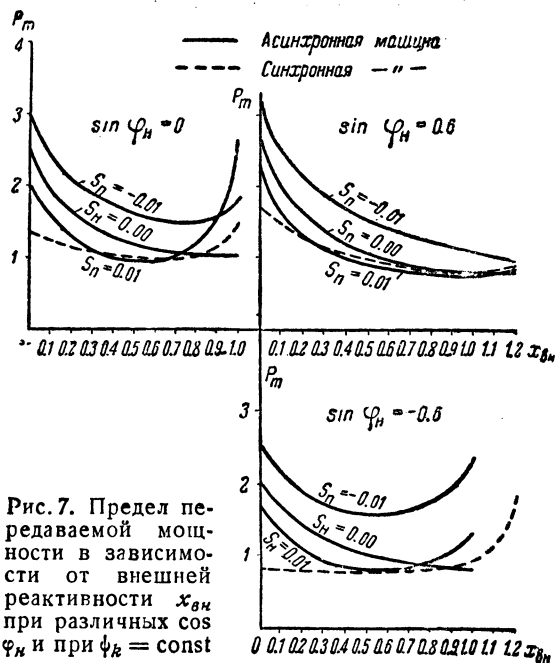


Рис. 7. Предел передаваемой мощности в зависимости от внешней реактивности $x_{вн}$ при различных $\cos \varphi_H$ и при $\psi_k = \text{const}$

и равенство мощностей возбудителей. Нужно заметить, что последнее требование не является строго обоснованным условием идентичности. Руководствуясь этими соображениями, в дальнейшем будем полагать мощность возбудителя равной около $1,5 \div 3\%$ мощности генератора.

Асинхронные машины с роторным возбуждением могут работать в генераторном режиме не только при сверхсинхронной скорости ротора, но и при синхронной и даже при скоростях, ниже синхронной.

При сверхсинхронной скорости мощность, отдаваемую в сеть, можно разбить на две составляющих: одну, обусловленную сверхсинхронной скоростью ротора, и другую, вызываемую э. д. с. возбуждения. Чем ниже скорость ротора, тем большая э. д. с. необходима для создания данной мощности, а чем выше э. д. с., как уже было выяснено, тем выше предел передаваемой мощности.

Из условия дальности передачи, таким образом, выгодно, чтобы асинхронный генератор имел бы при нормальном режиме возможно меньшую скорость ротора. Разумеется, предел понижения скорости ротора при нормальном режиме будет опять определяться мощностью возбудителя. Если условиться, что мощность возбудителя не должна превышать 3% номинальной мощности генератора, то, как показали расчеты, для мощного асинхронного генератора с типовыми параметрами⁴ скольжение при нормальном режиме может быть взято $0,01$ (скорость ниже синхронной). Большее значение s_H при нормальном режиме требует меньших мощностей возбудителей, однако при этом значительно уменьшается и предел передаваемой мощности. Если возбудитель питать непосредственно от клемм асинхронного генератора (через трансформатор), то изменение режима генератора всегда будет сказываться на величине

⁴ Типовые параметры, о которых здесь упоминается, были найдены в результате исследования зависимости параметров наиболее мощных существующих асинхронных машин (до 10 MVA). Эти типовые параметры следующие: реактанс рассеяния статора $x_1 = 9\%$, ротора, приведенный к статору, $x_2 = 9\%$, холостого хода $x_{11} = 37\%$, активное сопротивление ротора, приведенное к статору, $R_2 = 0,5\%$.

и фазе э. д. с. возбудителя. И, как показали исследования, это влияние сказывается отрицательно — уменьшается предел передаваемой мощности. Таким образом необходимо по возможности исключить эти влияния.

Влияние режима генератора на величину э. д. с. возбудителя устраняется довольно просто: достаточно питать возбудитель не непосредственно от клемм генератора, а от агрегата синхронный двигатель — синхронный генератор, присоединенного к клеммам асинхронного генератора, как это показано на рис. 5. Устранить влияние режима на фазу э. д. с. возбудителя несколько труднее. Для этой цели можно применить какое-либо устройство, компенсирующее сдвиг фаз по линии, хотя бы вроде устройства, представленного на рис. 6. Если двигатель агрегата подвозбудителя питать от напряжения U_k , то будет сохранено не только постоянство величины э. д. с. возбудителя, но и постоянство его фазы по отношению к фазе напряжения на приемных шинах.

На рис. 7 даны кривые зависимости предела передаваемой мощности от внешней реактивности для синхронных и асинхронных машин при различных значениях скольжения при нормальном режиме. Кривые наглядно показывают, как с увеличением нормального скольжения (скольжения при нормальном режиме) растет предел передаваемой мощности.

Все кривые построены для того случая, когда при изменении режима величина и фаза э. д. с. возбудителя остаются постоянными. Данные рис. 7 показывают, что при $s_H = -0,01$ предел передаваемой мощности от асинхронных генераторов всегда значительно выше предела мощности синхронных машин.

При отсутствии устройства для поддержания постоянства фазы э. д. с. возбудителя также можно, пользуясь соотношением (3), найти максимум мощности асинхронного генератора. Необходимо только еще написать уравнение, выражающее зависимость фазы напряжения на клеммах генератора от его полной мощности.

На рис. 8 показаны максимумы мощности асинхронных и синхронных генераторов в зависимости от внешней реактивности при отсутствии устройства для поддержания постоянства фазы э. д. с. возбудителя. Результаты получаются несколько худшими, однако и в этом случае асинхронный генератор дает на всем диапазоне $x_{вн}$ более высокий максимум мощности, чем синхронная машина; как и в предыдущем случае, максимум мощности выше при меньшем значении скольжения при нормальном режиме.

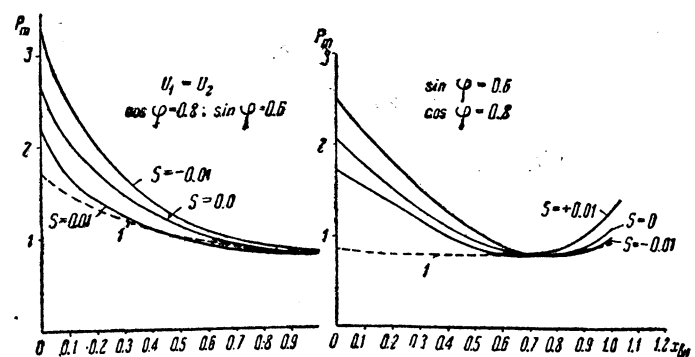


Рис. 8. Предел передаваемой мощности в зависимости от внешней реактивности $x_{вн}$ при различных $\cos \varphi_H$ и $\psi_k = \text{var}$

С помощью круговых диаграмм мощности можно легко найти изменение напряжения на клеммах генератора в зависимости от нагрузки и при постоянстве напряжения на шинах приемника. Не останавливаясь здесь на самом способе

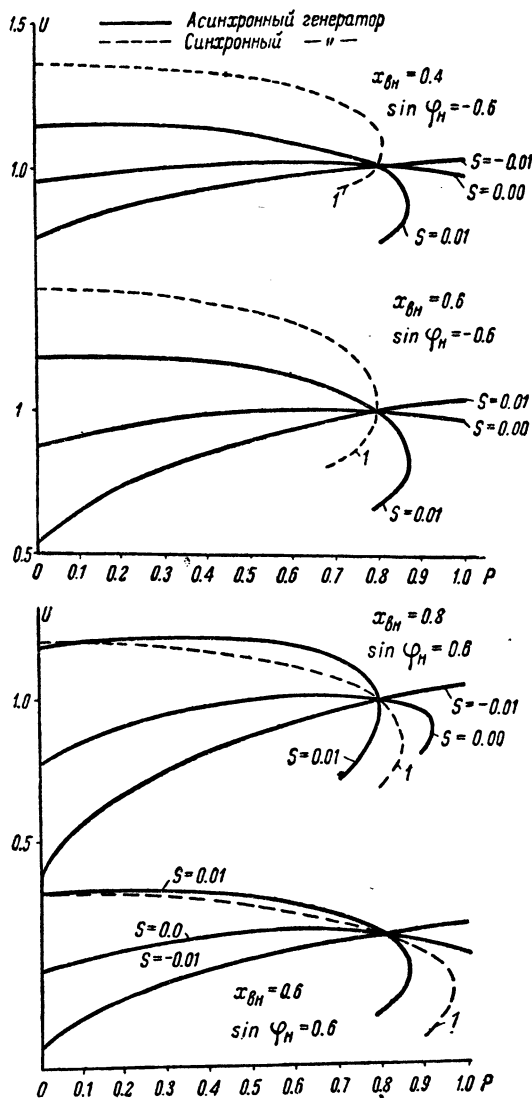


Рис. 9. Напряжения на клеммах генератора в зависимости от нагрузки и при различных—внешней реактивности $x_{\theta H}$, $\cos \varphi_H$ и $\psi_k = \text{const}$

определения напряжения по диаграммам мощности, приведем лишь полученные результаты.

На рис. 9 даны кривые напряжения на клеммах генераторов в зависимости от нагрузки при различных условиях нормального режима и различных $x_{\theta H}$. Кривые даны для того случая, когда имеется устройство для поддержания постоянства фазы э. д. с. возбуждения. Как видно из этих кривых, у асинхронного генератора может про-

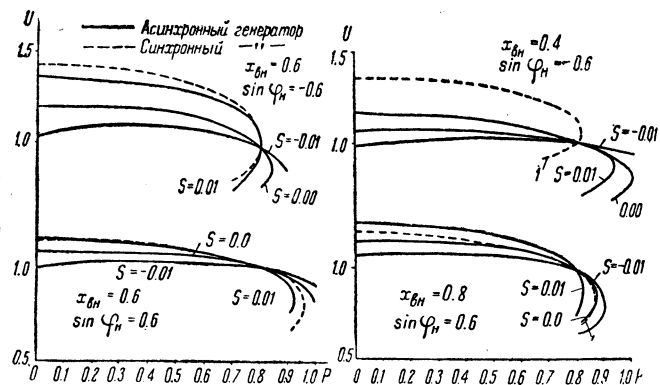


Рис. 10. Напряжение на клеммах генератора в зависимости от нагрузки и при различных—внешней реактивности $x_{\theta H}$, $\cos \varphi$ и ψ_k

исходить как повышение, так и понижение напряжения на клеммах при уменьшении нагрузки в отличие от синхронной машины, у которой в этих условиях всегда происходит повышение напряжения.

На рис. 10 представлено напряжение на клеммах генератора в зависимости от его нагрузки при отсутствии компенсирующего устройства. Как показывают кривые рис. 10, в этом случае колебания напряжения у асинхронных генераторов значительно меньше, чем при постоянстве фазы э. д. с. возбуждения.

Выводы. Резюмируя все сказанное выше, можно сделать следующие выводы:

1. Из существующих простейших коллекторных каскадов наиболее подходящим для использования в качестве генератора электрической энергии является каскад Коцизека. Предел передаваемой мощности асинхронного генератора, возбужденного через ротор по схеме Коцизека, при любом значении $x_{\theta H}$ выше предела мощности синхронной машины.

2. В отношении поддержания постоянства напряжения на клеммах генератора возбужденная через ротор асинхронная машина находится в более благоприятных условиях, чем синхронная: во многих случаях можно совершенно отказаться от регуляторов напряжения у асинхронных генераторов, так как на всем диапазоне нагрузки напряжение на их клеммах меняется в весьма незначительных пределах.

3. Особенно благоприятной мерой повышения предела передаваемой мощности асинхронных генераторов, возбужденных через ротор, является применение устройства для поддержания постоянства фазы э. д. с. возбуждения.

Полученные результаты говорят в пользу применения асинхронных генераторов, возбуждаемых через ротор, при передаче энергии на большие расстояния.

Гашение дуги переменного тока в магнитном поле

Инж. Ю. Я. ЮРОВ и инж. А. А. СМЕРНОВА

Ленинградский электротехнический институт им. Ленина

Гашение дуги в магнитном поле применяется во многих выключателях. В настоящей работе исследовалось гашение дуги при условиях, имеющих место в деионном масляном выключателе. Общий вид макета деионного выключателя приведен на рис. 1. Электрическая дуга создавалась между двумя медными параллельными электродами 3, расположенными друг над другом, в результате размыкания контактов, находящихся в начале электродов. Перпендикулярно к стволу дуги и к электродам создавалось магнитное поле, под влиянием которого тело дуги перемещалось вдоль электродов с одного их конца, где были расположены контакты, создававшие дугу, к другому.

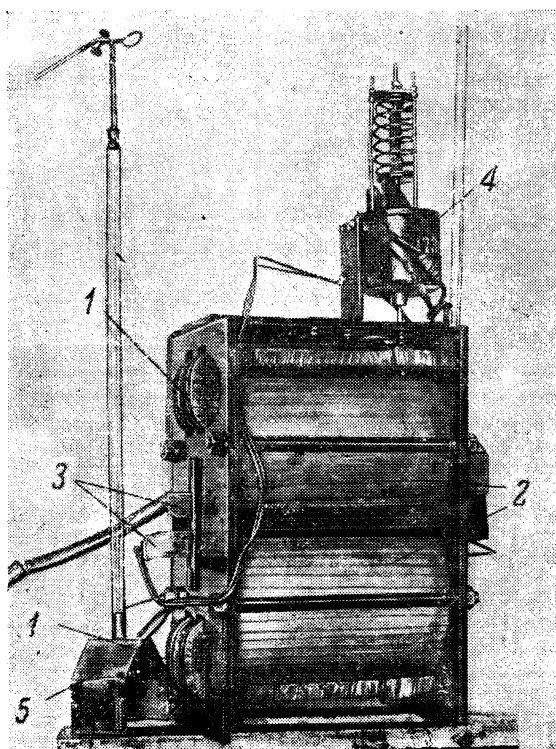


Рис. 1

1 — намагничивающие катушки; 2 — трансформаторное железо; 3 — электроды; 4 — реле для возбуждения дуги

Магнитное поле создавалось при помощи катушек 1, насаженных на круглое трансформаторное железо 2 с вырезанным в нем зазором. В междужелезный зазор вставлялась камера с электродами, по которым двигалась дуга под влиянием магнитного поля. Благодаря расположению катушек вдали от камеры потоки рассеяния катушек замыкались вдали от области горения дуги, и камера с электродами находилась практически в равномерном магнитном поле, направленном строго перпендикулярно к направлению движения дуги.

Данное расположение железа позволяло производить фотографирование дуги через боковой зазор, ширина которого выбрана небольшой, чтобы не нарушалась равномерность распределения магнитного поля.

Результаты этой работы выходят за пределы данной статьи и могут составить материал для отдельной работы. Здесь же мы коснемся только отдельных явлений, до не-

которой степени объясняющих физические процессы гашения дуги в деионном выключателе.

Объектив был установлен против прозрачной стенки камеры так, что его ось была направлена перпендикулярно направлению движения дуги. Объектив проектировал изображение движущейся дуги на фотопленку вращающегося барабана, ось вращения которого была параллельна направлению движения дуги и перпендикулярна оси объектива. В результате одновременного движения дуги вдоль электродов и вращения барабана на поверхности фотопленки получалась линия, дающая, как нетрудно судить, путь, пройденный электрической дугой в магнитном поле, в зависимости от пути, пройденного поверхностью барабана, покрытого фотопленкой.

Скорость вращения барабана поддерживалась строго постоянной и контролировалась при помощи стробоскопа с неоновой лампы. Таким образом кривая, записанная на фотопленке, давала в некотором масштабе путь, пройденный дугой в зависимости от времени. На рис. 2 приведена запись движения дуги переменного тока 3,11 kV, 52 A max в трансформаторном масле, осуществленная с помощью только что описанного приспособления.

На рис. 2 край линии, соответствующий переднему краю дуги, резок, а край линии, соответствующий заднему краю дуги, размыт и постепенно теряет свое свечение. Характер снимка показывает, что дуга при движении в магнитном поле оставляет за собой ионизированный хвост.

Наблюдаемое явление следует рассматривать следующим образом: вследствие высокой температуры вокруг дуги в масле образуется газовый пузырь, к передней стенке которого дуга прижимается под действием магнитного поля. Весь пузырь приобретает, таким образом, форму, вытянутую вдоль движения дуги. Сзади, за прошедшей дугой остается ионизированный газ, заключенный в газовом пузыре.

Магнитное поле создавалось тем же током, который питал дугу. При наличии железа благодаря явлению гистерезиса магнитное поле изменяет знак при переходе через нуль позже, чем ток. Перемена знака одного лишь тока вызывает изменение направления силы, действующей на дугу, на обратное. Это приводит к отбрасыванию дуги назад в моменты, близкие к переходу тока через нуль, причем она попадает в области ионизированного ранее газа.

Как видно из рис. 2, в точке а, соответствующей переходу тока через нуль, дуга действительно отбрасывается назад. Скорость обратного движения выше, чем скорость движения вперед, так как в обратном направлении дуга движется практически в водороде, составляющем, как известно, большую часть содержимого газового пузыря.

Благодаря остаточному магнитному полю, создающемуся в момент перехода тока через нуль, возникают большие силы, толкающие дугу к передней стенке пузыря. С этой точки зрения применение для магнитной цепи выключателей железа с большой коэрцитивной силой, повидимому, должно дать благоприятные результаты в смысле гашения дуги.

В масляных деионных выключателях, как известно, с большой эффективностью применяют деионные решетки с масляными карманами и щелями. Нами были исследованы условия гашения дуги в таких решетках.

Перед испытанием решетка, образованная элементами, насаженными друг на друга, закладывалась в камеру между электродами и заливалась трансформаторным маслом.

При размыкании контактов в начале деионной решетки создавалась дуга и, передвигаясь под действием магнитного поля вдоль нее, она наталкивалась на своем пути на перегородки между отдельными масляными карманами.

В этом случае деионизация значительно выше в момент

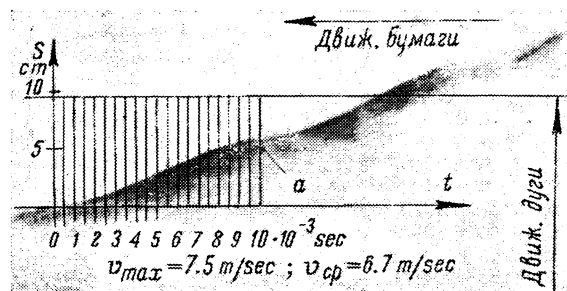


Рис. 2

* В этом разделе помещаются краткие сообщения инженеров и научных работников о своих теоретических экспериментальных, расчетных, конструкторских и других работах.



Рис. 3

перехода тока через нуль, чем в случае чистого масла. Характер деионизации дугового промежутка можно оценить по виду кривой восстанавливающегося на контактах после погасания дуги напряжения. Еще Van Sickle и Berkey¹ в 1933 г. отмечали, что на характер кривой восстанавливающегося напряжения влияет способ гашения дуги.

На рис. 3 приведена катодная осциллограмма напряжения на дуге при гашении дуги в масле. Осциллограмма восстанавливающегося напряжения после установки между электродами деионной решетки приведена на рис. 4. Из рисунков мы видим, что с усилением деионизации дугового промежутка затухание колебаний восстанавливающегося напряжения уменьшается. Это указывает на то, что после погасания дуги сопротивление дугового промежутка нарастает сравнительно медленно и тем медленнее, чем хуже условия гашения дуги. Электрическая дуга представляет активное сопротивление, изменяющееся в процессе гашения. Очевидно, различные величины сопротивления дугового промежутка при различных способах гашения дуги и обуславливают различный характер кривой восстанавливающегося напряжения.

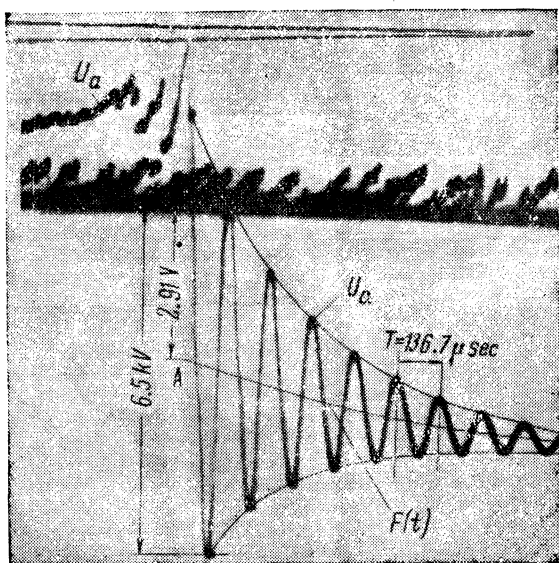


Рис. 4

Энергия при горении дуги, главным образом, расходуется на поддержание молекулярных процессов (повышение температуры газа, ионизация и возбуждение молекул), происходящих в дуговом промежутке, и величина активного сопротивления характеризует энергетический баланс этих молекулярных процессов. Вопрос о том, погаснет ли дуга после перехода тока через нуль или загорится вновь, может быть решен путем определения количества энергии, сообщаемой дуговому промежутку при переходе тока через нуль.

Если величина этой энергии превысит величину энергии, отводимой от дугового промежутка вследствие диффузии, теплопроводности, излучения и т. д., то дуга не погаснет и загорится вновь. Величины сопротивления дугового промежутка были определены нами и они оказались значительно меньше при гашении дуги в чистом трансформаторном масле, чем при наличии деионной решетки.

Улучшение условий деионизации в деионной решетке обуславливается, повидимому, взрывами, происходящими в тот момент, когда ствол дуги соприкасается с протиспанной стенкой, пропитанной маслом. Эта точка зрения была подтверждена авторами экспериментально при исследовании вопроса старения деионной решетки и масла в камере.

В результате исследований выяснилось, что из строя выходит деионная решетка, понижение же прочности масла не оказывает заметного влияния на гашение дуги. Испорченная деионная решетка покрывается смолообразным налетом,

образующимся при разложении масла вследствие действия электрической дуги. Смолообразный налет на поверхности протиспана прекращает взрывы, затрудняет соприкосновение дуги с маслом, пропитывающим протиспан, и служит как бы изоляцией между дугой и маслом, находящимся в порах протиспана. Кроме того, смолистые вещества, повидимому, могут вообще затруднять пропитку протиспана маслом.

Потерянная дугогасящая способность решетки тотчас же восстанавливается после промывки ее в бензине, причем электрическая прочность решетки остается той же, что и до промывки.

Очевидно, что после промывки бензином лишь удаляется смолистый налет на решетке и создается возможность проникновения трансформаторного масла в протиспан и хорошего контакта при соприкосновении дуги с маслом, пропитывающим поры протиспана. Таким образом большая деионизирующая способность решетки, очевидно, в большой мере зависит от действия больших ускорений, возникающих в газе, окружающем горящую дугу в момент соприкосновения дуги с деионной решеткой, пропитанной маслом.

Передвижная газогенераторная электростанция мощностью 40 kW

Инж. И. П. ЩЕТИНИН и инж. В. Г. НИКИТИН
„Лесосудомашстрой“

Проект описываемой ниже передвижной газогенераторной электростанции разработан бригадой конструкторов проектно-конструкторского отдела треста Лесосудомашстрой Наркомлеса СССР под руководством авторов.

Передвижная газогенераторная электростанция мощностью 40 kW (рис. 1 и 2) предназначена для снабжения электроэнергией промышленности и для обеспечения бытовой нагрузки. Она может быть с успехом применена на новостройках, в местах отсутствия районной распределительной сети, на разработках карьеров, строительстве дорог, лесозаготовках и в качестве резервного агрегата.

Электростанция размещена в прицепной подрессоренной повозке в виде вагончика на железных колесах (или на лыжах — для зимней транспортировки). Основные габариты и веса станции даны на рис. 1 и 2. Приводим технические данные станции: полезная мощность 40 kW; напряжение 400/230 V; ток при $\cos \varphi = 1$ 58/100 A и при $\cos \varphi = 0,8$ 70/120 A. Род тока — переменный трехфазный, 50 Hz.

Оборудование электростанции. Оборудование подбиралось из серийно выпускаемой промышленностью продукции.

Двигатель (первичный) марки МГ-17 Челябинского тракторного завода (от трактора СГ-65), работающий на древесном газе. Мощность на валу — 65 л. с., 870 об/мин, степень сжатия 7,89; охлаждение водой, емкость 90 л; система смазки — комбинированная, емкость — 22 л дизельного масла; регулятор оборотов — центробежный (точность регулирования ± 50 оборотов); запуск — с помощью пускового двигателя, работающего на бензине мощностью 20 л. с. при 2200 об/мин. Генератор — переменного трехфазного тока типа С-114-8 завода «Электросила» им. Кирова с возбудителем на одном валу; мощность — 52 kW при $\cos \varphi = 0,8$; напряжение 400/230 V, 750 об/мин; возбудитель типа ВС-185/12.

Газогенераторная установка — марки Г-25 Челябинского тракторного завода (от трактора СГ-65), состоящая из газогенератора и очистительно-охладительной системы.

Газогенератор работает на дровах (чурках) по опрокинутому (обратному) процессу газификации с полным обогревом бункера, с колосниковой решеткой. Топливо — березовые и сосновые чурки — размером $60 \times 60 \times 60$ мм, влажность не выше 18%; объем бункера — 0,3 м³, вес загружаемого в бункер топлива 100 кг, длительность работы на одной загрузке 1,5 h. Габаритные размеры — высота 1750, диаметр — 720 мм.

Очистительно-охладительная система состоит из нескольких последовательно включенных аппаратов, в которых газ очищается и одновременно охлаждается.

¹ Trans. Americ. Inst. electr. Eng., 52, p. 852, 1933.

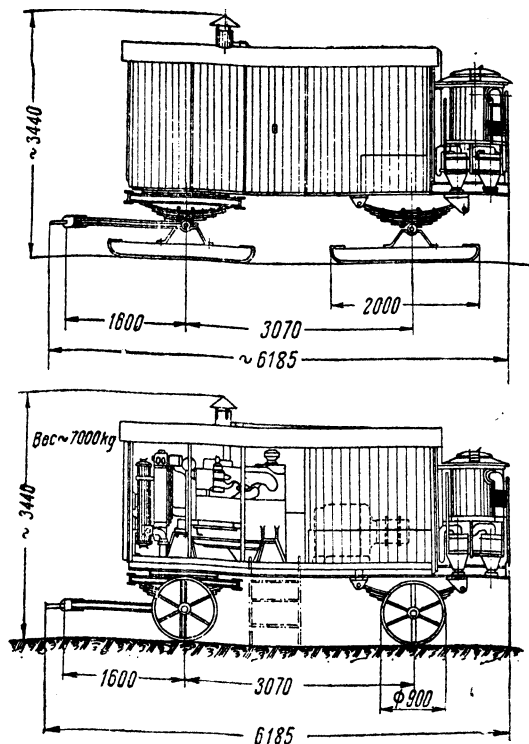


Рис. 1

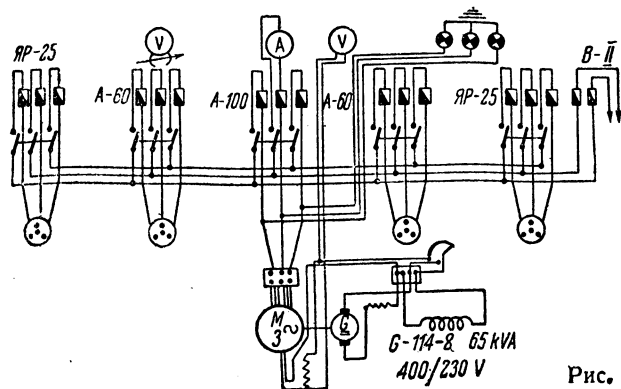


Рис. 4

Распределительное устройство. По условиям эксплуатации к распределительному устройству были предъявлены следующие требования: 1) все приборы должны быть, по возможности, защищены от каких-либо внешних повреждений, от грубого и неосмотрительного обращения с ними; 2) грязь и сырость ни в коем случае не должны проникать внутрь аппарата; 3) случайная возможность прикосновения к частям, находящимся под напряжением, должна быть исключена; 4) недостаточно подготовленный персонал должен быть поставлен в безопасные условия работы при обслуживании и уходе за аппаратами — в условия, исключающие доступ к приборам, находящимся под напряжением.

Первые три условия выполняются при размещении аппаратуры в чугунных, плотно закрывающихся ящиках; выполнение четвертого условия обеспечивается механической блокировкой, не позволяющей открыть дверку ящика при включенном рубильнике и, наоборот, при открытой дверке включить рубильник.

Распределительное устройство спроектировано из коммутационной аппаратуры, изготовленной Харьковским электро-механическим заводом им. Сталина, и состоит из одного распределительного ящика типа ПИА-100 для генераторной цепи; двух распределительных ящиков типа ПИА-60 для двух силовых фидеров; двух распределительных ящиков типа ЯР 25/III для двух фидеров освещения; линейного ящика с четырьмя розетками, изготавливаемыми заводами Лесосудомашстрой для питания токоприемников; сборных железных шин, расположенных в специальных чугунных коробках типа КС.

