

ВОЛОГДА 321.12
ОБЛ. БИБЛИОТЕКА

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

12

1945

СОДЕРЖАНИЕ

К 25-летию плана ГОЭЛРО

Письмо И. В. Сталина В. И. Ленину о плане ГОЭЛРО (вклейка)

Из доклада В. И. Ленина на VIII Всероссийском Съезде Советов 3

Д. Г. Жимерин — 25 лет плана ГОЭЛРО 6

Е. А. Руссаковский — От плана ГОЭЛРО к новым задачам электрификации в восстановлении
и развитии народного хозяйства СССР 10

Г. М. Кржижановский — К 25-летию юбилею плана ГОЭЛРО 17

М. А. Шателен — Двадцать пять лет назад 21

А. В. Винтер — Первые шаги электрификации СССР 23

Г. О. Графтио — Волховстрой и ГОЭЛРО 25

К. А. Круг — Как протекала работа ГОЭЛРО 26

А. Е. Алексеев — Советское энергетическое электромашиностроение за 25 лет 28

А. А. Беляков — 25 лет гидроэнергетики СССР 32

А. Г. Захарин — Развитие электрификации сельского хозяйства СССР за 25 лет 35

Г. Н. Петров — 40-летие московской школы энергетиков 38

Я. С. Эпштейн — Особенности проектирования амплидинов 40

М. С. Либкинд — Механические силы в обмотках трансформаторов 47

Ю. Е. Ефроймович — К теории регулирования дуговых электросталеплавильных печей 52

ХРОНИКА 56

РЕФЕРАТЫ 58

Содержание журнала „Электричество“ за 1945 г. 62

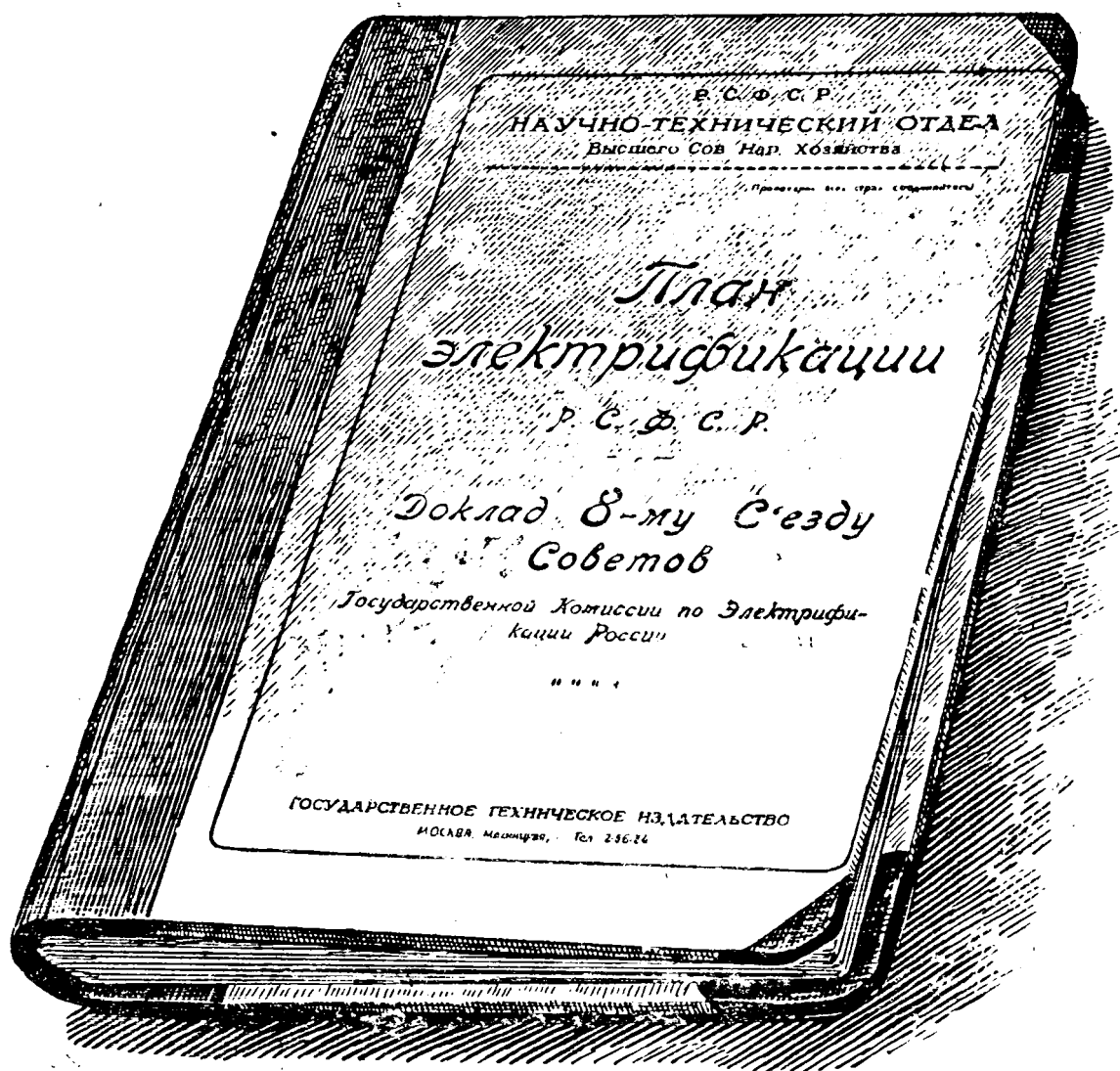
РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Академик Б. Е. Веденеев (ответственный редактор), член-корр. АН СССР А. И. Берг, доктор техн. наук, проф. Ю. В. Буткевич, доктор техн. наук, проф. А. А. Глазунов, член-корр. АН СССР М. П. Костенко, академик В. Ф. Миткевич, академик Н. Д. Папалекси, доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров, канд. техн. наук И. А. Сыромятников, инж. А. И. Товстопалов, член-корр. АН СССР М. А. Шателен

Ответственный секретарь редакционной коллегии
инж. Я. А. Климовицкий

Адрес редакции: Москва, проезд Владимирова, 4; тел. К 5-21-22
Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 648

1920—1945



ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

12
1945
ДЕКАБРЬ

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

К 25-летию плана ГОЭЛРО

Из доклада В. И. Ленина на VIII Всероссийском Съезде Советов*

22 декабря 1920 г.

„Я остановлюсь на последнем пункте—на вопросе об электрификации, который поставлен в порядок дня съезда, как особый вопрос, и вам предстоит выслушать доклад по этому вопросу. Я думаю, что мы здесь присутствуем при весьма крупном переломе, который во всяком случае свидетельствует о начале больших успехов Советской власти. На трибуне Всероссийских Съездов будут впредь появляться не только политики и администраторы, но и инженеры и агрономы. Это начало самой счастливой эпохи, когда политика будет становиться все меньше и меньше, о политике будут говорить реже и не так длинно, а больше будут говорить инженеры и агрономы. Чтобы настоящим образом перейти к делу хозяйственного строительства, надо этот обычай начать с Всероссийского Съезда Советов и провести сверху донизу по всем Советам и организациям, по всем газетам, по всем органам пропаганды и агитации, по всем учреждениям.

Политике мы, несомненно, научились, здесь нас не собьешь, тут у нас база имеется. А с хозяйством дело обстоит плохо. Самая лучшая политика отныне—посмеем политики. Двигайте больше инженеров и агрономов, у них учитесь, их работу проверяйте, превращайте съезды и совещания не в органы митингования, а в органы проверки хозяйственных успехов, в органы, где мы могли бы настоящим образом учиться хозяйственному строительству.

Вы услышите доклад Государственной комиссии по электрификации, которая создана постановлением В.Ц.И.К. от 7 февраля 1920 г. 27 февраля Президиум В.С.Н.Х. подписал окончательное постановление о составе этой комиссии, и целый ряд лучших специалистов и работников В.С.Н.Х., Наркомпути и Наркомзема, в числе свыше ста, целиком отдались этому делу. 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*.

„Наша программа партии не может оставаться только программой партии. Она должна превратиться в программу нашего хозяйственного строительства, иначе она негодна и как программа партии. Она должна дополниться второй программой партии, планом работ по воссозданию всего народного хозяйства и доведению его до современной техники. Без плана электрификации мы перейти к действительному строительству не можем. Мы, говоря о восстановлении земледелия, промышленности и транспорта, об их гармоническом соединении, не можем не говорить о широком хозяйственном плане. Мы должны прийти к тому, чтобы принять известный план; конечно, это будет план, принятый только в порядке

* В. И. Ленин. Сочинения, 1930, т. XXVI, стр. 44—48.
Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

первого приближения. Эта программа партии не будет так неизменна, как наша настоящая программа, подлежащая изменению только на съездах партии. Нет, эта программа каждый день, в каждой мастерской, в каждой волости будет улучшаться, разрабатываться, совершенствоваться и видоизменяться. Она нам нужна, как первый набросок, который перед всей Россией встанет, как великий хозяйственный план, рассчитанный не меньше, чем на десять лет, и показывающий, как перевести Россию на настоящую хозяйственную базу, необходимую для коммунизма. Если мы боролись и успешно победили на фронте войны, то каков был один из мощных, побудительных толчков, удесят�евших наши силы, нашу энергию? Сознание опасности. Все спрашивали: „могут ли вернуться в Россию помещики и капиталисты?“ И отвечали: „могут“. Поэтому мы напрягали силы в сто раз, мы напрягли их и мы победили.

Возьмите хозяйственный фронт и спросите: экономически может ли вернуться в Россию капитализм? Мы боролись с „сухаревкой“. На-днях, к открытию Всероссийского Съезда Советов, это мало приятное учреждение Московский Совет Рабочих и Красноармейских Депутатов закрыл. „Сухаревка“ закрыта, но страшна не та „сухаревка“, которая закрыта. Закрыта бывшая „сухаревка“ на Сухаревской площади, ее закрыть нетрудно. Страшна „сухаревка“, которая живет в душе и действиях каждого мелкого хозяина. Эту „сухаревку“ надо закрыть. Эта „сухаревка“ есть основа капитализма. Пока она есть, капиталисты в Россию могут вернуться и могут стать более сильными, чем мы. Это надо ясно сознать. Это должно быть главным побудителем в нашей работе и условием, меркой наших действительных успехов. Пока мы живем в мелко-крестьянской стране, для капитализма в России есть более прочная экономическая база, чем для коммунизма. Это необходимо запомнить. Каждый, внимательно наблюдавший за жизнью деревни, в сравнении с жизнью города, знает, что мы корней капитализма не вырвали и фундамент, основу у внутреннего врага не подорвали. Последний держится на мелком хозяйстве, и чтобы подорвать его, есть одно средство—перевести хозяйство страны, в том числе и земледелие, на новую техническую базу, на техническую базу современного крупного производства. Такой базой является только электричество.

Коммунизм—это есть Советская власть плюс электрификация всей страны. Иначе страна остается мелко-крестьянской, и надо, чтобы мы это ясно сознали. Мы более слабы, чем капитализм, не только в мировом масштабе, но и внутри страны. Всем это известно. Мы это сознали, и мы доведем дело до того, чтобы хозяйственная база из мелко-крестьянской перешла в крупно-промышленную. Только тогда, когда страна будет электрифицирована, когда под промышленность, сельское хозяйство и транспорт будет подведена техническая база современной крупной промышленности, только тогда мы победим окончательно.

Нами уже разработан предварительный план электрификации страны, над этим планом работали двести наших лучших научных и технических сил. Разработан план, который на долгий период лет, не менее чем на 10 лет, дает нам расчет материальный и финансовый. Этот план указывает, сколько миллионов бочек и сколько миллионов кирпичей нужно нам для проведения электрификации. Чтобы осуществить задачи электрификации в финансовом отношении, расчет сделан на 1—1,2 миллиарда рублей золотом*.

„Мне пришлось не очень давно быть на одном крестьянском празднике в отдаленной местности Московской губернии, в Волоколамском уезде, где у крестьян имеется электрическое освещение. На улице был устроен митинг, и вот один из крестьян вышел и стал говорить речь, в которой он приветствовал это новое событие в жизни крестьян. Он говорил, что мы, крестьяне, были темны, и вот теперь у нас появился свет, „неестественный свет, который будет освещать нашу крестьянскую темноту“. Я лично не удивился этим словам. Конечно, для беспартийной крестьянской массы электрический свет есть свет „неестественный“, но для нас неестественно то, что сотни, тысячи лет могли жить крестьяне и рабочие в такой темноте, в нищете, в угнетении у помещиков и капиталистов. Из этой темноты скоро не выскочишь. Но нам надо добиться в настоящий момент, чтобы каждая электрическая станция, построенная нами, превращалась действительно в опору просвещения, чтобы она занималась, так сказать, электрическим образованием масс. У нас есть разработанный план электрификации, но выполнение этого плана рассчитано на годы. Мы во что бы то ни стало должны этот план осуществить и срок его выполнения сократить“.

3/ Старо возмущены были
свои и беснованные
зеркала, приваженные
"спасения" России сегом сфа
риканом. А тем сфа
гедом, сфагот "матрив"
найденом, то же сфа
или печать на позорном
— дедским листе приглас
внимен. Или сфа, обтова
Тамбовом, "реализм" (на сфа
гиле ~~наполнени~~ наполнени
Роскова, все сфа, "кри
кломато" Готро и по сфа
по сфа, сфа.

[illegible]

Baron Colman

that until

- Живые "революционные" и социальные
деятельности при подавлении че-
ловеческого достоинства. Проведение
свободной борьбы. Помните
примечательный план "Труж-
дари" (или "Труженики"), который не
нашел востребованности в России
на основе массового призыва
и обломки доверия
к коммунистическому ^{труду} ~~человечеству~~
повышению красоты жизни раба
к. и. массы (труженики). Ка-
кие убогие, как от ста-
ности в справках с планом
Годаро "Средневековья кч."

- [illegible]

Но нужно знать и помнить, что провести электрификацию нельзя, когда у нас есть безграмотные. Мало того, что наша комиссия будет стараться ликвидировать безграмотность. Ею сделано много в сравнении с тем, что было, но мало в сравнении с тем, что нужно. Кроме грамоты нужны культурные, сознательные, образованные трудящиеся; нужно, чтобы большинство крестьян определенно представляло себе те задания, которые стоят перед нами. Эта программа партии должна стать основной книжкой, которая должна пойти во все школы. Вы получите в ней, рядом с общим планом проведения электрификации, специальные планы, написанные для каждого района России. И каждый товарищ, который поедет на места, будет иметь определенную разработку проведения электрификации в его районе, перехода из темноты к нормальному существованию. И, товарищи, можно и должно на месте сравнивать, разрабатывать, проверять данные вам положения, добиваясь того, чтобы в каждой школе, в каждом кружке на вопрос, что такое коммунизм, отвечали не только то, что написано в программе партии, а также говорили о том, как выйти из состояния темноты.

Лучшие работники, хозяйственники—специалисты исполнили данное им задание по выработке плана электрификации России и восстановления ее хозяйства. Теперь нужно добиться того, чтобы рабочие и крестьяне знали, как велика и трудна эта задача, как к ней нужно приступить и как за нее взяться.

Надо добиться того, чтобы каждая фабрика, каждая электрическая станция превратилась в очаг просвещения, и если Россия покроется густою сетью электрических станций и мощных технических оборудований, то наше коммунистическое хозяйственное строительство станет образцом для грядущей социалистической Европы и Азии“.

Д. Г. ЖИМЕРИН

Народный комиссар электростанций СССР

Исполнилось 25 лет со дня утверждения VIII Всероссийским Съездом Советов плана ГОЭЛРО — первого государственного плана развития всего народного хозяйства — плана, который великий Ленин называл второй программой партии.

Значение электричества как революционизирующего фактора было гениально подмечено еще Марксом и Энгельсом. Во второй половине прошлого столетия они писали, что «царство его величества пара окончилось, его сменит электрическая искра». После опытов Дедре, сумевшего передать энергию по проводам на расстояние 50 км, Энгельс заявил, что наступает новая эра в развитии промышленности.

Гениальные вожди рабочего класса и творцы социалистического государства — В. И. Ленин и товарищ Сталин ясно видели, что без электрификации нельзя перестроить экономически отсталую Россию, что без электричества нельзя будет поднять промышленность, перестроить сельское хозяйство.

Электрификация всей страны являлась конкретной и единственно возможной системой мероприятий, создававшей материальный, производственно-технический базис для строительства социализма.

Именно поэтому в разоренной войной, осажденной со всех сторон врагами стране немедленно были начаты практические работы по электрификации. Это было не просто строительство отдельных электростанций. Товарищ Сталин, характеризуя сущность электрификации, писал, что:

«под электрификацией страны Ленин понимает не изолированное построение отдельных электростанций, а постепенный перевод хозяйства страны, *в том числе и земледелия* (курсив мой И. Ст.), на новую техническую базу, на техническую базу современного крупного производства, связанного так или иначе, прямо или косвенно с делом электрификации»¹.

Значение плана ГОЭЛРО трудно переоценить. Это был первый план молодой Советской республики, план, предусматривающий развитие всех основных отраслей народного хозяйства, с учетом особенностей отдельных экономических районов, намечающий широкое использование естественных энергетических ресурсов, местных и низкосортных видов топлива. План ГОЭЛРО предусматривал реконструкцию наличных электростанций (план А) и сооружение 30 новых районных электростанций с общей мощностью 1750 тыс. квт (план Б) (мощность всех электростанций России в 1913 г. составляла

1 098 тыс. квт). Общая годовая выработка электроэнергии намечалась в объеме 8,8 млрд. квтч (в 1913 г. выработка электроэнергии составляла 2 млрд. квтч, а к 1921 г. она снизилась до 0,5 млрд.). План ГОЭЛРО предусматривал не изолированное строительство отдельных электростанций, а создание энергосистем, охватывающих энергоснабжение целых районов.

В соответствии с общей задачей подъема всего народного хозяйства, нашедшего свое отражение в плане ГОЭЛРО, предусматривалось построить в Северном районе страны электростанции мощностью в 160 тыс. квт; в Центрально-Промышленном районе — 280 тыс. квт, Южном (Донбасс) — 480 тыс. квт, Уральском — 165 тыс. квт, Кавказском — 120 тыс. квт, Сибирско-Туркестанском районе — 120 тыс. квт.

Наметки плана ГОЭЛРО находились в соответствии с национальной политикой партии и правительства и ставили своей задачей подведение прочной энергетической базы для развития отсталых национальных районов.

В целях лучшего использования природных энергетических ресурсов (реки, торфоболота, низкосортные виды топлива), разгрузки транспорта и нерациональных перевозок проектируемые электростанции размещались в непосредственной близости к наличным ресурсам с тем, чтобы выработанная энергия передавалась по линиям передач в общерайонные энергетические системы. Планом ГОЭЛРО предусматривалось сооружение 10 гидроэлектрических станций общей мощностью 645 тыс. квт (в том числе Волховской, Нижне- и Верхне-Свирской и Днепровской гидростанций), 5 электростанций на торфе мощностью в 170 тыс. квт, 2 электростанции мощностью в 120 тыс. квт на подмосковном угле, 5 электростанций в 320 тыс. квт для сжигания антрацитового штыба и других отходов донецких углей и 4 электростанции в 180 тыс. квт — для использования уральских и кузнецких углей.

Следует иметь в виду, что в дореволюционной России электростанции питались исключительно дальнепривозным, высокоценным донецким углем, нефтью и импортным (английским) углем. Таким образом план ГОЭЛРО не только в огромной степени увеличивал энергетическую мощность страны, но и в корне менял старую структуру топливного баланса, отражавшего хищнические формы эксплуатации естественных богатств в дореволюционной России.

План ГОЭЛРО по строительству электростанций был рассчитан на 15 лет. Программ

¹ Вопросы ленинизма, 9-е изд., стр. 362.

плана ГОЭЛРО была выполнена с большим превышением.

Мощность электростанций СССР в 1935 г. — через 15 лет после утверждения плана ГОЭЛРО — составила 6 923 тыс. квт; мощность районных электростанций за этот период вместо 1 750 тыс. квт выросла на 4 550 тыс. квт. Усилиями трудящихся нашей страны при повседневной помощи партии и ее руководителей план ГОЭЛРО был перевыполнен.

В 1939 г. мощность электростанций СССР увеличилась до 9 894 тыс. квт, а годовая выработка электроэнергии превышала 43 млрд. квтч. По производству электроэнергии Советский Союз передвинулся с 13-го места (которое занимала дореволюционная Россия) на 3-е место в мире, опередив такие промышленно-развитые страны, как Англия, Франция, Япония и др.

Электрификация СССР позволила широко внедрить электрическую энергию во все отрасли народного хозяйства. На базе электрификации технически перевооружались промышленность и транспорт, строительство и сельское хозяйство, создавались новые отрасли производства. В 1935 г. коэффициент электрификации в основных и наиболее трудоемких отраслях промышленности составлял: в угольной 94%, цветной металлургии 98%, машиностроении 95%; химической 94%.

Заново были созданы такие новые отрасли производства, как электрометаллургия (ферросплавы, электролиз алюминия, меди, магния), электрохимия. Технологическое применение электрической энергии создало предпосылки для резкого увеличения выпуска качественных сталей, цветных металлов и различных химикатов.

За истекшие 25 лет советская энергетика прошла славный путь; за эти годы построены и отлично работают крупнейшие, оборудованные новыми, технически совершенными агрегатами, электростанции.

Наши крупные электростанции широко используют местные, низкосортные, зольные и влажные виды топлива.

Так, на подмосковном угле работают Каширская и Сталиногорская грЭС мощностью около 10 тыс. квт; на антрацитовом штыбе — Зуевская, Петровская, Сталинградская, Днепродзержинская, Лахтинская, Харьковская, Киевская и ряд других электростанций.

По использованию торфа в качестве энергетического топлива СССР занимает первое место в мире; электростанции НКЭС выработали на торфе 5,7% всего производства электроэнергии. На торфе работают такие электростанции, как Шатурская, Ивановская, Ярославская, Горьковская грЭС, а также им. Классона, Ленинградская «Красный петербург».

Широко используются кизеловские, бурые и

многозольные челябинские угли. Выработка электростанций НКЭС, использующих уральские угли, составляет 26,5% от общей выработки.

За последние годы электростанции Саратова и Куйбышева успешно используют в качестве энергетического топлива природный газ. К 1935 г. было пущено 11 гидроэлектростанций мощностью 771 тыс. квт. За годы Сталинских пятилеток были сооружены крупнейшие гидростанции: Днепровская мощностью 558 тыс. квт, Нижне-Свирская 98 тыс. квт и ряд других.

Наряду с электроэнергетикой в нашей стране сильно развивалась и теплоэнергетика на базе теплофикации. По мощности тэц СССР является первой страной в мире. Более 120 городов нашего Союза имеют теплоэлектроцентрали и тепловые сети.

Мощность теплофикационных агрегатов составляет 32,3% от всей установленной мощности паровых турбин.

Вместе с количественным ростом имели место и значительные качественные изменения.

В результате внедрения технически совершенных агрегатов (производство которых развернулось в отечественном машиностроении) и широкого развития централизованного теплоснабжения значительно улучшились технико-экономические показатели работы электростанций. В 1913 г. районные электростанции расходовали на выработку 1 квтч 1 060 г топлива. В 1941 г. этот удельный расход снизился почти вдвое, составляя всего 580 г. Значительно улучшились и другие эксплуатационные показатели.

С ростом электростанций в СССР образовались энергетические системы, охватывающие огромные индустриальные районы. Затем началось объединение этих систем. Уже объединены Горьковская, Ивановская, Ярославская и Московская системы. Ростовская, Донбасская и Приднепровская системы также представляют собой организационное единство.

Объединение систем и централизация энергоснабжения увеличивают надежность снабжения и дают большие возможности в смысле использования мощности.

Реализация плана ГОЭЛРО и дальнейшее развитие электрификации сыграли огромную роль для строительства социализма. На основе электрификации наша страна технически перевооружилась и стала одной из наиболее мощных держав мира.

Осуществление Ленинско-Сталинской электрификации явилось одной из важнейших предпосылок нашей победы в Великой Отечественной войне.

В ходе войны советская энергетика также сыграла крупную роль.

За период 1941—1944 гг. в результате строительства новых и расширения существующих станций установленная мощность электростанций Ура-

ла, Новосибирска, Ташкента, Казани возросла почти в два раза, Омска, Куйбышева, Караганды и Красноярска—в три и более раза, Кузбасса—в полтора раза.

Начиная с 1942 г., вслед за победоносным наступлением доблестной Красной Армии, советские энергетики немедленно приступили к восстановлению разрушенных фашистскими варварами электростанций.

Процесс восстановления идет все нарастающими темпами.

За период с 1942 г. до конца 1945 г. восстановлено 100 турбин мощностью 1 455 тыс. квт и 171 котел паропроизводительностью 7 912 т/час. К концу 1945 г. введено в работу 168 районных электростанций. Среди них Зуевская и Сталиногорская грэс (мощностью по 200 тыс. квт, Дубровская грэс—50 тыс. квт, Днепродзержинская грэс—75 тыс. квт, Алексинская тэц—50 тыс. квт. Восстановлены электростанции в Харькове, Киеве, Ростове, Грозном, Севастополе, Минске, Ленинграде.

Одновременно с электростанциями восстанавливаются и электросети с линиями и подстанциями.

Основные магистральные линии 110 и 35 кв уже восстановлены.

Советские специалисты в процессе восстановления решают ряд сложных технических задач. Немецкие захватчики взорвали 130 барабанов паровых котлов. Инженеры Краснодарской, Шахтинской и Зуевской грэс восстановили взорванные барабаны посредством сварки. Этот опыт получил общее распространение.

Партия, правительство и товарищ Сталин требуют от энергетиков быстрого восстановления разрушенных немецкими фашистами электростанций, ликвидации дефицита энергии, имеющего место в отдельных районах страны, внедрения новейшей техники, автоматизации и улучшения технико-экономических показателей работы.

В данное время заканчиваются работы над новым пятилетним планом развития энергетики.

Довоенный уровень мощности электростанций и выработки по НКЭС будет достигнут в 1946 г.; по главнейшим энергосистемам электростанции будут восстановлены до довоенного размера: Донбасская в 1947 г., Московская в 1946 г., Харьковская в 1948 г., Ростовская в 1946 г., Киевская в 1948 г., Ленинградская в 1948 г.

Восстановление всех электростанций НКЭС, частично или полностью разрушенных, будет закончено в 1948 г., из них Сталиногорская грэс на мощность 400 тыс. квт—в 1947 г., Зуевская грэс—350 тыс. квт в 1946 г., Днепрогэс—в 1949 г., Дубровская грэс—в 1948 г., Нижне-Свирская гидростанция—в 1947 г. Как на новых, так и на восстанавливаемых тепловых электростанциях будут

широко внедрены агрегаты с высокими технико-экономическими показателями работы.

Например, турбины и котлы высокого давления дающие экономию топлива до 12—14%, будут к концу пятилетия составлять 33% от всей установленной мощности на электростанциях НКЭС.

В 1946 г. на Зуевской и Сталиногорской грэс будут установлены турбины по 100 тыс. квт, одна из них давлением 100 ат; за пятилетие намечено смонтировать 50 турбин мощностью каждая свыше 40 тыс. квт.

Наряду с установкой новых турбин и котлов в пятилетнем плане предусматривается широкое применение более совершенных износостойчивых дымососов, высокопроизводительных вентиляторов, замена громоздких и сложных в эксплуатации шаровых мельниц на шахтно-мельничные системы и пневмомельницы, широкое применение гидравлического золоудаления и золоулавливания.

Автоматика на тепловых электростанциях играет серьезную роль; при помощи автоматики в процессах горения достигается при равных условиях экономия топлива до 1—1,5%. Кроме этого автоматика предупреждает ошибки персонала и как частое следствие их, аварии агрегатов.

В пятилетнем плане предусматривается автоматизировать процесс горения у 35% всех котлов, установить на 55% котлов автоматы питания водой.

Используя опыт Ивановской, Угличской гидроэлектростанций, а также иностранных электростанций, намечено полностью или частично автоматизировать многие гидроэлектростанции. Пуск и установка агрегатов Днепровской гЭС, включение их в параллельную работу с другими электростанциями будут производиться нажимом кнопки дежурного инженера; полная автоматизация будет осуществлена на Раухильской и Энсогэс и других электростанциях.

Автоматика гидроэлектростанций кроме резкого сокращения персонала обеспечивает лучшее обслуживание агрегатов и, как правило, исключает ошибки персонала.

Особое значение в пятилетнем плане придается развитию гидроэлектростанций.

Во время войны кроме строительства ташкентских, малых уральских, казахстанских были усилены темпы строительства Храмской гЭС в Грузии, Севанской гЭС в Армении, Рыбинской гЭС; начато строительство крупнейшей Мингечаурской гЭС в Азербайджане мощностью 300 тыс. квт, которая решает проблему орошения Кура-Араксинской долины и ликвидирует малярийные районы р. Куры; Майкопской гЭС, Дзауджикаугэс; начаты подготовительные работы к строительству крупнейшей Камской гЭС на Урале, Гюмушской гЭС в Армении, Краснодарской гЭС в Сочи.

Оснащение строительства гидроэлектростанций механизмами, железнодорожным и автомобильным транспортом позволит сооружать их в примерно равные сроки с тепловыми электростанциями.

Использование энергии воды ограничено современным радиусом передачи электрической энергии. Но ограничение в значительной мере преодолевается применением постоянного тока (вместо переменного). Применение постоянного тока увеличивает радиус передачи электрической энергии с 400 км (экономически предельного при переменном токе) до 1 000 км и выше.

Такое расширение радиуса передачи электрической энергии разрешает, в частности, проблему использования энергии Куйбышевского гидроузла для энергоснабжения Москвы и Урала.

Успешное развитие советской энергетики зависит от работы заводов котлотурбостроения и электропромышленности. Турбинные заводы должны выпускать необходимое количество комплектных турбин высокого давления и температур, не только больших, но и средних и малых мощностей. Для обеспечения темпов э

комплектный выпуск котлов (со всеми механизмами, трубопроводами, арматурой), оснащенных необходимой автоматикой; необходим выпуск комплектных барабанов котлов высокого давления, мощных дымососов и вентиляторов, шахтных и пневматических мельниц.

Заводы электропромышленности должны быстрее осваивать производство новейших типов оборудования: генераторов с водородным охлаждением и повышенного напряжения, воздушных выключателей всех напряжений, трансформаторов с регулировкой под нагрузкой и бустер-трансформаторов, современных защит реле и приборов автоматики, телемеханики и связи, а также обеспечить потребности энергетики в мощных моторах и возбuditелях.

Народное хозяйство требует от энергетиков бесперебойного снабжения энергией в достаточном количестве и высокого качества.

Советские энергетики под руководством партии Ленина—Сталина с честью решат поставленные перед ними задачи.

От плана ГОЭЛРО к новым задачам электрификации в восстановлении и развитии народного хозяйства СССР

Профессор Е. А. РУССАКОВСКИЙ

Двадцатипятилетие со дня утверждения государственного плана электрификации России VIII Съездом Советов совпало с работой по составлению нового перспективного плана — плана восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг.

Первый перспективный план — план ГОЭЛРО — разрабатывался непосредственно после победы на фронте гражданской войны и над интервентами.

В своем докладе на VIII съезде Ленин говорил: «Надо помнить, что если мы сейчас одержали военную победу, получили мир, то, с другой стороны, история учит нас, что ни один крупный вопрос, ни одна революция, не решались иначе, как в ряде войн. И этого урока мы не забудем». И далее: «Мы кончили одну полосу войн, мы должны готовиться ко второй; но когда она придет, мы не знаем, и нужно сделать так, чтобы, когда она придет, мы могли быть на высоте».

План ГОЭЛРО открыл период великих работ по восстановлению и развитию социалистического хозяйства нашей страны.

В результате выполнения плана сталинских пятилеток хозяйственная и военная мощь Советского Союза неизмеримо возросла; в Отечественной войне народы нашей страны под руководством великого Сталина одержали военную и экономическую победу над врагом.

Все трудности, все величие пройденного за эти 25 лет пути становятся особенно наглядными, если вспомнить необычайно низкий уровень промышленной и технической базы, полученной страной Советов в наследство от дворянско-купеческой России, базы, к тому же, ослабленной и расшатанной за годы первой мировой и гражданской войн. Крайне низкий уровень развития промышленности и техники, технический застой были характерны для старой России. Это в первую очередь иллюстрируется отсталостью машиностроения и электрификации дореволюционной России. Выработка продукции машиностроительных заводов на душу населения была в десять раз ниже, чем в США. Как ни мало требовалось машин в дореволюционной России, но и те приходилось ввозить в значительной мере из-за границы. Совсем не было производства станков — этой первоосновы вооружения всего народного хозяйства. Большинство машиностроительных заводов были заводами мелкосерийного производства с присущей им примитивной технологией.

Размеры электрификации промышленности были ничтожны — лишь около $\frac{1}{3}$ рабочих машин (по мощности двигателей) приводилось в движение электроприводом. Техника электрификации была примитивна: применялся преимущественно крупногрупповой привод, приводивший в движение рабо-

чие машины через систему трансмиссий. Такой способ электрификации по существу не имел особых преимуществ перед паровым приводом, не позволяя осуществить рациональную расстановку оборудования и улучшить работу производственных машин.

Механизации трудоемких и тяжелых процессов совсем не было даже в таких решающих отраслях тяжелой промышленности, как металлургическая и каменноугольная. Все операции по обслуживанию доменных печей, мартеновских печей и прокатных станов осуществлялись даже на наиболее крупных заводах юга преимущественно вручную. Механизированная добыча угля в основном для того периода угольном бассейне — Донбассе — составляла лишь 1,7%.

Отсталость машиностроения с его убогой технологической культурой, отсутствие станкостроения и серьезной электропромышленности, низкий количественный и качественный уровень электрификации, отсутствие механизации трудоемких и тяжелых процессов во всех отраслях хозяйства, низкий уровень развития и примитивная техника черной металлургии, почти полное отсутствие цветной металлургии и химической промышленности — вот характерные черты доставшейся нам в наследство от царской России технической базы.

Ленинско-сталинская политика восстановления производительных сил после разрухи военных лет заключалась в воссоздании всего народного хозяйства не на старой нищенской основе, а на основе крупной промышленности и электрификации. Эти задачи и были отражены в плане ГОЭЛРО, который И. В. Сталин в своем известном письме к В. И. Ленину охарактеризовал следующими словами: «Единственная в наше время марксистская попытка подведения под советскую надстройку хозяйственно отсталой России действительно реальной и единственно возможной при нынешних условиях техническо-производственной базы».

Красной нитью через все наши планы развития хозяйства проходит ставка на широкое внедрение новейших достижений науки и техники. Уже в восстановительный период было положено начало технической реконструкции ряда отраслей промышленности. Но особенно величественные задачи в области технического перевооружения всего народного хозяйства были поставлены и решены в годы сталинских пятилеток.

Одна из основных задач первой пятилетки состояла в том, чтобы перевести нашу страну с ее отсталой техникой на рельсы новой, современной техники.

Главной и решающей хозяйственной задачей второй пятилетки являлось завершение технической реконструкции народного хозяйства СССР. Реконструкция была осуществлена, и промышленность

СССР переиграла главные капиталистические страны по уровню техники. В итоге трех предвоенных лет третьей пятилетки был достигнут дальнейший расцвет техники и электрификации.

По темпам развития электрических станций Советский Союз значительно опередил другие страны. Только за первые две сталинские пятилетки мощность электрических станций Союза выросла в 4,3 раза. За три мирных года третьей пятилетки был осуществлен дальнейший существенный рост электровооруженности промышленности.

Техническое перевооружение советской промышленности, создание ее передового производственного аппарата непосредственно было связано с ее электрификацией.

В плане ГОЭЛРО подчеркивалось, что широкое внедрение электропривода позволяет наиболее эффективно решить задачи интенсификации механизации и автоматизации процессов, так как именно он, электропривод, может обеспечить и любую быстротходность и автоматическую связанность механических операций, а также является наиболее совершенным базисом широкой механизации труда.

Электрификация рабочих машин непрерывно развивалась и в количественном, и в качественном отношениях. Коэффициент электрификации рабочих машин, характеризующий ее количественный уровень, возрос с $\frac{1}{3}$ в дореволюционный период до $\frac{5}{6}$ в 1940 г. Этот рост сопровождался глубокими качественными сдвигами в структуре электропривода — внедрением индивидуального и многодвигательного привода. Все более совершенствовалось сочетание электропривода с рабочей машиной, менялись конструкции последних, а также видоизменялось конструктивное оформление двигателей и аппарата управления.

Широкое применение получили процессы электролиза и электротермии, с которыми связаны наиболее прогрессивные линии развития современной техники — производство легких и цветных металлов, качественных сталей и термической обработки металлов. Удельный вес потребления электроэнергии на процессы электролиза и электротермии повысился с 2% в 1928 г. до 18% в 1940 г. В результате технического перевооружения сырьевых отраслей тяжелой промышленности и строительства были достигнуты высокий уровень механизации трудоемких и тяжелых работ.