Контрольно-измерительная аппаратура состоит из одного вольтметра типа ЭМ-450 с переключением фаз типа ПВ-III для включения на шинах станции, одного вольтметра типа ЭМ-50 для цепи возбуждения и одного амперметра типа ЭМ-200 для включения в главную цепь генератора.

В качестве контроля изоляции применены лампы накаливания.

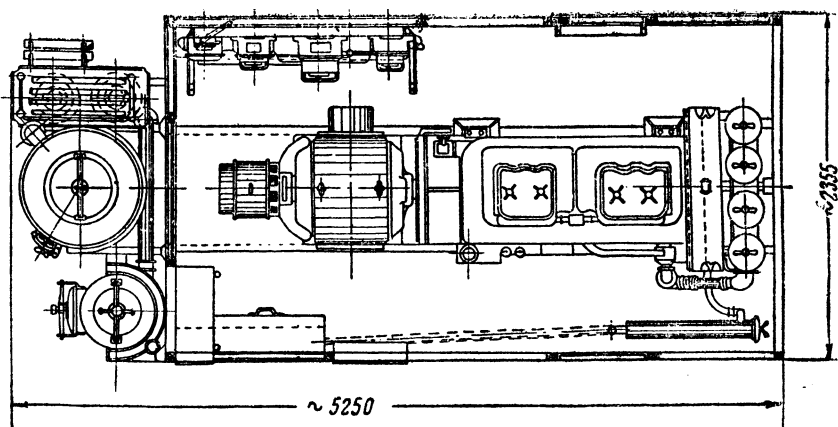


Рис. 2

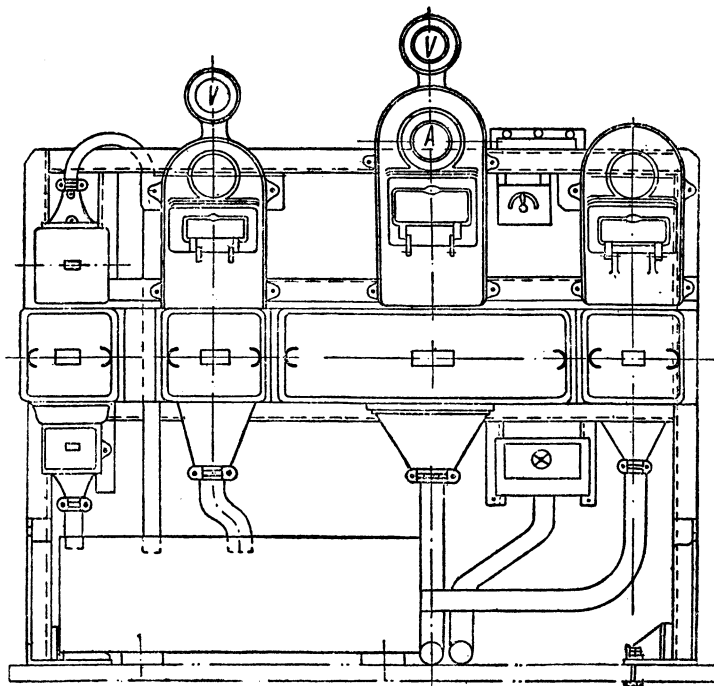


Рис. 3

Для внутреннего освещения станции использована чугунная распределительная коробка типа П-В со встроенными в нее двумя пробковыми предохранителями; в качестве светильников применены 3 плафона ж.-д. типа, установлены на потолке кузова.

Вся коммутация осуществляется проводами ПР в газовых трубах и трубках Бергмана.

Коммутационная аппаратура и контрольно-измерительные приборы монтируются на металлической раме-каркасе, укрепленной на основной раме станции. Общий вид распределительного устройства показан на рис. 3, схема коммутации дана на рис. 4.

При расположении станции в лесу необходимо защитное заземление из 6 электродов диаметром 2,5", длиной 2,5 м. Вследствие их громоздкости электроды не включены в комплект станции. Предполагается обязать эксплуатационный персонал осуществлять защитное заземление в соответствии с произведенными замерами на месте эксплуатации в соответствии с инструкцией.

Оборудование электростанции — двигатель, электрогенератор, газогенераторная установка и распределительное устройство — монтировано на общей раме (рис. 1 и 2).

Передвижение электростанции осуществляется с помощью трактора. Скорость движения не должна превышать 4—5 км/ч.

Описанный проект электростанции одобрен Наркомлесом СССР. Изготовление таких станций осваивает завод «Красный металлист» треста Лесосудомашстрой, который во II квартале 1941 г. должен выпустить первый опытный экземпляр.

Ориентированная стоимость такой электростанции при серийном изготовлении — до 35 000 руб.

Лесовозный электровоз переменного тока нормальной частоты

Инж. В. Н. КИРОВА

Ленинградская лесотехническая академия им. Кирова

Лесовозные железные дороги имеют весьма небольшой срок службы — 5—7 лет для магистралей и 2—3 года для ответвлений. Эта особенность лесовозных железных дорог позволила Научно-исследовательскому институту Лесотехнической академии им. Кирова разработать крайне простую схему питания электровоза, предложенную инж. В. А. Терехиным. Эта схема питания, осуществленная по так называемой однопроводной системе, несколько лет испытывалась и хорошо себя оправдала на лесоразработках в Лысинском учебно-опытном лесхозе.

Согласно этой схеме, электроснабжение электровоза производится от линии железного контактного провода однофазным током при напряжении 10—11 kV. Для снижения общих строительных затрат по электрификации контактная линия одновременно используется для подачи электроэнергии на лесные разработки (питание электропилы, электролебедок и т. п.) и в рабочие лесные поселки. В результате такой комплексной электрификации применение электрической тяги на лесовозных железных дорогах должно дать еще более высокую относительную экономию, чем на обычных магистральных железных дорогах.

Для простоты и надежности электрическая часть спроектирована на стандартном оборудовании серийного изготовления.

Согласно принятой схемы (рис. 1) ток поступает с контактного провода в токоприемник и далее через проходной изолятор и масляный выключатель в две последовательно включенные фазы высоковольтной обмотки трансформатора и возвращается через рельсы и землю на подстанцию. Третья фаза высоковольтной обмотки трансформатора соединена с конденсатором; второй зажим конденсатора заземлен. Зажимы низшего напряжения трансформатора соединены со статорной обмоткой тягового электродвигателя шланговым кабелем сечением 35 мм². Для измерения тока статорной обмотки в соединительные провода включены два трансформатора тока с коэффициентом трансформации 125/5 А.

От зажимов двигателя сделано трехфазное ответвление шланговым кабелем, позволяющее присоединять любой приемник энергии (мощность до 30 kW) и тем самым использовать электровоз в лесу как передвижную трансформаторную подстанцию. Для увеличения тягового усилия при пуске электровоза в ход обмотка ротора двигателя включается через реостат водяного типа. Тяговый электродвигатель — защищенный, кранового типа, номинальная мощность 30 kW при 25% ED и 970 об/мин.

Двигатель установлен на основании из углового железа, прикрепленном к раме электровоза. Вращающий момент передается от вала электродвигателя через дисковую муфту сцепления на главный трансмиссионный вал, соединяющий муфту сцепления с задним мостом. Задний мост включает две системы зубчатых передач с кулачковыми муфтами, позволяющие электровозу иметь две скорости — 9,0 и 18,0 km/h. Для лесовозных узкоколейных железных дорог, учитывая несовершенство их конструкции, можно признать эти скорости достаточными. Отбойный вал заднего моста

соединен с крайней ведущей осью наклонным дышло от прямоугольного сечения. Вторая и третья сцепные оси соединены с ведущей осью спарниками.

В кузове электровоза установлены силовой и осветительный трансформаторы, масляный выключатель и два конденсатора. Силовой трансформатор — нормального типа, трехфазный ТМ-50/20 с масляным охлаждением, соединение обмоток Y/Δ. Для уменьшения вредного влияния тряски и вибрации трансформатор установлен на резиновых прокладках.

Осветительный трансформатор — типа БОС на 220/12/6 V — установлен непосредственно на раме электровоза. Масляный выключатель — облегченного типа, ВМ-12 — работает от ручного привода при помощи зубчаток и цепи Галля. Установленные конденсаторы Московского трансформаторного завода трехфазные по 25 kVA каждый нормально рассчитаны на напряжение 6 kV, и для работы при 10 kV их пришлось переключить последовательно и поставить на изоляторах. Между собою конденсаторы включены параллельно.

Среди электрического оборудования электровоза наибольший интерес представляет токоприемник штангового типа оригинальной конструкции. Токоприемник предназначен для снятия тока с верхней поверхности контактного провода, расположенного в стороне от пути на расстоянии 3,5 ÷ 4,5 м. Для работы на ветках, примыкающих с любой стороны, токоприемник может быть повернут вокруг вертикальной оси на 180°. Ось вращается в роликовых подшипниках и имеет в верхней части массивный изолятор (типа ИШД-10) с шарнирной пятой, а внизу — деревянную рукоятку для наложения токоприемника на контактный провод и снятия его с провода. Штанговая часть токоприемника состоит из трех звеньев, соединенных шарнирами на горизонтальных валиках. Первое звено штанги, называемое рычагом, состоит из куска прочной трубы, соединенной при помощи простого шарнира с пятой. С другого конца рычаг имеет ролик, катящийся по опорной дуге при вращении токоприемника рукояткой. Опорная дуга симметрично изогнута в вертикальной плоскости, а в плане расположена по полуокружности. При набегании на изогнутую часть дуги ролик поднимает конец рычага, а с ним вместе и второе звено токоприемника в виде 2,5-м трубчатой штанги с проволочными растяжками для увеличения жесткости. К верхнему концу штанги шарнирно укреплены рабочая (трущаяся) часть токоприемника из легкой стальной трубки длиной 2,3 м. В рабочем положении трубка горизонтальна и опирается средней частью на контактный провод. Опорная дуга укреплена на трех изоляторах, на решетчатом металлическом каркасе, служащем основанием для токоприемника. Каркас при помощи болтов крепится непосредственно на крыше кабины машиниста. Для снижения усилия, прилагаемого машинистом к рукоятке токоприемника, конец рычага со стороны пяты несет пружинный противовес, уравнивающий около 50% веса токоприемника. Токоприемник легко разбирается на составные детали и также легко может быть собран и поставлен на место. Несмотря на вполне удовлетворительную работу токоприем-

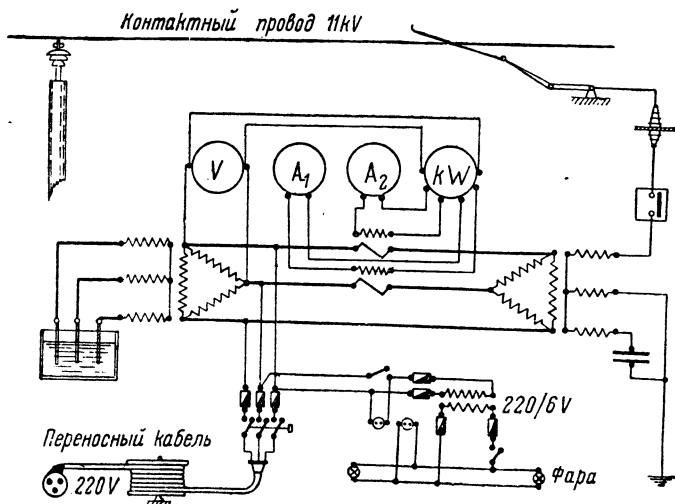


Рис. 1

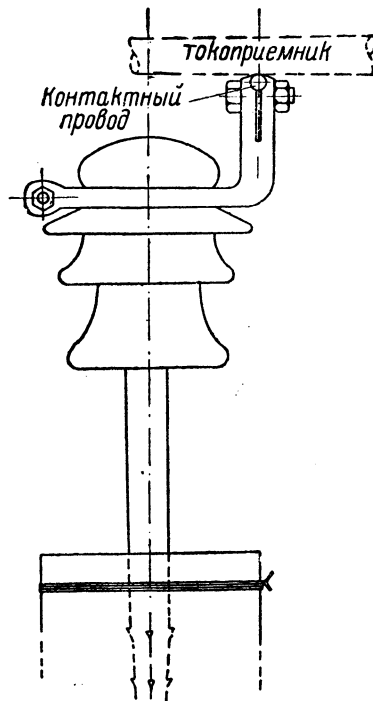


Рис. 2

лика, Научно-исследовательский институт Лесотехнической академии им. Кирова продолжает видоизменять его конструкцию с целью дальнейшего усовершенствования.

Оригинальна также и конструкция контактной сети. Деревянные опоры из 6,5-м сосновых столбов расположены на расстоянии 25—35 м. В торец верхнего конца опоры забит железный штырь (диаметром 25 мм). Штырь несет фарфоровый изолятор типа Ш-11 с кованым железным зажимом (рис. 2). Контактный провод из грубой железной проволоки диаметром в 6,5 мм (так называемая «катанка») вкладывается сверху в прорезь зажима и затягивается болтиком. Несмотря на простоту конструкции и кустарное их выполнение, зажимы прочно удерживают провод и даже на кривых не было ни одного случая вырывания провода.

Рельсовый путь узкой колеи — 750 м — не имеет электрических стыковых соединений и только в трех местах заземлен при помощи небольших железных пластин, чтобы обеспечить возврат тока через землю на подстанцию, второй «полюс» которой тоже заземлен.

Как показали испытания электропровода на опытной ветке в Лисинском лесопромхозе в течение весны и лета 1940 г., электрическая часть оказалась вполне надежной. Условия токосъема, несмотря на некоторое искрение в местах неровностей контактного провода, оказались вполне удовлетворительными. Не было ни одного случая приваривания токоприемника к проводу или пережога последнего. Интересно отметить, что за все время опытов ни рабочая часть токоприемника, ни контактный провод ни разу не очищались от ржавчины и не смазывались. При испытании с динамометром электропровод давал при сцепном весе 8 т устойчивую силу тяги (на крюке) в 1200 кг и толчками 1500—1700 кг. Дальнейшему увеличению силы тяги препятствовало буксование электропровода. Результаты испытаний позволяют надеяться, что описанная система однофазно-трехфазной тяги окажется в условиях лесоразработок достаточно надежной и экономичной.

Измерение напряжений на высокой стороне силового трансформатора с помощью трансформаторов напряжения, установленных на низкой стороне

Канд. техн. наук Г. И. АТАБЕКОВ
„Теплоэлектропроект“

Иногда на стороне высокого напряжения станции или подстанции (110 кВ и выше) отсутствуют трансформаторы напряжения, представляющие дефицитное и дорогостоящее оборудование. Между тем может встретиться необходимость в измерении фазовых или междуфазовых напряжений на высокой стороне, например для присоединения реле дистанционного типа. В таком случае для измерения напряжений на высокой стороне можно использовать трансформаторы напряжения, установленные на низкой стороне силового трансформатора, с компенсацией фазового сдвига (в случае соединения обмоток силового трансформатора по схеме звезда-треугольник) и падений напряжений в силовом трансформаторе. Ниже дано описание предложенных автором способов измерения фазовых и междуфазовых напряжений¹.

Измерение фазовых напряжений. Вариант I (рис. 1). Приняты следующие обозначения:
A, B, C — для фаз на высокой стороне силового трансформатора;

a, b, c — то же на низкой стороне;

Z_T — импеданс силового трансформатора I;

1, 2, 0 — индексы, относящиеся к положительной, отрицательной и нулевой последовательностям.

Коэффициенты трансформации силового трансформатора I и измерительных трансформаторов 2 и 3 ради упрощения приняты равными единице; группа соединений обмоток силового трансформатора — Y/Δ-11.

На основании метода симметричных составляющих напряжение фазы a на низкой стороне силового трансформатора

$$\dot{U}_a = (\dot{U}_{A_1} + \dot{I}_{A_1} Z_T) e^{j30^\circ} + (\dot{U}_{A_2} + \dot{I}_{A_2} Z_T) e^{-j30^\circ}.$$

Напряжение на вторичной стороне трансформатора напряжения 3, имеющего ту же группу соединения обмоток,

¹ Заявочное свидетельство № 32847.

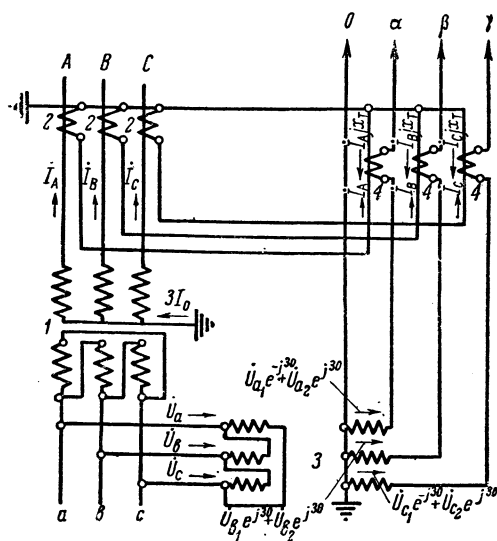


Рис. 1

что и силового трансформатора², за вычетом падений напряжений в силовом трансформаторе от тока фазы A:

$$\begin{aligned} \dot{U}_a &= (\dot{U}_{A_1} + \dot{I}_{A_1} Z_T) e^{j30^\circ} \cdot e^{-j30^\circ} + \\ &+ (\dot{U}_{A_2} + \dot{I}_{A_2} Z_T) e^{-j30^\circ} \cdot e^{j30^\circ} - (\dot{I}_{A_1} + \dot{I}_{A_2} + \dot{I}_{A_0}) Z_T = \\ &= \dot{U}_{A_1} + \dot{U}_{A_2} + \dot{U}_{A_0} = \dot{U}_A. \end{aligned}$$

Аналогично

$$\dot{U}_b = \dot{U}_B, \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C.$$

Вычитание падений напряжений в трансформаторе достигается при помощи специальных вспомогательных трансформаторов³ 4, включенных во вторичную цепь трансформаторов тока 2 на высокой стороне силового трансформатора и имеющих сердечники с воздушным зазором (для создания э. д. с., пропорциональной величине тока).

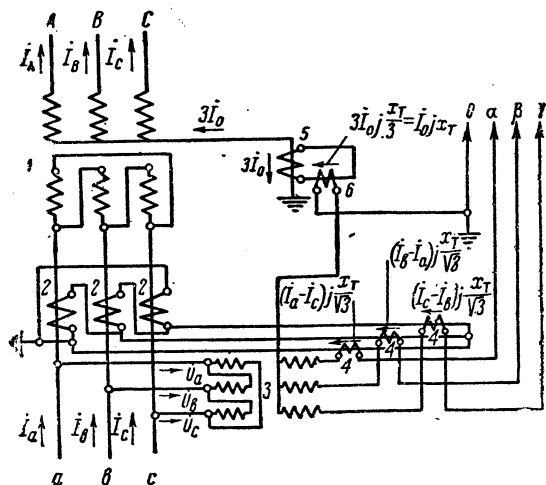


Рис. 2

Вариант II (рис. 2). В отличие от варианта I вспомогательные трансформаторы 4 включены во вторичные цепи трансформаторов тока 2, установленных на низкой стороне силового трансформатора I.

² При условии совмещения с 12-часовой стрелкой вектора э. д. с. звезды.

³ Применение трансформаторов 4 предполагает допустимым положить $Z_T \approx jX_T$, что не вносит заметной ошибки в измерения, так как импедансный угол силовых трансформаторов обычно превышает 85°.

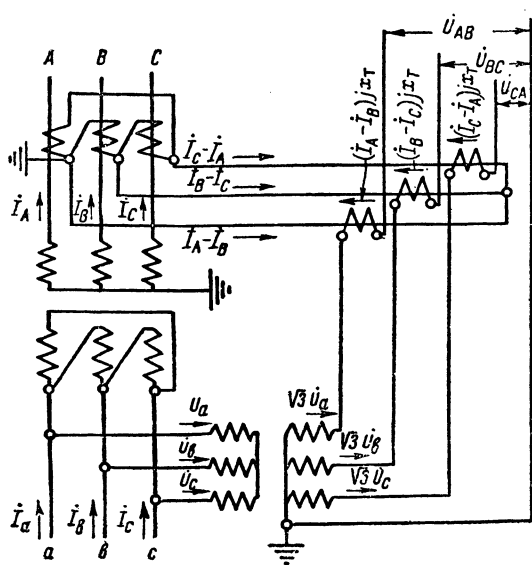


Рис. 3

Благодаря принятой на рис. 2 схеме соединений трансформаторов тока 2 получается ⁴:

$$\dot{U}_a = (\dot{U}_{A_1} + \dot{I}_{A_1} Z_T) e^{j30^\circ} \cdot e^{-j30^\circ} + (\dot{U}_{A_2} + \dot{I}_{A_2} Z_T) e^{-j30^\circ} e^{j30^\circ} - (\dot{I}_a - \dot{I}_c) \frac{Z_T}{\sqrt{3}} - 3I_0 \frac{Z_T}{3};$$

так как

$$\dot{I}_a - \dot{I}_c = (\dot{I}_{a_1} e^{-j30^\circ} + \dot{I}_{a_2} e^{j30^\circ}) \sqrt{3} = (\dot{I}_{A_1} + \dot{I}_{A_2}) \sqrt{3},$$

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A.$$

Аналогично

$$\dot{U}_b = \dot{U}_B, \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C.$$

Для создания напряжения $\dot{U}_0 = -\dot{I}_0 Z_T$ в схеме рис. 2 использован вспомогательный трансформатор 6, включенный во вторичную цепь трансформатора тока 5, установленного в нейтрали силового трансформатора. Следует иметь в виду, что вспомогательный трансформатор 6 мог бы быть также включен в нулевой провод трансформаторов тока, соединенных в звезду на высокой стороне силового трансформатора 1.

Преимущество второго варианта перед первым заключается в возможности использования отдельных и в ряде случаев более мощных трансформаторов тока 2 на низкой стороне.

В обоих вариантах при соединении трансформатора напряжения по схеме звезда — звезда может быть применен

⁴ Коэффициенты трансформации силового трансформатора 1 и измерительных трансформаторов 2, 3 и 5 приняты равными единице.

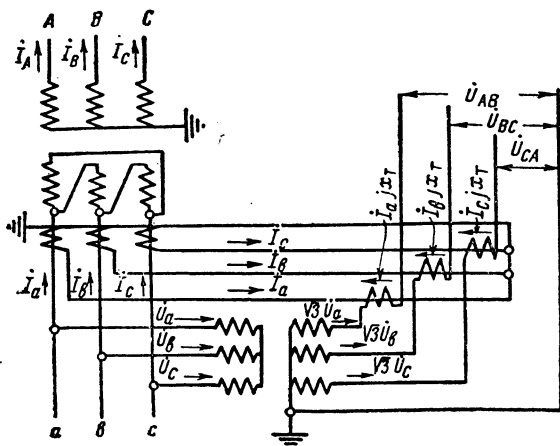


Рис. 4

промежуточный трансформатор напряжения 3 с соединением обмоток треугольник — звезда и с коэффициентом трансформации единица.

Если нулевая точка силового трансформатора 1 изолирована, то в обоих вариантах должен быть применен дополнительный трансформатор напряжения, включенный между нулевой точкой силового трансформатора и землей (для создания напряжения U_0).

Измерение междупазовых напряжений. В тех случаях, когда для целей измерения или релейной защиты требуется наличие на высокой стороне только междупазовых напряжений (это, например, имеет место в дистанционной защите от замыканий между фазами), схемы соответственно упрощаются.

При коэффициенте трансформации силового трансформатора, равном единице:

$$\dot{U}_A = \frac{1}{\sqrt{3}} (\dot{U}_a - \dot{U}_c) - \dot{I}_A Z_T,$$

$$\dot{U}_B = \frac{1}{\sqrt{3}} (\dot{U}_b - \dot{U}_a) - \dot{I}_B Z_T,$$

$$\dot{U}_C = \frac{1}{\sqrt{3}} (\dot{U}_c - \dot{U}_b) - \dot{I}_C Z_T,$$

откуда

$$\dot{U}_A - \dot{U}_B = \sqrt{3} (\dot{U}_a - \dot{U}_{0\Delta}) - (\dot{I}_A - \dot{I}_B) Z_T,$$

$$\dot{U}_B - \dot{U}_C = \sqrt{3} (\dot{U}_b - \dot{U}_{0\Delta}) - (\dot{I}_B - \dot{I}_C) Z_T,$$

$$\dot{U}_C - \dot{U}_A = \sqrt{3} (\dot{U}_c - \dot{U}_{0\Delta}) - (\dot{I}_C - \dot{I}_A) Z_T.$$

Здесь $U_{0\Delta}$ — напряжение нулевой последовательности на стороне треугольника.

При коэффициенте трансформации силового трансформатора, равном единице,

$$\dot{I}_A - \dot{I}_B = \sqrt{3} \dot{I}_a,$$

$$\dot{I}_B - \dot{I}_C = \sqrt{3} \dot{I}_b,$$

$$\dot{I}_C - \dot{I}_A = \sqrt{3} \dot{I}_c.$$

Следовательно,

$$\dot{U}_A - \dot{U}_B = \sqrt{3} (\dot{U}_a - \dot{U}_{0\Delta} - \dot{I}_a Z_T),$$

$$\dot{U}_B - \dot{U}_C = \sqrt{3} (\dot{U}_b - \dot{U}_{0\Delta} - \dot{I}_b Z_T),$$

$$\dot{U}_C - \dot{U}_A = \sqrt{3} (\dot{U}_c - \dot{U}_{0\Delta} - \dot{I}_c Z_T).$$

На рис. 3 и 4 показаны возможные варианты измерения междупазовых напряжений на стороне звезда с помощью трансформаторов напряжения, установленных на стороне треугольника.

Как видно из полученных выше выражений, междупазовым напряжениям со стороны звезды соответствуют фазовые напряжения со стороны треугольника.

Для устранения влияния $U_{0\Delta}$ нулевая точка трансформаторов разземляется.

Во всех предыдущих рассуждениях величину Z_T предполагали независимой от режима работы трансформатора, что с достаточной для практики точностью согласуется с опытными данными. В частности, при различных насыщениях сердечника силового трансформатора (в пределах рабочей области) изменение в величине реактанта рассеяния получается ничтожно малым. То же имеет место и в отношении других факторов, влияющих на величину Z_T , как-то: температура обмотки и т. п.

Погрешности в измерении напряжений, обусловленные непостоянством величины Z_T , не выходят за пределы точности работы защитной аппаратуры, в особенности импедансных и реактансных реле. Следует иметь в виду, что при построении характеристик дистанционных реле на практике всегда исходят из постоянства величины Z_T .

В заключение необходимо отметить, что, позволяя обойтись без дефицитного высоковольтного оборудования, предлагаемые способы измерения напряжений на высокой стороне при помощи измерительных трансформаторов, установленных на низкой стороне, дают также заметную экономию в затратах, так как стоимость группы трансформаторов на

пряжения составляет для 110 кВ — 33 300 руб. и для 220 кВ — 64 000 руб. (не считая стоимости монтажных и строительных работ).

В частности, особую актуальность приобретает этот вопрос при блочных вариантах: генератор — трансформатор и трансформатор — линия.

Точность работы авиационных регуляторов напряжения

Доц. К. С. БОБОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Для регулирования напряжения авиационных динамомаши обычно применяются вибрационные регуляторы напряжения электромагнитного типа. На рис. 1 представлена простейшая принципиальная схема включения регулятора. Контакты такого регулятора напряжения обычно с большой частотой замыкают добавочное сопротивление в цепи возбуждения машины. Ток возбуждения машины в этом случае получается пульсирующим, и среднее значение его зависит от соотношения времени замкнутого и разомкнутого состояния контактов. Можно показать, что для схемы рис. 1 среднее значение тока возбуждения определяется равенствами:

$$i_m = \frac{U}{R\tau_p + r_m}, \quad (1)$$

$$\tau_p = \frac{t_p}{t_3 + t_p} = \frac{t_p}{T_k} = t_p f_k, \quad (2)$$

где τ_p — относительная длительность разомкнутого состояния контактов,

t_p и t_3 — время разомкнутого и замкнутого состояния контактов,

T_k и f_k — период и частота замыканий контактов.

Для гашения искры на контактах параллельно обмотке возбуждения можно включить купроксный выпрямитель так, как это показано пунктиром на рис. 1. Сопротивление купроксного выпрямителя очень мало, и напряжение на сопротивлении R при разомкнутых контактах получается примерно равным напряжению машины U , а ток, текущий в сопротивлении

$i_k = \frac{U}{R}$. Сопротивление R к тому же значительно больше сопротивления обмотки возбуждения r_m , поэтому можно считать обмотку возбуждения при замкнутых контактах приключенной к напряжению U и замкнутой накоротко, когда контакты разомкнуты. Тогда среднее значение тока возбуждения приближенно будет

$$i_m = \frac{U}{r_m} \tau_p. \quad (3)$$

Чтобы напряжение на зажимах динамомашины при изменении скорости вращения оставалось неизменным, ток возбуждения машины, — в зависимости от того, возросла или упала скорость вращения, — должен уменьшаться или увеличиваться. Это осуществляется в результате автоматического изменения регулятором относительного времени замкнутого состояния контактов в очень широких пределах (от 0,9 до 0,1).