В военный период, несмотря на тяжелый урон, понесенный промышленностью в районах, подвергшихся оккупации, техника электрификации промышленности продолжала совершенствоваться. Все большее развитие получали специальные электроприводы, внедрялась автоматика; повысился существенно удельный вес электроэнергии, потребляемой на процессы электролиза и электрификации. Достигнутый уровень электрификации рабочих машин в количественном отношении близок к оптимальному, так как паровой привод ряда агрегатов — воздуходувок в доменных цехах, мощных урбокомпрессоров, частично кузнечных молотов и прессов — по технико-экономическим показателям превосходит электрический привод.

И все же, несмотря на высокий достигнутый уровень электрификации и механизации производственных процессов, несмотря на широкое применение электролиза и электротермии, в предстоя-

щем пятилетии перед нашей промышленностью становятся все новые и новые задачи и открываются новые возможности в области более глубокого и непосредственного внедрения электрической энергии в производственные процессы.

Коэффициент электрификации промышленности по мощности двигателей и по потреблению энергии не может уже при данном уровне техники отразить действительных сдвигов в области электрификации промышленности.

Действительно, утверждение о том, что процесс электрификации промышленности близок к завершению, означало бы либо то, что техника и технология современного промышленного производства уже достигли своих вершин, либо то, что уже исчерпаны возможности электроэнергии в деле дальнейшей переделки промышленной технологии. Оба эти положения в равной мере ошибочны.

Развитие социалистической промышленности, опирающейся на развитие передовой науки и техники, на опыт строительства, по своей природе характеризуется непрерывной революцией средств производства.

В свою очередь электрификация располагает еще далеко не исчерпанными средствами технического перевооружения. Главнейшие из них: автоматизированный электрический привод — основное звено автоматизации производственных машин и технологических процессов; новые скоростные методы электросварки и электротермической обработки — средства нового большого ускорения ряда производственных процессов и изменения в заданном направлении свойств материалов; вовлечение в промышленный круговорот все новых и новых химических элементов и создание их новых сочетаний на основе электролиза и электротермии; новые скоростные и необычайно точные методы контроля в процессе производства и приемки готовых полуфабрикатов и изделий.

Не исчерпаны еще также задачи и возможности электропривода как основного механизующего звена в промышленности.

В то время как одни отрасли промышленности, заводы, производственные участки уже перешли на основе электрификации в автоматическую систему машин или приближаются к ней, другие отрасли промышленности еще стоят перед задачей механизации отдельных, часто трудоемких и тяжелых процессов. Основными причинами такого различия в техническом уровне отдельных производств и процессов в наших условиях являются особенности отдельных технологических процессов, отсутствие на данном этапе конструктивного решения ряда задач, или отсутствие в ряде случаев экономических предпосылок для организации поточного производства, являющегося необходимой предпосылкой автоматизации.

Итак, дальнейшее углубление электрификации промышленности продолжает оставаться одним из основных условий прогресса в области технологии и средств производства.

Что же следует выделить из всего многогранного арсенала современной техники в качестве ведущих средств производства, определяющих основные технические линии развития всего народного хозяйства? На первое место следует поставить автоматизацию, конвейер, комбайн, агрегатный

станок. Применение их в подавляющем числе случаев связано с массовым и поточным производством, которое в конечном счете лежит в основе хозяйственной и военной мощи современного государства.

Массовое и поточное производство позволяет наиболее полно использовать возможности, открываемые электрической энергией и как средством автоматизации и как средством механизации производственных процессов, а также как средством дальнейшего ускорения отдельных операций. Именно здесь лежит основа дальнейшего невиданного ускорения развития социалистического производства.

Особое значение поточный метод производства имеет в промышленности. Советское машиностроение должно решить задачу одновременного насыщения самыми разнообразными машинами и в огромном количестве всех отраслей народного хозяйства. Эта задача может быть решена только на основе применения во всех отраслях машиностроения массового и крупного серийного производства, на основе внедрения поточных методов производства.

Точно так же, как паровая машина была существенным производственным условием для машинной фабрикации машин, существенным и необходимым производственным условием для поточных методов производств в машиностроении является автоматизированный электрический привод с развитой системой электрического управления и регулирования, новые методы электрической сварки и электротермической обработки.

Зародившись впервые в автотракторной промышленности и получив широкое применение в отраслях военного машиностроения, поточные методы производства сейчас широко проникают во все отрасли машиностроения. Во всех отраслях машиностроения должны быть организованы механические цехи, линии и цехи для деталей и изделий массового производства. На принципе потока должно быть организовано производство универсальных станков — токарных, фрезерных, сверлильных, револьверных, плоскошлифовальных, сельскохозяйственных локомотивов, сельскохозяйственных машин, котлов небольшой производительности, транспортно-подъемных механизмов. Наконец, поточные методы найдут применение и в таких отраслях тяжелого машиностроения, как паровозо- и вагоностроение и судостроение.

Советское станкостроение, создающее предпосылки для внедрения поточного и автоматизированного производства, накопило большой опыт конструирования и изготовления автоматических станков. От чисто механических методов механизации при помощи распределительного вала и мальтийского механизма был осуществлен переход к автоматизации на основе электрических и гидравлических приводов.

Современные станки представляют собой совокупность кинематически независимых рабочих элементов, каждый из которых получает движение от электродвигателя. Контроль за правильной последовательностью, осуществляемой отдельными электродвигателями, производится автоматически при помощи специальных электрических аппаратов. На этом принципе построен ряд станков, в том числе и высокопроизводительные агрегатные стан-

ки. Гидравлические устройства применяются преимущественно для автоматизации поступательных движений как в отдельных станках, так и в автоматизированных линиях.

Примером полностью автоматизированных станков могут служить советские копировальные станки. В этих станках электрический шуп, идущий по копиру, или световой шуп при работах, производимых по световому копир-чертежу, в первом случае через ламповый усилитель, а во втором случае через фотоэлемент и затем через ламповый усилитель и другие звенья воздействует на двигатель подачи.

В агрегатных станках и в автоматизированных станочных линиях строгая последовательность движений и операций контролируется при помощи системы переключателей и различного типа реле. Каждое последующее движение совершается лишь после того, как окончание предыдущего движения проконтролировано электрическим контактом конечного переключателя, реле времени или давления.

Развитие поточных методов производств, наличие автоматизированных станков и средств автоматизации всего процесса в конечном итоге при массовом выпуске продукции подводят к применению автоматических станочных линий, которые уже проверены в нашей и зарубежной практике на предприятиях автотракторной и военной промышленности.

Эффективность применения таких линий в массовом производстве может быть иллюстрирована примером из практики американской авиационной промышленности. Автоматическая станочная линия для обработки алюминиевых головок 9-цилиндрового авиационного двигателя состоит из трех агрегатов, включающих 42 станка, на которых производится 213 операций. Конвейерный механизм служит механической связью между отдельными станками. По сравнению со стандартными и специальными станками, необходимыми для выполнения тех же операций, эта линия характеризуется следующими данными: она требует на 30% более высоких капитальных затрат, занимает вдвое меньшую производительную площадь; для ее обслуживания нужно в 4 раза меньше рабочих. В связи с этим повышенные капитальные затраты окупаются в течение нескольких месяцев.

Такая линия имеет 66 электродвигателей и сложную, разветвленную электрическую систему управления и контроля. Для того чтобы обеспечить заданную последовательность всех рабочих движений агрегата, электрическое управление рабочим циклом предусматривает целый ряд электроблокировок. Система электроконтактов и различных реле обеспечивает работу линии с предусмотренной очередностью и контроль качества обработки. Интересно отметить, что при общей длине автоматической станочной линии в 52 м общая длина всех электрических проводов цепей главного тока, управления и контроля превышает 50 км.

Наряду с автоматизированным электроприводом для массовых и поточных методов производств в машиностроении приобретают важнейшее значение новые способы электронагрева и электротермической обработки металлов.

Сравнивая ход развития электротермии и электропривода, мы наблюдаем одни и те же харак-

терные черты. На первом этапе электрификации рабочих машин — применения крупногруппового электропривода — не были раскрыты и реализованы возможности коренной переделки рабочих машин и механической технологии; точно так же до *последнего времени не были использованы и специфические свойства электрического нагрева, способного коренным образом изменить технологию термической обработки и существенно упростить и ускорить весь технологический процесс в машиностроительном производстве.* Эти свойства раскрываются только в настоящее время — при развитии применения таких электротермических методов, как прямой нагрев, высокочастотная закалка, нагрев в соляных ваннах.

Наиболее выдающейся чертой этих новых методов является: *возможность включения этих операций в единый технологический поток изготовления деталей; возможность достижения заданных механических и иных свойств отдельных деталей, изготавливаемых из одной и той же марки стали, путем применения специальных электротермических, а также химико-термических способов обработки, осуществляемых обычно в электропечах.*

Нагрев токами *высокой частоты* обеспечивает возможность максимальной концентрации энергии, т. е. дает возможность работать с большими удельными мощностями. В связи с этим нагрев тока и высокой частоты является по существу скоростной операцией. Эта быстрота операций, а также небольшие производственные площади, занимаемые высокочастотными установками, по существу и обеспечивают возможность включения операций термической обработки в единый технологический поток. Посредством токов высокой частоты могут быть закалены детали всех видов — как совсем малой величины, так и очень большие.

Устранение обезуглероживания, образования окалины, коробления является крупнейшим достоинством этого метода и позволяет во многих случаях отказаться от дальнейшей чистовой обработки деталей.

Отличительной чертой этого метода закалки является также создание поверхностной твердости изделия при одновременном сохранении вязкости сердцевины, что позволяет в ряде случаев применять простые углеродистые стали вместо легированных.

Применение прямого нагрева заготовок — индукционного (токами высокой и промышленной частот) и контактного (для штамповки иковки) — способствует ускорению и организации потока в кузнечных цехах и резко улучшает условия работы последних.

Наряду с применением токов высокой частоты широкое применение найдет нагрев в соляных ваннах при закалке, отпуске, цианировании и цементации; этот способ нагрева характеризуется быстротой и равномерностью нагрева.

В этом же направлении — повышение скорости, улучшение качества и возможность эффективного включения в единый технологический поток — *развивается и электрическая сварка.*

Разработанная в последние годы автоматическая скоростная сварка голым электродом под слоем флюса (закрытой дугой) расширила области применения сварки и повысила ее эффективность. Скорость сварки в этом случае по сравнению со свар-

кой открытой дугой может быть увеличена в 10—15 и более раз. Расплавленный металл защищен слоем флюса от доступа кислорода и азота воздуха, что позволяет получать высокое качество металлического шва. При закрытой дуге улучшаются резко условия труда; производительность труда повышается в 5—15 раз; необходимая производственная площадь сокращается в 2—2,5 раза.

Новый метод электросварки находит широкое применение при постройке судов, паровозов, танков, вагонов, сосудов, работающих под давлением, деталей машин. Быстрота операций и снижение занимаемых производственных площадей способствуют включению этого вида сварки в производственный поток.

Значительный интерес представляет изменение методов отделки поверхностных слоев металлических деталей с заменой механических методов электрохимическими. Такие процессы, как *электролитическая полировка и шлифовка* деталей, повышающая их износостойчивость и сокращающая расход металла и операции по механической обработке, найдет широкое применение в ближайшие годы.

К этим же методам относится и *электроэрозионная заточка* инструмента, оснащенного твердыми сплавами, сокращающая трудоемкость работ и улучшающая качество изделий.

Таковы роль и задачи применения электрической энергии в современном машиностроении.

Высокие темпы дальнейшего развития *сырьевых отраслей* тяжелой промышленности, для которых характерна выемка из недр и транспортировка огромных масс сырьевых материалов, могут быть достигнуты на основе применения более совершенных методов механизации трудоемких процессов и транспорта. *Комбайн и конвейер* проникают и в эти отрасли.

Основная тенденция в развитии угольной промышленности — это превращение на основе новых средств механизации добычи угля в *непрерывный механизированный поток* от выемки угля до погрузки в вагоны, при дальнейшем ускорении операций зарубки и транспортировки угля и прохождения подготовительных выработок.

Как известно, узким местом в организации непрерывного механизированного потока является навалка угля в забое, которая осуществлялась вручную. В настоящее время технически решена задача механизации этого процесса, которая в зависимости от условий будет производиться комбайнами, производящими одновременно зарубку и погрузку угля, или навалочными машинами, работающими в сочетании с врубовыми. В предстоящем пятилетии будет осуществлено впервые в крупных масштабах применение этих машин.

Применение комбайнов дает ускорение процессов добычи. В том же направлении развиваются и врубовые машины, новые типы которых характеризуются резким повышением скорости подачи. Новые средства механизации работ по прохождению подготовительных выработок — проходческие комбайны, саморазгружающиеся комбайны, скребковые транспортеры и скреперные грузники — обеспечат рост производительности труда и ускорение этих трудоемких процессов.

На ряде шахт должна быть осуществлена сплошная *конвейеризация транспорта* — как на вы-

емочном участке, так и от этого участка до ствола или поверхности шахты.

Итак, комбайн и конвейер становятся средствами, обеспечивающими непрерывный механизированный поток в угольной промышленности.

Вслед за полной механизацией процессов добычи угля в угольную промышленность начинает внедряться автоматизация управления и контроля на отдельных производственных участках (подъемные установки, насосные), а также дистанционное управление средствами транспорта.

Эти характерные для угольной промышленности тенденции — применение новых средств механизации, ускорение производственных процессов и постепенная их автоматизация — находят отражение и в других сырьевых отраслях горнорудной и нефтяной промышленности.

Все эти новые и модернизированные типы машин базируются на специальных электроприводах.

Реконструкция черной металлургии, осуществленная в годы сталинских пятилеток, коренным образом изменила весь ритм работы металлургических заводов. Созданы предпосылки механизации работы всех агрегатов и механизмов. В порядке дня стоит завершение полной механизации трудоемких процессов с применением более совершенных ее средств в доменных, мартеновских (разделки и погрузки металлической шихты) и прокатных цехах.

Металлургия — область применения наиболее сложных систем электропривода.

Дальнейшее повышение производительности прокатных станов требует широкого внедрения новых схем автоматизированного электропривода, с применением принципа *непрерывного* управления электроприводом с наличием *обратных связей* между двигателем, рабочим агрегатом и управляющей аппаратурой. К таким новым схемам относятся применение в качестве аппаратов управления специальных вращающихся электрических машин — *амплитудов.*

Наряду с автоматическим электроприводом широкое применение получают автоматизация основных для металлургии тепловых процессов в доменных и мартеновских печах, а также новейшие методы контроля процессов или качества металла.

Если в промышленности стоит задача *углубления* электрификации, то в области транспорта и сельского хозяйства предстоящий период будет периодом больших работ *по расширению* применения электрической энергии. Так же, как и в промышленности, электрическая энергия является мощным техническим средством ускорения технологического процесса на железнодорожном транспорте, обеспечения ритмичности и бесперебойности его работы.

Эффективность *электрификации железнодорожного транспорта* — резкое повышение его пропускной и провозной способности, замена высокосортных видов паровозного топлива местным и сокращение его расхода в 2,5—3 раза, повышение производительности труда и снижение себестоимости перевозок неоднократно освещались в нашей литературе. Можно утверждать, что ни в одной стране электрификация железных дорог так не назрела, как в Советском Союзе. Концентрация грузооборота на главных направлениях, суровые климатические условия, затрудняющие в зимнее время ра-

боту паровозов, в одних районах, безводные пространства — в других, необходимость скоростного преодоления больших расстояний между отдельными, экономически дополняющими друг друга районами, горный рельеф таких областей, как Урал, Закавказье, выдвигают немедленный и быстрый разворот работ по электрификации железных дорог как одну из актуальнейших народнохозяйственных задач.

Мощное машиностроение и электропромышленность, накопленный опыт эксплуатации электрифицированных дорог в годы сталинских пятилеток и в военные годы создали необходимые для этого предпосылки. Среди десятков тысяч километров железных дорог, созревших для электрификации, на первое место следует поставить Урало-Кузнецкое направление.

За годы сталинских пятилеток мелкотоварное крестьянское хозяйство было переведено на рельсы крупного механизированного коллективного производства. Эта реорганизация, высокая политическая и колхозная организованность в сельском хозяйстве позволили обеспечить страну в период Великой Отечественной войны продовольственными товарами и сельскохозяйственным сырьем. Война нанесла тяжелый урон сельскому хозяйству.

Сейчас перед колхозами стоит задача восстановления в кратчайшие сроки сельского хозяйства и его дальнейшего подъема, повышения уровня жизни и культуры колхозников.

В связи с этим, как никогда раньше, во весь рост стала задача широкой электрификации сел и производственных процессов в сельском хозяйстве, ибо электрификация служит мощным средством повышения продуктивности сельского хозяйства — особенно животноводства, — обеспечивает существенное снижение затрат труда и облегчает его условия, коренным образом перестраивает бытовой уклад населения и возможности его культурного обслуживания.

Довоенный период был по существу периодом накопления хозяйственного и технического опыта электрификации производственных процессов сельского хозяйства — широкой проверки ее в производственных условиях. В количественном отношении уровень электрификации сельского хозяйства был низок. Если до войны были электрифицированы немногие проценты колхозов, то для ближайших лет стоит задача электрификации десятков процентов колхозов.

Первоочередной задачей является электрификация животноводства. Длительная производственная проверка показала, что электрификация животноводческих ферм повышает продуктивность хозяйства не менее чем на 10%. Резко повышается также производительность труда. Только применение электромеханического водоснабжения дает в среднем на один колхоз снижение затрат на 1 000 человеко-дней в год, а также резкое сокращение тягловой силы. Столь же эффективны процессы электродойки, вдвое сокращающие затраты труда и облегчающие его условия. В 3—4 раза может повысить производительность труда на соответствующем участке применение электропылесосов для чистки животных и уборки производственных помещений.

Проверена также в производственных условиях и подтверждена эффективность физиологического действия электрического освещения и нагрева на

повышение продуктивности в птицеводстве, в тепличном хозяйстве.

Значительное распространение до войны получила электромолотьба, дающая снижение трудовых затрат в 2 раза и позволяющая сократить расход жидкого топлива.

Электромеханическое орошение огородных культур, как показывает практика, дает значительное повышение урожайности и обеспечивает ее устойчивость.

Огромное хозяйственное и культурное значение применения электрической энергии для освещения, отопления, радиоустановок в селах не нуждается в пояснениях.