Вибрирующий якорек регулятора напряжения нормально находится под действием силы электромагнитного притяжения и силы противодействия пружины. Колебания якорька, вызываемые пульсациями силы электромагнитного притяжения, происходят около некоторого среднего положения и имеют очень незначительную амплитуду. Этому среднему положению якорька соответствует средняя сила электромаг-

нитного притяжения и уравнивающая ее сила противодействия пружины. Если установить некоторую силу предварительной затяжки пружины, то для заданного среднего значения зазора между якорьком и сердечником должна получиться определенная средняя сила электромагнитного притяжения и соответствующее ей среднее число ампервитков.

Точность регулирования (точность поддержания постоянного напряжения) авиационного регулятора зависит от ряда рассматриваемых ниже факторов.

Влияние ускоряющих обмоток и различных схем ускорения. Для увеличения частоты замыканий контактов применяют ускоряющие обмотки; результирующие ампервитки регулятора AW_p создаются шунтовой и ускоряющей катушками:

$$AW_{pcp} = AW_0 + AW_{ucp} = \text{const}. \quad (4)$$

Рассматривая переходный процесс при замыкании и размыкании контактов в магнитосвязанных основной и ускоряющей обмотках регулятора, можно показать, что первое слагаемое правой части равенства (4)

$$AW_0 = \frac{U}{R_0 + r_0} \cdot W_0, \quad (5)$$

а второе слагаемое этого равенства AW_{ucp} равно среднему значению ампервитков ускоряющей катушки, которое не является постоянной величиной и зависит от тока возбуждения машины i_m .

На рис. 2 представлена одна из наиболее распространенных в практике схем. В этой схеме к ускоряющей обмотке при замкнутых контактах приложено напряжение U , а при разомкнутых — $U - (i_m + i_y)R = U - i_m R\alpha$; коэффициент α учитывает падение напряжения в сопротивлении R от тока ускоряющей обмотки i_y .

Среднее значение напряжения, приложенного к ускоряющей обмотке,

$$U_{cp} = U\tau_p + (U - i_m R\alpha) \tau_p. \quad (6)$$

В данном случае

$$i_m = \frac{U}{\alpha R\tau_p + r_m}, \quad (7)$$

поэтому

$$U_{cp} = i_m r_m \quad (8)$$

$$AW_{ucp} = i_m W_y \frac{r_m}{R_y + r_y}. \quad (9)$$

При увеличении скорости вращения динамомашины ток возбуждения и, следовательно, среднее значение ампервитков ускоряющей обмотки уменьшается, вместе с ним возрастает напряжение на зажимах машины.

Для устранения этого приходится применять так называемую выравнивающую обмотку, которая обтекается током возбуждения машины и включается так, что создаваемые ею ампервитки действуют навстречу ампервиткам шунтовой и ускоряющей обмоток. Для полной компенсации влияния непостоянства средних ампервитков ускоряющей обмотки необходимо выбрать число витков выравнивающей обмотки согласно равенству:

$$W_s = W_y \frac{r_m}{R_y + r_y}. \quad (10)$$

Существуют также схемы включения ускоряющей обмотки параллельно добавочному сопротивлению R или последовательно к нему, но так, что контакты регулятора периодически замыкают эту обмотку вместе с добавочным сопротивлением.

Если выбрать параметры ускоряющих обмоток этих схем такими, чтобы они давали одинаковый эффект ускорения

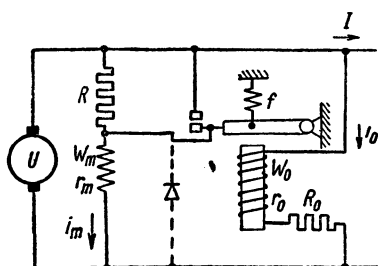


Рис. 1

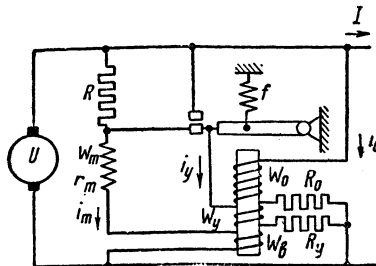


Рис. 2

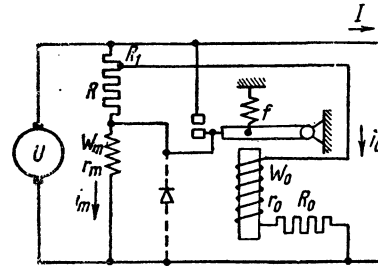


Рис. 3

как и в рассмотренной выше схеме, то влияние на точность регулирования у них будет более значительным. Кроме этого, включение ускоряющей обмотки последовательно с добавочным сопротивлением способствует нежелательному появлению искр на контактах при размыкании.

Вместо ускоряющей обмотки фирма Бош применяет схему ускорения, представленную на рис. 3. В этой схеме при замкнутых контактах к основной обмотке подается напряжение $U_0 - i_0 R_1$, при разомкнутых $U - (i_m + i_0) R_1$. Среднее напряжение питания катушки регулятора¹:

$$U_{cp} = (U - i_0 R_1) \tau_s + [U - (i_m + i_0) R_1] \tau_p = \text{const.} \quad (11)$$

Так как

$$i_m = \frac{U}{R \tau_p + r_m},$$

то

$$\frac{\text{const}}{U} = \frac{U_{cp} + i_0 R_1}{U} = 1 - \frac{\frac{R_1}{R} \tau_p}{\tau_p + \frac{r_m}{R}}. \quad (12)$$

Задаваясь, например, максимальной величиной пульсации напряжения на зажимах основной катушки $\Delta U = 0,1 U$, можно найти величину изменения напряжения U . Для $\frac{r_m}{R} = 0,2$:

$$\frac{R_1}{R} = \frac{i_{m \max} R_1}{i_{m \max} R} = \frac{0,1 \cdot U r_m}{U R} = 0,02,$$

$$\frac{U_{cp} + i_0 R}{U} = \frac{\text{const}}{U} = 1 - \frac{0,02 \cdot \tau_p}{\tau_p + 0,2}.$$

Напряжение на зажимах машины U при изменении относительного времени τ_p в пределах от 0,1 до 0,9 возрастает примерно на 1,5%, что вполне допустимо. Поэтому схема Бош не нуждается в выравняющей обмотке.

Если обмотка возбуждения шунтирована купроксным выпрямителем

$$U_{cp} = (U - i_0 R_1) \tau_s + [U - (i_m + i_0) R_1] \tau_p, \quad (13)$$

и

$$\frac{\text{const}}{U} = \frac{U_{cp} + i_0 R_1}{U} = 1 - \frac{R_1}{R} \tau_p. \quad (14)$$

Принимая, как и в предыдущем случае, $\Delta U = 0,1 U$, имеем $\frac{R_1}{R} = 0,1$.

Следовательно, при изменении τ_p от 0,1 до 0,9 напряжение на машине возрастает на 8%. Поэтому в этом случае и схема Бош требует применения выравняющей обмотки. Эта обмотка обтекается током возбуждения машины, и ампервитки ее согласно (3) будут:

$$A W_s = W_s \frac{U \tau_s}{r_m} = \frac{U}{r_m} W_s (1 - \tau_p).$$

Переменная часть ампервитков основной катушки регулятора [согласно выражению (14)] равна $\frac{R_1}{R} \tau_p \frac{U}{R_0 + r_0} W_0$. Условием постоянства напряжения на зажимах машины будет:

$$\frac{R_1}{R} \cdot \frac{U}{R_0 + r_0} W_0 = \frac{U}{r_m} W_s.$$

отсюда

$$W_s = \frac{R_1}{R} \cdot \frac{r_m}{R_0 + r_0} W_0. \quad (15)$$

Ампервитки выравняющей обмотки должны создавать поток, по направлению обратный потоку основной катушки регулятора.

Влияние сил инерции, сообщаемых якорику регулятора при виражах самолета. Сила инерции, сообщаемая якорику

¹ В основной катушке регулятора при замкнутых и разомкнутых контактах текут, вообще говоря, неодинаковые токи. Но учитывая, что разность этих токов не превышает 2%, а ток возбуждения машины i_m в несколько раз больше тока регулятора i_0 , можно пренебречь ею, что и сделано в равенстве (11).

регулятора,

$$G_1 = \frac{G}{g} j, \quad (16)$$

где G — вес якорику регулятора, g — ускорение силы тяжести, j — ускорение, сообщаемое якорику регулятора при виражах самолета.

Положим

$$j = ng, \quad F = mG,$$

тогда сила инерции

$$G_1 = nG, \quad (17)$$

а сила электромагнитного притяжения

$$F_1 = F \pm G_1 = F \left(1 \pm \frac{n}{m} \right). \quad (18)$$

Силе электромагнитного притяжения F соответствует номинальное напряжение U_n , силе F_1 — напряжение U_1 . Поэтому можно написать:

$$U_1 = U_n \sqrt{1 \pm \frac{n}{m}}. \quad (19)$$

Если отношение $\frac{n}{m}$ меньше 0,3, то с достаточной точностью можно считать:

$$U_1 = U_n \left(1 \pm \frac{n}{2m} \right). \quad (20)$$

При $n = 5$ и $m = 25$, $U_1 = U_n (1 \pm 0,1)$.

Ускорения, сообщаемые якорику при виражах и вибрациях самолета, могут достигать девятикратных значений g , поэтому нужно соблюдать условие $F > 100 G$. В этом случае колебания регулируемого напряжения при виражах самолета не будут превышать 5%.

Влияние температуры. Колебания температуры окружающей среды вызывают изменения сопротивления основной катушки регулятора r_0 . Полагая, что величина добавочного сопротивления к катушке R_0 не зависит от температуры, можно получить следующее равенство:

$$\frac{R_0}{r_0} = \frac{1 + \alpha_1 \Delta \theta - k}{k - 1}, \quad (21)$$

здесь α_1 — температурный коэффициент сопротивления про-

вода,

$\Delta \theta$ — отклонение температуры от наименьшей,

k — коэффициент увеличения сопротивления цепи катушки.

Ток катушки не должен изменяться, поэтому изменение сопротивления цепи катушки вызовет отклонение регулируемого напряжения. Таким образом коэффициент k одновременно характеризует и неточность регулирования при изменении температуры окружающей среды.

Задаваясь допустимой величиной коэффициента k (не выше 1,05) и имеющим место отклонением температуры (например, от -50° до $+50^\circ$ C), можно по (21) определить необходимое отношение добавочного сопротивления к сопротивлению катушки. Если это сделать не удастся, то придется применять температурную компенсацию, которая состоит в том, что при изменении температуры окружающей среды сила противодействия пружины при помощи особых устройств соответствующим образом меняется.

На точность регулирования также оказывает сильное влияние появление бугорков на контактах (что ведет к изменению зазора между якорикуми и сердечником), наличие остаточного магнетизма и непостоянство упругих свойств пружины, связанное со старением материала, ненадежным закреплением ее, слишком высокими напряжениями и др. Все эти явления могут быть устранены правильным конструированием и выбором соответствующего материала для отдельных деталей регулятора.

Электронная стабилизация напряжения

Инж. В. А. СТАРУН
Москва

Любая отрасль промышленности, связанная с потреблением электрической энергии, в той или иной степени заинтересована в стабильности напряжения источника электрической энергии, которым она пользуется.

Задача стабилизации напряжения источника усложняется с увеличением мощности данного источника. При мощности источника от 100 Вт и выше (имеется установка по стаби-

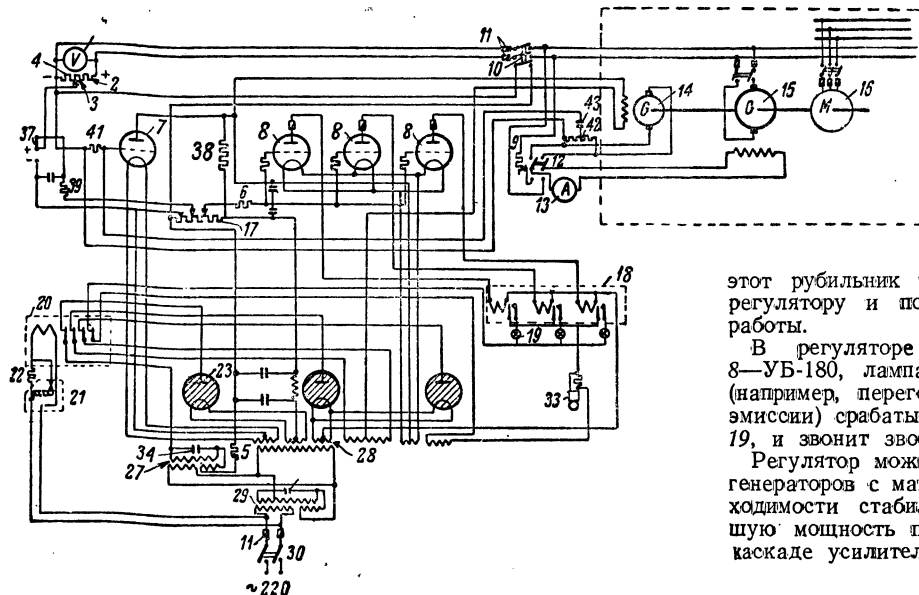


Рис. 1. Электрическая схема электронного регулятора

лизации напряжения источника мощностью в 25 000 kW) с успехом применяются для стабилизации напряжения так называемые электронные регуляторы напряжения. Преимущество электронных регуляторов напряжения перед другого типа регуляторами заключается в их малой инерционности и большой чувствительности.

В данной статье дается описание разработанного и построенного автором электронного регулятора напряжения генератора постоянного тока мощностью до 10 kW (рис. 1). Точность стабилизации напряжения $\pm 1\%$ при переходе генератора от работы при холостом ходе к работе с максимальной нагрузкой.

Стабилизируемое напряжение генератора 15 подается к потенциометру 3 и ограничительным сопротивлениям 4 и 2. Напряжение с потенциометра подается к сетке лампы 7, часть этого напряжения компенсируется напряжением, снимаемым с потенциометра 17.

Если стабилизируемое напряжение превосходит, например, свое номинальное значение, напряжение на сетке лампы 7 (лампа 7 работает в режиме усилителя по напряжению) становится более отрицательным. Анодный ток лампы 7 уменьшается. Падение напряжения на сопротивлении 38 также уменьшается. Напряжение на сетке ламп 8 (лампы 8 работают в режиме усилителя мощности), являющееся разностью падения напряжения на сопротивлении 38 и части напряжения потенциометра 17, станет более отрицательным. Анодный ток ламп 8, питающий обмотку возбуждения возбуждателя, упадет. Ток возбуждения возбуждателя станет меньше, что приведет к уменьшению тока возбуждения генератора и, следовательно, к уменьшению напряжения генератора.

Лампы регулятора питаются от выпрямителей, работающих на газотронах 23. От этого же выпрямителя подается напряжение к потенциометру 17. Напряжение к выпрямителю подается от сети через маломощные феррорезонансные трансформаторы 27 и 29, служащие для стабилизации напряжения сети.

Для предупреждения качания регулируемого напряжения применено противоколебательное устройство, состоящее из сопротивления 42 и конденсатора 43.

Рубильник 12 и реостат 9 предназначены для переключения генератора при аварии регулятора на работу с самовозбуждением.

Пуск регулятора осуществляется следующим образом. С отдельного щита производится пуск двигателя 16. Включается рубильник 30, подающий переменное напряжение к выпрямительной установке. Рубильник 12 должен быть включен в верхнее положение по схеме. Включается рубильник 10; один нож подает — 2 V с потенциометра 17 к сетке лампы 7 и два других ножа отключают стабилизируемое напряжение генератора от стабилизатора. Через определенное время, необходимое для разогрева газотронов, включается термореле 21 и выключается электромагнитное реле 20. Электромагнитное реле 20 подает напряжение к анодам газотронов и включает систему сигнализации, состоящую из минимального реле 18, сигнальных ламп 19 и электрического звонка 33. Напряжение от выпрямителя подается к лампам 7 и 8, в анодной цепи ламп 8 появляется анодный ток, и генератор возбуждается. Как только ток, показываемый амперметром 13, установится, рубильник 10 переключается;

этот рубильник подключает стабилизируемое напряжение к регулятору и последний включается в режим нормальной работы.

В регуляторе применены лампы: лампа 7 — ТО-141, 8 — УБ-180, лампа 23 — ВГ-129. В случае аварии с лампами (например, перегорание нити накала или потеря лампой эмиссии) срабатывает минимальное реле 18, загорается лампа 19, и звонит звонок 33.

Регулятор можно применить для стабилизации напряжения генераторов с максимальной мощностью до 10 kW. При необходимости стабилизации напряжения генераторов на большую мощность потребуется увеличить количество ламп в каскаде усилителя мощности.

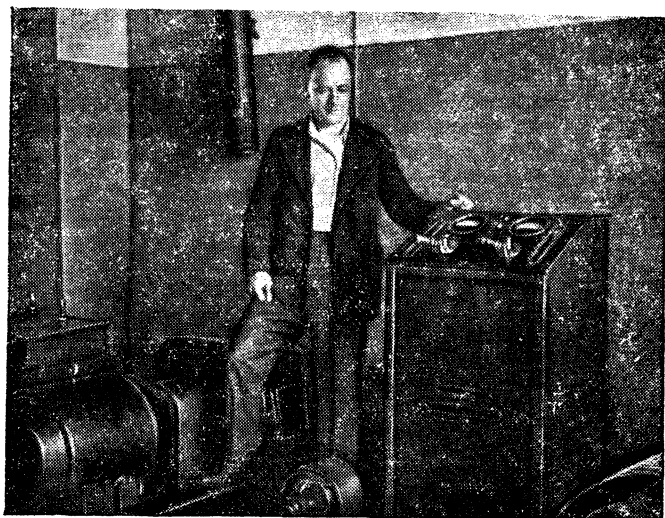


Рис 2

Описанный регулятор проверялся в работе с генератором постоянного тока мощностью 4,5 kW. Данные испытания приведены в таблице.

Таблица

Изменение напряжения генератора при изменении нагрузки от холостого хода до максимальной нагрузки

	U в В	150	140	130	110	95
Без регулятора	I в А	0	10	20	30	40
При наличии регулятора	U в В	111	110,5	110	110	109,5
	I в А	0	10 А	20 А	30 А	40 А

Чувствительность регулятора может быть несколько повышена при замене компенсирующего напряжения, снимаемого с потенциометра 17, напряжением от отдельной батареи аккумуляторов или элементов. При переходе на работу с батареей переключатель 37 удаляется и к клеммам «+ — Бат.» подключается батарея.

Параметры ламп несколько меняются с течением времени и при работе приходится регулировать величину снимаемого напряжения на сетку лампы 7 с потенциометра 3 вращением ручки потенциометра.

Общий вид регулятора, возбуждателя и стабилизируемого генератора показан на рис. 2.

Метод экспериментального определения активных и реактивных сопротивлений прямой и нулевой последовательностей трансформаторов с одной доступной нулевой точкой

Канд. техн. наук, доц. Н. К. ЧУХИН
Московский энергетический институт им. Молотова

Активные и реактивные сопротивления прямой и нулевой последовательностей трансформатора с одной выведенной нулевой точкой, как известно, определяются экспериментально по данным двух опытов: 1) трехфазного к. з. и 2) холостого хода при соединении вторичных обмоток трех фаз трансформатора последовательно или параллельно.

Автор установил метод определения активных и реактивных сопротивлений прямой и нулевой последовательностей трансформатора с соединениями обмоток Y/Y_0 по данным одного опыта — однофазного к. з.

Сущность метода и его обоснование. Союзный стандарт (ОСТ 4815/2) предусматривает две группы соединения трансформаторов — Y/Y_0-12 и $Y/\Delta-11$. Из двух указанных групп только группа Y/Y_0-12 представляет практический интерес для определения активных и реактивных сопротивлений нулевой последовательности, а поэтому все дальнейшее изложение относится к трансформаторам с этой группой соединения.

При наличии у трансформатора одной выведенной нулевой точки активные и реактивные сопротивления прямой и нулевой последовательностей трансформатора можно определить по данным опыта однофазного к. з., произведенного по схеме, показанной на рис. 1.

Для определения сопротивлений по данным указанного опыта автором предлагаются следующие формулы:

$$R'_0 = A_1 \cos \gamma + B_1 \sin \gamma \quad (1)$$

$$X'_0 = B_1 \cos \gamma - A_1 \sin \gamma, \quad (2)$$

$$Z'_0 = \sqrt{A_1^2 + B_1^2} = \frac{2}{3I_A} \sqrt{2(U'_b)^2 + 2(U'_c)^2 - U_{BC}^2}, \quad (3)$$

$$r_k = (C_1 - 0,5A_1) \cos \gamma + (D_1 - 0,5B_1) \sin \gamma, \quad (4)$$

$$x_k = (D_1 - 0,5B_1) \cos \gamma - (C_1 - 0,5A_1) \sin \gamma, \quad (5)$$

$$z_k = \sqrt{(C_1 - 0,5A_1)^2 + (D_1 - 0,5B_1)^2}, \quad (6)$$

$$A_1 = \frac{2}{3} \frac{(U'_c)^2 - (U'_b)^2}{I_A U_{BC}}, \quad (7)$$

$$B_1 = \frac{4}{3I_A} \sqrt{(U'_b)^2 - \left(\frac{(U'_c)^2 - (U'_b)^2}{2U_{BC}} - \frac{1}{2} U_{BC} \right)^2}, \quad (8)$$

$$C_1 = \frac{1}{3} \frac{U_{CA}^2 - U_{AB}^2}{I_A U_{BC}}, \quad (9)$$

$$D_1 = \frac{2}{3I_A} \sqrt{U_{AB}^2 - \left(\frac{U_{CA}^2 - U_{AB}^2}{2U_{BC}} - \frac{1}{2} U_{BC} \right)^2}, \quad (10)$$

$$\cos \gamma = \frac{P}{U_{BC} I_A}. \quad (11)$$

Здесь обозначено:

R'_0 , X'_0 и Z'_0 — активное, реактивное и полное сопротивления току нулевой последовательности, приведенные к первичной обмотке трансформатора с одной доступной нулевой точкой; U'_b , U'_c — приведенные к первичной обмотке фазовые напряжения вторичной стороны; U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} — линейные напряжения на первичной стороне; I_A — ток в фазе А первич-

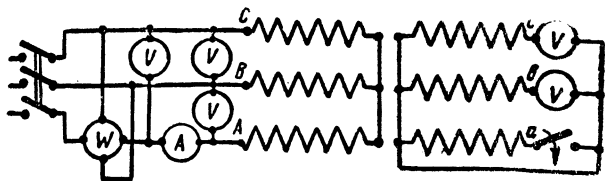


Рис. 1

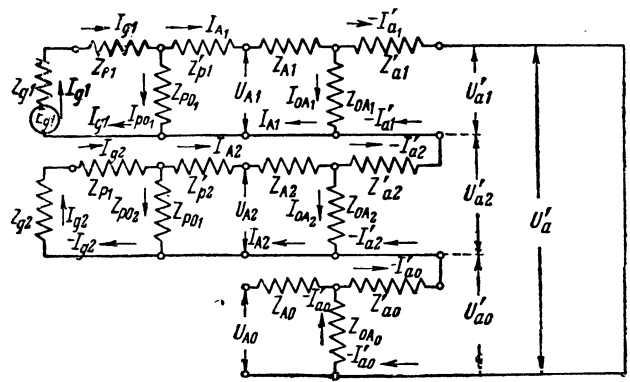


Рис. 2

ной обмотки трансформатора; P — мощность, замеренная по схеме рис. 1.

Для однофазного к. з. трехфазного трансформатора с соединением обмоток Y/Y_0 при питании через понижающий трансформатор или индукционный регулятор можно составить следующую схему замещения (рис. 2).

На рис. 2 обозначено:

g_1 , Z_{g1} , I_{g1} — фазовые э. д. с., импеданс и ток прямой последовательности питающего генератора; Z_{g2} , I_{g2} — фазовые импеданс и ток генератора обратного следования фаз; Z_{p1} , Z_{p2} , Z'_{p1} , Z'_{p2} — соответственно полные сопротивления токам прямой и обратной последовательностей первичной и вторичной (приведенной к первичной) обмотке понижающего устройства; Z_{p01} , Z_{p02} — полные сопротивления токам холостого хода прямой и обратной последовательностей понижающего устройства. Z_{A1} , Z_{A2} , Z_{A0} и Z_{a1} , Z_{a2} , Z_{a0} — полные сопротивления токам трех последовательностей обмотки высшего напряжения (ВН) и приведенного низшего напряжения (НН) испытуемого трансформатора; Z_{0A1} , Z_{0A2} , Z_{0A0} — полные сопротивления токам холостого хода для трех последовательностей трансформатора; U_{A1} , U_{A2} , U_{A0} и U'_{a1} , U'_{a2} , U'_{a0} — фазовые напряжения трех последовательностей обмоток ВН и НН испытуемого трансформатора; $U_{АП1}$, $U_{АП2}$, $U_{АП0}$ — фазовые напряжения трех последовательностей подводимые к испытуемому трансформатору; $U_{АП}$ — фазовое напряжение, подводимое к испытуемому трансформатору, на стороне ВН; U_A , U'_a — фазовые напряжения испытуемого трансформатора соответственно на сторонах ВН и НН; I_{A1} , I_{A2} , I_{A0} , I'_{a1} , I'_{a2} , I'_{a0} — фазовые токи трех последовательностей обмоток ВН и НН испытуемого трансформатора.

Применяя первый и второй законы Кирхгофа к цепи, приведенной на рис. 2, можно написать следующие уравнения:

$$\dot{U}_{A1} \approx -\dot{U}'_{a1} + i_{A1}(Z_{A1} + Z'_{a1}), \quad (12)$$

$$\dot{U}_{A2} \approx -\dot{U}'_{a2} + i_{A2}(Z_{A2} + Z'_{a2}), \quad (13)$$

$$\dot{U}_{A0} \approx -\dot{U}'_{a0} - i'_{a0} Z'_{a0} = i'_{a0} Z_{0A0}. \quad (14)$$

Для трансформатора с соединением обмоток Y/Y_0 при равенстве сопротивлений фаз ($Z_a = Z_b = Z_c$) и однофазном к. з. будут действительны следующие равенства:

$$\dot{Z}_{A1} - \dot{Z}_{A2} = \dot{Z}_{A0} = \dot{Z}_A, \quad (15)$$

$$\dot{Z}'_{a1} - \dot{Z}'_{a2} = \dot{Z}'_{a0} = \dot{Z}'_a, \quad (16)$$

$$Z_k = \dot{Z}_{A1} + \dot{Z}'_{a1}, \quad (17)$$

$$i'_{a1} = i'_{a2} = i'_{a0} \approx -i_{A1} = -i_{A2} = -\frac{1}{2} i_A. \quad (18)$$

На основании уравнений (12), (13), (14), (17) и (18) имеем следующие зависимости:

$$\dot{U}_{АП} = \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} = i_A (Z_k + 0,5 Z'_0), \quad (19)$$

В. К. ПЕТРОВ и В. Г. СОСЯНЦ. *Городской транспорт.* Утвержден ВКВШ в качестве учебника инженерно-экономических факультетов институтов коммунального строительства. Изд. Наркомхоза РСФСР, Москва — Ленинград 1939 г., 291 стр., 114 рис., цена 7 р. 35 к.

Рецензируемая книга посвящена общим вопросам городского транспорта как электрического (трамвай, троллейбус), так и автомобильного. Вопросы электротранспорта занимают почти половину объема книги, между тем в этой части книги имеется ряд ошибок, и изложение страдает неряшливостью.

Так, один из основных разделов книги — глава II — не дает правильных представлений о физических основах движения поезда. На стр. 23 делается попытка изложить вопрос о реализации силы тяги. Имеется свыше десятка руководств на русском языке, где этот вопрос изложен с исчерпывающей ясностью. Но авторы не пожелали воспользоваться готовым доброкачественным материалом и допустили путаницу и ряд ошибок. На рис. 8 (стр. 23) показаны силы, приложенные к колесной паре, которые не могут создать пары сил для получения вращающего момента. На стр. 25 в пояснении к диаграмме (рис. 9) читаем следующую неверную фразу: «после переключения скоростей или позиций контроллера (переход на параллельное соединение) поезд получает ускорение согласно характеристике двигателя». Таким образом по Петрову и Сосянцу переход на автоматическую характеристику возможен лишь при параллельном соединении, что является грубой ошибкой. На самом деле этот переход возможен на любой позиции контроллера. К тому же следует отметить, что именно в городском транспорте часто не применяется переключения двигателей (троллейбус, американский вагон РСС).

Численные значения удельного сопротивления движению (стр. 22) сильно завышены. Авторы указывают для двухосного моторного вагона $W_0 = 8 \div 9$ кг/т. Столь высокое значение W_0 имеет место лишь при плохо отрегулированной тормозной системе и вызывает чрезмерный расход энергии. По формуле А. Б. Лебедева, приводимой на стр. 22, имеем $W_0 = 5 \div 6$ кг/т. Удельное сопротивление движению троллейбусов также сильно завышено и равно не 30–40 кг/т, а всего 20–22 кг/т (и то при значительных скоростях до 50 км/ч).