Выше были приведены данные, характеризующие влияние электрификации на повышение производительности труда в отдельных процессах сельскохозяйственного производства. В работе Энергетического института Академии наук СССР «Комплексная электрификация пригородного сельского хозяйства» приведены следующие интересные данные о суммарной эффективности комплексной электрификации пригородного сельского хозяйства.

В пересчете на 1 000 kW мощности, потребляемой сельским хозяйством, экономия постоянной рабочей силы составляет 230 человек и сезонной 150 человек; снижение потребности в лошадях составляет на год 42 и дополнительно на сезон—36 штук; экономия жидкого топлива—1,3 t в год; добавочная продукция, получаемая в год за счет электрификации—овощей 4,5 t, молока—1 t, яиц 1,8 млн. штук.

Интересно отметить, что трудовые затраты сельского населения на сооружение малой гидроэлектростанции в течение 2—3 лет уже перекрываются достигнутой в результате электрификации экономией рабочей силы.

Одним из существенных условий повышения уровня жизни городского населения является все большее насыщение городов электроэнергией. Электрическое освещение и электрифицированный транспорт в городах достигли в предвоенный период более высокого, чем в довоенный, уровня, то нагревательные приборы население пользовалось совсем в незначительной мере. В настоящее время в ряде городов, главным образом в Москве и Ленинграде, нагревательные электрические приборы получили широкое распространение. В ближайшие годы потребление электроэнергии для различных бытовых нужд должно неуклонно возрастать. Должно быть организовано производство электрохолодильников, стиральных машин, пылесосов. *Электрическая энергия должна быть широко внедрена во все сферы домашнего и городского хозяйства.*

Наряду с газификацией и теплофикацией городов это внесет существенное изменение в условия жизни.

* * *

Дальнейшее углубление электрификации промышленности при высоких темпах ее роста, постепенная, все расширяющаяся электрификация железнодорожного транспорта и сельского хозяйства, электрификации городов и сел, немыслимы без опережающего развития электростанций.

Наряду с этим, возрастающий удельный вес непрерывных и поточных методов производства, процессов электролиза и электротермии, применение

специальных электроприводов, ускорение ритма всего общественного производства, предъявляют все повышающиеся требования к надежности и бесперебойности электроснабжения, а также к качеству электротермии (поддержанию частоты и напряжения).

Отсюда все острее становится задача создания технических и хозяйственных резервов электрической мощности и внедрения новой техники, обеспечивающей эти непереносимые условия электроснабжения.

Уже в военный период годовой ввод в действие мощностей на электрических станциях Союза ССР по уровню приближался к суммарной мощности электростанций, предусмотренных планом ГОЭЛРО.

Но и тут достигнутый уровень строительства электростанций не может обеспечить растущих потребностей народного хозяйства и должен быть резко повышен.

Развитие *районных электросистем*—основной базы электроснабжения, проверенной в условиях Великой Отечественной войны, продолжает оставаться основным путем дальнейшего роста электростанций.

Строительство в районах важнейших электросистем крупных опорных тепловых и гидроэлектростанций (с подключением к сетям малых и средних теплоэлектростанций и гидроэлектростанций) должно обеспечить надлежащие темпы наращивания мощностей.

Но не меньшее значение для электрификации всей страны приобретает широкое строительство *средних и мелких электростанций.*

Электрификация всех городов, широкая электрификация сел и колхозов, развитие промышленности по переработке сельскохозяйственного сырья, местных строительных материалов, создание сети ремонтных заводов и предприятий местной промышленности, требуют массового строительства станций небольшой мощности, работающих на местных энергетических ресурсах,—прежде всего малых гидроэлектростанций.

Только сочетание крупной и мелкой энергетики может решить предстоящие задачи комплексной электрификации страны.

В результате выполнения сталинских пятилеток, Советский Союз в предвоенные годы вышел на одно из первых мест в мире по выработке электроэнергии.

Немецкие фашисты нанесли тяжелый урон электростанциям районов, подвергшихся оккупации. Они взорвали, сожгли и частично разрушили 61 крупнейшую и большое количество местных электрических станций с общей мощностью около 5 млн. kW, вывели из строя около 10 тыс. км высоковольтных линий электропередач и вывезли в Германию 14 тыс. паровых котлов, 1 400 турбин и 11 300 электрогенераторов.

Среди разрушенных электростанций—гидроэлектростанции Ленинградской системы, Днепродзержинская, Зуевская, Штеровская, Северо-Донецкая, Днепропетровская, Криворожская, Шахтинская, Кураховская, Несветаевская, и другие опорные электростанции Южной угольно-металлургической базы, электростанции Харькова, Киева, Воронежа, Сталинграда и др.

Уже в военный период интенсивно осуществлялось восстановление этих электростанций, но в силу

больших масштабов разрушений, для полного восстановления до предвоенного уровня электрических мощностей в районах, подвергшихся оккупации, потребуются несколько лет. Однако, несмотря на это, к концу предстоящей пятилетки довоенный уровень электрохозяйства в этих районах может быть существенно превзойден. В тыловых районах, особенно в восточных районах Союза, электростанции, в связи с перебазированием, получили в военный период большое развитие. Там создан и будет развиваться ряд новых опорных энергетических узлов. В предстоящие годы должно быть осуществлено дальнейшее серьезное наращивание их мощностей. В крупных восточных энергосистемах довоенный уровень мощности электростанций резко возрастет.

В целом по Союзу довоенный уровень развития электрических станций будет значительно превзойден.

Высокие темпы развития электрохозяйства немислимы без внедрения *новой энергетической техники*, позволяющей мобилизовать внутренние ресурсы электрохозяйства для дальнейшего ускорения его развития.

Первоочередной задачей в области строительства тепловых электростанций является немедленное и в крупных масштабах внедрение *пара высокого давления*. В настоящее время мощность тепловых электростанций, работающих на высоком давлении, составляет лишь несколько более 1%. В ближайшие пять лет удельный вес таких станций и агрегатов должен быть резко повышен, что может дать экономию топлива до 2 млн. т в год (в условном выражении).

Наряду с установкой одновальных агрегатов высокого давления широкое применение получают предвключенные турбины, что позволяет осуществить перевод на высокое давление ряда действующих станций.

В области котельной техники предусматривается дальнейшее развитие камерного сжигания углей и торфа и перевода ряда существующих котлов со слоевого на пылеугольное отопление.

Широкое применение получают котлы с жидким шлакоудалением.

Значительные упрощения, но на основе новой техники будут произведены в области *пылеприготовления*. Для сжигания пламенных каменных и других углей и фрезерного торфа будут широко использованы шахтно-мельничные топki.

Значительное развитие получают также индивидуальные схемы пылеприготовления без промежуточных бункеров, а также применение пневмомельниц. Эти виды пылеприготовительных устройств обеспечат существенное снижение капитальных затрат на строительство котельных, снижение потребности дефицитного оборудования, а также уменьшение расходов электроэнергии на пылеприготовление.

В результате проведения указанных и ряда других мероприятий в области котельной техники, в частности водоподготовки, значительно повысится экономичность, устойчивость работы и надежность котлов.

Решительный перелом должен быть осуществлен в области *автоматизации тепловых процессов*, проверенной уже в нашей и заграничной практике.

В первую очередь здесь предполагается широко внедрить автоматические регуляторы горения, что позволит повысить к. п. д. котлов не менее, чем на 2%. Будут применены также автоматические регуляторы загрузки мельниц и питания котлов.

Одной из основных задач в области строительства электростанций является дальнейшее развитие *теплоэлектроцентралей и теплофикации*.

Наряду с применением высокого давления на теплоэлектроцентралях следует отметить более широкое, чем в предвоенные годы, внедрение турбин с противодавлением, как на действующих районных электростанциях, так и особенно на промышленных теплоэлектроцентралях. Применение этих турбин позволит значительно повысить выработку электроэнергии по теплофикационному циклу, что обеспечит существенную экономию топлива.

Важнейшей задачей является развитие тепловых сетей и подготовка потребителей тепловой энергии в районах действующих теплоэлектроцентралей. Это должно обеспечить полное использование теплофикационных мощностей последних, и тем самым, повысить экономичность их работы.

В ближайшие годы должна быть проведена в промышленных условиях опытная проверка нового типа первичного двигателя *газовой турбины*, которая в современных условиях становится уже, в ряде случаев, конкурентоспособной с паровыми турбинами.

Очень большая задача стоит в ближайшие годы перед строительством *гидроэлектростанций*. Ввод в действие мощностей на гидроэлектростанциях будет значительно опережать темпы развития тепловых электростанций, и удельный вес гидроэлектростанций будет повышаться.

Полностью и в кратчайшие сроки предстоит закончить восстановление гидроэлектростанций мощностью в сотни тыс. kW, разрушенных фашистами, в том числе Днепрогэс и Свирской гэс. Предстоит завершить строительство большого числа гидроэлектростанций, начатое в третьей пятилетке и в военные годы. Должны быть построены такие крупные опорные гидроэлектростанции как Камская гэс на Урале, Мингечаурская в Азербайджанской ССР и другие.

Количество *мелких гидроэлектростанций*, которые должны быть построены в ближайшие годы для электрификации сельского хозяйства измеряется многими *тысячами*, а мощность их — многими *сотнями тыс. kW*. В районах отдаленных от районных электросетей и промышленных станций, мелкие гидростанции должны стать основным источником электроснабжения сел и колхозов.

Выше уже отмечалось возрастающее значение надежности, бесперебойности и качества электроснабжения. В свете этого большой размах должны получить применение автоматизации электрических процессов при помощи регуляторов напряжения, регуляторов частоты, автоматов ввода резерва и с временных быстродействующих релейных защит высокочастотных, импедансных, реактансных и др.

Такова краткая характеристика новых больших задач электрификации в восстановлении и развитии народного хозяйства СССР.

К 25-лѳтнему юбилею плана ГОЭЛРО

Академик Г. М. КРЖИЖАНОВСКИЙ

В. И. Ленин неоднократно указывал, что годы, которые переживала наша страна после Великой Октябрьской социалистической революции, — совершенно особые годы. Они настолько насыщены содержанием, что десятилетие таких лет представляет целую историческую эпоху. Что же сказать про те четверть века, которые отделяют нас от времени составления плана ГОЭЛРО?

Мне думается, что тому советскому поколению, познавательная жизнь которого сложилась уже в послеоктябрьские годы, даже трудно себе представить всю разницу в обстановке нынешних дней по сравнению с тем далеким временем.

Отмечая 25-летие ГОЭЛРО, прежде всего вспоминаешь знаменательный VIII Всероссийский Съезд Советов, на котором впервые был обнародован этот план. Вспоминается сцена Большого театра, по чашим нынешним масштабам весьма слабо освещенная, вся громада ярусов, наполненная своеобразными участниками съезда. Среди них было много бойцов Красной Армии. Достаточно было взглянуть на них, чтобы видеть, как много каждому из них пришлось пережить.

Но, конечно, прежде всего вспоминается, исполненное мысли и воодушевления, лицо Владимира Ильича, создателя Красной Армии и той армии социалистического труда, задачи которой он так ясно начертал в своем докладе на этом съезде.

Каждый из нас, участников VIII Съезда, никогда не забудет, каким откровенным были для всех нас основные тезисы бессмертного выступления В. И. Ленина.

В. И. Ленин предсказывал, что вслед за первой волной мировых войн пойдет вторая волна, что надо заранее готовиться к новым еще более грандиозным боям...

Вы легко себе можете представить, какое чувство охватывало всех нас, работников ГОЭЛРО, когда в своей исторической речи В. И. поднял высоко над трибуной том трудов, представлявший доклад Государственной комиссии по электрификации VIII Съезду Советов, и провозгласил с особо подчеркивающей силой, что здесь, в этом месте, дана вторая программа нашей партии...

Материалы VIII Съезда показывают, что в рядах его участников было некоторое количество меньшевиков, эсеров и всякого рода временных попутчиков. Нетрудно вообразить, каково было смущение всей этой группы, когда В. И. Ленин впервые бросил с трибуны съезда во всенародное обращение свой исторический лозунг: «Коммунизм — это есть советская власть плюс электрификация нашей страны».

Каждый из нас, свидетелей этого выступления В. И. Ленина, отдавал себе отчет, что он является участником события исторической значимости. Вы легко себе представите, с каким чувством смущения и неуверенности в своих силах пришлось мне выступить с докладом о плане ГОЭЛРО на той конференции, которую только что оставил товарищ Ленин...

Помню, что я сошел с этой кафедры после длинного доклада с таким чувством, что я совершенно не выполнил своей задачи, что я не сказал и малой доли того, что должен был сказать. И только ободряющая улыбка В. И. Ленина и дружеские слова товарищей смогли успокоить мою тревогу.

Теперь, оглянувшись назад, мы, работники плана ГОЭЛРО, не имеем основания для поправки самих себя в проделанной нами работе. Конечно, в свете нынешних масштабов наметки плана ГОЭЛРО представляются весьма скромными. Однако нельзя забывать, что масштабами нынешних дней не приходится мерить наметки, созданные четверть века тому назад.

Проект электрификации России по плану ГОЭЛРО во всяком случае являлся первой руководящей нитью единого государственного плана народного хозяйства.

Предполагалось, что в течение 10—15 лет возможно будет восстановить на базе широкой электрификации основных разделов хозяйства все то, что было разрушено войной, и примерно удвоить по сравнению с 1913 г. всю промышленную продукцию страны. Тем самым темпам хозяйственного движения вперед придавалось такое ускорение, которое было бы совершенно нереально для дореволюционной России.

В 1913 г. было выплавлено около 4,2 млн. т чугуна и столько же стали. В 1920 г. выплавка стали опустилась ниже 200 тыс. т, а чугуна до 116 тыс. т, план же ГОЭЛРО намечал увеличение производства чугуна до 8,2 млн. т и стали до 6,5 млн. т. Добычу угля по сравнению с 1913 г. предлагалось примерно удвоить, а добычу торфа — увеличить даже в 10 раз. По плану ГОЭЛРО намечалась электрификация 3,5 тыс. км железнодорожных путей и строительство 30 тыс. км новых линий железных дорог.

Электрохозяйство советской России должно было опираться на налаженную работу основных экономических районов страны, каждый из которых должен был иметь свою группу крупных районных электростанций, связанных в единое целое сетью высоковольтных электропередач. Эти станции должны были питаться по преимуществу местным топливом, причем должно было быть обращено особое внимание на разные виды неперевозимых топливов: бурые угли, типа угля подмосковного, и в особенности — на торф.

Особая роль отводилась тому десятку гидроэлектростанций, которые должны были быть сооружены на Днепре, Волхове, Свири, Кубани, Тереке, Иртыше и других реках. Но наряду с крупными реками подчеркивалось значение и малых потоков, пригодных для устройства небольших электростанций в целях электрификации сельскохозяйственных районов.

Общая установленная мощность районных станций должна была составить около 1750 тыс. kW, причем сразу же приходилось думать об импорте иностранного оборудования для этих новых 30 электростанций, ибо собственная электропромышленность, еще недавно бывшая в цепких руках ино-

странных владельцев, находилась з жалком состоянии.

Когда мы подсчитывали, что для нужд электрификации индустрии, транспорта и сельского хозяйства необходима затрата 1 млрд. 200 млн. зол. руб., то большинству критиков такое признание казалось неосуществимым признанию полнейшей несостоятельности плана ГОЭЛРО. Недаром в те давние времена враги подменяли термин электрификации злобным словечком «электрификации».

Фактически начало осуществления плана ГОЭЛРО в таких темпах, которые можно было бы принять за отправные, следует отнести к 1922—1923 хозяйственному году. Как известно, этот год был годом перелома в экономике страны: хребет острой разрухи был уже сломан. А к 1931 г., т. е. примерно через девять лет после этой отправной даты, план ГОЭЛРО был уже значительно перевыполнен. Уже к концу 1930 г. установленная мощность районных станций достигла 2 105 тыс. kW.

К XV годовщине плана ГОЭЛРО мощность всех районных станций уже была выше 4 млн. kW, т. е. превосходила более чем в два раза мощность станций, намеченных по плану ГОЭЛРО.

Таков был фактический ответ нашей советской действительности на всю ту критику, которую наши недруги высказывали по адресу начинаний социалистического преобразования России.

Как известно, в 1923 г. В. И. Ленин находился уже в когтях тяжкой болезни. У руля великой социалистической стройки встал И. В. Сталин. На его-то плечи и выпала вся тяжесть выполнения первого генерального плана нашего хозяйственного переустройства. Товарищ Сталин, ближайший друг и соратник Ленина, всецело разделял его взгляды на значение плана ГОЭЛРО. В своем историческом письме к Ленину относительно плана ГОЭЛРО Сталин рекомендовал: немедленно приступить к практической реализации этого плана и интересам этого подчинить, по крайней мере, треть всей работы.

Вторжение фашистских орд нарушило громадную стройку под знаменем сталинских пятилеток. И в эти дни 25-летнего юбилея ГОЭЛРО, являющегося отправным пунктом последующих пятилетних планов, с особой силой вспоминаются указания Сталина на всех поворотных пунктах наших работ за истекшую четверть века. Мы помним «годы великого перелома», помним — пятилетки «великих работ и развернутого социалистического наступления», помним большевистские наступления на фронте металлургии, машиностроения, борьбу за создание новых угольных, нефтяных и металлургических баз на Востоке, колоссальный переворот в области нашего сельского хозяйства.

Ныне в свете событий Великой Отечественной войны мы с особенной ясностью отдаем себе полный отчет в громадном значении для судеб страны советов всей этой проделанной работы и в полной мере представляем себе, каковы должны были быть усилия, превратившие нашу страну на пороге третьей сталинской пятилетки уже во вторую, по мировому счету, индустриальную державу.

Ныне весь мир знает, кто был гениальный кормчий нашего государственного корабля и кто был первоисточником необходимого для победы, сокрушающего все и всяческие препятствия, всенародно-го воодушевления.

Итоги Отечественной войны ясно показывают, что ожидало бы нашу страну, если бы она оказалась не столь подготовленной к неслыханно-по своему ожесточению борьбе. И в этом смысле трудно переоценить тот вклад, который сделан под руководством двух гениев человечества—Ленина и Сталина — созданием и реализацией государственных хозяйственных планов, начиная от плана ГОЭЛРО и кончая планами великой Сталинской эпохи.

В дни четвертьвекового юбилея ГОЭЛРО уместно с благодарностью отметить всю ту группу работников этого плана, которая всем вооружением своего интеллекта и всем своим жизненным трудовым опытом честно включилась в ряды пионеров борьбы за новый советский хозяйственный уклад. Особенно ярко припоминается, как подбадривал В. И. Ленин работников ГОЭЛРО своей непреклонной верой в грядущую победу. Достаточно пробежать строки пламенного обращения В. И. Ленина к VIII Всероссийскому электротехническому съезду, чтобы видеть, как реалистично и вместе с тем проникновенно расценивал Владимир Ильич ситуацию тогдашнего трудного времени.