Крупным недостатком главы II является отсутствие изложения, хотя бы самого элементарного, построения диаграммы скорость—время и подсчета времени хода поезда. Кроме того, необходимо было бы познакомить читателей с характеристиками двигателя, построением кривой ток—время и нахождением удельного расхода энергии. Вряд ли надо доказывать, что подсчет времени хода и расхода энергии необходим инженеру-экономисту.

В главе III, посвященной подвижному составу городского пассажирского транспорта, материал по заграничному подвижному составу городского электротранспорта совершенно отсутствует. В частности, не описаны стандартный американский вагон РСС, вагон Peter Witt, сочлененные европейские вагоны и т. д. Отсутствует также материал по наиболее современному трамвайному вагону с компаундными двигателями, пущенному в эксплуатацию на московском и киевском трамваях.

Взамен этого на стр. 46–47 подробно описываются вагоны, запроектированные Академией коммунального хозяйства и подвергшиеся резкой критике на 5-м трамвайном съезде. Однако из текста книги можно сделать ошибочное заключение, будто бы эти вагоны являются реально существующими.

На стр. 37 допущено деление тормозов на прямодействующие и автоматические, в то время как тормоз может одновременно обладать указанными качествами. На стр. 38 указан предел перегрева двигателей около 100°, в то время как этот перегрев различен для различных частей двигателя и зависит от класса изоляции.

Крупным недостатком главы III является также отсутствие хотя бы принципиальной схемы электрического оборудования вагона.

Не останавливаясь на главе IV, трактующей об устройстве трамвайных путей, перейдем к главе V, рассматривающей электрохозяйство городского транспорта. При рассмотрении вопросов электрохозяйства ни слова не сказано об увязке энергоснабжения трамвая и троллейбуса с энергетикой города в целом, хотя инженеру-экономисту в особенности необходимо представлять себе взаимосвязь отдельных частей коммунального хозяйства.

Перечисляя элементы электрохозяйства, авторы не упоминают о высоковольтных кабелях, питающих подстанций (стр. 85–87), и говорят о районных подстанциях в центре, не упоминая о центральных распределительных пунктах и опорных пунктах высоковольтной сети. На стр. 86 (рис. 74) напряжение 6 кВ подводится прямо к рубильнику на щите. На рис. 74 дана схема конверторных подстанций, которые уже лет 20 назад отжили свой век.

Перечисляя достоинства и недостатки выпрямителя в качестве преобразовательного агрегата (стр. 87), авторы не называют основного достоинства выпрямителей, простоты автоматизации.

Малая перегрузочная способность трамвайных выпрямителей выдается за достоинство. Кроме того, авторы книги игнорируют такие основные требования к работе подстанций, как, например, требования высокого коэффициента мощности и малых потерь на преобразование энергии. Это является прямым результатом изолированного рассмотрения электроснабжения трамвая без учета энергетики города в целом.

Формулы для подсчета оптимальной мощности подстанций имеют коэффициенты, обоснованные в 1934 г. и сейчас устаревшие. Вкорме ошибочно также утверждение о том, что увеличение мощности подстанции на 100% увеличивает и капиталовложения на 100% (стр. 95).

Расчет токопроводящего устройства авторы рекомендуют производить в целом на 10% падения напряжения, что вовсе необоснованно.

В книге проглядывает в ряде случаев тенденция ориентировать читателей на старую технику. Вот несколько примеров на стр. 86–87. «На трамвайных подстанциях применяются мотор-генераторы, одноякорные преобразователи и ртутные выпрямители». Общеизвестно, что мотор-генератор — пережиток эпохи трамвайных станций постоянного тока, а производство одноякорных преобразователей прекращено 15 лет назад.

На стр. 90, говоря о вспомогательном оборудовании подстанций, авторы игнорируют автоматику и телемеханику и аварийный городской ввод.

Глава VI о парках, гаражах и мастерских написана лучше других, так как в ней содержится фактический материал. Однако здесь не уделено достаточного внимания вопросам ремонта, особенно ремонта электрооборудования, а главное внимание сосредоточено на мойке и очистке вагонов. Вообще отсутствует описание испытаний подвижного состава после ремонта. Примером неряшливости является приведенный в главе I список метрополитенов. Будучи весьма неполным, список этот, однако, включает в себя метрополитен... в Бухаресте, где метрополитена нет и не собираются строить.

Книга не может называться учебником, так как в ней: 1) имеется ряд ошибочных положений; 2) допущена ориентировка на старую технику и предельские значения величин; 3) обойден молчанием ряд важных вопросов.

Странно, как Всесоюзный комитет по делам высшей школы мог утвердить такую книгу в качестве учебника.

Удовлетворить потребность в учебнике по городскому электротранспорту можно лишь выпуском новой квалифицированной книги.

Д-р техн. наук Д. К. Минов, канд. техн. наук В. А. Соловьев

Московский энергетический институт им. Молотова

Наша строительная промышленность ощущает большую потребность в хорошо подготовленных инженерах и техниках, знающих механизированное производство, строительные машины и их электросиловое оборудование.

Электроэнергия находит на строительной площадке широчайшее применение. Электрифицированные башенные краны господствуют на механизированной стройке, образуя вместе с экскаваторами, транспортерами, бетономешалками, камнедробилками и многими другими исполнительными механизмами большой и сложный парк машин, потребляющих электроэнергию.

Важнейшее условие успешной механизации строительства — это правильно поставленная эксплуатация системы электрооборудования и электрооборудования строительной площадки.

Автор рецензируемой работы задался целью «дать производственное руководство для широкого круга строителей, начиная от квалифицированного инженера до рядового работника». Специальной части книги предпосылается вводная глава, в которой, как указано в аннотации, «излагаются основные электротехнические законы для того, чтобы читатель мог найти ответ на теоретические вопросы, возникающие в процессе чтения специальных глав».

Однако, поставив себе целью написать книгу для такого широкого круга читателей, автор не сумел найти достаточно строгий и точный и вместе с тем простой стиль изложения, соответствующий прикладному пособию, предназначенному для массовых работников стройки. Многие места книги свидетельствуют о недостаточной литературной правке текста редакцией. Одним из крупных недостатков книги является то, что в ней не рассмотрены основные механизмы электромеханизированной строительной площадки: башенные краны, транспортеры, экскаваторы и др.

Ознакомление с книгой убеждает читателя в наличии в ней весьма большого количества ошибочных и неудачных определений и формулировок.

Ограничимся только некоторыми выдержками и положениями, взятыми из книги, подтверждающими сказанное.

«... Трение частиц жидкости между собой и со стенками труб можно уподобить трению электронов между собой и с атомами проводника...» «За единицу сопротивления принят один ом, равный сопротивлению ртутного столбика..., имеющий поперечное сечение 1 мм² при температуре 0°С».

«... Магнитные силовые линии измеряются силой взаимодействия их между собой...» «Если через Φ обозначить число силовых линий, а через Q — сечение поверхности...» (какое сечение? какой поверхности? — Е. З.).

«... Распределение силовых линий в среде подчиняется законам, сходным с протеканием тока по проводам».

«Если при взгляде на торец спирали токи текут...».

Формулировка второго закона Кирхгофа, данная в книге, сводит его к закону Ома для цепи с рядом сопротивлений, последовательно включенных на общее напряжение.

На рис. 20 изображен альтернатор однофазного тока с вращающимся якорем. Такие альтернаторы для промышленного применения нашими заводами, как известно, не изготавливаются.

Принципы построения векторных диаграмм в книге не изложены, но векторные диаграммы встречаются в ней дважды — на рис. 27 и на рис. 178. На рис. 27 одновременно на одной и той же диаграмме совмещены векторы тока, напряжения и мощности, что, конечно, нельзя не признать грубейшей ошибкой.

Указывая, что при соединении обмоток генератора трехфазного тока в звезду напряжение между двумя линейными проводами будет создаваться двумя обмотками генератора, автор задает вопрос, будет ли оно в этом случае удвоенным, и отвечает на него так: «Нет, не будет, потому что в то время, когда в одной из обмоток напряжение достигнет своего максимума, в другой обмотке оно будет равно благодаря сдвигу на 120° только 73% от максимального значения». Только игнорированием азбуки трехфазного тока можно объяснить приведенное рассуждение.

Излагая теорию трансформаторов, автор не упоминает об индуктивном падении напряжения в обмотках, э. д. с. обмоток трансформатора обозначает буквами U_1 и U_2 , мощность, потребляемую вторичной обмоткой, считает равной $P_2 = U_2 I_2$, мощность «притекающую к первичной обмотке», задает уравнением $P = U_1 I_1$, называя почему-то ту и другую мощность «энергией» и не оговаривая условия приведенных равенств, в которых отсутствует коэффициент мощности.

Описанный на стр. 75 и помещенный на стр. 76—77 стандарт на трансформаторы давно отменен. Ориентировкой на отмененный ОСТ объясняются многочисленные неувязки в описании конструкции трансформаторов трехфазного тока.

Под рис. 60, изображающим простейшие схемы автотрансформаторов, указано: «Схема однофазного и трехфазного трансформаторов».

Под рис. 75 на стр. 99, изображающем три синусоиды тока, сдвинутые на $1/3$ периода, значится надпись: «Синусоида трехфазного тока».

Грубое ошибочно утверждение автора, что у асинхронного двигателя «с введением добавочного сопротивления в цепь ротора... увеличивается крутящий момент... благодаря применению реостата... вращающий момент увеличивается от 2 до 2,8 раза против нормального момента». Неверно также указание, что применение переключателя со звезды на треугольник уменьшает пусковой ток двигателя в $\sqrt{3}$ раз — он уменьшается как известно, в 3 раза.

Глава о временных электростанциях содержит большое количество рисунков оборудования, давно устаревшего и снятого с производства, и схем, ненужных и неуместных в данной книге (например, рис. 181, 187, 188, 190, 198).

Не касаясь написанной инж. А. В. Рожковым главы о слабых установках, следует констатировать, что рассматриваемая книга в ее настоящем виде не удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям, так как по сути дела, кроме 2—3 специальных глав, не лишенных существенных недостатков, ничего относящегося к электрооборудованию строительных площадок читатель в ней не найдет. В случае подготовки нового ее издания книга должна быть коренным образом переработана, исправлена и дополнена.

Одновременно следует озаботиться изданием полноценного руководства по электрооборудованию для инженерно-технического персонала строек. Инженеры и техники-механизаторы должны в кратчайший срок получить монографию по вопросам электропривода и энергоснабжения строительного производства.

Инж. Е. М. Зайденшнер

Кафедра электротехники Московского инженерно-строительного института им. Куйбышева

Prof. Dr. Ing. K. HUMBURG. Машины постоянного тока, часть I и II. „Sammlung Götschen“. Bd 257 и 881, 1940.

Два новых рецензируемых томиков, посвященных машинам постоянного тока, относятся к научно-популярной серии технических книг Sammlung Götschen.

Целевой установкой этой серии является дать обобщающее представление об определенном разделе той или иной отрасли науки и техники.

Первая часть (100 стр.) рецензируемого выпуска «Машины постоянного тока» посвящена в основном конструктивным вопросам и некоторым вопросам теории машин постоянного тока и содержит следующие разделы.

I. Конструкция машин постоянного тока. В этом разделе, содержащем 8 глав, рассматриваются в весьма популярном изложении основные конструктивные элементы машин постоянного тока. Специальная глава этого раздела посвящена вопросам вентиляции.

II. Обмотки якоря. Раздел содержит 6 глав. Даются

общие положения и обозначения для обмоток машин постоянного тока. Рассматриваются петлевая и волновая обмотки, а также неравномерная и лестничные обмотки. Этот раздел знает комит также читателя с уравнительными соединениями и дает указания и обоснования выбора типа обмоток.

III. Цепь возбуждения главных полюсов. Раздел охватывает 5 глав. Рассматривается магнитная цепь обмоток возбуждения. Автор начинает изложение с рассмотрения основных законов и величин электромагнитной индукции. Приводится метод расчета обмоток возбуждения при холостом ходе и при нагрузке и рассматривается расчетное определение характеристик холостого хода. Отдельная глава этого раздела посвящена рассмотрению назначения и конструкции компенсационных обмоток. В заключение раздела приводится глава, дающая указания к расчету обмоток возбуждения.

IV. Коммутация. Раздел состоит из 7 глав. Рассматри-

зается время коммутации, напряжение коммутируемой секции, дается анализ значения добавочных полюсов и размагничивающего действия токов к. з. на главное поле возбуждения машины постоянного тока. Специальная глава этого раздела посвящена условиям, необходимым для обеспечения хорошей коммутации.

Вторая часть (97 стр.) «Машины постоянного тока» посвящена эксплуатационным вопросам машин постоянного тока и дает некоторые расчетные и экспериментальные методы определения необходимых в эксплуатации параметров и содержит пять разделов.

В обеих частях рецензируемого выпуска автор широко использует для обоснования и ссылок существующие Нормы германских электротехников.

К существенным недостаткам рецензируемых книг следует отнести ограничение изложения машинами нормального исполнения. Тяговым двигателям и быстроходным машинам постоянного тока почти вовсе не уделяется внимания.

В ряде случаев автор недооценивает современного состоя-

ния техники. Так например в разделе I первой части, говоря об униполярных машинах, автор указывает на отсутствие их практического значения, тогда как современная техника вполне четко установила целесообразность применения этого типа машин как низковольтных машин, предназначенных для гальванопластических целей.

Рецензируемые сборники обладают весьма сжатым и ясным изложением и, судя по содержанию, предназначаются для широких кругов читателей, желающих подробно ознакомиться с машинами постоянного тока, а в частности, могут быть использованы студентами втузов в качестве пособия к основному курсу.

Сжатая компоновка большого материала делает желательным перевод на русский язык рецензируемых сборников.

Инж. Ю. М. Галонен

Научно-исследовательский институт
городского транспорта

НОВЫЕ КНИГИ

Алексеев С. В., Гуревич С. С. и Михайлов И. М. Эксплуатация и ремонт воздушных линий электропередачи. Утв. ГУУЗ Наркомэлектро в качестве пособия для курсов мастеров соц. труда. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 224 стр. с иллюстр. Цена 6 р. 50 к., перепл. 2 руб.

Алиаде А. С. Механизм развития молнии и методы ее изучения. Баку, изд-во Азфан, 1940, 112 стр. с иллюстр. Цена 3 руб.

Бутаев Ф. И., Пантюшев Г. С. и Эттингер Е. Л. Регулируемый электропривод с управляемыми выпрямителями. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 176 стр. (Труды Всес. электротехн. ин-та, вып. 39). Цена 6 р. 65 к.

Вострокнутов Н. Г. Электрические счетчики и их эксплуатация. Издание 3 перераб. Утв. ГУУЗ НКЭС в качестве учебного пособия для курсов техникума. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 258 стр. с иллюстр. Цена 6 р. 85 к.

Глазунов А. А. Электрические сети и системы. Утв. ВКВШ в качестве учебника для энергетич. и электротехнич. вузов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, ч. II, 200 стр. с иллюстр. Цена 7 руб.

Дрейзен И. Г. Курс электроакустики. Утв. КВШ при СНК СССР в качестве учебника для втузов связи. М., Связьиздат, 1940, ч. II. Звукофикация, 292 стр. с иллюстр. Цена 10 р. 75 к.

Изоляционные материалы. Органические диэлектрики (Сборник статей). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 112 стр. с иллюстр. (Труды Всес. электротехн. ин-та, вып. № 38). Цена 4 р. 50 к.

Каганов И. Л. Электронные и ионные преобразователи. Утв. ВКВШ при СНК СССР в качестве учебника для энергетич. и электротехнич. вузов. Изд. 2, перераб. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 380 стр. с иллюстр. Цена 9 р. 60 к., перепл. 2 руб.

Кальман В. С. Электрическая защита подземных металлических сооружений от коррозии. Под ред. П. К. Пешекерова. М.—Л., Изд-во Наркомхоза, 1940, 31 стр. с чертеж. (Всес. научн. инж.-тех. о-во город. электро-транспорта). Цена 1 р. 75 к.

Касаткин А. С. и Перекалин М. А. Общая электротехника. В 2 томах. Утв. КВШ в качестве учебника для неэнергетических втузов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, т. II А. С. Касаткин. Практическая электротехника, 400 стр. с иллюстр. Цена 11 р. 50 к.

Карпович Е. К. Применение высокой частоты в защите линий электропередачи. М., Ин-т усовершенствования по энергетике, автоматике и связи, 1940, 108 стр. с иллюстр. Изд. подписное.

Королькова В. И. Электробезопасность промышленных предприятий. Под ред. В. Н. Степанова. М., Оборонгиз, 1940, 152 стр. с иллюстр. Цена 9 руб.

Левцкий М. Н. Электроремонт на промышленных предприятиях. М., Оборонгиз, 1940, 384 стр. с иллюстр. Цена 12 руб.

Лукашов П. М. Общий курс электротермии. М.—Московский химико-технолог. ин-т им. Д. И. Менделеева, 1940, 222 стр. Цена 10 руб.

Матвеев Е. Н., Судовая электротехника. Учебник

для техникумов. Утв. УУЗ Наркомфлота СССР. М.—Л., Госмориздат, 1940, 288 стр. с иллюстр. Цена 10 руб.

Многостаночники электромашиностроительных заводов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 55 стр. с чертеж. (стахановская серия). Цена 1 руб.

Особые вопросы электрооборудования морского танкера. Сост. бригадой ЦНИИМФ под рук. И. Б. Бабат. Л.—М., Госмориздат, 1940, 136 стр. с иллюстр. Цена 5 руб.

Петров И. А. и Розанов С. П. Электрооборудование текстильных предприятий. Утв. ВКВШ в качестве учебника для втузов текстильной промышленности. М.—Л., Гизлегпром, 1940, 488 стр. с иллюстр. Цена 14 р. 50 к.

Петровский А. А. и Пепеляев А. П. Специальный курс электротехники и радиотехники для разведчиков-геофизиков. М.—Л., Гостоптехиздат, 1940, ч. I. Электротехника, 220 стр. с иллюстр. Цена 7 руб., перепл. 1 р. 75 к., ч. II. Петровский А. А. Радиотехника, 207 стр. с иллюстр. Цена 6 руб., перепл. 1 р. 75 к.

Правила безопасности для обслуживающего персонала по эксплуатации и производству работ в городских и сельских сетях высокого и низкого напряжения. Изд.-во 2-е. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 (Наркомэлектростанций СССР. Типовые инструкции по эксплуатации энергетических систем). Цена 2 р. 75 к.

Правила безопасности для обслуживающего персонала по эксплуатации и производству работ на высоковольтных воздушных линиях. Изд. 3 стереотип. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 72 стр. с иллюстр. (Нар. ком. электростанций и электропромышленности СССР. Типовые инструкции по эксплуатации энергетич. систем). Цена 3 р. 25 к.

Правила безопасности по эксплуатации и ремонту для персонала, обслуживающего электрические установки станций и подстанций. Изд. 2 стереот. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 80 стр. с иллюстр. (Нар. ком. электростанций СССР. Типовые инструкции по эксплуатации энергетич. систем). Цена 2 р. 75 к.

Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Обязательны для электростанций и сетей всех ведомств. Изд. 2-е. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 240 стр. (Нар. ком. электростанций и электропромышленности СССР). Цена 5 руб.

Пресс С. А. Электрическое оборудование металлорежущих станков. Л.—М., Машгиз, 1940, 452 стр. с иллюстр. Цена 13 руб., перепл. 2 р. 50 к.

Проктор Г. Д. Современные электропечи сопротивления для термической обработки металлов. М.—Л., Металлургиздат, 1940, 227 стр. с иллюстр. Цена 12 руб.

Разумов Б. А. Улучшение энергетических режимов электроприводов промышленных предприятий. Л., Ин-т усовершенствования по энергетике, автоматике и связи, 1940, 58 стр. с чертеж. Изд. подписное.

Руцкий А. И. Электрическое поле гиперболических цилиндров. Минск, Белоруссия. Гос. политехнический ин-т, 1940, 52 стр. Цена 2 руб.

Соловьев П. Ф. Монтаж кабельных линий напря-

жением до 10 кв. Изд. 4 перераб. Утв. ГУУЗ НКЭП СССР в качестве учебника для курсов техникума и учебн. пособия для школ ФЗУ. М.—Л. Госэнергоиздат, 1940, 193 стр. с иллюстр. Цена 3 р. 50 к., перепл. 1 руб.

Справочник норм времени на ремонтные работы оборудования электростанций и сетей. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 (Гос. трест по организации и рационализации район. электр. станций и сетей «Оргтрес»). Вып. V. Турбины и вспомогательное оборудование. 252 стр. с чертеж. Цена 15 р. 50 к. Вып. VI. Генераторы, моторы и пускорегулирующие устройства 56 стр. с график. Цена 3 р. 25 к. Вып. VII. Трансформаторы и масляные выключатели. Цена 4 р. 25 к. Вып. VIII. Линии электропередач, 100 стр. с иллюстр. и чертеж. Цена 5 р. 30 к.

Стретт М. Д. О. Современные многосеточные электронные лампы. Под ред. и с дополн. В. С. Лукошниковой. т. II. Электрофизические основы. М., Оборонгиз, 1940. Цена 10 руб.

Сысоев В. И., Сысоева Е. А. и Сысоев М. И. Расчет асинхронных двигателей. Л. Ленингр. индустриальн. ин-т. 1940, 112 стр. с черт. Цена 15 руб.

Сысоев В. И. Расчет синхронных машин. Изд. 2, перераб. и дополн. Л. Ленингр. индустр. ин-т, 1940, 136 стр. с иллюстр. Цена 23 руб.

Униполярные машины; применение постоянных магнитов в электромашиностроении. Материалы конференции, созванной Отделением техн. наук АН и Главэлектропром на Ярославском машиностроительном заводе (отв. ред. К. И. Шенфер). М.—Л., изд-во Акад. наук СССР, 1940, 180 стр. с иллюстр. Цена 14 р. 50 к.

Устойчивость электрических систем и динамические перенапряжения. М.—Л. Госэнергоиздат, 1940, 304 стр. с иллюстр. (Труды Всес. электротехн. ин-та. Вып. 40) Цена 18 р. 60 к.

Фролов Р. Н. Основы электротехники сильных токов. 10-е перераб. изд. М.—Л. Военмориздат, 1940, 532 стр. с иллюстр. Цена 11 р. 50 к.

Электроизмерительные приборы (техн. каталог. Сост. И. И. Симкович), Л.—М. Оборонгиз, 1940, 92 стр. с иллюстр. (Главэспром, отрасл. н.-и. лаборатория ОЛИЗ). Цена 5 р. 70 к.

РЕФЕРАТЫ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ЗА ГРАНИЦЕЙ

ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Гидроэлектрическая установка Женессиа и реконструкция реки Роны. *Schweiz. Bauzeitung, стр. 125—128, Bd 116, № 11, 1940.*

В 1933 г. было начато комплексное освоение р. Роны в отношении энергетики, судоходства и обводнения на протяжении 500 км ее нижнего течения по территории Франции. Проект предусматривает сооружение 20 гЭС, которые должны использовать 90% располагаемого падения (330 м) и приблизительно характеризуются установленной мощностью гЭС 1000 MW и выработкой энергии 9 млн. MWh.

Первоочередным объектом является гЭС Женессиа, строительство которой было начато в 1936 г. и, несмотря на войну, не было приостановлено. Суточное регулирование гЭС предусмотрено осуществить за счет сработки призм верхнего бьефа объемом 52 млн. м³, а для более длительных циклов регулирования будет использовано Женевское озеро. Плотина высотой 106 м и здание гЭС объединены в одно сооружение, что представляет новое весьма интересное решение с точки зрения задач обороны. В первую очередь устанавливается 4 агрегата, при напоре 66 м, общей мощностью 260 MW, причем позже предусмотрено увеличить мощность гЭС еще на 130 или 160 MW путем установки двух дополнительных агрегатов. Годовая выработка энергии первой очереди составляет 1,5 млн. MWh, а при полном развитии 1,8 млн. MWh, что соответствует 10% всего довоенного электропотребления Франции. Треккамерный судоходный шлюз гЭС Женессиа является одним из звеньев в системе будущей судоходной магистрали, простирающейся от устья р. Роны до Женевского озера. Электроэнергию предполагалось передавать в долину р. Роны до г. Марселя при напряжении 150 kV. Линия передачи при напряжении 220 kV до Лиона и Крезе была начата постройкой, причем, кроме того, предполагалось к концу 1943 г. закончить сооружение линии передачи при напряжении 220 kV до Парижа.

Канд. техн. наук Н. А. Караулов

Проблема аккумулирования электроэнергии в Руре. *The Electrician, стр. 46—47, № 3243, 1940.*

Электростанль составляет в последнее время до 40% всей продукции стали в Германии. Вследствие высокого удельного расхода электроэнергии, 600—700 kWh на тонну стали, электроснабжающие системы в промышленных районах имеют сильно выраженную пиковую нагрузку. Такое положение особенно характерно для Рура, где, несмотря на богатые запасы угля, электроснабжение в значительной мере базируется на одной энергии рек. Гидроэнергия передается из Форамберга к двум цепям линии в 220 kV и распределяется на подстанциях Браувейлер.

Регулирование отдачи электроэнергии осуществляется рядом гидроаккумулирующих гидростанций, из которых наиболее значительна гЭС Хердеке на р. Рур. Мощность этой гЭС составляет 195 000 л.с. Верхний водоем суточного аккумулирования имеет емкость по электроэнергии 500 MWh, которые могут быть отданы приблизительно за 4,25 h при полной нагрузке гЭС. Резервуар вновь заполняется водою насосами в течение ночного минимума нагрузки.

Кроме гЭС Хердеке, только в районе Рура имеется еще 16 регулирующих гЭС, и, кроме того, несколько установок находятся в состоянии строительства в Баварии.

В результате строительства в Германии регулирующих гидроэлектростанций удовлетворение указанных выше пиков электрической промышленной нагрузки в настоящее время, повидимому, уже не составляет трудностей.

Канд. техн. наук Н. А. Караулов

A. Kleiner. Пути повышения эффективности гидроэлектростанций. *Bull. ASE, стр. 369—373, № 17, 1940.*

В Швейцарии в связи с хозяйственными трудностями предстоящей зимы Союз электриков и Объединение электростанций разработали основные средства улучшения использования существующих гЭС.

В целях устранения бесполезных потерь электроэнергии было исследовано влияние формы кривых к. п. д. и мощности агрегатов на оптимальный порядок включения последних для удовлетворения суточного графика нагрузки. При этом в одном из случаев сопоставления возможных режимов работы гЭС оказывается, что средний суточный к. п. д. группы турбин может быть увеличен с 69 до 88%, т. е. при тех же расходах воды можно выработать энергии на 27% больше. Отмечено влияние на увеличение потерь (1% и более) излишнего вращающегося резерва, особенно при быстроходных турбинах Френсиса и Каплана. Подробно исследуется влияние завышения мощности присоединенных трансформаторов. Рассмотрен случай, когда при завышении мощности трансформаторов в 4 раза для $\cos \varphi = 0,7$ у потребителей и при потерях в линии 5% увеличение потерь электроэнергии составляет от 2,0 до 5,1%. Изучено также влияние $\cos \varphi$ при генерировании и передаче электроэнергии. С точки зрения потерь энергии недопустима параллельная работа двух гЭС при режиме, когда генераторы одной из них перевозбуждены, а другой — недо возбуждены, как это встречается в практике. По утверждению специалистов строгое соблюдение оптимального режима эксплуатации гЭС Швейцарии должно дать значительную дополнительную электроэнергию без каких-либо капитальных затрат.

Канд. техн. наук Н. А. Караулов

Проект сооружения высоковольтной системы в северо-восточной части США. *El. Times*, стр. 503—504, № 2538, 1940; *El. World*, стр. 3—4, № 13, 1940.

В ряду намеченных мероприятий по подготовке электрохозяйства к условиям войны видное место занимает проект сооружения высоковольтного костяка в северо-восточной части США, разработанный в 1939 г. правительственными энергетическими организациями (Национальный комитет по энергетической политике и Федеральный энергетический комитет).

Основными задачами проектируемой сети является обеспечение бесперебойного электроснабжения и предотвращение возможности дефицита генерирующей мощности во время войны в важнейших промышленных районах страны.

Перебивая существующие, частью связанные между собой, сети различных электросистем, правительственная «грид» должна образовать замкнутое кольцо, разделенное на две секции (рис. 1).



Рис. 1

Первая секция пройдет по трассе Нью-Йорк — Бингемптон — Сиракузы — Буффало — Кливленд — Питтсбург — Филадельфия — Нью-Йорк с ответвлениями — Нью-Йорк — Бриджпорт — Бостон и Филадельфия — Балтимор — Вашингтон. Вторая секция соединяет Кливленд — Толедо — Чикаго — Индианопольс — Цинциннати — Питтсбург и будет иметь ответвления Толедо — Детройт, Чикаго — Милуоки и Чикаго — Сан-Луи.