* * *

Ныне перед нашей страной стоит благодарная и ответственнойшая задача — выработка проекта нового пятилетнего плана восстановления и развития народного хозяйства.

Условия, в которых приходится приступать к этой работе, резко отличаются от тех условий, при которых мы работали над планом ГОЭЛРО. Правда, в том или другом случае страна наша только-только выходила из-под военных ударов, но хозяйственно-политическая обстановка, в которой находится СССР, резко отличается от обстановки экономической разрухи после первой империалистической войны и двух лет гражданской войны.

Из нынешнего горнила войны, несмотря на всю тяжесть ее ударов, страна наша вышла с великолепными боевыми навыками, с рядом одержанных громадных побед не только на линиях фронта, но и на обширном поле хозяйственного труда. Мы с особенной ясностью чувствуем, как окреп за эти годы неслыханных испытаний наш советский строй. Эти итоги грандиозной военной эпопеи явственно говорят всему миру о подлинной несокрушимости борцов, идущих под победоносным знаменем Ленина—Сталина. Эти итоги следует подчеркнуть с особой силой, ибо только с учетом их могут быть созданы правильные контуры новой пятилетки.

При составлении плана ГОЭЛРО соединение усилий группы в 200 научных и инженерных работников разных рангов казалось большим достижением. Наши связи с зарубежным миром в двадцатые годы были крайне затруднены. Недозерчивое, зачастую прямо враждебное отношение к нашим начинаниям мы встречали тогда со стороны многих научно-технических работников как внутри страны так и в особенности за ее рубежом.

Нечего и говорить, что сейчас к работам по составлению новой пятилетки привлечены многие тысячи квалифицированнейших работников. По-новому может быть вовлечен в эту работу и нынешний новый аппарат Академии наук СССР, академий наук союзных республик и других научно-исследовательских организаций.

Какие же пожелания хотелось бы высказать в связи с развернувшейся огромной творческой работой по составлению нового пятилетнего плана?

Первым особенно важным вопросом является масштаб строительства электроэнергетической базы. Напомним, что война сорвала наше электростроительство как раз на позициях третьей сталинской пятилетки, при выполнении которой к 1942 г. предполагалось поднять установленную мощность электростанций СССР примерно вдвое по сравнению с исходным годом этой пятилетки. В тот период только два капиталистических государства опережали Советский Союз по масштабам своего электроэнергетического хозяйства — это США и Германия.

Ныне электроэнергетика Германии уже не является нашим конкурентом; союз миролюбивых наций на этот раз располагает всеми возможностями для того, чтобы держать в надежной узде технику Германии в тех разделах, которые могли бы быть опасными для грядущих судеб человечества. Электроэнергетика — один из важнейших факторов военного хозяйства и военной техники; здесь поэтому нужна особая бдительность.

Однако пройти в наших проектных расчетах мимо гигантского прогресса США, который осуществлен этой страной за шесть лет войны, мы никак не можем. Суммарный электробаланс США к 1942 г. оценивался в 235 млрд. kWh, что составляет около $\frac{2}{5}$ мирового производства электроэнергии, исчисляемого кругло 600 млрд. kWh. Суммарная установленная мощность всех станций США (общего пользования и промышленных) на 1 января 1945 г. выражалась цифрой около 60 млн. kW, но особенно характерно то обстоятельство, что в Соединенных Штатах на период 1942—1944 гг. первоначально намечался ежегодный ввод новых электромошностей свыше 3 млн. kW. Правда, в дальнейшем Управление по делам военного производства в США ввиду недостатка металлов и остро дефицитных материалов, а также по причинам загрузки заводов чисто военными заказами сильно сократило эту программу, но самый факт ее появления весьма знаменателен.

Едва ли можно оспаривать, что важной задачей предстоящей пятилетки явится создание в СССР надежного энергетического фундамента в дальнейшем мирном соревновании с крупнейшими передовиками индустриального мира. Для этого необходим такой подъем нашего электростроительного потенциала по вводу новых электромошностей, который весьма значительно превышал бы довоенную норму. Для этого необходим также и значительный подъем энергомашиностроения и всей электропромышленности.

Далее, необходим всесторонний учет сдвигов новейшей техники, ясно наметившихся за время военных лет.

Наряду с громадным прогрессом автоматики и телемеханики в деле управления обширными электроэнергетическими системами, наряду с необходимостью освоения в области паротехники высоких температур и высоких давлений следует особое внимание обратить на новую стадию соперничества *стоянного тока с трехфазным током.*

Не забудем, что недостаточное развитие электропередач было одним из самых узких мест наших электросистем и что выясняющиеся ныне технические и экономические преимущества при пере-

ходе от высоковольтных воздушных передач трехфазного тока к высоковольтным кабелям постоянного тока чрезвычайно упрощают для такой огромной страны, как наша, разрешение проблемы передачи больших мощностей на весьма дальние расстояния.

Новейшие успехи в области использования постоянного тока высокого напряжения, кстати сказать, гениально предвиденные еще в начале 90-х годов нашим соотечественником М. О. Долгизо-Добровольским, вместе с тем чрезвычайно облегчают всю экономическую обстановку при сооружении больших гидроэлектростанций на речных потоках, удаленных от индустриальных центров, и по-новому ставят как вопросы электрификации транспорта, так и планы электрификации сельского хозяйства и все ленинское задание о необходимости электрификации «всей страны».

Вспоминается, какой сильный интерес вызывал у В. И. Ленина всякий прогрессивный шаг вперед в деле передачи электрических мощностей на значительные расстояния, с успехами в этой области он связывал большие надежды. Нас, работников ГОЭЛРО, он неоднократно расспрашивал, почему в наших электротехнических проектах ограничивается радиус действия районных электроцентралей передачей больших мощностей кругло на сто с небольшим километров и насколько централизованной и автоматизированной по условиям тогдашнего времени может являться большая электросистема.

Столь же дальнорочкой являлась мечта В. И. Ленина о том, чтобы в кратчайший срок дать в каждую деревенскую избу электрическую лампочку. Припомните его письмо по этому вопросу, в котором он придавал такое значение самостоятельности широких крестьянских масс.

Навстречу новым широким планам крупных электросистем идет растущее из года в год строительство сельской электрификации. Перед Отечественной войной у нас насчитывалось уже более 7 тыс. сельских электростанций. Их мощность составляла около 300 тыс. kW, а выработка электроэнергии достигла 450 млн. kWh. Уже в военное время поднялась новая волна самостоятельности по строительству мелких гидроэлектростанций. В первом полугодии нынешнего года строилось 523 малых гидроэлектростанций, из них 114 уже введено в эксплуатацию.

Итак, всесторонний учет прогресса электротехники и особенно в области постоянного тока высокого напряжения, дальнейшего расширения сферы работы наших электроэнергетических систем с охватом интересов сельской электрификации — вот что является нашим вторым пожеланием в аспекте работ по новой пятилетке.

В свое время в США была издана любопытная книга под наименованием: «Тенденции развития техники и национальная политика». Эта книга была составлена при активном участии Американской Академии наук и являлась в некотором отношении официальным документом. В ней мы находим следующую многозначительную цитату:

«В Советском Союзе прогресс техники используется как средство осуществления государственных задач по развитию социалистически планируемого хозяйства в целях удовлетворения возрастающих нужд потребителя. Определяющая основа на-

личия или отсутствия препятствий для технических изменений связана таким образом с социальной природой общества, и прежде всего с его экономической структурой, от которой зависят реализация инициативы населения и способы, которыми эта инициатива может быть реализована в плановом хозяйстве.

Капитализму присущи в его структуре и деятельности факторы, которые противостоят реализации этой инициативы и препятствуют связи индустриальной техники с научными знаниями».

В этой заметке ощущается, что и за рубежом нашей страны начинают отдавать себе отчет в таких преимуществах советской системы, которые наглядно вскрывают особые резервы социалистического строя.

Уже в довоенное время нам неоднократно приходилось иллюстрировать некоторые особо сильные *преимущества* нашей электроэнергетики. Нет никаких сомнений, что *каждый установленный киловатт в наших электросистемах имеет гораздо большую общественно-экономическую значимость, чем такой же киловатт в капиталистических странах*. Однако до сих пор выходило как-то так, что наиболее образцовые электростанции в смысле полноты автоматизации и т. п. мы находили за нашим рубежом, хотя и там эти станции в окружающей их обстановке во всяком случае были некоторым исключением. Думается, что новая пятилетка должна покончить с нашей отсталостью и в этом отношении. *Необходимо озаботиться о выделении некоторых электростанций с тем, чтобы эти электростанции действительно воплощали в себе последнее слово науки и техники*. Они должны быть одновременно и школой научной организации труда в наших электросистемах. Таково наше третье пожелание.

Наблюдатели технического прогресса в США единодушно свидетельствуют, что его командными высотами являются две области: энергетика и хи-

мия. Отметим, что прогресс в области правильного комплексного энергохимического использования разных видов топлива как раз целиком отвечает необходимому движению в этом направлении.

Нельзя не подчеркнуть, что наш энергобаланс по сравнению с энергобалансом США особенно дефицитен как раз по линии газификации. Нельзя упускать из виду, что нам предстоит выполнить и другое великое задание В. И. Ленина — *практически освоить подземную газификацию*. Отсюда — четвертое пожелание к проекту пятилетки: вопросы газификации и энергохимического использования разных видов топлива, и в особенности местных топлив, должны быть должным образом учтены при составлении пятилетки, которая должна *идти под знаменем правильного комбинирования установок по электрификации, теплофикации и газификации*.

Не раз отмечалось, что очередные этапы в развитии культуры теснейшим образом связаны с этапами энергетики. Успехи зарубежного мира в области внутриатомной энергии, несомненно, свидетельствуют о том, что эта энергия может открыть новые страницы культуры и энергетики. *Однако мы уверены, что союз советских физиков и советских энергетиков и в этой области скажет свое особое, свое решающее и несущее новую победную радость весть всему человечеству, слово*.

Историческая значимость плана ГОЭЛРО — не в простом перечне его количественных ставок, которые в наши дни представляются весьма скромными, а в том, что он был *первым научно-выработанным планом социалистической стройки громадной страны, составленным таким образом, что сама жизнь подтвердила правильность его ведущих установок*.

В этом смысле этот план был и остается *победоносным вызовом мира нового, мира света и свободы миру старому, миру жестокой нужды, яростной эксплуатации и насилия человека над человеком*.

Двадцать пять лет назад

М. А. ШАТЕЛЕН

Член-корреспондент Академии наук СССР

Двадцать пять лет—достаточно большой срок для того, чтобы детали событий даже большой важности могли стереться из памяти современников. Но есть события, которые никогда не забываются. При мысли о них даже через 25 лет вспоминаются все новые и новые подробности. К числу таких событий принадлежит то событие, 25-летие которого мы теперь отмечаем, — появление плана ГОЭЛРО—плана электрификации страны как базы ее хозяйственного и культурного развития и связанного с этим развитием повышения ее оборонной мощности.

Работы по электроснабжению отдельных предприятий и городов, а в редких случаях и небольших районов велись в России и раньше, в дореволюционное время, отчасти городскими самоуправлениями, но главным образом частно-капиталистическими организациями. Однако идея «электрификации» в том смысле, как мы понимаем ее теперь, не существовала. Она была впервые высказана В. И. Лениным и осуществлена в «Плане ГОЭЛРО» и в планах сталинских пятилеток.

Я хорошо помню то впечатление, которое произвело появление этого плана на большинство энергетиков и электриков. Это—впечатление начала новой эры в электроснабжении, получающем уже совершенно новое экономическое и техническое значение. Все энергетики сразу поняли значение этого плана. Были, конечно, и скептики, но их среди энергетиков было немного и действительность скоро заставила их замолчать.

Электрики были более других подготовлены к восприимчивости идей Ленина в отношении электрификации. Уже в течение почти трех десятков лет они обсуждали на своих съездах и в своих технических обществах отдельные вопросы, близкие по своему содержанию к вопросам, разработанным в плане ГОЭЛРО. Вопросы использования водных сил и торфа, вопросы электрической передачи энергии и многие другие обсуждались подробно и даже осуществлялись, правда, в весьма малых масштабах. Например, была осуществлена весьма небольшая гидроэлектростанция в Ессентуках, питавшая район Минеральных Вод; построена высоковольтная по тому времени электропередача в Баку (20 000 V) для питания района нефтяных промыслов и т. п. Как бы далеки ни были эти скромные работы от работ, связанных с электрификацией, задуманной В. И. Лениным, все же они готовили ряд работников — электриков, гидротехников и теплотехников. Далее, сейчас же после Октября начались работы по электроснабжению отдельных районов: Урала, Донбасса, Центрального района, Ленинградского района и т. д. Эти работы положили начало биранию и обработке ряда сведений, которые пригодились потом для составления плана ЭЛРО. В 1918 г. по указаниям В. И. Ленина и создан «Центральный электротехнический совет», сыгравший громадную роль и в подготовке, в осуществлении плана ГОЭЛРО. Этот Совет объединил как московских, так и ленинградских энергетиков, что облегчило развертывание работы

над гигантским по тому времени планом электрификации, планом ГОЭЛРО.

Когда мы впервые узнали о предстоящей организации Комиссии по составлению плана электрификации России, мы были просто ошеломлены грандиозностью этих идей. С особым энтузиазмом мы включились в работу и в исключительно короткое время выполнили задание и издали книгу «План электрификации России», про которую товарищ И. В. Сталин мог сказать: «Превосходная, хорошо составленная книга. Мастерской набросок действительно *единого* и действительно *государственного* хозяйственного плана без кавычек».

Жизнь подтвердила эту оценку: план ГОЭЛРО был осуществлен и положил основание для дальнейших планов электрификации, которые разрабатывались и осуществлялись в течение сталинских пятилеток. Успешное составление плана ГОЭЛРО оказалось возможным лишь потому, что деятельностью Комиссии непрерывно руководил Владимир Ильич. Личными указаниями и многочисленными записками председателю ГОЭЛРО Глебу Максимилиановичу Кржижановскому Владимир Ильич указывал путь для работ Комиссии и не давал отклоняться в сторону. Мы, члены и работники ГОЭЛРО, все время чувствовали это руководство. Нужно ли говорить, что личное участие Владимира Ильича в работах заражало всех нас энтузиазмом и порождало стремление выполнить работу как можно лучше и как можно скорее.

Составление плана электрификации России было задачей далеко не легкой, не имевшей прецедентов. Само понятие «электрификация» не было в то время еще достаточно определенным. Многие продолжали понимать под этим термином простую замену применявшихся раньше ламп, двигателей и пр. электрическими. Владимир Ильич первый вложил в это понятие то содержание, которое теперь принято во всем мире. И старые, и молодые энергетики с величайшим интересом воспринимали и разрабатывали идеи Ильича.

Как известно, для составления плана электрификации вся РСФСР была разделена на районы и по каждому району был составлен особый план. На основе этих отдельных планов уже был составлен общий план ГОЭЛРО. Мне пришлось стоять во главе группы, разрабатывавшей план электрификации Северного района республики, включавшего громадную территорию от Северного Урала до Белоруссии. Следуя указаниям Владимира Ильича, т. е. рассматривая электрификацию как базу для развития народного хозяйства района, мы должны были заняться рядом вопросов, не имевших как будто никакого касательства к энергетике. Мы должны были изучать и вопросы промышленного сырья, и вопросы сельского хозяйства, вопросы урожайности, вопросы, связанные с получением искусственных удобрений, вопросы лесного хозяйства, вопросы железнодорожного и водного транспорта и т. д. и т. д. Конечно, большое внимание было обращено на вопросы энергетических ресурсов. Это потребовало привлечения к общей работе не только энергетич-

ков, но и специалистов—транспортников, мелиораторов, агрономов, лесоводов, минераловедов, геологов и др.

Такая коллективная работа инженеров весьма различных специальностей была исключительно продуктивна. Для составления плановых соображений нужен был большой материал и много весьма различных данных. Получать их было очень не легко. Организаций, собирающих и обрабатывающих эти данные, еще не существовало, да и многих нужных сведений и вообще не было. Собирать все эти сведения по многочисленным ведомствам и учреждениям, по архивам, по литературе приходилось нам самим. Это была работа трудная, требовавшая много времени. Однако все трудности благодаря настойчивости работников были преодолены, и нужные сведения получены.

Обработка их в нужном для составления плана электрификации направлении вызывала среди участников много споров, представлявших громадный интерес. Составлялись варианты, обсуждались отдельные положения и предложения, пока, наконец, не находилось решение, всеми одобренное. Дискуссии были горячие—темы стоили того. Работать приходилось в очень тяжелых условиях. Петроград не имел топлива, электрические станции работали с большими перебоями, трамвайное движение тоже было далеко не регулярно. Приходилось многим из нас пешком пробираться из Политехнического института к Адмиралтейству, около которого помещался Центральный электротехнический совет, предоставивший свои помещения для работ Государственной комиссии по электрификации России.

Тем не менее план электрификации Северной области был составлен. План—обширный, заглядывавший далеко вперед. В окончательный план ГОЭЛРО вошли из этого плана только работы первой очереди, но затем стали постепенно осуществляться и остальные части плана, конечно, с изменениями в масштабах и очередности, что определялось техническими и экономическими возможностями.

Насколько я припоминаю, план Северного района был первым из районных планов, представленных Владимиру Ильичу.

С волнением мы, составители плана, ждали, что скажет Владимир Ильич? Поняли ли мы его идею? Отразили ли сколько-нибудь удачно? К нашему великому счастью и удовлетворению, план был Ильичем одобрен. Затем появились и планы электрификации других районов и началась сводная работа по составлению общего плана.

Говоря об этой работе, нельзя не вспомнить покойного Е. Я. Шульгина, выполнившего самую трудную часть работы—сведение всех отдельных планов воедино и составление карты, приложенной к плану. Только упорство в работе, горячая вера в плодотворность выполняемой работы, присутствие Е. Я. Шульгину, помогли ему выполнить эту гигантскую работу в кратчайший срок. Чрезвычайно поучительно теперь, через 25 лет после составления плана ГОЭЛРО, посмотреть, насколько реально осуществленная электрификация близка к электрификации, планированной ГОЭЛРО.

Мы теперь знаем, что развитие электрификации по всему Союзу и, в частности, по Ленинграду шло почти в полном соответствии с планом ГОЭЛРО, но что радостно отметить, темпы этого развития во

всех основных разделах превзошли плановые отметки. К настоящему времени осуществлены или осуществляются и другие электростанции, предусмотренные планом электрификации Северного района, именно гидроэлектростанции на северных реках системы Ледовитого океана. Точно так же осуществлены запроектированные линии электропередач высокого напряжения Ленинград—Волхов, Свирь—Ленинград.