Общая протяженность «грид» составит около 4000 km. Стоимость сооружения сети оценивается в сумме около 200 млн. долларов.

Предполагается, что электрокомпании, которые приключатся к высоковольтному костяку, должны будут по директивам Федерального энергетического комитета закрыть или модернизировать некоторые устаревшие станции, а также ввести новые мощности. Наряду с этим намечается построить несколько мощных правительственных тепловых электростанций.

В работу «грид» должен быть включен ряд современных экономичных электростанций, как, например, Port Washington — г. Милуоки (к. п. д. 32%), Delray — г. Детройт (к. п. д. 27%), Conner's Creek — г. Детройт (к. п. д. — 29,8%), Deerpwater — г. Филадельфия (к. п. д. 28,5%), новая станция с высокими параметрами Twin Branch — Индиана.

В районах расположения «грид» (Новая Англия, Средне-Атлантический и Восточно-Северо-Центральный) суммарная установленная мощность существующих электросистем (с выработкой от 100 млн. kWh и выше) составляет около 18,2 млн. kW, суммарный максимум систем — 13,7 млн. kW, а электробаланс — 61,6 млрд. kWh. Коэффициент резерва $N_{уст} - N_{макс}$ в среднем по всем системам выражается цифрой 24,7%, коэффициент использования установленной мощности — 38,6%, коэффициент использования максимума — 51,5%.

Предварительный проект «грид» обсуждался на ряде совещаний представителей правительственных энергетических организаций и электрокомпаний. После согласования основных экономических и технических деталей проект должен быть проведен в законодательном порядке.

В. И. Михайлов

W. Koch. Модель переменного тока для расчета сложных сетей. *Siemens Zeitschr.*, стр. 20—24, № 1, 1940.

12 лет тому назад SSW изготовили модель сети, работающую на постоянном токе со 100 переменными сопротивлениями. Несколько лет тому назад количество сопротивлений было увеличено до 340 при 143 узловых точках. Так как при помощи таких моделей можно решать лишь весьма узкий круг вопросов, то была разработана конструкция модели, работающей на переменном токе в 50 Hz. Для имитации отдельных частей сети имеется 3000 дроссельных катушек, а также сопротивления и конденсаторы, удобно устанавливающиеся на основные плиты, заменяющие линии сети.

Измерительный щит имеет 192 узловые точки, которые для наглядности можно соединить между собою меловой чертой. Кроме измерений силы тока и напряжения, производится также непосредственный отсчет сдвига фаз.

Источниками тока служат регулировочные трансформаторы, дающие напряжение от 0 до 100 V со ступенями в 0,18 V и с добавочными ступенями в 0,005 V. При нескольких питающих станциях может быть получено любое положение векторов отдельных станций.

В качестве измерительных приборов применены высокочувствительные гальванометры с достаточно быстрым успокоением. Приборы питаются через вибрационный выпрямитель. Катушка последнего присоединяется к фазовому регулятору позволяющему получить сдвиг фазы в пределах от 0 до 360°. Это дает возможность определить сдвиги фазы всех токов модельной сети по отношению к напряжению основного источника питания.

Кроме измерений тока, напряжения и фазного угла, модель дает также возможность определить, при помощи осциллографа, ударные токи к. з. Для включения в определенный момент служит синхронный моторчик, управляемый осциллографом.

Модель дает также возможность обстоятельного исследования многих других вопросов как нормальной, так и аварийной работы сети. К таким вопросам относятся поддержание напряжения, регулирование напряжения при помощи добавочных трансформаторов, распределение активной и безваттной мощности и их регулирование при помощи фазовых компенсаторов и конденсаторных батарей, а также процессы при заземлениях и коротких замыканиях.

Инж. Л. Б. Броуде

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА

G. Heuer и др. 75 лет Берлинских городских железных дорог. *Verkehrstechnik*, стр. 184—189, Heft 13; стр. 215—220 Heft 15; стр. 235—238, Heft 16, 1940.

Реферируемые статьи посвящены 75-летию юбилею городских железных дорог Берлина, праздновавшемуся в июне 1940 г. в Берлине.

22 июня 1865 г. была сдана в эксплуатацию первая линия берлинских городских железных дорог на участке Kupfergraben — Charlottenburg. Первая городская железная дорога Берлина обслуживалась конной тягой.

После демонстрации электрической железной дороги на Берлинской промышленной выставке в 1879 г., появилась возможность перехода конки на электрическую тягу. В 1881 г. в пригороде Берлина Lichterfelde была открыта первая линия электрического трамвая.

Подвижной состав первого трамвая не отличался большой вместимостью и питался энергией через рельсы. Первые попытки применения воздушного контактного провода были сделаны на линии в Spandau. Контактная сеть состояла из двух проводов, по которым волочилась на кабеле контактная вагонетка. Нерентабельность этого вида токасема вызвала появление дугового токоприемника (1890 г.).

Применение электрической тяги в 1896 г. для обслуживания очередной берлинской промышленной выставки, упрочило положение трамвая, развитие которого пошло вперед быстрыми шагами. Так, если в 1880 г. городские железные дороги Берлина насчитывали 22 линии, а в 1890 г. число их достигло 36, то к 1911 г. в Берлине было уже 113 трамвайных линий.

Значительным препятствием развитию трамвая служило оборудование контактной сети. Городское управление протестовало против контактной сети как из эстетических соображений, так и из опасений за жизнь населения города. Стремление к освобождению от контактной сети вызвало попытки введения аккумуляторной тяги (например, на линии Grossgörschenstrasse — Moabit в 1895 г.). В статье подробно рассматриваются вопросы развития контактной сети и подвижного состава электрических железных дорог Берлина.

В 1866 г., в первый год эксплуатации городских железных дорог Берлина, на одного человека населения города приходилось 11 поездок в год. В настоящее время число поездок на одного жителя в год по всем видам городского транспорта достигает 400, из которых 39% приходится на долю трамвая.

В юбилейных выступлениях приводятся основные показатели различных видов современного городского транспорта. Пассажироперевозки современного трамвая оцениваются в 20—35 тыс. пассажиров в час в одном направлении движения; провозная способность метрополитена определяется

в 40—60 тыс. пассажиров в час, тогда как провозная способность автобуса составляет всего 12—15 тыс. пассажиров в час.

Инж. Ю. М. Галонен

E. W. Curtius. Новый вагон-лаборатория электротехнического опытного департамента Германских государственных железных дорог. *Siemens Zeitschr., стр. 89—92, № 3, 1940. VDI — Zeitschr., стр. 1221—1223, № 46, 1939.*

Вагон-лаборатория предназначается для всестороннего исследования, в эксплуатационных условиях, электропоездов и скоростных электропоездов. Вагон-лаборатория оборудован современным измерительным оборудованием и позволяет производить подробные исследования как электрических, так и динамических параметров электропоездов переменного тока.

Включение вагона-лаборатории в цепь исследуемого электропоезда осуществляется через токоприемник вагона-лаборатории при опущенных токоприемниках исследуемого электропоезда.

Заслуживает внимания регистрирующий прибор новой конструкции, служащий для определения величины пусковых ускорений и тормозных замедлений. Источником питания регистрирующего электрического акселерометра служит высоковольтный генератор постоянного тока, приводимый в действие от специальной измерительной оси вагона. Напряжение генератора-датчика прямо пропорционально скорости движения вагона и служит для заряда конденсаторной батареи. Зарядный ток конденсаторной батареи пропорционален колебаниям напряжения генератора-датчика и, следовательно, находится в прямой зависимости от ускорения вращения измерительной оси. Разрядный ток конденсаторной батареи в свою очередь соответствует замедлению измерительной оси. Таким образом электрический акселерометр регистрирует зарядный и разрядный ток конденсаторной батареи. При измерениях практически встречающихся ускорений величина разрядного тока чрезвычайно мала (порядка 0,3 мА). Поэтому прежде чем поступить в регистратор, разрядный ток конденсаторной батареи подвергается предварительному усилению.

Новый способ измерения ускорений значительно точнее других методов, в частности, точнее приборов, основанных на маятниковом принципе, которые имеют значительную погрешность вследствие влияния земного ускорения.

Все ленты регистрирующих приборов перемещаются с абсолютно синхронной скоростью благодаря приводу механизмов от синхронных двигателей, питание которых осуществляется от специального преобразователя, питаемого в свою очередь от аккумуляторной батареи.

Инж. Ю. М. Галонен

H. F. Brown. Удаление гололеда с контактных проводов. *Ry El. Eng., стр. 118—121, июль, 1940.*

Нью-Йоркская железная дорога, связующая железнодорожную систему Нью-Гавена с дорогой Лонг-Айленда, на некотором протяжении (по обеим сторонам моста через East River) проходит по виадуку. В зимнее время на контактном проводе и на фидерах наблюдается явление гололеда.

Как известно, на линиях электропередач от гололеда освобождаются пропуском через провода повышенного по величине тока; однако этот метод влечет за собой перерыв

в энергоснабжении потребителей. Подсчеты показывают, что для поднятия температуры медного провода сечением 80 мм² на 6—8° С требуется 600—700 А, что при напряжении линии в 11 000 В составляет около 6000 кВт при коэффициенте мощности 0,8. Описываемая дорога работает нормально при 11 кВ между контактным проводом и рельсом и при 22 кВ между контактными проводами и фидерами. Между последними включены уравнивающие автотрансформаторы, средняя точка которых подсоединена к рельсам. Таким образом ток цепи контактный провод—рельс возвращается в систему контактный провод—фидер 22 кВ через эти трансформаторы, что сделано для доведения до минимума рельсового тока возврата.

На рис. 1 изображена часть схемы энергоснабжения описываемой дороги. Фидеры и контактные провода работают по 4 в параллель, причем ток при имеющейся тяговой нагрузке в одном проводе не превосходит 100 А, что недостаточно для оттаивания провода при гололеде. В одном из пунктов, как видно из того же рисунка, установлен мотор-генератор (7200 кВА) для питания дороги однофазным током, он же может работать в качестве синхронного фазокомпенсатора. Поскольку при полной нагрузке ток якоря составляет 650 А (при 11 000 В), мощность генератора достаточна для оттаивания контактного провода при гололеде. Так как между связующими железнодорожными системами происходит часто обмен электроэнергией (мотор-генератор либо отдает либо забирает энергию из противоположной системы), участки по обеим сторонам моста, а также мостовой участок попадают в сферу этого обмена. Обмен происходит по цепям: контактный провод-фидер, причем суммарный ток обмена не превосходит 350 А. Ввиду необходимости повышения силы тока, встал вопрос о понижении напряжения, что и делается при использовании балансных трансформаторов в качестве автотрансформаторов и выключении всех фидерных цепей и цепей контактной сети, за исключением одной прогреваемой: контактный провод—рельс, по которой происходит обмен энергией. Выяснено, что повышенный ток в рельсе не вносит мешающих влияний на соседние линии связи. Проверенный в эксплуатации метод обмена энергией показал, что достаточно 6—8 мин. для нагрева 80 мм² фидера до точки таяния ледяного покрова. При подобном методе потребляемая для таяния мощность сводится к потерям в мотор-генераторе и в цепи контактный провод—рельс или фидер—рельс.

Предлагаемый метод не требует никакого добавочного оборудования и обеспечивает обогрев контактного провода без перерыва в энергоснабжении.

Инж. М. Д. Трейвас

A. M. Wright. Современный рельсовый транспорт. *Ry El. Eng., стр. 142—146, № 7, 1940.*

Проблема мощного локомотива может быть разрешена заменой паровоза электропоездом, мощность которого определяется характеристиками тяговых двигателей и, следовательно, их типом.

Успехи, достигнутые в проектировании однофазных серийных тяговых двигателей, позволили США широко применить их для целей электротяги. Пусковое тяговое усилие, развиваемое однофазным тяговым двигателем, зависит от числа пар полюсов, скорости и активной длины коллектора. 12-полюсный двигатель с активной длиной коллектора в 23 см, при максимальной скорости 112 км/ч, развивает пусковое тяговое усилие в 3450 кг. При двух таких двигателях на ведущую ось вес на нее получается равным 28 т. При шести ведущих осях (2C + 3C) общий вес электропоезда составляет около 280 т. При мощности электропоезда в 5600 л. с. вес на 1 л. с. составляет 45 кг (вместо 90 кг для паровоза).

Таким образом уменьшается мертвый вес оборудования, что позволяет уменьшить мощность электропоезда по сравнению с паровозом.

Резкий контраст в весах ясно показывает метод, которым может быть разрешена проблема движущей мощности с тем, чтобы густота движения отвечала требованиям более быстрого передвижения товарных поездов.

Большая часть затрат, связанных с распределительными системами, падает на понизительные трансформа-

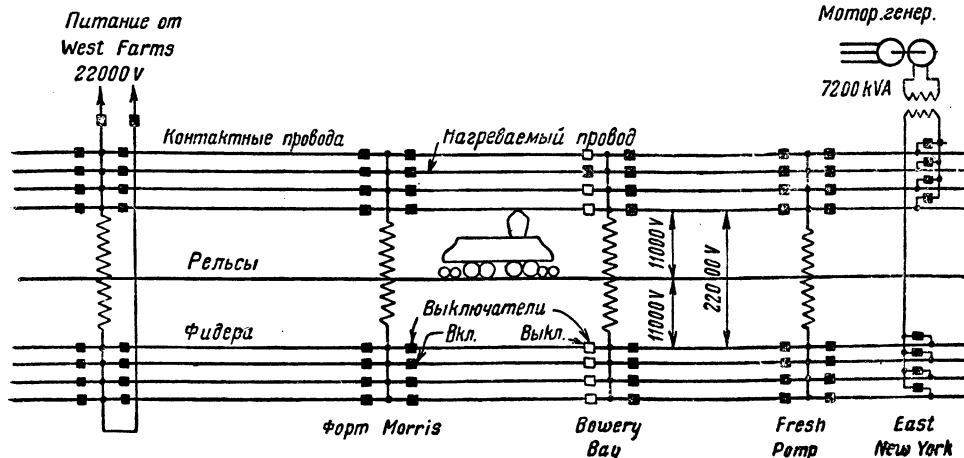


Рис. 1

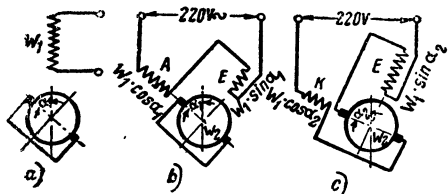


Рис. 1, а, б, с. Схемы переключения универсального двигателя при работе на постоянном и переменном токе

Новые универсальные двигатели средней мощности могут найти применение для привода передвижных деревообделочных машин и многих других отраслей промышленности.

Инж. А. А. Иванов

Амплидиновый генератор. *El. Times*, стр. 43, № 2543, стр. 62, № 2544, 1940.

Применение тиратронов в качестве усилителей мощности для цепей управления показало высокую чувствительность и максимальную устойчивость в эксплуатации. Однако существует ряд электрических схем, в которых применение тиратронов не является эффективным. Поэтому фирма GEC сконструировала новый усилитель мощности, получивший название «амплидинового генератора». Как видно из рис. 1, амплидиновый генератор представляет собой модификацию известной динамомашины Розенберга. Статор представляет собой цепь малого магнитного сопротивления и состоит из двух обмоток возбуждения — регулировочной и компенсационной обмотки Q .

Цепь, в которой необходимо усилить мощность, подключают к регулировочной обмотке. При вращении якоря против часовой стрелки в магнитной потоке Φ_1 наводимым током I_1 получим э. д. с. E_2 , которая индуцируется в якоре между щетками А и В. Для того чтобы первичный поток Φ_1 был независим от отдаваемой мощности генератора, включают серию обмотку Q , чем нейтрализуют м. д. с. якоря, возникающую вследствие прохождения тока I_0 в якоре. Кроме того, магнитная цепь амплидинового генератора рассчитывается на значительно меньшую плотность магнитного потока по сравнению с нормальными машинами постоянного тока. Следовательно, усиление первичной мощности можно разделить на две стадии. Первая — усиление мощности от $U_1 I_1$ в первичной цепи до $E_2 I_2$ — во вторичной цепи. Вторая стадия — мощность $E_2 I_2$ усиливается до $E_0 I_0$ во внешней цепи.

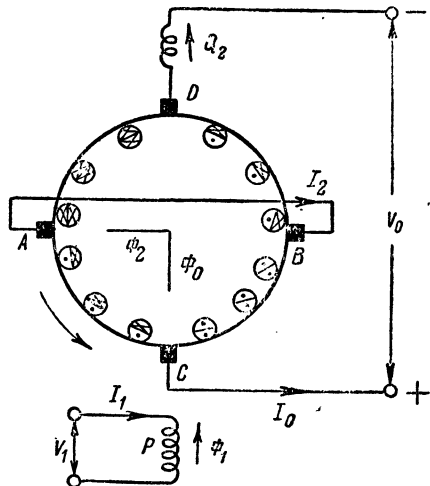
Практически установлено, что величины первой и второй стадии усиления приблизительно равны для каждой стадии 100. Следовательно, общее усиление мощности, которое могут дать амплидунные генераторы, равно приблизительно 10^4 .

С целью получения максимальной чувствительности при переходных условиях якорь генератора проектируется с низким реактансом.

Значительного усиления тока, снимаемого со щеток CD, можно достичь с помощью устройства дополнительного шунта к обмотке статора, увеличивающего вторичный магнитный поток якоря Φ_2 .

Испытания построенного фирмой GEC амплидинового генератора мощностью 4 kW показали, что без применения шунтовой или серийной обмотки коэффициент общего усиления мощности был достигнут приблизительно 6000.

Простейшим применением амплидиновых генераторов является регулирование мощности динамомашиной с целью полу-



чения постоянного тока нагрузки, не изменяя скорости динамомашин.

Степень чувствительности такого устройства зависит от максимальной величины возбуждения, которое можно получить с помощью регулировочных обмоток P_1 и P_2 .

В заключение следует отметить попытки применения амплидинового генератора в 50 kW в качестве возбудителя для синхронного электродвигателя 5000 л. с. с целью улучшения рабочих характеристик последнего.

Инж. Е. К. Винниченко

Проект дополнения норм VDE на электрические машины и трансформаторы для тяговых целей. *ETZ*, стр. 742, Heft 32, 1940.

Широкое распространение, за последнее время, в Германии электрических машин и трансформаторов, выполненных с алюминиевыми обмотками, вызвало необходимость пересмотра и дополнения существующих норм VDE.

Проект дополнения VDE 0535 U предусматривает изменение и дополнения действующих норм VDE 0535/III—38.

§ 1, 20, 28, 66 и 70.

Предлагается следующая редакция:

§ 39. Предельные значения нагрева.

Табл. IVa. Предельный нагрев на стенде.

1	2	3	4
Неподвижные алюминиевые обмотки тяговых двигателей, изолированные по классу B (за исключением двигателей для магистральных электровазов железных дорог постоянного и переменного тока)	Длительная эксплуатация	По методу сопротивления	135° C
	Часовой режим	По методу сопротивления	150° C

§ 66. Двигатели с алюминиевой обмоткой должны иметь на паспорте обозначение A1.

§ 70. При перематке тяговых двигателей с медной обмотки на алюминиевую на паспорте двигателя надлежит указывать снижение мощности двигателя, обусловленное наличием алюминиевой обмотки.

Табл. XIVa. Предельная температура обмоток в эксплуатационных условиях.

1	2	3	4
Неподвижные алюминиевые обмотки тяговых двигателей, изолированные по классу B (за исключением тяговых двигателей для магистральных железных дорог постоянного и переменного тока)	Нормальная эксплуатация	По методу сопротивления	160° C
	Максимальные значения	По методу сопротивления	175° C

Инж. Ю. М. Галонен

N. Widmer. Генерирование постоянных токов большой силы униполярными машинами. *BBC-Mitt.*, стр. 155—157, № 8, 1940.

Основными потерями униполярной машины являются переходные потери на щетках и механические потери трения. При снятии токов большой силы весьма эффективным оказалось применение водяного циркуляционного охлаждения полости ротора.

Ротор униполярной машины, служащий единственным токоведущим проводником якоря, должен быть изолирован от земли.

Как показали исследования, униполярные машины целесообразно строить только для низкого напряжения. Выполнение униполярных машин для высокого напряжения влечет за собой настолько значительное увеличение расхода материала на единицу мощности, что делает униполярные машины подобного выполнения практически не рентабельными.

Экономически целесообразны предельные значения напряжений и к. п. д. униполярных машин, в зависимости от силы тока, представлены на рис. 1.

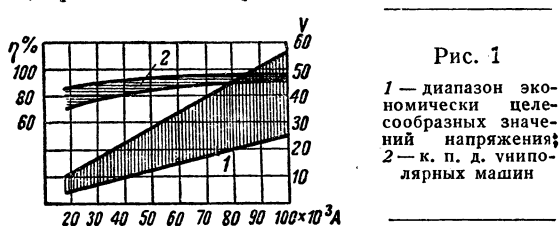


Рис. 1

1 — диапазон экономически целесообразных значений напряжений;
2 — к. п. д. униполярных машин

Основной областью применения униполярных машин до настоящего времени являлась электрохимия. Однако, для этого вида простых по конструкции и надежных в эксплуатации машин постоянного тока, открываются также возможности использования в качестве машин для обслуживания электроплавильных металлургических печей, а также для электросварки по методу сопротивления, как, например, для стыковой сварки труб и т. п., для которой за последнее время требуется сила тока, достигающая 100 000 А при напряжении всего в несколько вольт.

Инж. Ю. М. Галонен

ЭЛЕКТРОННО-ИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Селеновый выпрямитель для электровозов. *Е. и. М., стр. 21, № 35/36, 1940.*

В электровозах однофазного тока 15 000 В, 16 $\frac{2}{3}$ Hz, для освещения обычно используются напряжением 24 или 36 В постоянного тока, чтобы избежать мигания ламп при низкой частоте. Источником постоянного тока до настоящего времени служили либо одноякорные преобразователи, либо сменные аккумуляторные батареи большой емкости.

Взамен этих дорогих и громоздких устройств фирма АЕГ предложила для целей освещения пользоваться селеновыми сухими выпрямителями. Селеновые выпрямители, собранные по мостиковой схеме, присоединяются к переключаемой вторичной обмотке вспомогательного трансформатора и работают с небольшой батареей на осветительную сеть. Первичная обмотка трансформатора включается в сеть вспомогательного напряжения 220 В переменного тока, обычно имеющуюся на электропоездах.

При перерывах подачи переменного тока селеновые выпрямители запирают обратный ток от батарей к обмотке трансформатора. Величина зарядного тока зависит от разности потенциалов между зажимами выпрямителя и аккумуляторной батареи и регулируется автоматически. Емкость батареи при этом выбирается так, чтобы обеспечивался нормальный накал ламп во время стоянок, а также в ночные часы; соответствующие наибольшему потреблению. За день батарея полностью успевает зарядиться.

Селеновый сухой выпрямитель для электровозов, рассчитанный на номинальный ток 12 А очень прост в сборке, имеет небольшие габаритные размеры и к тому же дешев и не требует никакого ухода. Подобные устройства применимы и для более значительных мощностей.

Инж. А. А. Иванов

I. Slepian, W. M. Brubakes. Конденсация ртути в приборах с жидким катодом. *El. Eng., стр. 381—384, № 7, 1940.*

В статье приведены результаты исследований явлений конденсации ртутных паров на охлаждаемых металлических поверхностях мощных игнйтродов. Авторы указывают, что хотя нормальная работа ртутных выпрямителей и других приборов с жидким катодом сильно зависит от плотности ртутных паров в области анодов и, следовательно, от условий конденсации, тем не менее до последнего времени в производстве этих приборов не учитывалось влияние ничтожных загрязнений конденсирующих поверхностей на скорость конденсации. По данным статьи коэффициент эффективности конденсирующей поверхности (равный отношению числа сконденсировавшихся атомов ртути к общему числу атомов, упавших на эту поверхность) очень мал и для обычно применяемых стальных поверхностей, охлаждаемых водой, составляет всего 0,05—0,1 (т. е. меньше 10%).

Очисткой конденсирующей поверхности путем интенсивной бомбардировки положительными ионами этот коэффициент

можно было повысить до 0,4 (40%), однако уже через несколько часов он падал почти до первоначальной величины.

Замена стали никелем дает повышение этого коэффициента в несколько раз.

Выводы авторов были подтверждены исследованиями на игнйтроде 8 kV, 25A, где очистка конденсирующей поверхности интенсивной ионной бомбардировкой приводила к резкому снижению числа обратных зажигания.

Инж. А. И. Фройман

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

O. Müller. Работа быстродействующих автоматов. *ETZ, стр. 467—469, Heft 21, 1940.*

От быстродействующего автомата постоянного тока требуется в первую очередь настолько быстрое отключение коротких замыканий, чтобы избежать повреждения одноякорных преобразователей и выпрямителей. Кроме того, быстродействующий автомат должен выдерживать большое количество отключений. Последнее требование находится в противоречии с первым, так как обгорание контактов увеличивает ход контактов и удлиняет, таким образом, время отключения. В статье дается описание быстродействующего автомата, в котором при большом запасе на обгорание время отключения не зависит от величины обгорания.

На рис. 1 дана схема подвижных частей этого выключателя. Подвижной контакт 1 соединен с качающимся рычагом 2. На нижнем конце подвижного контакта укреплен удерживающий якорь 3. Включающая пружина 4 прикреплена между осью S и удерживающим якорем. Когда якорь притянут к магниту, т. е. когда выключатель включен, подвижной контакт вращается вокруг точки крепления к якорю и под действием пружины 4 прижимается к неподвижному контакту. Когда же при к. з. якорь освобождается, то вследствие особого распределения масс и сил подвижной контакт вращается вокруг воображаемой оси P и производит отключение. Одновременно поворачивается вправо также рычаг 2, ударяясь в конце движения в упор 5. Начиная с этого момента, вращение контакта происходит вокруг оси S.

В статье дается способ расчета подвижных частей, а также приводятся осциллограммы отключения выключателя на 1000 А с новыми контактами, а также после 30 отключений. Отключение в первом случае при установке реле на 5000 А, продолжалось 9,9 ms, во втором случае 10,6 ms. При новых контактах сила тока поднялась до 17 000 А, а после 30 отключений достигала 17 600 А при токе к. з. в месте установки выключателя в 36 000 А.

Инж. Л. Б. Броуде

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ch. Breitenstein. Морские кабели с применением синтетических материалов. *Kunststoffe, стр. 30, № 2, 1940.*

Значение кабелей на современных судах, в особенности на судах военного флота, чрезвычайно велико. На большом военном корабле может быть проложено свыше 800 km кабеля, который весит более 1000 т. Можно считать, что вес кабелей на военном корабле составляет от 2 до 4% тоннажа (водоизмещения). Даже на малом торпедном катере вес кабелей превосходит 35 т. Кабели должны быть исключительно надежны по отношению к действию воды, перегреву, механическим нагрузкам и т. п.

Большое количество кабелей заставляет принимать меры к уменьшению как их веса, так и объема, занимаемого ими. Прежде в качестве морских кабелей почти исключительно использовались кабели с резиновой изоляцией, защищенной свинцовой оболочкой, поверх которой кладутся мягкая про-

кладки и металлическая броня. В последнее время защитные оболочки, а частично и изоляция в морских кабелях, нередко выполняются из синтетических пластмасс. Для этой цели используются как термопластические высокополимерные материалы (например, в Германии плексигум и игелит), так и вулканизирующиеся резиноподобные синтетические продукты (буна и др.). При замене свинца пластмассой с низким удельным весом получается большой выигрыш в весе. Кроме того, улучшается электрическая изоляция, устраняется опасность вибрационного разрушения свинца и т. п.

В реферируемой статье приводятся фотоснимки прокладок кабелей на боевых кораблях, конструкции кабелей и приводятся данные о теплостойкости оболочек кабелей, морозостойкости, горючести, а также химических и электрических свойствах изоляции.

Канд. техн. наук Б. М. Тареев

G. Elssner. Анодная оксидировка магния. *Korrosion und Metallschutz*, № 718, 1940.

Получившие за последнее время весьма большое применение, в частности, для авиационного и сооружения электротехнических распределительных устройств магниевые сплавы и чистый магний нередко в эксплуатации подвергаются сильной коррозии. Так, магний легко растворяется серной кислотой (на холоду) и азотной кислотой; на него также сильно действуют растворы солей большинства неорганических кислот, но щелочи и плавиковая кислота практически не действуют. Таким образом, магний в ряде случаев более подвержен коррозии, чем алюминий; последний практически нерастворим в серной и азотной кислоте и растворах солей неорганических кислот, но растворим в плавиковой кислоте и растворах щелочей. Магний и его сплавы могут защищаться от коррозии посредством оксидировки, т. е. получения на поверхности металла защитного слоя окиси магния MgO . Для этой цели, помимо химических методов, с успехом могут быть использованы электролитические методы. При этом магниевые изделия с предварительно очищенной поверхностью помещаются в качестве анода в электролитическую ванну. Выделяющийся на аноде кислород образует защитный слой MgO . Таким образом этот процесс аналогичен хорошо известному процессу анодной оксидировки алюминия.

Германская фирма Langbein — Pfanhauser Werke A.-G. разработала и широко применяет способ анодной оксидировки магния и его сплавов под названием „Elomag“ (сокращение от слов: „Elektrolytische Oxidation des Magnesiums“, аналогично названию способа „Eloxal“ от слов: „Elektrolytische Oxidation des Aluminiums“).

При эломагировании применяется постоянное напряжение 3—4 В на ванну при плотности тока около 1 А/дм², температуре ванны 70—80°С и продолжительности процесса 20—45 мин. Состав электролита несколько изменяется в соответствии с составом обрабатываемого магниевых сплава. Для дополнительной защиты от коррозии может применяться лакировка эломагированных изделий.

Вопрос об оксидации магния представляет большой интерес для электрика также и потому, что оксидные слои на магнии обладают электроизолирующими свойствами. Так, для грех сплавов типа „электрон“ мы имеем следующие значения пробивного напряжения оксидного слоя:

для сплава „AM503“ (1—2,5% Мп, прочее Mg) при толщине слоя 20 μ — 260 В,

для сплава „AZM“ (6—7% Al, 0—1,5% Zn, 0—0,5% Мп, прочее Mg) при толщине слоя 15 μ — 290 В,

для сплава „AZ91“ при толщине слоя 12 μ — 190 В.

Механическая прочность и твердость покрытий „Elomag“ хуже, а пористость благодаря их крупнозернистой структуре больше, чем у покрытий „Eloxal“ на алюминии.

Канд. техн. наук Б. М. Тареев

Rosenberg. Каучукоподобные пластмассы. *Proceedings, Rubber Technology Conference, London, сmp. 453—462, 1939—1940.*

Термопластики, т. е. материалы, обладающие пластичностью при повышенных температурах и эластичностью при более низких температурах, могут быть разделены на 2 основные группы:

1. Материалы, обладающие эластическими свойствами (наподобие резины) без прибавления пластификаторов. Сюда принадлежат полимеры сложных эфиров (эстеров) акриловой

кислоты (акрилаты) и высокополимерные насыщенные углеводороды.

2. Материалы твердые, но приобретающие пластические и эластические свойства при введении пластификаторов. Сюда принадлежат полимеры хлорвинила и сложные полимеры (кополимеры) хлорвинила с другими продуктами, а также производные целлюлозы.

Названные материалы за последние годы получили весьма большое применение в самых разнообразных производствах, в частности, в электротехнической и кабельной промышленности.

Высокомолекулярные углеводороды, получающиеся полимеризацией олефиновых углеводородов, особенно близки по строению и свойствам к натуральному каучуку. Сюда принадлежат Orpanol В (Германия) и Vistanex (США). Обработкой HCl или Cl_2 натурального каучука получается Pliofilm, обладающий незначительной эластичностью.

К числу полимеров хлорвинила (поливинилхлоридов) с пластификаторами (трикрезилфосфат, сложные эфиры фталевой кислоты и др.) принадлежат: Koroseal, Vinylite, Flamenol (последний идет для изготовления негорючей эмальпроводаки) в США, Igelit и Mipolam в Германии и др.

Термопластики имеют ряд преимуществ по сравнению со смесями на основе каучука: хорошие диэлектрические свойства (в особенности при отсутствии пластификаторов), большая стойкость по отношению к действию озона, кислот, щелочей, масел и др., а также стойкость по отношению к свету и атмосферным воздействиям и исключительную стойкость по отношению к тепловому старению.

Термопластики на основе высокополимерных насыщенных углеводородов обладают весьма большой морозостойкостью (порядка — 50°С против — 30°С для вулканизированного каучука).

Особое значение для электротехники, в частности, для кабельного производства, имеют производные винилхлорида. Они могут использоваться при сравнительно невысоких температурах; при температуре выше 60°С их диэлектрические свойства заметно ухудшаются.

Из этих материалов легко получить как электроизоляционные, так и защитные (водонепроницаемые и антикоррозийные) оболочки кабелей, стойкие по отношению к действию короны и озона, не старящиеся и устойчивые к действию ряда химических реагентов и растворителей. Легко достигается красивый внешний вид, гладкая и блестящая поверхность, окрашиваемость в любой цвет, в ряде случаев — прозрачность.

Канд. техн. наук Б. М. Тареев

F. J. Norton. Действие озона на резину и другие материалы. *GER, сmp. 93, № 2, 1940.*

Вопрос о действии озона на резину и другие электроизоляционные материалы весьма важен, так как озон образуется под действием тихих разрядов (короны) в установках высокого напряжения. Разрушающее действие озона на резину затрудняет применение последней в качестве высоковольтной изоляции. Автор произвел детальное исследование разрушения резины действием воздуха, содержащего озон в разных концентрациях при одновременном действии растягивающего усилия, для чего резиновая полоска растягивалась подвешенным к ней грузом и определялось время до момента обрыва ее. Подтверждено то обстоятельство, что при действии растягивающего усилия резина особенно чувствительна к действию озона: в резине появляются мелкие трещины, перпендикулярные направлению растягивающего усилия, эти трещины быстро увеличиваются, и весь образец разрушается.

Установлена совершенно исключительная чувствительность резины к действию озона даже в случае ничтожно малого содержания его в воздухе, если резина работает в растянутом состоянии. Если резина работает в сжатом состоянии, ее чувствительность к действию озона также возрастает. Действие света также ускоряет старение резиновой изоляции. Исследованиями Нортоном другие электроизоляционные материалы — алкидные и фенольные смолы, виниловые соединения и ацетил-целлюлоза оказались стойкими по отношению к действию озона.

Канд. техн. наук Б. М. Тареев

Шеллачные пластмассы. *ETZ, сmp. 292. Heft 12, 1940.*

В мировой промышленности шеллак применяется в качестве прессовочного материала в весьма широких масштабах. В США в последнее время изготавливается высоковольтная изоляция из шеллака с асбестом в качестве наполнителя.

Эти изоляторы по сравнению с изоляторами на основе бакелита более устойчивы по отношению к поверхностным разрядам, а по сравнению с фарфоровыми — менее хрупки. Сравнительно низкая температура размягчения шеллака (50—80°С) может быть повышена до 100—140°С путем тепловой обработки, причем шеллак наподобие бакелита переходит из исходного состояния А через промежуточное состояние В (эластичный материал) в состояние С (неплавкий и трудно растворимый твердый материал). В противоположность фенопластам шеллак не переходит в состояние С под давлением, так как при этом он имеет тенденцию из стадии В в присутствии отщепляющейся воды обратно переходить в стадию А. Ускорителями процесса перехода в стадию С для шеллака являются такие добавки, как карбамид и винная и пивелевая кислоты, а также некоторые минеральные наполнители. Наилучшие результаты дает содержание карбамида 6%. Улучшение теплостойкости и механической прочности шеллачных пластмасс при добавке карбамида особенно заметно при использовании в качестве наполнителя древесной муки.

Подогрев перед прессовкой улучшает теплостойкость и механическую прочность, но при этом вследствие уменьшения текучести массы приходится повышать температуру при прессовке.

Теплостойкость шеллака может быть повышена на 10—15°С при использовании очищенной смолы (очистка производится экстрагированием смолы толуолом или трихлорэтиленом) или при получении шеллака из водного щелочного раствора («скитеролак»).

Канд. техн. наук Б. М. Тареев

Характеристики высокочастотных керамических материалов. *Alta frequenza*, стр. 55, т. 9, 1940.

В реферируемой статье приводится сводка свойств важнейших высокочастотных керамических электроизоляционных материалов:

Материалы группы стеатита. В основном состоят из тальковых минералов; по химическому составу — преимущественно метасиликат магния. „Frequentia“ фирмы Stemag и „Calit“ фирмы Hescho отличаются от обычного стеарита меньшим содержанием щелочей и большей однородностью кристаллической структуры. Для стеатита $\epsilon = 5,5 \div 6$; $\operatorname{tg} \delta$ при 50 Hz — $2,5 \div 3\%$, при радиочастотах $1,5 \div 2\%$.

Материалы группы рутила состоят из комбинации рутила — одной из кристаллических модификаций двуокиси титана TiO_2 , обладают высокой диэлектрической проницаемостью и применяются, главным образом, для изготовления конденсаторов. У таких материалов, как Condensa N и Condensa C (Hescho) и Kerafar S и Kerafar R (Stemag) $\operatorname{tg} \delta$ сильно растет при повышении температуры и снижается при увеличении частоты. Например, для Condensa N $\epsilon = 40$, $\operatorname{tg} \delta$ при радиочастотах $0,46\text{—}0,85\%$, $\Delta\epsilon/\Delta t = -340 \div -380 \cdot 10^{-6}$, $\Delta\operatorname{tg} \delta/\Delta t = 6,7 \cdot 10^{-6}$.

Титанаты щелочных земель: Tempra S (Hescho) и Diacond (Stemag) обладают очень малой изменчивостью диэлектрической проницаемости от температуры: для Tempra S $\epsilon = 14 \div 16$, $\operatorname{tg} \delta$ при 800 Hz — 1% , при радиочастотах до $0,1\%$; $\Delta\epsilon/\Delta t + 30 \div 50 \cdot 10^{-6}$, $\Delta\operatorname{tg} \delta/\Delta t = 6,2 \cdot 10^{-6}$.

Материалы группы талько-глинистых композиций представляют собой обожженные смеси глины, магнезита и стеатита; в них MgO , Al_2O_3 и SiO_2 образуют силлиманит, муллит, метасиликат магния и трехкомпонентное стекло.

Благодаря относительно большим диэлектрическим потерям и весьма малому коэффициенту теплового расширения применяются там, где особое значение имеет устойчивость к резким переменам температуры. Для Sipa H (Stemag) и Ardostan (Hescho): $\operatorname{tg} \delta$ при 800 Hz — 20% , при радиочастотах $4\text{—}7\%$; $\Delta\operatorname{tg} \delta/\Delta t$ всего около $2 \cdot 10^{-6}$.

Материалы группы чистых оксидов представляют собой окислы металлов очень высокой степени чистоты. Сюда принадлежит Ergap (Stemag) с $\epsilon = 4,5$, $\operatorname{tg} \delta$ при радиочастотах $0,3\text{—}0,5\%$, $\Delta\epsilon/\Delta t + 100 \cdot 10^{-6}$ и $\Delta\operatorname{tg} \delta/\Delta t = 9 \cdot 10^{-6}$.

Для сравнения приводятся характеристики важнейших минеральных (не керамических) электроизоляционных высокочастотных материалов: для кварцевого стекла $\epsilon = 3,5 \div 3,7$; $\operatorname{tg} \delta$ при радиочастотах $0,3\%$; $\Delta\operatorname{tg} \delta/\Delta t$ особенно мало —

$0,59 \times 10^{-6}$. Для слюды $\epsilon = 5 \div 9,3$; $\operatorname{tg} \delta$ при 50 Hz — $0,8\%$, при 800 Hz — $0,2\%$, при радиочастотах $0,2\%$; $\Delta\epsilon/\Delta t = 80 \cdot 10^{-6}$, $\Delta\operatorname{tg} \delta/\Delta t = 3 \cdot 10^{-6}$.

Канд. техн. наук Б. М. Тареев

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

I. Kühne. Термoeлектрический ваттметр. *ETZ*, стр. 567—568, Heft 25, 1940.

Измерение мощности газонаполненных ламп и особенно трубок низкого давления с их высоким внутренним сопротивлением требует применения специальных измерительных приборов. Существующие электродинамические приборы обладают сильной частотной зависимостью и большим потреблением энергии. Электростатические приборы при достаточной степени точности неудобны при измерении.

В технической литературе хорошо известно большое число термоэлектрических приборов, работающих на основе уравнения $(a+b)^2 - (a-b)^2 = 4ab$.

Весьма интересным прибором этого класса является термоэлектрический ваттметр. Повышение температуры нагревателя термоэлемента в этом приборе является функцией эффективного значения тока, в так как измерительная цепь состоит из ряда омических сопротивлений, то показания прибора не зависят от частоты. Прибор обладает незначитель-

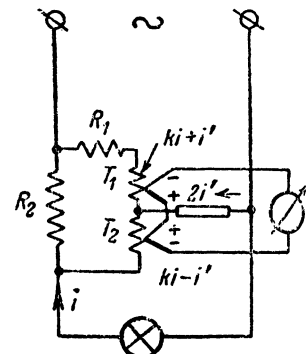


Рис. 1

Таблица 1

Наименование	Прецизионный ваттметр	Астатический ваттметр	Ваттметр с термоэлементом
Предельная частота (Hz)	80	500	> 10 000
Падение напряжения (V)	5	0,5	0,4
Потребляемый ток (mA)	33	3	0,5
Наименьшее измеряемое напряжение (V)	30	30	1
Наименьший измерительный ток (A)	3	1	0,01
Наименьшая измеряемая мощность (W)	90	30	0,01
Наибольшая погрешность тока (%)	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 1,5$

ным собственным потреблением энергии. Принципиальная схема ваттметра с термоэлементом дана на рис. 1. В схеме ваттметра сопротивления T_1 и T_2 являются нагревательными нитями термоэлемента. На концах термоэлемента возникают термо-э. д. с., квадраты которых соответственно равны:

$$E_1 \approx (ki - i')^2.$$

$$E_2 \approx (ki - i'')^2.$$

Измерения этих термо-э. д. с., включенных навстречу друг другу, производятся с помощью милливольтметра.

Сравнительные данные испытаний ваттметров даны в табл. 1.

Инж. П. П. Храмов

R. W. Sorenson. Импульсные характеристики искровых промежутков в масле. *El. Eng.*, стр. 78—84, 1940.

В статье приведены результаты импульсных испытаний масла между вертикальными круглыми коаксиальными стержнями, концы которых были закручены полусферически, причем диаметр полусферы был равен диаметру стержня. Испытание производилось в микровом цилиндрическом вертикальном баке диаметром 1 м и высотой 1,8 м. Испытуемый

* В СССР в этой области известны работы ВЭИ, Карамыева и др. (Прим. ред.).

электроды были расположены по оси бака. Масло тщательно подготавливалось к опыту и часто фильтровалось до такого состояния, что выдерживало испытание напряжением 30 kV в течение 2 min в стандартном разряднике между дисками диаметром 25 mm при искровом промежутке 2,5 mm. Электроды полировались после нескольких разрядов. Последовательные разряды производились через промежутки времени не меньше 5 min, а при больших искровых промежутках была необходима выдержка 15—20 min, прежде чем промежуток приходил в нормальное состояние.

Минимальное пробивное напряжение считалось найденным правильно, если большинство разрядов происходило при разбросе напряжений не большим $\pm 3\%$. Иногда, однако, для возникновения пробоя напряжение необходимо было повышать больше чем на 10% свыше значения, определенного как пробивное.

Инж. Е. В. Калинин

Rohde u. Wedemeyer. Измерения потерь при больших напряжениях и высоких частотах. *ETZ*, стр. 577—581, Heft 26, 1940.

В статье описывается устройство для измерения потерь в изоляторах, проходных втулках, катушках и т. п., при напряжениях от 500 V до 100 000 V и частотах от 50 kHz до 50 MHz.

Измерение производится методом сравнения потерь в исследуемом объекте с потерями в нагрузочной детекторной цепи.

Эквивалентность потерь детекторной цепи и объекта исследования устанавливается по величине напряжения на резонансном контуре, который служит источником питания всей установки.

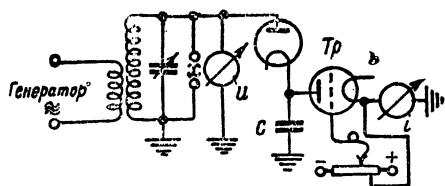


Рис. 1

х — клеммы для включения объекта исследования, и — катодный вольтметр для измерения напряжения в контуре. Tr — переменная нагрузка детекторной цепи

Принципиальная схема установки представлена на рис. 1. Можно показать, что эквивалентное сопротивление, рассеивающее энергию в количестве, равном потерям в объекте измерения, определится выражением:

$$R = \frac{u}{\sqrt{2}i}, \quad (1)$$

где i — ток в нагрузочной цепи, u — эффективное значение напряжения в контуре.

Выражение (1) действительно при условии наличия большой по сравнению с периодом генератора постоянной времени нагрузочной цепи

$$\frac{CU\sqrt{2}}{i} > \frac{1}{f}.$$

Генераторный контур описываемой установки обеспечивает синусоидальную форму кривой напряжения.

Авторы статьи обосновывают пределы измерения и чувствительность метода, рассматривают возможные источники ошибок, а также оценивают погрешности измерения.

Инж. М. С. Либкинд

СВЕТОТЕХНИКА

E. Rulla u. H. Vits. Смешанный свет от последовательно включенных натриевых ламп и ламп накаливания на переменном токе. *ETZ*, стр. 413, Heft 19, 1940.

В статье рассматриваются характеристики последовательно включенных натриевых ламп и ламп накаливания и экономичность получаемого при этом смешанного света. Такое включение стало возможным с разработкой низковольтных

натриевых ламп, с самокалиющимися электродами, питаемых от сети переменного тока 220 V через лампы накаливания; последние в данном случае играют роль стабилизирующего разряд сопротивления и одновременно используются как источники дополнительного света.

Экономичность смешанного света ниже по сравнению с натриевой лампой в схеме с дросселем, однако она все же выше, чем для лампы накаливания. Кроме того, в данном случае отмечается ряд преимуществ, как-то: улучшается цветопередача, что позволяет различать цвета, уменьшается колебание светового потока по времени, имеет место экономия железа и меди, а в связи с этим уменьшается вес осветительной арматуры.

Для включения двух типов натриевых ламп Na — 300 U и Na — 500 U выпущены специальные лампы накаливания на 165 V.

Приводятся основные характеристики двух схем:

Тип натриевой лампы	Тип лампы накаливания	Мощность ламп накаливания, W	Общая мощность, W	Коэффициент мощности*	Общий световой поток, лк. лп	Светоотдача в лп/W.
Na 300 U	Ser 92	150	200	0,96—0,99	4 600	23
Na 500 U	Ser 120	200	255		7 200	28

Соотношение световых потоков ламп для первой схемы составляет 3:2, для второй — немного меньше. Отмечается, что при включении лампы накаливания дает сразу около 50% своего светового потока, что для эксплуатации имеет существенное значение, так как натриевые лампы разгораются в течение нескольких минут.

Защита от радиопомех осуществляется включением параллельно натриевой лампе конденсатора емкостью 0,1 μ F.

Области применения смешанного света: освещение улиц, дорог, автострад, заводских территорий, складов, мостов, шпозов, пристаней и т. п. Кроме того, этот свет может быть использован для промышленного освещения и в некоторых случаях для контроля материалов и изделий.

В заключение приводится экономический анализ, где сравнивается смешанный свет с эксплуатацией ламп накаливания. Графический материал для нескольких практических вариантов освещения дает наглядное представление о преимуществе смешанного света.

Канд. техн. наук Р. Г. Извеков

W. Schütz. Смешанный свет и его значение в современной осветительной технике. *Licht u. Lampe*, стр. 130, № 7, 1940.

Рассматривается развитие новых экономичных источников света — ртутных и натриевых ламп. Недостаток красных лучей у этих ламп восполняют сейчас путем применения люминофоров и добавлением света ламп накаливания. Особенно большое распространение получил смешанный свет ламп накаливания и ртутных ламп, который сейчас может быть применен почти всюду. Этот свет применяют не только для промышленного освещения, но и для внутреннего освещения помещений, в особенности там, где пользуются искусственным светом в течение дня. Смещение световых потоков в отношении 1:1 дает искусственный дневной свет.

Свет газоразрядных ламп применяют также для специального освещения при контроле материалов, сортировке угля, хромировании, никелировании и т. п.

Экономичность специального света зависит от стоимости электроэнергии. При стоимости 16—20 пфеннигов за kWh смешанный свет значительно дешевле, чем эксплуатация ламп накаливания. Экономия электроэнергии означает снижение расхода угля. Так например, эксплуатация 70 000 ртутных ламп ежегодно дает экономию 21,4 млн. kWh, для производства которых потребовалось бы около 16 000 t угля.

Канд. техн. наук Р. Г. Извеков

* Здесь коэффициент мощности в отличие от $\cos \varphi$ обусловлен искаженной кривой тока и определяется как отношение измеренной ваттметром активной мощности к вольт-амперам (Прим. реф.)

У К А З А Т Е Л Ь

статей и рецензий, помещенных в журнале „Электричество“ за 1940 г.

Авторы и названия статей	№ журн.	Стр.	Авторы и названия статей	№ журн.	Стр.
С Т А Т Ь И					
Двинуть вперед развитие промышленной электротермии	8	1	Его же — Об одном варианте противогазовой защиты	7	41
XXIII годовщина Октября	11	1	Бамдас А. М. и Беляев Б. В. — Анализ режима холостого хода трансформатора с подвижной короткозамкнутой обмоткой	9	57
К 70-летию со дня рождения В. И. Ленина	4	1	Беляков А. П. — Защищенность объекта при любом его расстоянии от тросового молниеотвода	7	37
Могущество социалистической родины — высший закон	7	1	Его же — К определению вероятности поражения возвышающегося объекта и поверхности земли	1	64
О выборе системы электрической тяги для электрификации железных дорог СССР	6	1	Его же — Защитное действие двух заземленных тросов от поражений объектов прямыми ударами молнии	3	61
Памяти акад. А. А. Чернышева	6	59	Бессмертный И. С. — Регулирование напряжения в городских электросетях	6	21
Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей	5	1	Бобов К. С. — Основные способы искрогашения на выключающих контактах	9	60
Проект общесоюзного стандарта „Правила испытания силовых трансформаторов с масляным охлаждением“	2	6	Его же — Точность работы авиационных регуляторов напряжения	12	51
Проект общесоюзного стандарта „Разрядные и испытательные напряжения высоковольтных трансформаторов и аппаратуры, установок, связанных с воздушными сетями“	2	30	Его же — Параллельная работа авиационных динамомашинок, снабженных автоматическими регуляторами напряжения	7	32
Родоначальник русской науки. К 175-летию со дня смерти М. В. Ломоносова	4	4	Богданов Н. И. — Компаундирование синхронных генераторов	9	16
Советское трансформаторостроение перед новыми задачами	2	1	Болдырь Ю. Д. и Смирнов А. Ф. — Новые конструкции игнйтронов и схемы их включения	11	36
Ученые и инженеры о журнале „Электричество“	10	73	Булгаков Н. И. — Технические требования к конструкциям печных трансформаторов	8	40
Широко развернуть строительство малых гидроэлектростанций	9	1	Буль Б. К. — Влияние частоты на время действия индукционных реле тока	7	44
Абелишвили Л. Г. — Расчет контактных проводов на нагревание	8	64	Брон О. Б. — Контакторы переменного тока с искрогасительной решеткой	1	38
Айзенберг Б. Л. — Трубочатые предохранители	5	52	Брон О. Б. и Гальперин Л. Б. — Опыты отключения весьма больших токов к. з.	4	36
Айзенберг Б. Л., Карасик М. Н., Медведский, М. И. — Замкнутая сеть без сетевых автоматов	12	18	Броуде Л. Б. — Покончить с консерватизмом в технике производства высоковольтных выключателей	7	3
Айзенберг Б. Л. и Манойлов В. Е. — Заземление нейтрали городской кабельной сети низкого напряжения	11	54	Бурдинов Н. А. — О непосредственном включении измерительных приборов на рабочее напряжение в установках 380 и 500 В	7	63
Айзенберг Б. Л., Медведский М. И. и Сперанская В. А. — Оптимальное распределение потери напряжения между городской и домовой сетью	6	55	Вайнберг А. Я. — К теории точных измерений весьма малых сопротивлений	9	48
Акодис М. М. — Искусственное увеличение разрывной мощности установок для испытания выключателей	5	47	Валеев Х. С., Пономаренко В. Д. — Прямые удары молнии и процессы, возникающие в земле при растекании токов	6	33
Акопян А. А. — Импульсная прочность грунтов	6	46	Валицкий В. П. — Учет активной энергии в четырехпроводных сетях трехфазного тока	1	65
Ализаде А. С. и Багдасаров А. А. — Изучение молнии в горной местности Азербайджанской ССР	2	89	Варденбург А. К. — Электроизоляционные нефтяные масла и их заменители	4	15
Андрианов К. А. — Новые электроизолирующие смолы, лаки, паста и компаунды	4	19	Вексельман О. Г. — К вопросу применения железных проводов	9	37
Апаров Б. П. — Возбуждение синхронных машин с помощью ионных аппаратов	1	28	Вислоух Л. А. и Воронин А. В. — Пляска проводов контактной сети электрических железных дорог	9	50
Аркадьев В. К. — Генератор молний. Об одном русском изобретении	10	56	Вологдин В. П. — Развитие применения токов высокой частоты в промышленности	10	47
Аронов Р. Л. — Анализ работы шунтовых обмоток	3	51	Воробьев А. А. — Влияние механической нагрузки на пробивное напряжение твердых диэлектриков	4	22
Его же — Определение сопротивления для получения заданных условий работы	8	54	Воробьев В. А. — Пробой бумажной изоляции в зависимости от температуры	9	53
Аронович И. С. и Холявский Г. Б. — Замечания к статье инж. Акодиса „Требования эксплуатации энергосистем к масляным выключателям“	7	61	Воробьев А. А. и Приходько Н. А. — Исследование трансформаторных масел, содержащих прибавки кумароновых смол	8	66
Атабеков Г. И. — Однорелейные схемы дистанционной защиты	4	39	Воскресенский А. А. и Воскресенский Н. А. — Контурный реактансный омметр	3	10
Его же — Упрошенная защита дистанционного типа от замыканий на землю	4	49	Вульф А. А. и Щербачев О. В. — О нормальном режиме работы компенсированных линий с полуволновой характеристикой	1	57
Его же — Измерение напряжений на высокой стороне силового трансформатора с помощью трансформаторов напряжения, установленных на низкой стороне	12	49	Галонен Ю. М. — Экспериментальное исследование троллейбусов	5	43
Бабат Г. И. — Высокочастотная электротермия и промышленная электроника	10	53	Его же — Сорок лет московского трамвая	10	73
Балыгин И. Е. — О делении высокого напряжения импульсной формы	4	53	Его же — Ходовые исследования московского трамвая с компаундными двигателями	6	12