Интересно отметить, что, несмотря на задержку в осуществлении плана электрификации железных дорог, первой электрифицированной магистральной дорогой в Северной области была Мурманская дорога, что и было предусмотрено планом электрификации Северного района.

Я хорошо помню, как при составлении плана электрификации нас заботил вопрос об изготовлении оборудования для электростанций, подстанций, линий электропередач и для потребителей. До Октябрьской революции электротехническая промышленность в России была, как всем известно, весьма мало развита. Большинство электротехнических заводов было сосредоточено в Ленинграде, там же находился и ряд наиболее крупных заводов, изготовлявших котлы, турбины и тому подобное оборудование. Поэтому нам, ленинградской группе сотрудников ГОЭЛРО, приходилось много беседовать с представителями заводов о возможности изготовления нужного оборудования и о необходимом для этой цели сырье.

Было, конечно, много скептиков, но в общем всегда удавалось выяснить возможность изыскания и производства всего нужного для осуществления плана ГОЭЛРО оборудования. Действительность вполне оправдала предположения. Советская промышленность в самый краткий срок освоила производство крупнейших паровых турбин и котлов, крупнейших гидравлических турбин, электрических генераторов к ним, мощнейших электродвигателей, трансформаторов высокого напряжения и т. п. Одновременно было освоено и производство кабелей высокого напряжения, высоковольтных изоляторов и другой аппаратуры для электроснабжающих сетей. Быстрому развитию этих производств немало содействовали наши научно-исследовательские институты и вузовские лаборатории, работники которых были одновременно и сотрудниками ГОЭЛРО.

В первый период особенно много сделала лаборатория высоких напряжений Ленинградского политехнического института, в которой работали в числе прочих академик В. Ф. Миткевич, проф. А. А. Гурев, покойный академик А. А. Чернышев и целый ряд других ученых. Затем в работу вступили лаборатория Московского технического училища с проф. К. А. Кругом во главе, затем Всесоюзный электротехнический институт и др. Эти учреждения выполняли громадную работу по изучению сырьевых материалов, содействовали заводам в разработке методов производства и, наконец, в исследовании получаемых заводами изделий.

Чтобы оценить полностью, что во времена составления и осуществления плана ГОЭЛРО было сделано нашими инженерами и научными работниками, надо вспомнить, что работать тогда приходилось при отсутствии связи с наукой и техникой всей Западной Европы и Америки. Своего опыта

области крупной электропромышленности еще тогда у нас не было.

Нельзя не вспомнить о работе, которую проделали наши электромашиностроительные и другие заводы, например, завод «Электросила», изготовивший несколько генераторов для Волховской гЭС, завод «Севкабель», выпустивший 35-kV кабель для Ленинграда совершенно нового типа и конструкции, и др. Наши керамические заводы, не имевшие никакого опыта в изготовлении высоковольтного фарфора, пользуясь услугами наших высоковольтных лабораторий, в кратчайшее время освоили производство нужных типов высоковольтных изоляторов. Об инициативности и деятельности наших заводов в то время можно было бы вспомнить еще многое.

Вообще период, предшествовавший плану ГОЭЛРО, и период составления и осуществления этого плана—это период становления нашей энергетики и, в частности, электротехники. С энтузиазмом молодости энергетики всех рангов брались за самую трудную работу. Ничто—ни холод, ни голод их не останавливало. В этот период был заложен фундамент нашей электрификации, в короткий срок выдвинувшей наш Союз в отношении электрификации с одного из последних мест в мире на третье, второе или даже первое по некоторым показателям.

Вспоминая об этом периоде, нельзя не поклоняться перед великими инициаторами и вдохновителями электрификации—В. И. Лениным и И. В. Сталиным. Нельзя не упомянуть покойных ныне деятелей электрификации: И. Г. Александрова,

А. Г. Когана, Б. И. Угримова, А. З. Вульфа, Н. И. Пономарева, особенно Е. Я. Шудьгина и др. Нельзя не отметить здравствующих поныне Г. М. Кржижановского, К. А. Круга, Б. Е. Веденеева, Г. О. Графтио, А. В. Винтера, Н. И. Вашкова, А. А. Горева, Л. К. Рамзина, А. А. Морозова и других научных и инженерных работников, отдававших все свои знания и силы для осуществления ленинско-сталинских идей электрификации нашей страны.

Мы теперь широко пользуемся результатами их трудов и нам теперь нелегко даже себе представить, какие трудности им приходилось преодолевать, какие возражения встречали, например, не вызывающие теперь никакого сомнения предложения о применении напряжения выше 100 000 V или о применении паровых турбин мощностью выше 10 000 kW и ряд других подобных предложений. Нелегко было им преодолевать скептицизм, а то и злобные нападки, немалочисленных людей, не веривших в реальность плана ГОЭЛРО, в то, что наши заводы будут в состоянии изготавливать мощные генераторы, высоковольтное оборудование и другую нужную для осуществления плана электрификации аппаратуру.

Теперь все это далеко позади, мы смело и решительно идем по пути технического прогресса, используем последние достижения науки, но мы должны помнить, что начало всему этому положено 25 лет тому назад инициаторами создания плана ГОЭЛРО.

Первые шаги электрификации СССР

Академик А. В. ВИНТЕР

В конце декабря 1944 г. исполнилось 25 лет с тех пор, как В. И. Лениным было написано известное его письмо, в котором Владимир Ильич с гениальной прозорливостью указал на огромное значение торфа как базы для развития электрификации страны и восстановления промышленности. Это указание В. И. Ленина явилось одной из важных предпосылок к развертыванию работ Государственной комиссии по электрификации России и созданию плана ГОЭЛРО, 25-летие которого отмечается теперь.

В этой статье я хочу рассказать главным образом о первых шагах по осуществлению самого плана ГОЭЛРО и, в частности, о развитии электрификации на базе торфа.

Известно, как был встречен и высоко оценен правительством, партией и вождями—В. И. Лениным и И. В. Сталиным—план ГОЭЛРО, и задача состояла после опубликования, обсуждения и принятия о в реальном осуществлении преподанных этим планом решений.

Я имел не только честь, но и огромное счастье быть одним из активных работников по осуществлению некоторых решений, предусмотренных планом ГОЭЛРО.

Первым крупным объектом энергетического строительства, вошедшим в план ГОЭЛРО, была

Шатурская электростанция, 20-летие которой исполняется в текущем году.

Шатурская электростанция была запроектирована на необычайную по тогдашним понятиям мощность, и немало было высказано сомнений только по одному этому вопросу. Но еще большие сомнения и даже сожаления по моему адресу, как строителя, были высказаны, когда я остановил свой выбор на применении мощных турбин новейшей конструкции. И в этом вопросе Шатуре по праву принадлежало первенство пионера, ибо агрегат в 16 000 kW при 3 000 об/мин не только не был тогда известен у нас, но он был незнаком и за границей, и как раз в годы постройки Шатуры шли горячие, технические споры по этому вопросу.

Но еще спорнее был вопрос о сжигании больших количеств торфа в одной котельной, и хотя первый скептицизм в этом отношении был опровергнут опытом электростанции «Электропередача», построенной по инициативе и под руководством выдающегося русского электротехника Р. Э. Классона, тем не менее диапазон мощности от 15 000 kW «Электропередачи» до 50 000 kW мощности Шатуры первой очереди многим казался все же чрезмерным и рискованным.

К числу заслуг всего тогдашнего коллектива работников Шатуры относятся работы по внедрению

рациональных шахтно-цепных топок проф. Т. Ф. Макарьева и доведению их до такого совершенства, что чрезвычайно тщательно поставленные контрольные опыты явились, можно сказать, повторным и решающим этапом в судьбе торфяных электростанций. Результаты испытаний макарьевских топок на котлах так называемой временной Шатурской электростанции были поразительными, а длительность и непрерывность работы этой установки исключали всякую случайность. Этим было сказано новое слово в мировой технике сжигания торфа под котлами мощных электростанций.

Насколько выдвинулась сразу вперед наша техника в области освоения торфа для электрификации, видно из следующих фактов того времени.

Берлинский профессор Мюнцингер, известный специалист-теплотехник, которому стали известны блестящие результаты шатурских опытов, несмотря на их очевидность, категорически и упрямо отвергал возможность столь эффективного сжигания торфа под котлами. Действительность оказалась против незадачливого берлинского профессора.

Хотя заказ на первые шатурские котлы был размещен на одном из крупнейших в Западной Европе заводов, в распоряжении которого был огромный штат высококвалифицированных инженеров, этот завод отказался принять на себя какие-либо гарантии по топливному устройству, выполнявшемуся по нашим чертежам и конструкциям. Нам пришлось освободить завод от гарантий в этой части поставки.

Интересен также эпизод, связанный с первым пуском одного из шатурских котлов. К этому пуску прибыл специальный инженер от завода, о котором шла выше речь, хотя на месте уже находился заводский шеф-монтер с группой монтеров. Когда котел был разогрет и начался подъем пара, паромер начал довольно быстро показывать 30—40—50 кг с/м². Топка еще не работала на полную мощность, и когда я велел увеличить скорость решетки и дать надлежащее дутье, производительность быстро дошла до 70 кг. Но этого уже не выдержали нервы присланного инженера, испуг которого был так велик и непосредствен, что пришлось временно прервать испытания. Шатурские котлы, их производительность и другие показатели заняли зато в дальнейшем почетное место во всех публикациях этого завода.

К числу первенцев советской электрификации, строившихся в то время, относятся также Каширская, Нижегородская (теперь Горьковская) и Штеровская тепловые электростанции.

Сравнительно крупные заказы, которые пришлось разместить за границей по оборудованию Шатурской, Нижегородской и Штеровской электростанций, послужили отчасти тем тараном, которым была пробита первая брешь в стене финансовой блокады: эти заказы впервые были размещены сразу в трех странах на условиях сравнительно долгосрочного кредита.

Шатурская электростанция им. Ленина строилась всего 2 года и 2 месяца со дня закладки главного здания, и начатая в июле 1923 г., она уже в конце сентября 1925 г. была включена в работу. Этим было положено начало широкой реализации одной из основных идей ленинско-сталинского плана ГОЭЛРО — идеи использования непервоклассных сортов топлива для получения электрической

энергии с наименьшими затратами на добычу и перевоз горючего.

В результате выполнения плана ГОЭЛРО в сталинские пятилетки в нашей стране, располагая более 40% мировых ресурсов торфа и создавшей передовые методы его добычи и сжигания, было построено свыше 15 крупных торфяных электростанций с мощностью, равной мощности всех электростанций дореволюционной России. В числе этих торфяных электростанций находятся: гордость советской энергетики — Шатурская, Горьковская, Дубровская, Ивановская, Ленинградская «Красный Октябрь» и др.

В годы Великой Отечественной войны торфяные электростанции Центрального района сыграли большую роль. Оборонная промышленность этого района была обеспечена электроэнергией именно благодаря правильному курсу на увеличение использования торфа. Торфяные электростанции непрерывно улучшали экономические показатели своей работы и в годы войны добились значительных достижений.

* * *

Одновременно с составлением плана ГОЭЛРО было развернуто строительство мощных гидроэлектростанций. Еще с осени 1918 г. были начаты работы по сооружению Волховской и Нижне-Свижской гидроэлектростанций, которые явились в полном смысле слова пионерами советского гидроэнергостроительства.

Волховская гидроэлектростанция им. Ленин была пущена почти одновременно с Шатурской: мощность всех ее машин составила 56 000 kW.

Эти первые успехи социалистической электрификации практически доказали возможность значительного расширения программы электростроительства и осуществления новых крупных мероприятий в этой области.

К числу их в первую очередь надо отнести решение правительства о постройке Днепровской ГЭС (руководство строительством которой было возложено на меня), а также возобновление работ на Свирской ГЭС. Сооружение объектов этих строительных поставило нашу энергетику на один уровень с современной американской и европейской техникой. Абсолютный масштаб крупнейшей в Европе Днепровской ГЭС им. Ленина с ее мощностью в 560 000 kW даже несколько превосходил тогдашние американские масштабы; Свирская же ГЭС представляла исключительно трудную и сложную гидротехническую задачу, с которой советские ученые и инженеры с честью справились.

Когда и этот этап работы был блестяще пройден и ни в ком уже не возникало никаких сомнений в возможностях и преимуществах широкой электрификации, проводимой по единому плану: строительство электростанций и электрификация отраслей народного хозяйства стали бурно и безостановочно расти и развиваться.

То, что было сделано затем в области электрификации за период сталинских пятилеток, превзошло не только смелые наметки плана ГОЭЛРО, но выявило такой гигантский размах строительства, который позволил нашей стране занять одно из первых в мире мест по производству электроэнергии, а это сыграло важную роль в обеспечении победы Советского Союза над всеми врагами в Великой Отечественной войне.

Волховстрой и ГОЭЛРО

Академик Г. О. ГРАФТИО

Два гения человечества — В. И. Ленин и И. В. Сталин — заложили основы плановой электрификации СССР.

Составление плана ГОЭЛРО и первые мероприятия по его осуществлению вдохновлялись и оперативно направлялись В. И. Лениным. План ГОЭЛРО был мощно поддержан И. В. Сталиным; под его непосредственным руководством развернулось выполнение этого первого плана электрификации во всей широте. С наступлением же сталинских пятилеток темпы и масштабы индустриализации и электрификации нашей страны увеличились во много раз.

В работе ГОЭЛРО мне лично были поручены составление плана развития народного хозяйства и электрификации Кавказа, который был мне близко знаком, и разработка общего вопроса электрификации железных дорог. Мне удалось в этой работе ясно доказать эксплуатационные и экономические преимущества электрической тяги, особенно там, где можно получить энергию от гидроэлектростанций.

Мне выпала также счастливая задача быть строителем первой предусмотренной планом ГОЭЛРО — Волховской гидроэлектростанции, сыгравшей видную роль в обороне Ленинграда в Великой Отечественной войне, а за нею и Нижне-Свирской гэс.

Вспоминаются следующие яркие факты, связанные с Волховстроем.

В 1920—1921 гг. стройка переживала один из труднейших периодов; некоторые хозяйственные организации и отдельные должностные лица чинили препятствия к скорейшему выполнению работ по сооружению гэс, являвшейся первенцем советского гидроэнергостроительства. Я обратился к В. И. Ленину с письмом по этому вопросу.

Спустя короткое время Ленин, несмотря на колоссальную свою загруженность, вызвал меня в Кремль, внимательно расспросил о всех нуждах Волховстроя и тут же дал ряд совершенно конкрет-

ных указаний о всемерном ускорении строительства, обязав меня ежемесячно сообщать ему о ходе работ.

Широко известен ряд документов и записей В. И. Ленина по вопросу о строительстве Волховской гидроэлектростанции. Ссылаясь на мое заявление, Ленин в своих письмах всячески клеймил бюрократизм и волокиту, проявленные некоторыми учреждениями в деле утверждения программы строительства и обеспечения его продовольствием. Ленин поручил Наркомату юстиции произвести немедленное расследование этой волокиты, судить и наказывать виновных; ВСНХ, Наркомфину и НКРКИ предписывалось обеспечить Волховстрой необходимым количеством денежных знаков и т. д. Так велико было внимание В. И. Ленина к строительству Волховской гэс.

На всю жизнь запомнилось посещение И. В. Сталиным уже действующей Волховской гидроэлектростанции летом 1928 г. После осмотра электростанции товарищ Сталин, обращаясь ко мне и указывая на здание станции, сказал:

«Вот это есть реальное строительство социализма».

Эти простые слова, содержавшие глубокую оценку значения электростроительства, явились лучшей наградой для всех нас, с энтузиазмом отдававших свой труд выполнению первого плана электрификации — ГОЭЛРО.

Тот же энтузиазм владел людьми, перешедшими после окончания Волховстроя на сооружение Днепростроя. Он владел и строителями Загэс в Закавказьи, Низастроя, Беломорско-Балтийского водного пути, канала Москва—Волга, Рыбинской, Угличской, Фархадской и других гидроэлектростанций, многочисленных тепловых электростанций и линий электропередач.

Идеи, заложенные в работах ГОЭЛРО, получили грандиозное развитие и тем самым послужили созданию хозяйственной и оборонной мощи советского государства.

Как протекала работа ГОЭЛРО

К. А. КРУГ

Член-корреспондент Академии наук СССР

Еще в семидесятых годах прошлого столетия Марселем Депре было высказано положение, что, повышая напряжение и увеличивая сечение проводов, можно передавать любые мощности на любые расстояния с желаемым коэффициентом полезного действия.

Однако передачи, проводившиеся при участии Марселя Депре, основывались на применении постоянного тока. Как известно, постоянный ток не позволяет экономично повышать или понижать напряжение, а электродвигатели постоянного тока не могут быть приспособлены к высокому напряжению. Поэтому первые электрические станции ограничивались электроснабжением лишь небольших кварталов больших городов и служили главным образом для целей освещения.

Крупная электрификация, питаемая от удаленных источников энергии, стала возможной лишь после того, как перешли на переменный ток. Честь быть пионерами в развитии техники переменных токов принадлежит двум нашим соотечественникам—И. Ф. Усагину, построившему впервые трансформатор, и М. О. Доливо-Добровольскому, создавшему трехфазный асинхронный двигатель.

В то время как в Западной Европе и в США электрификация уже к началу первой империалистической войны достигла весьма значительных размеров, электроснабжение в России к этому времени ограничивалось крупными городами, где электроэнергия вырабатывалась на местных электростанциях, работавших на привозном топливе. Исключение составляла лишь одна «Электропередача» — торфяная электростанция, построенная Р. Э. Класоном около г. Богородска и передававшая электрическую энергию в Москву. Эта станция должна быть особенно отмечена потому, что это была в то время первая достаточно мощная торфяная электростанция в мире. Характерно было отношение к этой электростанции со стороны Московской городской и губернской земской управ, которым было недоступно понимание большого народнохозяйственного значения развития электроснабжения и которые всячески тормозили передачу энергии от Богородской электростанции в Москву. Но как бы то ни было, к началу первой империалистической войны потребление электрической энергии начало внедряться в быт крупных городов и в их коммунальное хозяйство и уже многие крупные предприятия, расположенные около этих городов, стали широко пользоваться энергией от городских электрических станций.

Однако зависимость электроснабжения от дальнего привозного топлива, как и вообще размещению целого ряда отраслей промышленности вдали от сырья и топлива, резко сказалась в первые же годы империалистической войны. Нарушение железнодорожного транспорта и отсутствие подвоза топлива и продовольствия отразились самым катастрофическим образом на всем укладе жизни боль-

ших городов. Получился полный застой промышленной жизни страны.

Таково было положение вещей, когда в самом начале 1920 г. Владимир Ильич Ленин дал поручение Комиссии под председательством Г. М. Кржижановского, получившей впоследствии название Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО), разработать план облегчения топливного кризиса и оживления промышленной жизни страны на базе использования существующих и постройки новых электрических станций.

Первоначальная задача, поставленная перед Комиссией ГОЭЛРО, казалась не особенно сложной, и ей был дан срок для окончания работ 2 месяца. Однако по мере углубления в работу выяснилась необходимость расширения рамок данного поручения. Число и мощность электрических станций не могли быть ограничены довоенными потребностями существовавших предприятий, а должны были учитывать их рост и возникновение новых предприятий с тем, чтобы поднять общий уровень народного хозяйства и освободить экономическую жизнь страны от иностранной зависимости. Это невольно заставляло рассмотреть состояние всех отраслей промышленности народного хозяйства с точки зрения потребностей государства в целом и возможного их развития, а также произвести экономическое обследование отдельных районов.

Работа Комиссии ГОЭЛРО вдохновлялась и руководилась В. И. Лениным. Владимир Ильич знал экономику нашей страны и был в курсе достижений науки и техники. Он был первым государственным деятелем, который оценил значение энергетики как базы планового развития народного хозяйства. И по его указаниям составлялся план электрификации России, который по существу вылился в перспективный план развития всего народного хозяйства нашей страны.

Особенность этого плана заключалась в том, что в него вошли и промышленность, и сельское хозяйство. При составлении плана были проведены также работы по так называемому районированию, в которых предусматривалось развитие отдельных районов (областей) страны в соответствии с их естественными ресурсами, местными возможностями и нуждами, а также потребностями государства в целом.

Работа Комиссии очень тормозилась почти полным отсутствием сведений о тогдашнем состоянии нашего народного хозяйства, в добавок потрясенного мировой и гражданской войной. Положение усугублялось еще тем, что сообщение с местами из-за нарушения железнодорожного транспорта было крайне затруднено и целые области, как, например, Кавказ и Дальневосточный край, были совершенно отрезаны от центра. Имевшиеся опубликованные материалы бывших министров царского правительства были крайне ограничены, они носили скорее фискальный характер и являлись к тому времени уже устарелыми.

Некоторое исключение представляла обработка данных, касающихся состояния некоторых крупных предприятий, составленная главным образом на основании отчетов бывшей фабрично-заводской инспекции. Известным подспорьем были сведения о теплосиловом оборудовании фабрик и заводов, числе рабочих и потребляемого топлива, собранные во время войны уполномоченными по топливу. На основании этих сведений еще в 1918 г. под руководством автора этих строк был разработан план электрификации Центрально-Промышленного района России в составе бывших 14 центральных губерний Центральной России. Поэтому для восполнения недостающих исходных материалов приходилось уделять много внимания, труда и времени на составление докладов по вопросам экономического состояния и возможного и необходимого развития отдельных частей народного хозяйства, учитывая существующее состояние, наличие естественных ресурсов и рабочих рук. Впервые была поставлена такая трудная и ответственная задача, как сравнение государственного плана развития народного хозяйства. Из имевшейся у Комиссии литературы можно указать на работы профессора Баллода, пытавшегося незадолго до первой империалистической войны под псевдонимом Атлантикуса дать схему рационального построения промышленности и сельского хозяйства Германии, и на книгу проф. В. И. Гриневецкого «Послевоенные перспективы русской промышленности», в которой он дал анализ структуры довоенной тяжелой и металлообрабатывающей промышленности.

Следует отметить, что Комиссия ГОЭЛРО состояла исключительно из инженеров-электротехников и энергетиков. В ней отсутствовали, конечно, представители старой экономической науки. И это было не случайно, приходилось по-новому подходить к составлению планов, исходя из только что обобществленного народного хозяйства на новой социалистической базе.

Вследствие потребовавшейся большой подготовительной работы составление плана крайне затянулось. Был уже август месяц. Чтобы ускорить работу и оградить членов Комиссии от всего, что могло их отвлекать, решено было вывезти всю Комиссию из Москвы на станцию «Электропередача» в 80 км от Москвы. Однако это мероприятие не дало ожидавшегося результата. Возникшие большие пожары торфяных болот отравляли воздух и создавали невыносимо душную атмосферу, и когда сгонь стал с трех сторон подступать к самому дому, в котором жила Комиссия, пришлось собрать все материалы и экстренно вернуться в Москву.

Работа по составлению плана электрификации велась в двух направлениях: большого плана электрификации, предусматривавшего введение в эксплуатацию примерно в течение 10 лет 1 500 000 kW новой мощности с соответствующим восстановлением и разворотом сельского хозяйства, транспорта и промышленности и более узкого плана — на ближайшие годы — по объединению (кустованию) и

использованию существовавших городских, фабричных и других электростанций для взаимного усиления электроснабжения городов и близлежащих фабрик и заводов. Комиссия ГОЭЛРО за время своего существования имела 67 пленарных заседаний и большое число заседаний подкомиссий. Документация работы Комиссии ГОЭЛРО выразилась кроме основного доклада VIII Съезду Советов в более чем 200 статьях и докладах с множеством карт и статистических таблиц.

Работа ГОЭЛРО, не взирая на трудные условия жизни того времени, благополучно была закончена к концу 1920 г. Нужно сказать, что Владимир Ильич Ленин принимал в работах ГОЭЛРО постоянное и повседневное участие в ходе работы Комиссии, не раз указывал или на неправильный подход при решении отдельных вопросов, или настаивал на переработке отдельных глав доклада, который должен был быть представлен VIII Съезду Советов. Так, за неделю до открытия VIII Съезда В. И. Ленин предложил переработать две основные главы этого доклада: о сельском хозяйстве и о промышленности. И эта переработка, потребовавшая непрерывной 30-часовой работы некоторых участников Комиссии, была выполнена к сроку и доклад в виде книги «План электрификации РСФСР» мог быть своевременно напечатан и роздан членам 8-го Съезда.

Заседание VIII Съезда происходило 22 декабря 1920 г. в Государственном Большом театре в торжественной обстановке. С большим докладом, ярко обрисовавшим все огромное хозяйственно-политическое значение плана ГОЭЛРО, выступил В. И. Ленин. О работах Комиссии ГОЭЛРО докладывал Г. М. Кржижановский, на сцене фигурировала огромная карта советской страны и загоравшиеся красные лампочки указывали на электрические станции, предусмотренные планом.

Когда работа Комиссии ГОЭЛРО была опубликована, то она подверглась жестокой критике, многие упрекали авторов в оторванности от жизни и в нереальности их планов.

Однако жизнь показала, что предложения Комиссии ГОЭЛРО были вполне реальны. Восстановление и развитие народного хозяйства под руководством В. И. Ленина и И. В. Сталина шли невиданно быстрыми шагами, и 1,5 млн. kW новой мощности были еще до истечения десятилетнего срока.

И в настоящее время, когда наша родина после победоносного окончания войны стоит перед большими новыми задачами восстановления и развития народного хозяйства, электрификация, как и в период предыдущих сталинских пятилеток, должна быть одним из важнейших факторов, определяющих процветание нашего Союза. Электрификация должна развиваться гигантскими темпами и, быть может, применение постоянного тока высокого напряжения для целей передачи больших мощностей на дальние расстояния позволит еще шире использовать огромные энергоресурсы нашей великой страны.

Советское энергетическое электромашиностроение за двадцать пять лет

*Доктор техн. наук, проф. А. Е. АЛЕКСЕЕВ
Завод «Электросила» и.м. Кирова*

За двадцать пять лет, протекавших со дня принятия VIII Всероссийским Съездом Советов плана электрификации нашей страны, плана, разработанного Государственной комиссией по электрификации России (ГОЭЛРО) и предначертанного В. И. Лениным, возникло и сформировалось советское энергетическое электромашиностроение. Широко известны такие достижения нашего электромашиностроения, как постройка волховских, днепровских и рыбинских гидрогенераторов, постройка турбогенераторов мощностью 50 000 kW и 100 000 kW, постройка крупнейших двигателей и генераторов постоянного тока и многое другое.

Годы сталинских пятилеток и последовавшие за ними суровые годы Великой Отечественной войны показали, что наша электропромышленность имеет квалифицированные и испытанные кадры, для которых их труд на благо социалистической Родины является содержанием их жизни и источником энтузиазма, того энтузиазма, который двигал людьми и в Ленинграде в дни голода и блокады, и в кипучих рабочих центрах Урала, и в далеком Томске, и в Прокопьевске, где трудились работники наших электромашиностроительных заводов за время войны. Там воздвигались на голых местах здания, которые тут же на ходу и проектировались; в них устанавливалось эвакуированное оборудование и силами рабочих и инженеров — последние сплошь и рядом работали на низовых рабочих местах — проводился ремонт станков; приспособлялся к новой обстановке технологический процесс. В результате с февраля 1942 г. эти заводы стали давать плановую и в необходимых случаях стандартную продукцию.

Теперь, после победоносного окончания войны, наши электромашиностроительные заводы должны давать новые, еще более совершенные машины, чем до войны, и в значительно больших количествах. Заводы электропромышленности должны обеспечить своей работой ежедневное наращивание новых миллионов киловатт энергетических мощностей во все возрастающих темпах.

Перед работами такого большого масштаба, которые потребуют серьезной реконструкции и расширения нашей электропромышленности, не безынтересно оглянуться на тот путь, который был пройден ею при осуществлении плана ГОЭЛРО. Тогда наша электропромышленность должна была поставить производством высокооборотных паротурбогенераторов, крупногабаритных тихоходных гидрогенераторов, высоковольтных мощных трансформаторов и коммутационной аппаратуры. Ограничиваясь рассмотрением в этой статье первых двух видов энергетического электрооборудования, заметим, что начальная фаза развития всех перечисленных видов электрооборудования протекала в стенах завода «Электросила». Московского трансформаторного завода в ту пору еще не существовало, не было и Ленинградского электроаппаратного завода, а Харьковский электромашиностроительный завод влячил самое жалкое существование. Надо заметить, что

и завод «Электросила» той эпохи мало походил на современного гиганта советского электромашиностроения — его производственная площадь не составляла и одной десятой того, что завод имеет в настоящее время.

Кроме того ни на заводе «Электросила», ни на ХЭМЗ не было работников, которые имели бы опыт хотя бы в проектировании крупных электрических машин, так как до революции, вернее до первой мировой войны, руководство этими заводами исходило от немецких фирм Сименс-Шуккерт (SSW) и «Всеобщая компания электричества» (AEG). Эти два концерна являлись фактическими хозяевами названных заводов. Здесь уместно вспомнить ту буквально титаническую работу, которая была проведена на заводе «Электросила» по освобождению нашей электропромышленности от иностранной зависимости, по созданию основных кадров собственных специалистов, по проектированию первых гидрогенераторов и паротурбогенераторов по наладке их производства и монтажу на Земо-Авчальской (Тбилисской) и Волховской гидроэлектростанциях.

Какие же задачи должен был решить немногочисленный технический коллектив завода «Электросила»? Необходимо было: 1) спроектировать в первую очередь гидрогенераторы для Волховской и Земо-Авчальской гЭС; 2) разработать начальные типы серии паротурбогенераторов; 3) обеспечить поставку с крупнейших ленинградских машиностроительных заводов крупногабаритного стального и чугунного литья; 4) кооперироваться с этими заводами (ЛМЗ, Балтийский завод, Невский судостроительный завод, «Красный Путиловец» и Обуховский завод) в отношении обработки таких крупных деталей, которые не могли быть обработаны на заводе «Электросила»; 5) заново поставить у себя на заводе производство высоковольтной изоляции; 6) разработать технологический процесс изготовления обмоток для напряжения в 11 000 V; 7) спроектировать разгонное сооружение для пробы на угонную скорость роторов волховских гидрогенераторов; 8) продумать вопросы доставки крупногабаритных деталей на место установки; 9) разработать порядок монтажа крупнейших в мире машин (волховских главных генераторов) и 10) завоевать доверие в отношении возможности постройки на наших заводах этих ответственных машин, по которым заводы не имели буквально никакого опыта. Последняя из задач была едва ли не самой трудной. Заводу удалось добиться получения заказа на 4 генератора для Волховской гЭС мощностью каждый по 8 750 kVA, 11 000 V, 50 Hz при 75 об/мин и почти одновременно с этим на 4 генератора мощностью по 4 000 kVA, 6 400 V, 50 Hz при 214 об/мин для Земо-Авчальской гЭС.

При постройке волховских генераторов на заводе «Электросила» были полностью обработаны (включая пробу на разгон) только роторы, стальное литье роторных колес изготовлял «Красный Пути-

ловец». Чугунное литье статора, а также верхней и нижней крестовины обрабатывалось на тех заводах, где исполнялось литье — на Балтийском заводе и ЛМЗ. Активное железо статора и его обмотка готовились на заводе «Электросила». Обработанные части генераторов с ЛМЗ и Балтийского завода отправлялись на Волхов, где они собирались на своем окончательном месте, в них укладывались железо и обмотка.

Таким же порядком шла работа и по земо-авчалским генераторам, только для них поставщиками обработанного литья были южные машиностроительные заводы.

Подпаянники, являющиеся наиболее ответственными механическими частями вертикальных гидроагрегатов как для волховских, так и для земо-авчалских генераторов доставлялись заводами, изготовлявшими турбины.

Земо-авчалские генераторы имели замкнутую вентиляцию с водяными поверхностными воздухоохладителями, что, насколько известно автору, впервые нашло применение в практике строительства гидростанций.

Как земо-авчалские, так и волховские генераторы блестяще удались заводу, испытания в последующем выявили полное соответствие данных опытов с техническими условиями.

В этот же период времени на заводе «Электросила» шла разработка и постройка первых типов турбогенераторов. Турбогенераторы имели свою предисторию. Еще в 1910 г. ЛМЗ совместно с заводом Дюфлон (ныне «Электрик») выпустили первый турбогенератор трехфазного тока мощностью около 1 000 kW при 3 000 об/мин. Затем в 1914 г. на заводе Вольта в Ревеле были начаты постройки несколько турбогенераторов малой мощности, заканчивались они частично уже во время войны на заводе Ноблесснер (ныне «Русский дизель»). Незаконченные машины с этого завода были перевезены в 1923 г. на завод «Электросила»; выпуском в 1924 г. части этих турбогенераторов и начинается история нашего турбогенераторостроения.

Коллектив завода «Электросила» вносил постепенно при разработке более мощных типов усовершенствования в первоначальную конструкцию турбогенераторов завода «Вольта» и в 1930 г. выпустил уже турбогенератор мощностью 30 000 kVA при 3 000 об/мин. Он имел ротор из цельнойковки с медной обмоткой, заложеной в радиальные пазы. При первоначальной разработке этой машины руководство треста (ГЭТ), в который входил завод «Электросила», готово было принять конструкцию фирмы AEG, с которой ГЭТ имел в то время договор о техническом содействии. Турбогенераторы AEG имеют ротор с так называемыми вставными зубцами, выполненными из листовой стали. Инженерам завода «Электросила» удалось защитить собственную конструкцию, благодаря чему заводу не пришлось реорганизовывать своего производства, что в свою очередь позволило выпустить в 1930 г. турбогенераторов общей мощностью около 188 000 kW при более чем пятидесяти машинах в год. Завод очень вдумчиво относился ко всем мелочам устройства турбогенераторов, что в связи с правильно выбранной общей линией развития этих машин обеспечивало безупречную непревзойденную механическую прочность наших машин. В роторах

турбогенераторов большинства западноевропейских заводов неоднократно происходили серьезные аварии. Наше турбогенераторостроение, несмотря на значительное число уже работающих машин, не имело ни одного случая такого вида аварии, как разорвавшийся ротор.

К 1930 г. наши электромашиностроительные заводы как в области гидрогенераторостроения, так и турбогенераторостроения достигли того технического уровня, какой был характерен для передовых европейских заводов, включая в их перечень и английские электромашиностроительные заводы. Это замечание относится и к технологической стороне дела и к эксплуатационным показателям машин, построенным на наших заводах. Гидрогенераторы к этому времени были освоены и на ХЭМЗ в такой степени, что, когда в 1929 г. обсуждался вопрос о постройке Днепровской гЭС, ХЭМЗ представил наряду с заводом «Электросила» свой вариант генератора для этой станции мощностью 62 000 kW, 13 500 V, 50 Hz при 88,2 об/мин в единице (в ту эпоху такой гидрогенератор являлся наиболее мощным и крупным в мире). Можно указать, что проекты генераторов обоих наших заводов выгодно отличались по своим весовым и эксплуатационным показателям от предложений ряда передовых европейских электромашиностроительных заводов.

Одновременно с Днепровской гЭС проектировалась гЭС на реке Свири и ряд крупных пароцентралей. В связи с этим выявилась необходимость постройки большого числа паротурбогенераторов мощностью по 50 000 kW. Постройка всех паротурбогенераторов, а также и гидроэлектростанций на Днепре и Свири должна была вестись такими темпами и притом с такой уверенностью в получении надежных и экономически правильно спроектированных машин, что высшими органами было вынесено решение о передаче заказов на часть агрегатов для Днепровской станции на заводы США. Американские заводы обеспечивали более короткие сроки поставок и предложенные ими агрегаты имели более высокие эксплуатационные показатели. Заказ на четыре днепровские гидрогенератора был передан фирме GEC, с которой трестом наших электротехнических заводов был заключен договор о техническом содействии. В согласии с договором ряд ведущих инженеров с наших электромашиностроительных заводов был командирован в конце 1929 г. в Америку. В Америке фирмой GEC были спроектированы не только днепровские генераторы, на которые она имела заказ, но и Свирские генераторы мощностью 24 000 kW, 12 100 V, 50 Hz при 75 об/мин. Инженеры завода «Электросила» и ХЭМЗ обеспечили перенос передового опыта гидрогенераторостроения и в области турбогенераторостроения на наши заводы. Таким образом уже с 1930 г. наши электромашиностроительные заводы, в первую очередь завод «Электросила», переходят в своих крупных машинах на так называемые американские обмотки с непрерывной изоляцией и сварное использование большинства основных деталей машин. Одновременно наши заводы получают в виде технологических инструкций, технических отчетов и чертежей большую часть огромного накопленного фирмой GEC производственного опыта в области электромашиностроения и строительства паровых турбин. Поэтому пять днепровских гидрогенераторов, четыре свирских гидрогенератора, во-

семь турбогенераторов мощностью по 50 000 kW при 1 500 об/мин, большинство из которых было закончено на заводе «Электросила» к 1933 г., в технологическом отношении соответствовали первоклассным американским машинам.