Авторы и названия статей	№ журн.	Стр.	Авторы и названия статей	№ журн.	Стр.
Гейнин Н. Г. — Нагрев проводника при кратковременном сообщении тепла его торцу	1	70	Займовский А. С., Казарновский Л. Ш., Нашекин К. В. и Архипов В. Ф. — Опыт освоения сплавов типа пермаллоя	3	41
Герценберг Г. Р. — Электроионные регуляторы напряжения ВЭИ	2	64	Захаров В. П. — Принципы построения распределительных сетей общего пользования	9	34
Гиндус Д. О. — „Микрогэс“ — автоматические гидроэлектрические агрегаты для малой электрификации	9	8	Зедгинидзе Г. П. — Энергия, аккумулируемая в резервуаре деионного разрядника	1	43
Гинзбург С. А. — Индукционные датчики для частотно-импульсного телеизмерения	3	23	Зейлидзон Е. Д. и Гройс Е. С. — Работа разрядников и релейная защита	3	6
Гладилин Л. В. — Заземления в шахтных электросетях	4	43	Земляной М. И. — Большая победа Советской электротехники	11	3
Голован А. Т. и Штерн В. М. — Схемы для получения жестких регулировочных характеристик асинхронных двигателей трехфазного тока	11	12	Злочевский В. С. — Рудничное электровозостроение в СССР	6	16
Гончарский Л. А. — Магнито-электрический амперметр переменного тока	8	68	Иванов А. А. — Компаундированный асинхронный генератор	9	18
Горбачевский И. Д. — Измерение мощности трехфазной системы тремя ваттметрами	7	55	Иванов В. И. — Инерционные постоянные изготовляемых в СССР синхронных машин и сочленяемых с ними первичных двигателей	2	62
Горелик А. Л. — Применение полупроводников в качестве управляемых сопротивлений	8	62	Иванов В. З. — О проекте стандарта „Разрядные и испытательные напряжения высоковольтных трансформаторов и аппаратуры установок, связанных с воздушными сетями“	2	23
Горелкин Н. В. — Нестационарные процессы преобразования металлов	1	52	Извеков Р. Г. — Основные соотношения для контура газосветной лампы	9	42
Горелкин Н. В. и Немчин С. Ю. — Работа металла совместно с тяговыми серийными электродвигателями	3	55	Ионкин П. А. — Взаимное преобразование треугольника и звезды при индуктивной связи	7	56
Городский Д. А. — Правило площадей и устойчивость синхронных генераторов	4	61	Иоффе А. Ф. — Настоящее и будущее полупроводников	10	35
Его же — Выражение трехфазной мощности при произвольной нагрузке фаз	3	65	Иихоки Я. С. и Стальнов П. В. — Анализ причин искажения импульсных волн напряжения при катодно-осциллографических исследованиях	7	52
Горохов Н. В. — Работа асинхронного двигателя с включенными в цепь ротора конденсаторами	3	53	Калинин Е. В. — Защитное действие разрядников с зависимым сопротивлением при близком прямом ударе молнии	9	27
Его же — Регуляторы напряжения для сетей среднего и низкого напряжения и у потребителя	6	29	Кантер А. С. — Учет размагничивающего влияния тока к. з. при определении размеров постоянных магнитов машин переменного тока	8	56
Его же — Теория однофазного индукционного регулятора	8	59	Его же — Нестационарные процессы в генераторах с постоянными магнитами	6	48
Горохов Н. В., Змин В. К. и Петрова Л. М. — Опытное определение параметров синхронных машин	11	32	Караулов Н. А. — Использование малых вододествующих установок для электрификации сельского хозяйства	9	3
Горюнов П. Н. — Определение активного сопротивления, тока и мощности диска индукционного счетчика	1	62	Касаткин А. С. — Медленные колебания в феррорезонансных цепях	3	16
Графтио Г. О. — Реальное строительство социализма	12	1	Квашнин В. С. — Новые задачи промышленности электроизоляционных материалов	8	4
Гребень И. И. — Влияние дугового промежутка выключателя на напряжение, восстанавливающееся после размыкания к. з.	7	15	Его же — Внедрение заменителей в производство электроизоляционных материалов	4	13
Гутенмахер Л. И. — Электрическое моделирование физических явлений для решения краевых задач математической физики	5	24	Квашнин В. С. и Тареев Б. М. — Современное состояние и важнейшие задачи производства электроизоляционных материалов	4	6
Гутенмахер Л. И. и Дроздов А. Д. — Лучевой синхронизатор	3	26	Киселев А. П. — Влияние освещения на пробивное напряжение в системе электродов шар — плоскость	9	31
Дамский А. М. — Вибратор для осциллографирования мгновенной мощности	3	34	Клементьев С. Д. — Фотореле минимальных габаритов	3	32
Денисов Ю. В. — Трансформатор высокой частоты без самоиндукции рассеяния во вторичной обмотке	6	56	Коломиец Б. Т. — Новые серноталлиевые фотоэлементы	5	18
Димитрадзе А. С. — О мнимой эквивалентности энергоснабжения железных дорог при постоянном и однофазном токе	2	42	Комар Е. Г. — Турбогенератор мощностью 100 000 kW при 3000 об/мин	10	65
Его же — Обеспечить выполнение задачи о выборе системы электрической тяги для железных дорог СССР	6	9	Его же — О методике изложения одного вопроса теории переменных токов	7	62
Добротин Н. А. — Всесоюзное совещание по физике атомного ядра	7	63	Комельков В. С. — Исследование импульсных искровых разрядов	9	24
Донской А. В. — Изучение режима работы индукционных бессердечниковых печей	8	47	Коновалов В. Н. — Лесовозный электровоз переменного тока нормальной частоты	12	48
Дьяченко Д. Г. — Питание приводов выключателей при помощи ионных выпрямителей	12	31	Его же — Нужны новые нормы по защите подземных сооружений от блуждающих токов	3	49
Епишкин Н. Н. и Лорер В. Л. — Измерение быстропеременных температур	7	54	Корицкий Ю. В. — Задачи научного исследования электрической изоляции в сильноточной электропромышленности	4	11
Жебровский С. П., Олофинский Н. Ф., Рывкин П. М. и Балабанов Е. М. — Электрическая сепарация материалов с помощью коронного разряда	4	29	Костин Б. В. — О связи магнитного поля с его источником	2	68
Жежерин Р. П. — О параметрическом генерировании	11	21	Его же — Некоторые важные технические требования к электросчеткам	1	69
Жуков А. А. — Общие свойства схем измерения мощности трехфазной цепи	11	60	Красин А. К. — Тепловой режим длительной работы перегруженного трансформатора при низкой температуре окружающего воздуха	7	60
			Краснушкин Н. П. — Высшие гармонические напряжения на шинах подстанций промпредприятий	4	56

Авторы и названия статей	№ журн.	Стр.	Авторы и названия статей	№ журн.	Стр.
Кратиров А. Д. — Резонансный ограничитель тока	9	59	Михайленко Е. А. — Формовки металлических	8	64
Крикунчик А. Б. — Экономичные способы регули-	11	45	ртутных выпрямителей типа РВ 20/30 методом к. з.		
рования механизмов собственного расхода элект-			Нестеренко А. Д. — Новые аппараты для проверки	3	38
рических станций	12	3	измерительных трансформаторов		
Круг К. А. — От ГОЭЛРО — к сталинским пяти-			Его же — Расчет чувствительности схем нулевого	7	49
легкам			типа		
Кудин И. П. — Электрометрические методы опреде-	4	53	Никитин В. Г. и Карпов В. И. — Задачи строи-	1	15
ления влажности хлопка			тельства передвижных электростанций		
Кузнецов Б. И. — Построение диаграммы тока	1	33	Никитин В. И. — Советское сварочное электро-	10	43
двигателя с глубоким пазом и двигателя Бушера			машиностроение и задачи в области электро-		
по данным опытов холостого хода и к. з.	3	66	сварки		
Кузнецов А. А. — Магнитное старение высококоэр-			Никифоровский Н. Н. — О работе сухого выпря-	8	61
цитивных железо-никель-алюминиевых сплавов			мителя в режиме кратковременной перегрузки		
Кулебакин В. С. и Храмой А. В. — Автоматика и	10	31	Островский Е. П. — Лаборатория электромагне-	9	65
телемеханика на страницах журнала „Электри-			тизма им. Максвелла		
чество“	11	56	Палатник Л. С. — Магнитоэлектроводные	2	64
Куликовский Л. Ф. — Электрические приборы			сплавы		
в нефтяной промышленности, измеряющие уси-			Его же — О составе и строении сплавов для кон-	4	32
ления			тактов электротехнических аппаратов		
Кукель-Краевский С. А. — Обобщенный метод	8	30	Пансков Н. В. — Спленетическое свечение Большо-	10	60
выбора оптимальных параметров энергетических			го и Малого зала Д. ора Советов		
установок	10	38	Первухин М. Г. — Ленинский совет электрифика-	1	1
Курчатов И. В. и Кобеко П. П. — Академик Абрам			ции СССР		
Федорович Иоффе. К шестидесятилетию со дня	1	24	Его же — К пятидесятилетию Вячеслава Михайло-	3	1
рождения			вича Молотова		
Ларионов А. Н. — Возбуждение генераторов по-	4	59	Перли С. Б. — Современные ветроэлектрические	2	47
вышенной частоты постоянными магнитами			установки		
Лебедев В. Н. — О косвенном индивидуальном воз-	6	50	Пинес М. Н. — Определение постоянных времени	3	57
буждении гидрогенераторов			обмоток возбуждения электрических машин		
Его же — О влиянии токовой компенсации регу-	8	57	Пироцкий П. П. и Давиденко И. А. — Примене-	3	36
лятора напряжения ХЭМЗ в установившемся ре-			ние шлейфового осциллографа для магнитной де-		
жиме трехфазного к. з. генератора	6	50	фектоскопии изделий		
Его же — О вычислении тока к. з. гидрогенера-			Привезенцев В. А. — О рационализации конст-	6	33
тора для больших отключений	8	57	рукций силовых электрических кабелей		
Лебедев А. Б. — Проблема выбора системы элект-	6	3	Привезенцев В. А. и Минц С. Б. — Прокладка ка-	3	62
рической тяги для железных дорог СССР			белей при низких температурах		
Левин Г. М. и Рудаков В. В. — Определение ин-	7	35	Приклонский Е. Н. — Коэффициент использования	11	63
дуктивности якоря машин постоянного тока			трубчатых заземлителей, размещенных в ряд		
Лернер А. Я. — Синхронизация вращения коллек-	7	28	Подольский Л. П. — О применении в установках	3	50
торных двигателей типа „ихтер-Шраге“			низкого напряжения заземлений и занулений		
Линниченко Н. Н. — Управление высоковольтными	12	27	Его же — К вопросу о воздействии электрического	8	27
выключателями			тока на человеческий организм		
Его же — Пути развития техники высоковольтного	7	7	Попов В. К. — Современное состояние общей те-	1	17
отключения			ории электропривода и ее задачи		
Ломазов Д. Б. — Нагревание обмоток в масле	5	48	Попов К. К. и Радовский М. И. — К шестидеся-	10	8
Лурье А. И. — Искусственное повышение проводим-			тилетию журнала „Электричество“		
ости заземляющих устройств	8	9	Радовский М. И. — Рихман, сподвижник Ломо-	3	67
Лютер Р. А. — О моментах вращения синхронной			носова		
машины при периодических ее качаниях	2	51	Его же — Вениамин Франклин	4	67
Лютос С. А. — Защита радиоприема от помех,			Его же — Исследование Эппинуса в области элект-	9	67
распространяющихся по троллейбусной линии	9	62	ромагнетизма (1724—1802)		
Манькин Э. А. — О проекте стандарта „Правила	2	3	Рапорт М. И. — Эксплоатационные испытания	2	15
испытания силовых трансформаторов“			крупных трансформаторов		
Мантров М. И. — Электрические разряды на по-	9	54	Ратмиров И. И. — Правила ограждения сооруже-	3	45
верхности диэлектриков			ний связи и сигнализации от вредного действия		
Марутов К. Х. — Удар молнии в опору	6	41	установок сильного тока		
Марквардт К. Г. — Определение потерь напря-			Рашковский Л. Г. — Телемеханика в системе энер-	3	20
жения в контактной сети с учетом проводимости	9	52	госнабжения на московском метрополитене		
грунта			Регирер А. М. — Термодинамическое трансформи-	2	71
Марков В. А. — Двухфазные петлевые обмотки	7	18	рование электроэнергии в тепло		
машин постоянного тока			Рогачев И. С. — Динамическая устойчивость син-	7	23
Маркович И. М. и Савалов С. А. — Расчеты ста-	11	40	хронных двигателей		
тической устойчивости на модели переменного			Розенфельд Б. А. — Математическая теория шка-	4	62
тока			лы круговой диаграммы		
Меерович Э. А. — К заметке Б. В. Костина „О связи	7	62	Рубин Б. И. — К вопросу о системе электроснаб-	1	9
магнитного поля с его источником“			жения самолетов		
Его же — Метод операторного решения краевых	12	32	Сабинин Ю. А. — Амплидин и его применение	11	17
задач электротехники, основанный на применении			Светлов П. А. — Об использовании энергоресурс-	10	71
рядов Фурье			ов малых рек		
Меркин Г. Б. — Работа асинхронного двигателя	11	27	Северинов А. Г. и Зинеев П. Н. — Аппаратура	6	32
при несимметрии в статоре			диспетчерского управления уличным освещением		
Мильштейн В. Н. — К расчету симметричных изме-	7	51	Сенилов Г. Н. — Индуктивный метод измерения	4	51
рительных мостов			линейных размеров		
Митин С. П. — Расчет схем с многократными от-	7	43	Сидельников В. В. и Лулов Г. Р. — Схема для	1	30
ражениями по методу последовательных интер-			измерения перегрева обмотки статора мощного		
валов	10	40	турбогенератора на ходу	12	7
Миткевич В. Ф. — Объективная реальность маг-			Смирнов М. А. — Как работала Комиссия ГОЭЛРО		
нитного потока					

Авторы и названия статей	№ журн.	Стр.	Авторы и названия статей	№ журн.	Стр.
Смирнов Н. П. — Коэффициенты загрузки воздушных участков кабельных линий 6 kV	4	64	Хрущов В. М. — Об одной актуальной задаче электротехники	10	4
Соловьев В. А. и Бондаревский Д. И. — Новые „Правила защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии блуждающими токами“	9	22	Цейров Е. М. — Газогенерирующая гасительная камера разъединителя мощности	1	60
Старун В. А. — Электронная стабилизация напряжения	12	52	Чернов Т. Ф. — Трансформатор для газосветных трубок	7	59
Стекольников И. С. — Изучение молнии в горной местности Грузинской ССР	2	33	Чернышев А. А. — Электрификация СССР и передача электроэнергии постоянным током высокого напряжения	1	4
Его же — Итоги изучения молнии в СССР	10	58	Его же — Современные тенденции развития электротехники	10	25
Его же — Пути развития грозозащитных установок	12	14	Чернышев М. А. — Закон первичных токов многофазных мутаторов	6	53
Суханов А. С. — Метод лучшего использования магнитной стали	4	63	Червоненкис Я. М. и Рубин С. Е. — Фотоэлектронный способ управления ионными преобразовательными установками высоких напряжений	11	62
Сыромятников И. А. — Новый метод расчета цилиндрического конденсатора	1	67	Чугунов С. С. — Электростробоскоп большой мощности	7	47
Его же — Сравнение охлаждения генераторов и синхронных конденсаторов при помощи воздуха и водорода	4	58	Чухин Н. К. — Метод экспериментального определения активных и реактивных сопротивлений прямой и нулевой последовательностей трансформаторов с одной доступной нулевой точкой	12	54
Танский Е. А. — Контактные амперметры и вольтметры	3	29	Шателен М. А. — Экономия и задачи учета электроэнергии в СССР	3	3
Тарашанский М. М. — Основы теории преобразования частоты нового типа	4	56	Его же — Василий Назарович Каразин	10	54
Тареев Б. М. — Расчеты теплопроводности наполненной изоляции	2	67	Его же — Как создавался план электрификации Северного района	12	4
Его же — Электроизоляционные материалы из бетона	9	63	Шенфер К. И. — Безреостатное управление тяговыми электродвигателями постоянного тока	1	47
Тихонов В. П. — Загрузка по времени электродвигателей производственных механизмов металлообрабатывающих предприятий	2	69	Шенфер К. И. и Иванов А. А. — Генератор постоянного напряжения для колхозных ветроэлектростанций	9	14
Его же — Использование металлических конструкций здания как заземления и рабочего нулевого провода	8	23	Шерман Г. И. — Эксплуатационная диаграмма синхронного генератора	3	60
Его же — Магнитный пояс как трансформатор тока без железа	11	58	Шильдинер Л. М. — Экспериментальное исследование новой схемы компенсации трансформаторной э. д. с.	3	63
Тишкин К. Е. — Универсальные таблицы для определения монтажных стрел провеса проводов из основных материалов	9	64	Шипков С. Н. — Применение символического метода комплексных чисел при изложении теории переменных токов	9	70
Толстов Ю. Г. — Сравнение передачи энергии на большие расстояния от синхронных и асинхронных генераторов	6	51	Шитов П. И. — Тепловые испытания турбогенератора 100 MW	11	8
Его же — Применение асинхронных генераторов, возбуждаемых со стороны ротора, при передаче электрической энергии на большие расстояния	12	40	Шницер Л. М. — О возможностях повышения мощности установленных трансформаторов	2	20
Торопов И. А. — Нагрев вихревыми токами металлических частей опорной конструкции индукционной печи	8	50	Его же — О главе шестнадцатой „Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей“	9	21
Трамбицкий А. В. — О стандартах электротехнических и некоторых других	4	47	Шорыгин А. П. и Беляев Б. В. — Нейтрализация электрических зарядов при помощи заземленных металлических щеток	7	58
Трамбицкий А. В., Гохберг С. М., Черногубовский З. П., Иванов В. И., Александров Г. П. — Замечания к проекту стандарта „Правила испытания силовых трансформаторов“	8	69	Шостьин Н. А. — Джемс Клерк Максвелл	5	54
Ульянов С. А. и Швагер В. Я. — Вычисление токов к. з. с учетом действия автоматических регуляторов напряжения	5	37	Шрайбер Л. Г. — Опора-молниеотвод	6	44
Угримов Б. И. — 50 лет трехфазного тока	1	71	Штейнберг С. В. — Теория и расчет противодействия дуги в импульсном выключателе	12	23
Файнберг Ю. М. — Об экономии цветных металлов в моторных сетях	9	29	Щетинин И. П. и Никитин В. Г. — Передвижная газогенераторная электростанция мощностью 40 kW	12	46
Федченко И. К. — Кумулятивный эффект при импульсном пробое конденсаторной бумаги	1	68	Эдельштейн Г. Ф. — Индукционные реактансные элементы	5	33
Его же — Одноударная импульсная прочность конденсаторной пропитанной маслом бумаги	4	55	Его же — Состояние и задачи техники советского релестроения	8	3
Фридман Л. В. — Метод расчета питающего устройства для ртутно-кварцевой горелки	2	68	Элихман Б. Л. — Экономия на совмещении графиков энергосистем и межрайонная гидроэлектротраль	2	60
Фройман А. И. — Электронная оптика — новая область техники и физики	5	3	Эфрос А. М. — Трение в электромеханических системах	2	56
Халфин А. М. — Основные вопросы современной телевизионной техники	5	9	Юров Ю. Я. и Смирнова А. А. — Гашение дуги переменного тока в магнитном поле	12	45
			Ярославский И. А. — Пути усовершенствования волокнисто-бакелитовой слоистой изоляции	4	26
			Якобсон Н. Б. — Номограмма для построения характеристик асинхронных двигателей	3	62

Авторы	№ журн.	Стр.	Авторы	№ журн.	Стр.
РЕЦЕНЗИИ					
Брагин С. М. — П. Н. Горшков. Основы техники кабелей сильного тока. Утв. Всес. комит. по делам высшей школы при СНК СССР в качестве учебника для энергетических втузов по специальности „Кабельная техника“ Л.-М. Гос. энергетическое изд., 1940, 303 стр., 232 рис., 5000 экз., ц. 9 руб.	10	89	Касаткин А. — Е. А. Свирский. Общий курс электрических и магнитных измерений. Утв. ГУУЗ НКОП в качестве учебника для электротехнических втузов. Изд. 4-е вновь перераб. и доп. Л.-М. Гос. изд-во оборонной промышленности. 424 стр., 257 рис., 1939, 5 000 экз., ц. 12 руб.	11	68
Вагранский Н. И. и Фельдман Я. Л. — И. В. Гофман. Организация и планирование энергопроизводства. Утв. Всесоюзным комитетом по делам высшей школы при СНК СССР в качестве учебника для инж.-экономич. вузов и факультетов. М.-Л. Гос. энергетическое изд-во, 639 стр., 136 рис., 99 табл., 1939, 4000 экз., ц. 12 р. 25 к.	6	63	Круг К. А. — К. Кюпфмюллер. Введение в теоретическую электротехнику, Kupfmüller K. Einführung in die theoretische Electrotechnik, 2 verb. u. erw. Aufl. I. Springer, 1939, 343 p., 358 Abb.	9	73
Галонен Ю. М. — Prof. Dr.-Ing. K. Humblung. Машины постоянного тока. ч. I и II. Sammlung göschen Bd 257 и 881, 1940	12	57	Липковский М. — Е. Г. Марквардт. Электромагнитные расчеты трансформаторов. М.-Л., ОНТИ. Ред. энергетической лит-ры, 1938, 136 стр. 62 рис., 3 000 экз., ц. 3 р. 75 к.	2	79
Гольдфарб Н. — В. Бычков. Электротехника в военно-инженерном деле. М. 1939, 328 стр., 239 рис. (Военно-инженерная академия им. Куйбышева), 1500 экз., ц. 21 р. 35 к.	8	71	Минов Д. К. и Соловьев В. А. — В. К. Петров и В. Г. Сосянц. Городской транспорт. Утв. ВКВШ в качестве учебника инженерно-экономических факультетов Института коммунального строительства. Изд. Наркомхоза РСФСР. Москва Ленинград 1939, 291 стр., 114 рис., ц. 7 р. 35 к.	12	56
Горохов Н. В. — И. И. Брейль, Л. Н. Грузов, Г. Б. Меркин, Л. М. Пиотровский, И. Н. Чупятюв. Электрические машины. Учебник для энергетических техникумов. Под редакцией доктора технических наук проф. Л. М. Пиотровского. ГОНТИ. Редакция энергетической литературы. Ленинград — Москва 1939, 450 стр., 434 рис., 10 000 экз., ц. 9 руб.	11	66	Попов К. К. — М. Фарадей. Избранные работы по электричеству. Перевод под ред. с биографическим очерком и примечаниями З. А. Цейтлина. Государственное объединенное научно-техническое издательство. Редакция технико-теоретической литературы. Москва — Ленинград, стр. 304, 3 000 экз., 1939, цена 8 руб.	1	78
Зайденшнер Е. М. — С. С. Леви. Электрооборудование строительных площадок. 336 стр., 3 вкладки. Второе дополненное и переработанное изд. Стройиздат НКСтроя, 1940, 5 000 экз., ц. 10 руб.	12	57	Попов К. К. — В. Ф. Миткевич. Основные физические воззрения. Сборник докладов и статей, издание третье дополненное. Издательство Академии Наук СССР. Москва — Ленинград, стр. 204, 1939. ц. 8 р. 50 к.	9	71
Залесский А. М. — И. С. Стекольников, Молния. М.-Л. Академия наук СССР, 327 стр., 261 рис., 1940, 2 000 экз., ц. 18 руб.	9	72	Сиротинский Л. И. — А. Буверс. Электрические сверхвысокие напряжения. Bouwers A. Elektrische Hochspannungen Springer, 1939, 333 S., 239 Abb. (Technische Physik in Einzeldarstellungen)	10	90
Залесский А. М., Вульф А. А. и Казарновский Д. — Проф. Я. А. Рябков. Электрический расчет линий электропередач высокого напряжения. Утв. ГУУЗ НКТП в качестве учебного пособия для энергетических втузов. ОНТИ. Редакция энергетической литературы. М.-Л. 1938, 236 стр., 107 рис., 7 000 экз., ц. 7 руб.	6	61	Соловьев В. А. и Куриленко М. П. — В. В. Спасский. Эксплуатация и ремонт контактной сети. Трансжелдориздат, Москва 1939, 163 стр., 2000 экз., ц. 4 руб.	3	81
Каменский М. Д., Вульф А. А., Кезевич В. В., Залесский А. М., Рождественский В. Т. — А. А. Глазунов. Электрические сети и системы ч. I. Утверждено Всесоюзным комитетом по делам высшей школы при СНК СССР в качестве учебника для энергетических и электротехнических вузов. ГОНТИ. М.-Л. Ред. энергетической лит-ры. 464 стр., 238 рис., 28 табл., 1939, XIX прилож., 7 000 экз., ц. 9 р. 25 к.	7	67	Червоненкис Я. М. — И. Л. Каганов. Электронные и ионные преобразователи. Изд. 2-е, переработанное ГЭИ, 1940, 380 стр., 311 рис., 4000 экз., ц. 11 р. 60 к.	11	67
Касаткин А. С. — Электроизмерительная техника. Под ред. В. О. Арутюнова. Для мастеров социалистического труда, издание второе. Л.-М. ГОНТИ. Ред. энергетической лит-ры, 340 стр., 316 рис., 1939, 10 000 экз. ц. 6 р. 50 к.	3	80	Чирахов Ф. Х. — Техника высоких напряжений. Вып. II. Под ред. проф. Л. И. Сиротинского, издание ГОНТИ, 1939, 25 печ. листов. 5000 экз., цена 6 р. 75 к., перепл. 1 р. 50 к.	2	80
			Шкурко М. А. — В. В. Доброхотов. Организация плано-предупредительных ремонтов электрооборудования, 102 стр., 1939, 1000 экз. Л. И. Делятинский. Ремонт фабрично-заводского электрооборудования. 86 стр., 1938, 1000 экз. Конспекты лекций, читаемых в Институте усовершенствования инженеров по энергетике, автоматике и связи ВНИТОЭ в 1937/38 и 1938/39 гг.	4	77

ПОПРАВКА.

В № 9 „Электричество“ 1940 г. на стр. 36 в статье В. П. Захарова формулу (5) следует читать:

$$\Sigma L_s = (1,25 - 1,50) \cdot \sqrt[4]{\frac{F^3 \cdot P \cdot n \cdot \delta \cdot 10^6}{3 \cdot B \cdot \gamma \cdot \epsilon d}} \quad [\text{km}]$$

Отв. редактор инж. Я. А. КЛИМОВИЦКИЙ

Зав. редакцией М. Г. Башкова

ИЗДАТЕЛЬ ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Техн. ред. С. К. Курапов

Сдано в набор 14/XI 1940 г.

Подписано к печати 24/XII 1940 г.

Печ. л. 10 $\frac{1}{2}$ +2 вклейки.Авт. л. 13 $\frac{1}{2}$

Л80913.

В 1 п. л. 60307 экз.

Стат. формат 60×92 $\frac{1}{8}$ д. л.

Заказ 3590

Тираж 10200 экз.

13-я тип. ОГИЗа треста «Полиграфкнига». Москва, Денисовский пер., 30.

ВОЛОГОДСКАЯ

ИТАЛЬЯНИ

Твердая пайка в проходных печах AEG.

Сообщение фирмы AEG.

Вместо соединения двух деталей машин заклепками, штифтами и т. п. в последнее время применяется часто твердая пайка медью. Этот способ особенно целесообразен для мелких массовых деталей, где он дает ряд преимуществ: в частности при пайке твердым припоем снижается расход на заработную плату и получается экономия материала. Кроме того соединения твердым припоем отличаются высокими механическими свойствами¹⁾.

Необходимой предпосылкой для получения безупречного соединения твердым припоем являются правильная подготовка отдельных деталей и соответствующая тепловая обработка. Так как пайке медью подвергаются стальные или железные части, то их надо нагревать выше температуры плавления меди, причем какое-либо окисление изделий недопустимо.

Фирма AEG разработала для пайки массовых деталей медью конвейерную печь с обогревом электрическими сопротивлениями, которая выпущена уже в значительном количестве экземпляров и доказала свою полную целесообразность как в тепловом, так в экономическом отношении. Печь (фиг. 1) имеет полезное сечение 200×100 мм и состоит из нагревательной камеры длиной около 1350 мм, к которой непосредственно примыкает охлаждающая камера длиной 4200 мм.

Нагревательная камера оборудована металлическими нагревательными сопротивлениями и обмуровкой для наивысшей температуры в 1150°C . Бесконечная конвейерная лента из жароупорного материала проходит через обе камеры и отводится обратно под печь. Изделия проходят сквозь печь, лежа покойно на этой ленте, и выходят из нее совершенно чистыми и холодными, так что после выхода из печи на них не замечается даже потускнения. Скорость ленты регулируется бесступенчато при помощи специального редуктора и принаравливается к роду изделия.

Совершенно чистая поверхность изделия достигается благодаря работе с защитным газом, вырабаты-

ваемым в специальном устройстве (фиг. 2) из светильного газа. Установка для производства защитного газа состоит в основных чертах из смешивающего насоса, камеры сгорания и газового холодильника и оборудо-

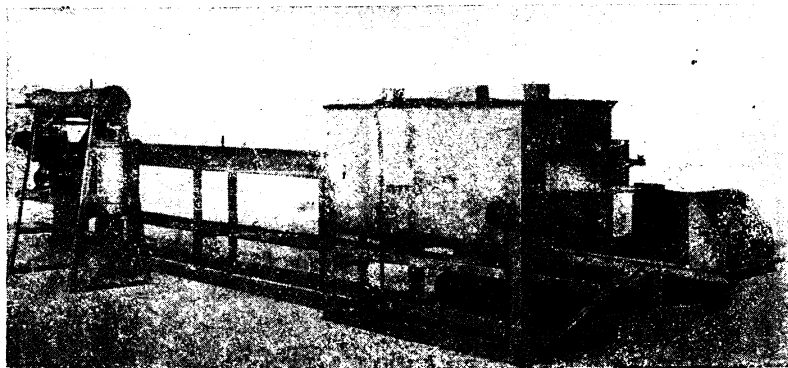
вана необходимыми измерительными и холодильными приборами; она дает газ, состоящий из азота и водорода и окислов углерода. Содержание наиболее важной составляющей, а именно водорода, может принаравливаться к роду материала и печи путем соответствующего регулирования го-

рения. Присутствие водорода делает газ восстанавливающим, благодаря чему потускневшие части делаются снова блестящими и могут быть безукоризненно спаяны.

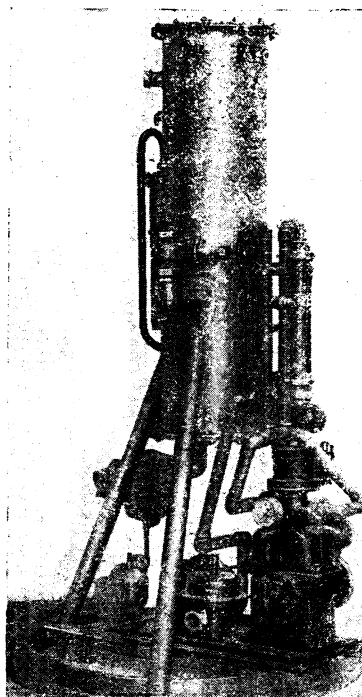
Хотя обе лобовые стороны этой печи всегда открыты вследствие непрерывного прохода ленты, что естественно требует повышенного расхода защитного газа, тем не менее достигается полная чистота поверхности; точно также не оставляет желать лучшего и экономичность этого метода. Достаточно сказать, что описанная печь потребляет только около 15 м^3 защитного газа в час; это соответствует потреблению светильного газа примерно в $5 \text{ м}^3/\text{h}$.

Описанная конвейерная печь может применяться не только для твердой пайки, но с таким же успехом и для блестящего отжига или для восстановительного блестящего отжига потускневших частей, вследствие чего механическая мокрая чистка их отпадает.

Кроме этих конвейерных печей, выпускаемых различных размеров для производства блестящего отжига в различных отраслях, AEG строит также любые методические печи иного типа для работы с защитным газом, как например печи с качающимися конвейерами, толкательные печи полной длиной до 22 м и полезным сечением 1000×500 мм и лентопотяжные печи. Установки для производства защитного газа строятся не только для светильного газа в качестве исходного, но также для пропана, благодаря чему AEG обладает необходимым большим опытом и может удовлетворить любому требованию и режиму работы.



Фиг. 1. Конвейерная печь с холодильной камерой и генерацией защитного газа типа WGO 27/30; на 30 kW для нагревания до 1150°C , полезное сечение 200×100 мм², длина 1350 \times 4200 мм.

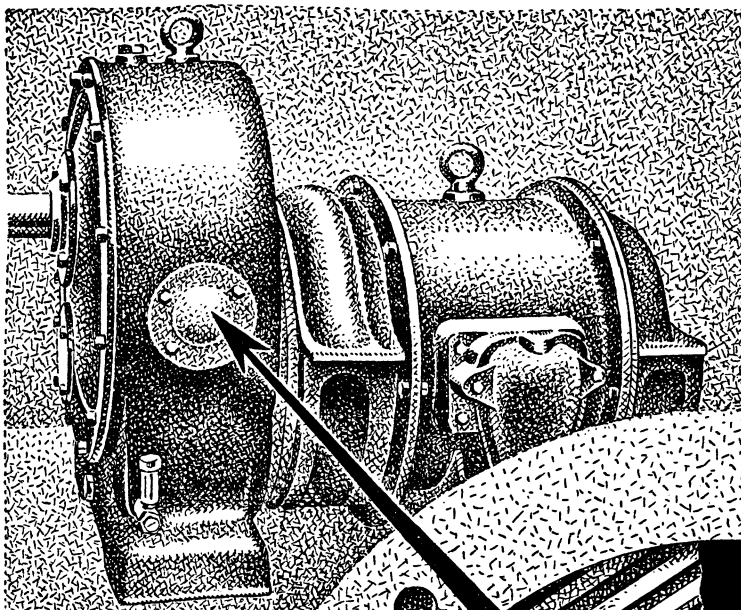


Фиг. 2. Генератор защитного газа типа GZ 60/L производительностью $60 \text{ м}^3/\text{h}$ для производства защитного газа из светильного.

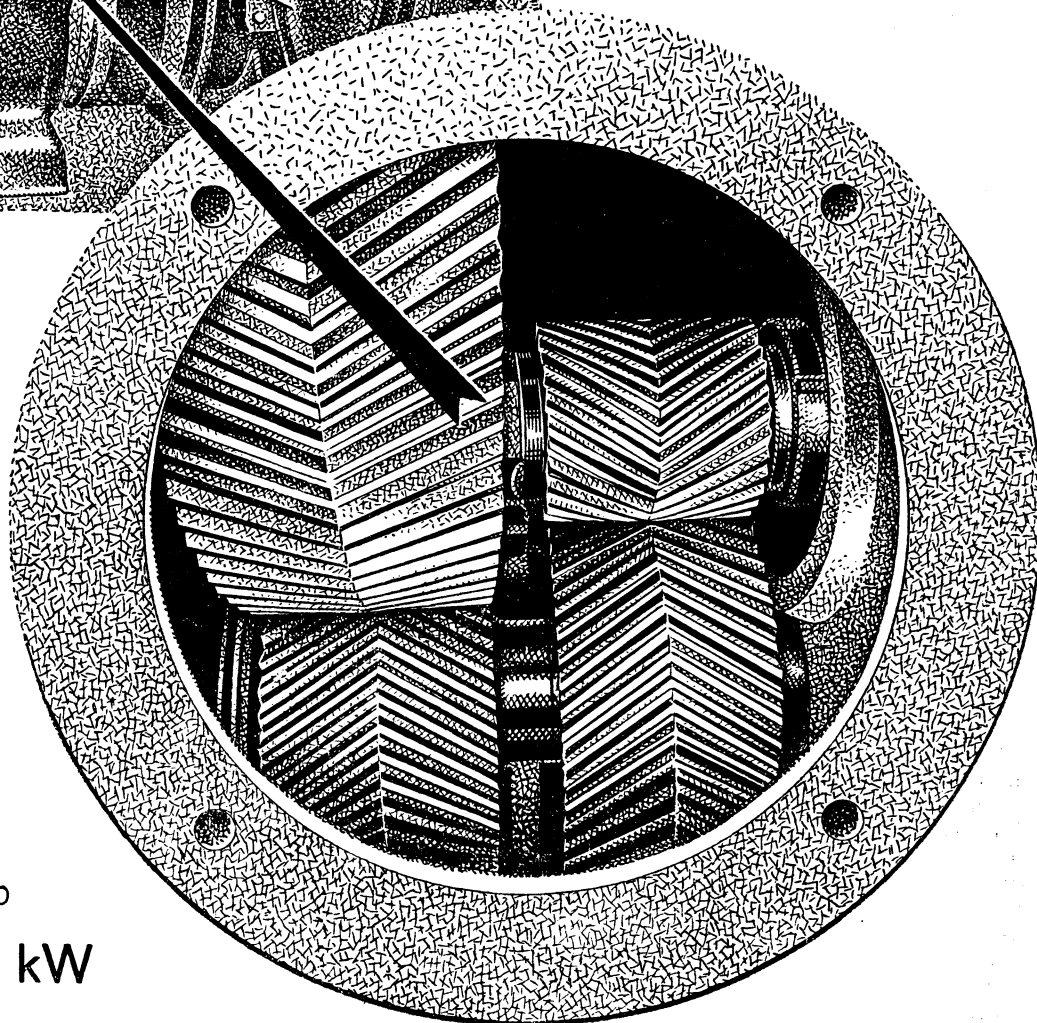
¹⁾ См. проспект фирмы AEG.



ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ С РЕДУКТОРОМ



Передача шевронными
зубчатками Сайкса



МОЩНОСТЬЮ
до 500 kW

С запросами просим обращаться по адресу

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG · TECHNISCHES BÜRO OST
BERLIN-SIEMENSSTADT

№ 27

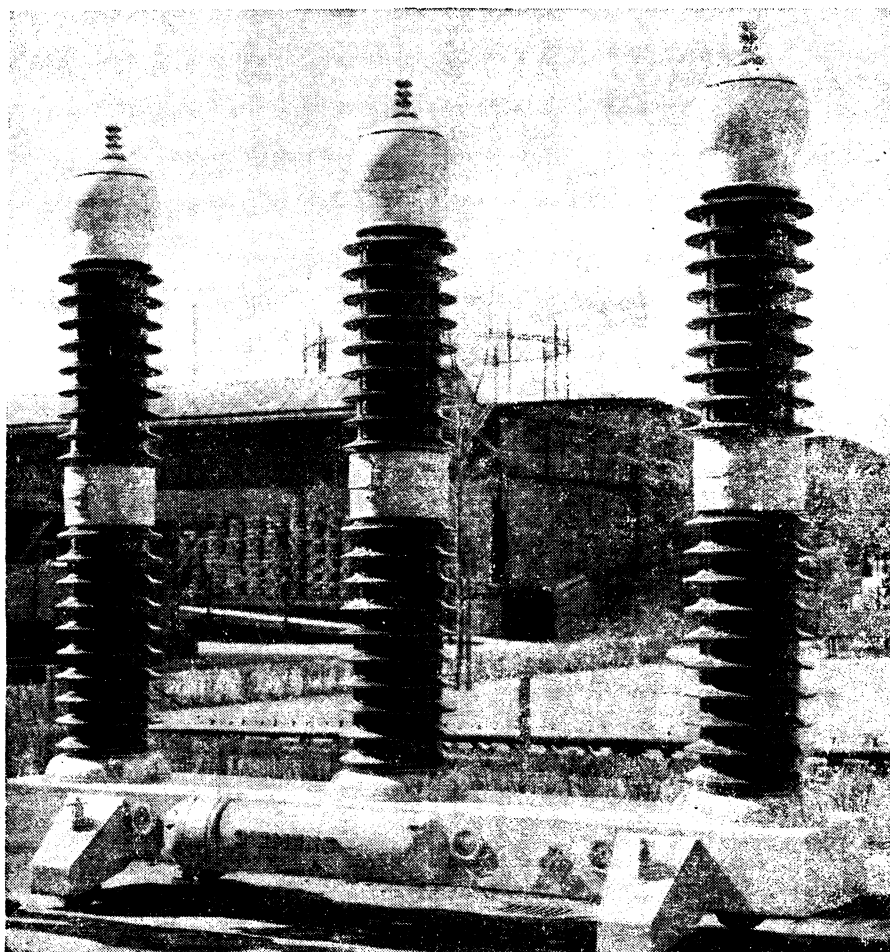


10 ЛЕТ

исследовательской, конструкторской и производственной работы привели от первого экспансионного выключателя к его современным конструкциям для открытых и закрытых станций. Мы строим

ЭКСПАНСИОННЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

до наивысших напряжений и всех разрывных мощностей. Свыше 35 000 экспансионных выключателей Сименса оправдали себя в эксплуатации.



Экспансионный выключатель 110 kV для открытой установки

С запросами просим обращаться по адресу

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG · TECHNISCHES BÜRO OST
BERLIN-SIEMENSSTADT

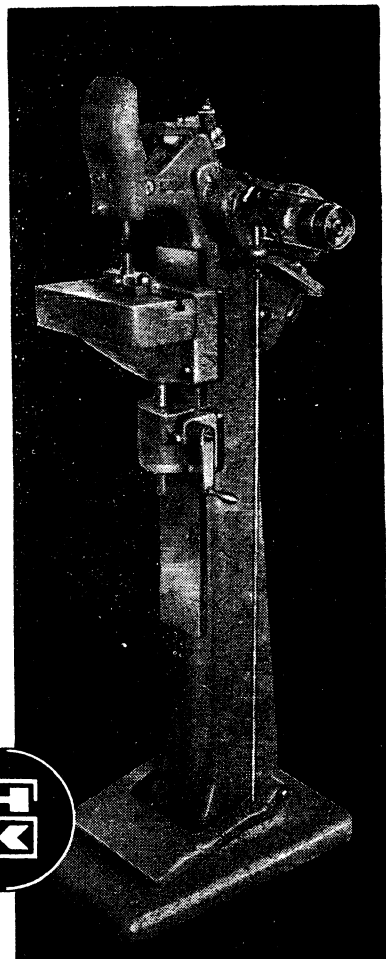
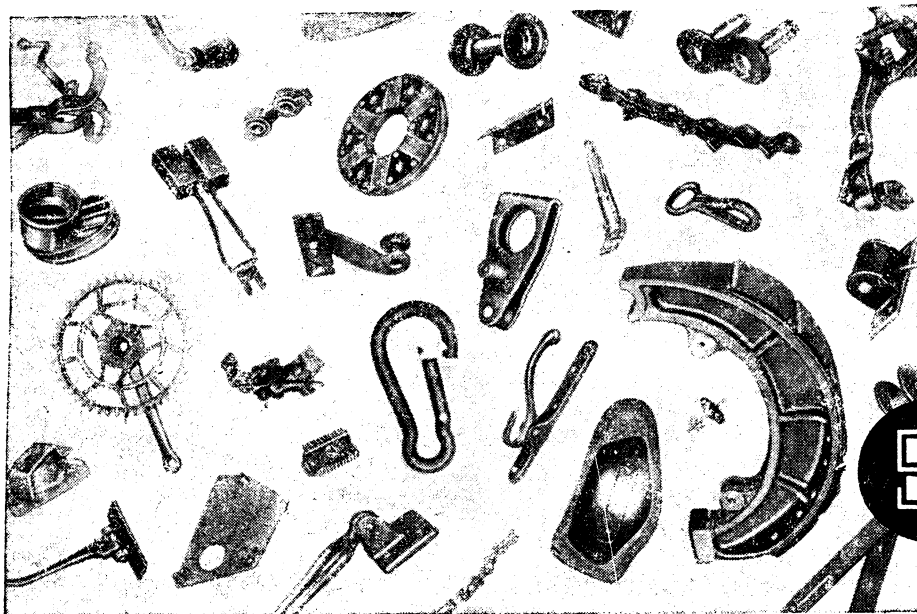
Zs 47

КЛЕПАЛЬНЫЕ МАШИНЫ для всех областей применения

Бесшумные роликовые конструкции • Быстродействующие молотковые конструкции • Клепальные машины высокой точности

Закажите наш проспект № 81

HAHN & KOLB • STUTTGART
ГАН И КОЛЬБ • ШТУТГАРТ (755)



Изоляция для высоких и наивысших напряжений

Конденсаторные проходные изоляторы, опорные изоляторы, конденсаторы связи для высокочастотной телефонии, конденсаторы для ударных испытательных установок, проходные изоляторы для сборных машин и проч.

SCHERB & SCHWER K.G., vorm. Jaroslaw
BERLIN-WEISSENSEE ГЕРМАНИЯ

6772

К Л Е Й Н Е В Е Ф Е Р С

ИГОЛЬЧАТЫЕ

экономайзеры

для использования тепла отходящих газов котельных установок для подогревания питательной воды.

ИГОЛЬЧАТЫЕ

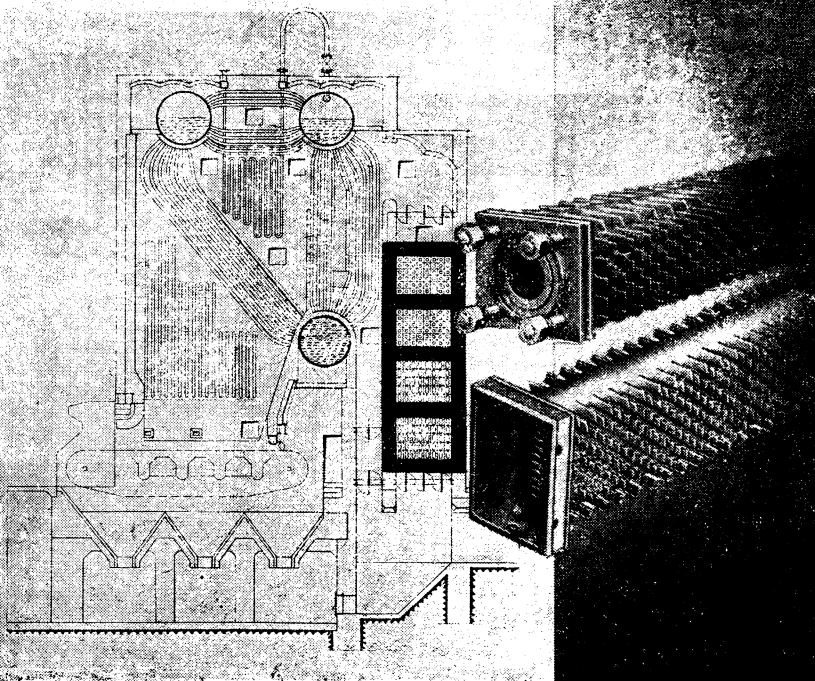
воздухоподогреватели

для использования тепла отходящих газов котельных установок для подогревания топочного воздуха.

Игольчатая поверхность нагрева зарекомендовала себя во многих тысячах установок. Длина элемента до 3,5 м.

Обращайтесь к нам за советом во всех вопросах использования тепла отходящих газов.

Наши русские проспекты
R 40/576 и R 40/501



J. & P. KLEIWEFERS KREFELD / ГЕРМ.

ТЕЛЕФОН № 29145

Раньше: LIESEN & CO.

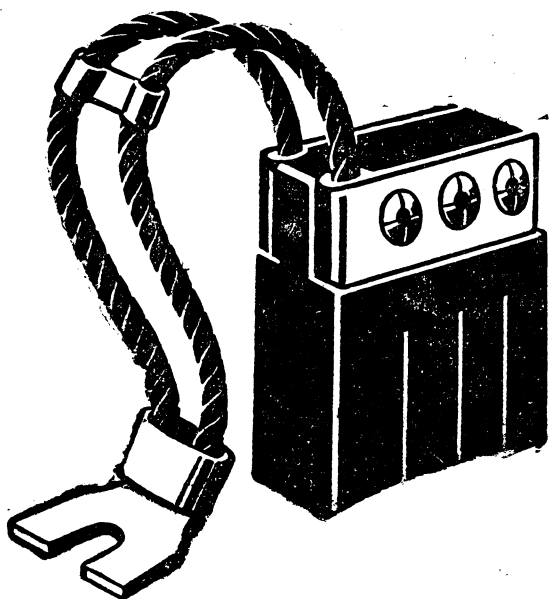
Адр. для тел.: ECOLUVO

Берлинская контора: Berlin NW 87, Lessingstr. 25 · Телеф.: 39 36 06 / Венская контора: Wien 117, Peter-Jordanstr. 33 · Телеф.: A 13-0-52



RINGSDORFF

УГОЛЬНЫЕ ЩЕТКИ



НАША ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОГРАММА ОХВАТЫВАЕТ ЩЕТКИ ИЗ ТВЕРДОГО, ГРАФИТНОГО, БРОНЗОВОГО И ОБЛАГОРОЖЕННОГО УГЛЯ РАЗЛИЧНЕЙШЕГО КАЧЕСТВА. МЫ ИМЕЕМ, БЛАГОДАРЯ ЭТОМУ, ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТАВИТЬ НА ЛЮБУЮ МАШИНУ ПОДХОДЯЩИЕ К НЕЙ ЩЕТКИ.

6789

RINGSDORFF-WERKE KG · MEHLEM-RHEIN (Германия)

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

Переносные измерительные приборы

для ПРАКТИКИ

для УСТАНОВОЧНЫХ
РАБОТ

для РЕВИЗИИ

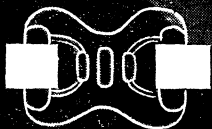
Удобные сундучные измерительные приборы
Класса 0.5



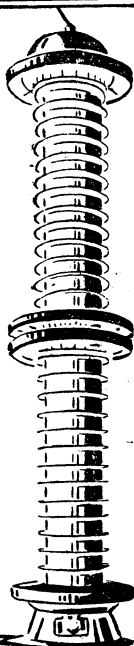
МЕТРАВАТТ А. Г. · НÜРНБЕРГ - О
Фабрика электр. измерительных аппаратов

Угольные щетки для мощных машин

всех встречающихся качеств являются нашей специальной областью. Наши научные способы гарантируют производственную безопасность танков при наивысших требованиях.



SCHUNK & EBE
GIESSEN-Германия



Масляные конденсаторы для соединений

стоячего и висячего типа

для высокочастотной телефонии

для телеизмерительных установок

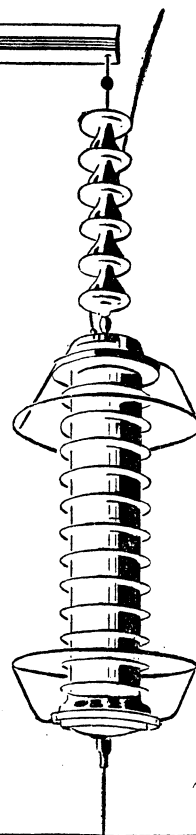
с емкостью до 2000 см
и напряжением до 220 кв

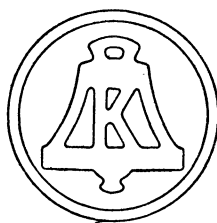
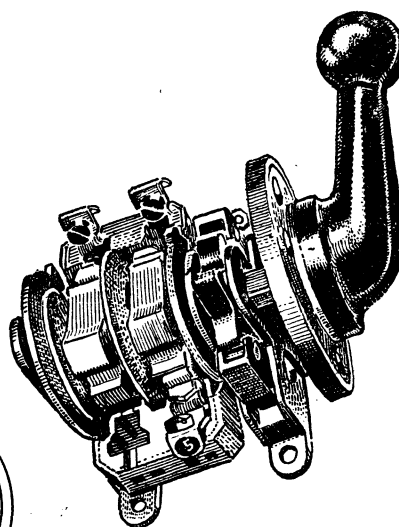
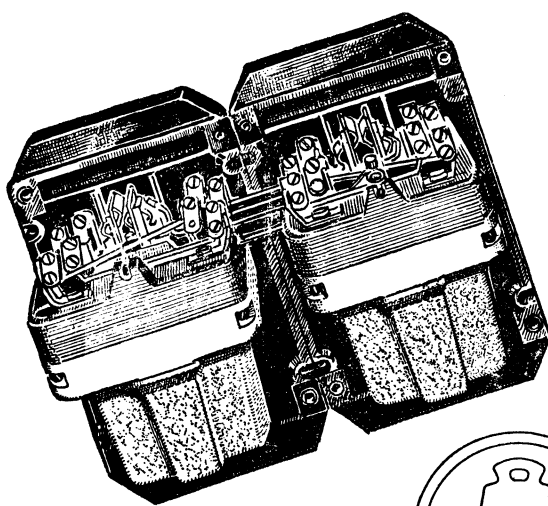
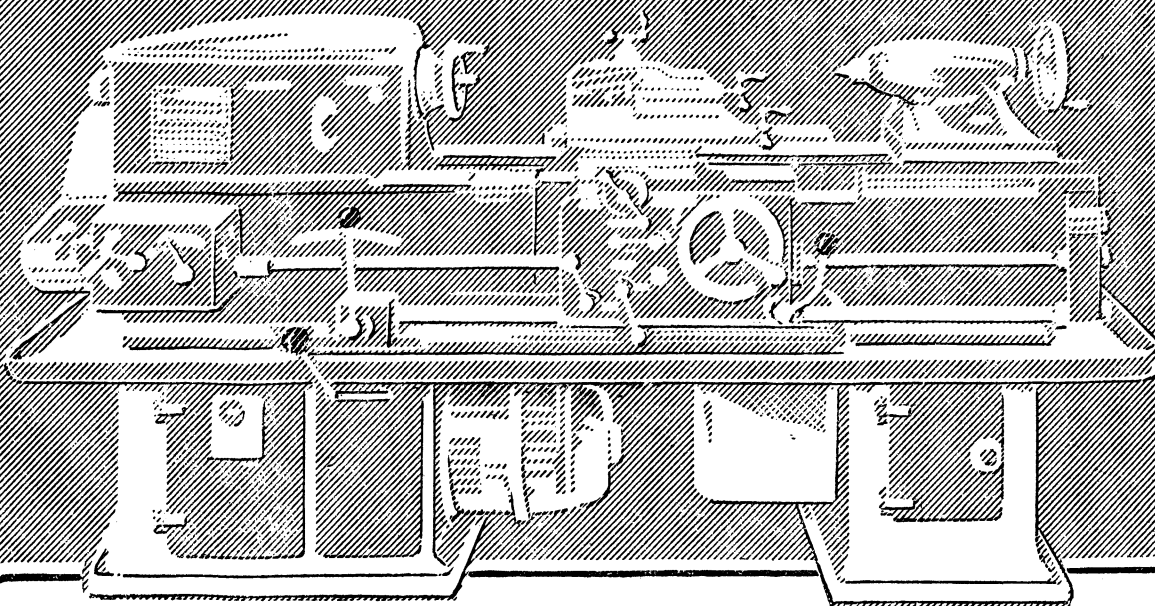
Наш многолетний опыт в области конструирования конденсаторов обеспечивает их наивысшую надежность

MEIROWSKY & CO.

AKTIENGESELLSCHAFT

PORZ (Rhein)





Цель нашего производства создание приборов
включения с тем же сроком службы что и у
станков.

F. KLÖCKNER K.-G., KÖLN-BAYENTHAL

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МОСКВА, ПРОЕЗД ВЛАДИМИРОВА, 4.

ОТКРЫТА ПОДПИСКА на 1941 г.

НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЖУРНАЛЫ

НАЗВАНИЕ ЖУРНАЛОВ	Количество номеров в год	Подписная цена	
		На год	На 6 м-цев
„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“	12	60 руб.	30 руб.
„ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ“	24	96 „	48 „
„ВЕСТНИК ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ“	12	54 „	27 „
„ТЕПЛОСИЛОВОЕ ХОЗЯЙСТВО“	12	48 „	24 „
„ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО“	12	48 „	24 „
„ИЗВЕСТИЯ ВСЕСОЮЗНОГО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. ДЗЕРЖИНСКОГО“	12	48 „	24 „
„БЮЛЛЕТЕНЬ ВСЕСОЮЗНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА“ (ВЭИ)	12	36 „	18 „
„ИЗВЕСТИЯ ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ СЛАБОГО ТОКА“	12	48 „	24 „

ПОДПИСКА ПРИНИМАЕТСЯ:

отделениями и организаторами подписки „Союзпечать“ на предприятиях, в учреждениях и всюду на почте.

ПОДПИСКУ МОЖНО НАПРАВЛЯТЬ также по адресу: Москва, проезд Владимира, 4, Госэнергоиздат. Расчетный счет № 188002 в Красногвардейском отделении Госбанка.

СВОЕВРЕМЕННАЯ ПОДПИСКА ОБЕСПЕЧИВАЕТ БЕСПЕРЕБОЙНУЮ И АККУРАТНУЮ ДОСТАВКУ ЖУРНАЛОВ.



ИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ТРОИСДОРФСКОГО ЗАВОДА ПЛАСТМАСС

ТРОЛИТАКС

высококачественный картон всех классов для штамповки и конструктивных целей. Специальные сорта для телефоностроения и телеграфии. ТРОЛИТАКС выносит высокие механические и электрические нагрузки и температуры до 110°. Он может также употребляться в залитых маслом конструкциях. Постоянное применение в аппарато-, машино- и электростроении. ТРОЛИТАКС представляет собой превосходный материал для производства радиоаппаратов и любых чувствительных электроприборов.

МИПОЛАМ

новый изоляционный материал для электротехнической промышленности! Миполам поставляется в виде пластмассы для изоляции кабелей и проводов, а равно в виде твердых пластин и фольги для изоляционных целей, в виде профилей, трубок, кабельных проходов и т. д.

ТРОЛИТАН И ПОЛЛОПАС

стандартная немецкая пластмасса. Большой выбор наполнителей обеспечивает высокие коэффициенты изоляции. Несмотря на ограниченный объем цветовых возможностей, все же очень значительный ассортимент. Фенопластмасса Тролитан для любых электротехнических прессованных частей темной окраски, аминопластмасса Поллопас для красивых прессованных изделий различных цветов.

ТРОЛИТУЛ

первоклассный немецкий материал для литья под давлением. Производство мелких изоляционных деталей для радиопромышленности и телепередачи. Высокие диэлектрические свойства и способность задерживать токи на поверхности изоляции делают Тролитул незаменимым материалом во многих областях электропромышленности.

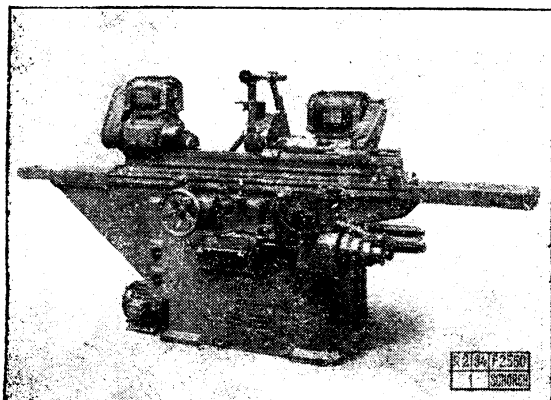
Требуйте наши проспекты!

VENDOR Kunststoff-Verkaufsgesellschaft mbH., Troisdorf, Bez. Köln

6771

SCHORCH

Schorch-Werke A.G. Rheydt



Привод станка для обточки колесных пар от шунтового коллекторного мотора трехфазного тока

НАШИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ:

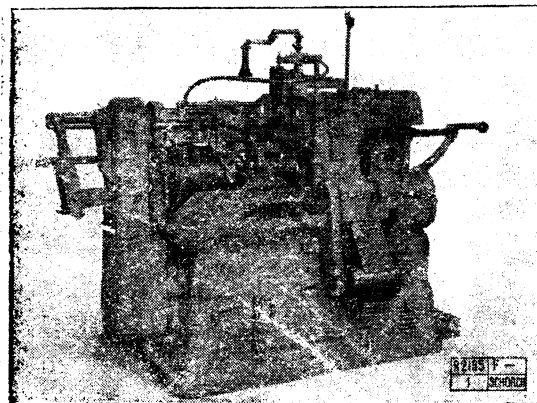
Коллекторные моторы трехфазного тока (пат. в Герм.),

Текстильные моторы — Сварочные умформеры — Электроды

МЫ СТРОИМ:

Генераторы — Электромоторы

Трансформаторы — Аппараты



Привод шлифовального станка от асинхронного мотора с короткозамкнутым якорем

28959