Перенесение американского опыта в области гидрогенераторостроения сказалось на том, что наши электромашиностроительные заводы стали выпускать комплектные генераторы, включая и подпятник, ответственной частью машины с вертикальным валом.

По расходу материалов не только в турбогенераторах или гидрогенераторах, но и в крупных машинах постоянного тока, которые строились тоже с использованием американского опыта, наши машины не уступали американским. По расходу же рабочей силы и количеству материалов в заготовительных весах еще наблюдалось отставание. Дело в том, что, например, в сварных конструкциях крупных машин используется в очень широких масштабах крупносортовой прокат американских заводов. Часть таких материалов, которые нельзя было заменить, например, листы шириной порядка 5 м и толщиной порядка 10 см, ввозились из США. Все же крупные профили двутавровых балок, а они очень часто встречаются в конструкциях гидрогенераторов, у нас исполнялись сваркой из листового проката, что приводило к перерасходу рабочей силы и материалов. К сожалению, это положение дел удерживается и до сих пор; наши сталепрокатные заводы очень серьезно отстают в этом вопросе.

Аналогичное положение дела имеет место и в отношении изоляции. Отсутствие специального завода для изготовления современной изоляции, в частности микалент, приводит к тому, что большинство электромашиностроительных заводов вынуждено было поставить у себя производство электроизолирующих материалов. Этот участок производственного фронта наших электромашиностроительных заводов не стоит на одном уровне с прочими технологическими цехами. Основные причины этого следующие: первая — изоляционное дело имеет свои тонкости, и в масштабе крупного неспециального изоляционного завода трудно обеспечить этому делу надлежащее внимание; вторая — исходные материалы, в особенности щипаная слюда, поступают не надлежащего качества. Можно показать, опираясь на опыт наших заводов и на данные в американской технической литературе, что неполноценность исходных материалов по микаленте может приводить к повышению до десяти раз процента брака изолированных микалентой катушек. Это в свою очередь означает излишний расход рабочего времени, т. е. понижение производительности цеха, и материалов, микалента, снятая с дефектных катушек, в дальнейшем не используется.

К 1933 г. американский опыт, отзлекаясь от двух отмеченных обстоятельств, был полностью перенесен на наши заводы, и в советском генераторостроении началось дальнейшее развитие полученных достижений. Как в области турбогенераторостроения, так и в области гидрогенераторостроения к 1939 г. наши заводы добились мировых достижений. В 1937 г. завод «Электросила» построил самый мощный в мире двухполюсный турбогенератор (100 000 kW при 3 000 об/мин), в 1939 г. тот же завод закончил постройкой самый крупный в мире гидрогенератор для Рыбинской гс

(68 750 kVA при 62,5 об/мин). И та, и другая машины, как показали истекшие годы, удовлетворяют самым высоким требованиям.

Можно сделать общее заключение, что по общим основным видам машин, необходимых при восстановлении и дальнейшем развитии энерговооружения нашей страны, наши заводы в качественном отношении и в отношении номенклатуры удовлетворяют современным требованиям техники.

Какие же задачи ждут своего разрешения в этих двух основных областях электромашиностроения

Сначала рассмотрим турбогенераторостроение. Турбогенератор, как машина своего рода, для стран, имеющих стандартную частоту в 50 Hz, строится почти исключительно как двухполюсная машина. У нас в Союзе, как только что указывалось, мощность двухполюсного турбогенератора доведен до 100 000 kW. Этот рекордный турбогенератор в первом своем исполнении имеет воздушное охлаждение. В настоящее время на заводе «Электросила» строится второй такой же генератор, но уже с водородным охлаждением. Можно с полным правом ожидать, что мощность генератора при этом повысится по крайней мере на 20%, т. е. станет равно 120 000 kW. Вероятно, для довольно заметного уменьшения времени, пока у нас не появятся новые конструктивные материалы повышенной механической прочности и повышенных магнитных качеств для ротора и новые изоляционные материалы повышенной механической прочности для пазовой изоляции роторов, эта мощность будет являться наивысшей для двухполюсных турбогенераторов стандартной частоты.

Общеизвестно, что чем выше мощность турбоагрегата, тем ниже его относительный вес (kg/kV) и его относительная стоимость, тем меньше расхода на выработанный киловаттчас, что и побуждает строителей мощных паротурбин стремиться к наибольшим единичным мощностям паротурбин агрегатов. Следует лишь отметить, что соображения предвоенного характера привели к необходимости ограничить максимальную мощность турбоагрегата в единице, равной 24 000 kW.

Возможно, что при изучении этого вопроса в целом выяснится отсутствие необходимости строить мощные турбоагрегаты, тогда надо будет исключить из наших стандартов четырехполюсные турбогенераторы. Если же выявится необходимость в более мощных единицах, то нужно будет поставить во всей широте проблему разработки двухполюсного турбогенератора в 3 000 об/мин максимальной мощности. Эту задачу должны решать параллельно металлурги, специалисты по изоляции и конструкторы электромашиностроители.

Первые должны обеспечить получение крупных поковок до 60 т с высокими механическими свойствами и высокой магнитной проницаемостью. Вторые должны разработать технологию получения изоляционного листового материала, типа роговой фибры, негигроскопичного и с высокой механической прочностью. Заграничные заводы такой матери

выпускают. Турбогенераторы мощностью 50 000 kW и выше при 3 000 об/мин нужно строить только на водородном охлаждении. Типы на 12 000 kW и 24 000 kW, вероятно, будут более экономичными в эксплуатации при охлаждении воздухом.

Перейдем к основным задачам в области

гидрогенераторостроения. Прежде всего надо заметить, что здесь точка зрения на повышение единичной мощности гидроагрегата должна быть иной, чем в случае паротурбоагрегатов. Здесь при переходе на большую мощность скорость вращения агрегата при постоянной величине напора понижается, и, следовательно, не всегда наиболее экономичным решением будет являться применение предельных по мощности агрегатов. Работы Б. К. Александрова показали, что при переходе на более мелкие агрегаты падает не только общий вес, а значит и стоимость электрической части агрегатов, но и расход бетона на установленный киловатт.

Определение единичной мощности агрегата производится с учетом работы станции на зарядку линии передачи, впредь до разработки надежных схем зарядки линии несколькими генераторами максимальной мощности агрегата не должна допускаться больше той, которая определяется линией передачи в процессе ее работы на холостом ходе.

Следующим не менее важным вопросом в области гидрогенераторостроения является вопрос выбора системы возбуждения. Характерными для современных гидрогенераторов являются следующие четыре системы возбуждения: 1) возбуждение от особых шин станции; 2) возбуждение от пристроенного возбuditеля; 3) возбуждение от пристроенного возбuditеля с подвозбудителем; 4) возбуждение от моторгенератора, питаемого вспомогательным синхронным генератором, сидящим на одном валу с главным генератором.

Необходимо в результате анализа всех перечисленных систем с точки зрения надежности работы, станций и устойчивости параллельной работы агрегатов наметить границы применимости различных систем возбуждения для разных диапазонов мощностей агрегатов, станции в целом и различных условий электроснабжения питаемых станций районов.

Из конструктивных вопросов должен быть особо выделен вопрос конструкции подпятника гидроагрегата. Наше гидрогенераторостроение дает примеры эксплуатации подпятников различных исполнений: пружинных подпятников типа ГЕС, шведских подпятников с вращающимися сегментами и подпятников Митчеля с неподвижными сегментами.

Во всех случаях применения подпятники различных систем работают одинаково безупречно. Это позволяет предположить, что для всех машин независимо от мощности и скорости вращения возможно применение подпятников какого-то одного принципиального типа. Это позволило бы значительно упростить вопросы эксплуатации подпятников на различных станциях и переносить опыт одной электростанции на все другие. Подпятники крупных генераторов обычно получают очень громоздкими. Чтобы привести размеры подпятников крупных машин в соответствие с прочими размерами машин, необходимо существенно поднять величину удельного давления на трущиеся поверхности. Переход на повышенную величину удельного давления без предварительной экспериментальной работы по изучению наиболее выгодных размерных соотношений несущих сегментов, сорта и температуры смазки, материала трущихся поверхностей, обеспечения наиболее совершенной циркуляции смазки и других вопросов будет невозможен. Для проведения этой работы на одном из наших гидро-

генераторостроительных заводах должен быть построен специальный стенд, который позволил бы поставить исследование наиболее крупных подпятников.

Проблема выработки в системе реактивной мощности должна быть поставлена в очень широком плане. В настоящее время уже почти нет энергетических систем, в которых не имелось бы подключенных гидроэлектростанций. Это положение дела позволяет передать задачу генерирования реактивной мощности на гидроэлектростанции, так как в гидрогенераторах обычно очень легко расположить на полюсах добавочные витки, сохранив при этом к. п. д. на требуемой высоте. В турбогенераторе же наоборот такая добавка и не всегда возможна, а если и возможна, то обходится очень дорого. Для районов же, где нет гидроэлектростанций, следует изучать варианты энергоснабжения с использованием синхронных компенсаторов. Последнее можно строить с водородным охлаждением, что позволит поднять их экономичность до уровня, характерного для статических компенсаторов.

В заключение остается заметить, что в вопросе снабжения наших электромашиностроительных заводов *электротехнической сталью* еще наблюдается отставание. Можно сказать, что после вопроса об угольных щетках для машин постоянного тока уже до войны вопрос об электротехнической стали был следующим по своей болезненности. В настоящее время необходимо вырабатывать такую электротехническую сталь для электромашин, которая, имея удельные потери такие же, как и трансформаторная сталь, была бы лишена отрицательных свойств последней в отношении хрупкости. Конечно, такой вопрос, как, например, прокат листов стали толщиной 6 мм и шириной до 5 м, необходимых в конструкциях шихтованных роторов, не легко решается, но тем более на него должно быть обращено внимание.

Большинство из перечисленных задач ориентировано не на электромашиностроительные заводы, а на их поставщиков или на их потребителей. Но это не означает, что электропромышленность свободна от больших задач, которые должны быть разрешены на заводах. Нет, перед электропромышленностью стоит огромное число задач, но они здесь не отмечались потому, что их перечень был широко очерчен на страницах журнала «Электричество» в 1944 и 1945 гг. в статьях акад. К. И. Шенфера, доктора техн. наук проф. Г. Н. Петрова и материалах по обсуждению этих статей, а также в большой статье инженера завода «Электросила» Е. Я. Казовского, посвященной теоретическим вопросам электромашиностроения.

Это значит, что задачи, стоящие перед электропромышленностью теперь, так же велики, как и в начале осуществления плана ГОЭЛРО, но сейчас эти задачи легче решать, чем тогда—двадцать пять лет тому назад. У нас имеются прошедшие героическую эпоху индустриализации страны и годы Великой Отечественной войны кадры и имеется несравнимая с дореволюционной индустриальная база, созданная неустанными заботами товарища Сталина. Это служит залогом того, что все трудности хозяйства и дальнейшей электрификации нашей страны будут преодолены в кратчайшие сроки.

25 лет гидроэнергетики СССР

А. А. БЕЛЯКОВ

Главный инженер Глазгидроэнергостроя НКЭС

Особое место в плане ГОЭЛРО, как известно, было уделено гидроэнергостроительству, всю глубину значения которого предвидели В. И. Ленин и И. В. Сталин. Ведь недаром уже через несколько месяцев после Октябрьской революции, когда молодая советская республика находилась еще в жестоких тисках вражеского окружения, правительство дало указание начать строительство первой крупной гидроэлектростанции на р. Волхов. В последующие годы началось строительство Бозсуйской гидроэлектростанции в Ташкенте и Земо-Авчальской на Кавказе.

Робко пробивала себе путь в жизнь новая отрасль народного хозяйства, совершенно не знакомая дореволюционной России. В упорной борьбе росли и совершенствовались кадры инженеров-руководителей и квалифицированных рабочих. Ощупью, без опыта и примеров отыскивались пути. Каждый вопрос был нов, каждый вопрос решался без учета предыдущей практики, потому что ее не было. В этих условиях особенно велика заслуга пионеров гидроэнергостроительства нашей родины Г. О. Графгио, Б. Е. Веденеева, А. В. Винтера, Г. С. Веселого, И. И. Кандалова и многих других. Уже в 1926 г. первые машины гидроэлектростанций Волховской и Бозсуйской дали ток, а в 1927 г. дала ток Земо-Авчальская гидростанция.

После того как вошло в строй первое поколение советских гидроэлектростанций, строители перешли к решению более сложных задач на более крупных станциях; часть строителей Волховстроя перешла на Днепрострой, другая часть на Свирстрой.

Ниже днепровских порогов началось строительство одной из величайших в мире гидроэлектростанций. В истории нашего гидроэнергостроительства это новая эра, следующая ступень. К работам были привлечены иностранные консультанты — американец Купер и немецкая фирма Сименс Бауунин. Предложения Купера базировались на новейшем для того времени универсальном тяжелом оборудовании: сорокатонных кранах «Индустриал», трехкубовых экскаваторах, ширококолейных думкарах; предложения отличались чрезвычайной простотой, размахом и запасами, обличены они были в пару чертежиков и несколько страничек записки. Немецкие предложения поступили через несколько недель в виде прекрасно изданного тома в 500 страниц и 80 чертежей; в них предусматривались: узкая колея, специализированное оборудование, чрезвычайная экономичность, зажатость, точность.

Строители Днепростроя приняли ориентацию на американскую методику. И впоследствии при производстве работ днепростроевцы десятки раз убеждались в том, как они были правы, когда отвергли предложение Сименс Бауунин. Стройка была оснащена великолепными строительными машинами: десятки тяжелых кранов, экскаваторов, паровозов, думкаров, буровых станков, сотни станков для мастерских. Наши рабочие быстро научились владеть иностранной техникой, а наш Сормовский завод выпустил думкары по образцу полученных,

но в полтора раза большей мощности. Опытные американские строители не только утверждали на словах, но и отпечатывали в сотнях экземплярах гравию Днепростроя с утверждением, что начатая строительством в 1927 г. величайшая в Европе гидроэлектростанция даст ток в 1934 г. На два года ошиблись американцы: станция дала первый ток в намеченный срок, на два года раньше предсказанного Купером, — в 1932 г.

Тяжелая и почетная задача выпала строителям Свирской гэс: они одни из первых в мире решили вопрос постройки тяжелых сооружений на сильно сжимаемых грунтах. Здание станции пришлось строить наклоненным для того, чтобы, приняв нагрузку, оно приняло вертикальное положение. Много других сложных технических вопросов было решено с таким же успехом. Строительство было также хорошо оснащено строительными механизмами.

На Кавказе с окончанием Земо-Авчальской гэс почти одновременно с Днепростроем началось строительство Рионгэс и Дзорагэс, Гизельдонгэс, Баксангэс. В Ташкенте в 1930 г. началось строительство гэс на Кадырье, в Заполярье Нива-II и Тулома. Второе поколение станций вступило в строй в 1932 — 1933 г.: Днепрострой, Свирстрой, Кадырья, Дзорагэс, Рион, Гизельдон. Однако строительство некоторых станций чрезвычайно растянулось — Баксан — 9 лет, Ацгэс — 16 лет.

Все увеличивалось число строителей и проектировщиков, все смелее и увереннее шла работа.

По окончании Днепростроя его кадры и оборудование предполагалось использовать на строительстве крупнейших гидроэлектростанций на Волге и Каме: Василевской, Ярославской и Пермской, однако огромные работы по промышленному строительству в районе Днепростроя не позволили осуществить этого мероприятия в полной мере, а в последующие годы эти стройки были прекращены.

Часть строителей и оборудования была переведена с Ярославского строительства на Углич и Рыбинск, которые можно считать гидростройками третьего поколения, к которому можно отнести: в Ташкенте — Чирчикстрой; на Кавказе — Канакир, Севан, Храмгэс и Сухумгэс; в Ленинграде — Верхне-Свирскую гэс; в Заполярье — Ниву III.

После исторических решений XVIII Съезда ВКП(б) наступил резкий перелом в темпах гидроэнергостроительства, капиталовложения на которое возросли в несколько раз и в 1941 г. уже составили по линии НКЭС и НКВД суммарно свыше 1,5 млрд. руб. Широко развернулись работы на многих новых площадках, непрерывно увеличивая темпы, на старых площадках горячо закипела работа — утроился темп на кавказских строительствах, удвоялись свои темпы строительства Нива-III и Свирь-II.

Перед Великой Отечественной войной в строй было введено 1 600 000 kW гидроэнергии, втрое больше того, что намечал план ГОЭЛРО на 1930 г., но мощности тепловых электростанций были введены в значительно большем количестве, и процентное соотношение между гидроэлектростанциями и

тепловыми оказалось резко отличающимся от начертанного планом в 1920 г. По плану ГОЭЛРО, при его завершении, выработка гидроэлектростанций должна была составить 36% от общей выработки электростанций, а в 1940 г. это соотношение являлось только 13,4%.

В годы войны интенсивное гидроэнергостроительство развернулось в Средней Азии, где широко применялись методы народныхстроек; там было введено в строй пять новых гидростанций, большинство из которых закончено в 1—1½ года, и далеко продвинуты работы по крупнейшей Фархадской гидроэлектростанции, первые машины которой будут введены в будущем году. В других районах Союза за время войны гидроэнергостроительство шло медленно.

В западной части нашего Союза немецкие разведчики нанесли жесточайший урон гидроэнергетике, разрушив и выведя из строя 1 млн. kW гидроэлектростанций. Беспощадно дико разрушена лучшая из гидроэлектростанций мира Днепровская. Ленин, в озверелой злобе немцы полностью уничтожили все оборудование, щитовую стенку и некоторые блоки здания гидроэлектростанции и нанесли страшные повреждения плотине. Несмотря на ввод во время войны новых мощностей в количестве нескольких сотен тысяч киловатт, доля участия гидроэнергии в общем энергобалансе страны значительно снизилась.

* * *

Гениальная прозорливость В. И. Ленина и И. В. Сталина позволила еще 25 лет назад оценить преимущества гидроэлектростанций, те преимущества, которые в цифровом выражении мы установили только теперь.

В настоящее время, когда наши богатейшие гидроресурсы, потенциальная мощность которых оценивается в 300 млн. kW, подверглись довольно хорошему изучению, есть возможность установить, какой процент в общей выработке электроэнергии в том или другом районе должна составить гидроэнергия. Установлено, что в целом ряде районов затраты на гидроэлектростанцию оказываются меньшими, чем на тепловую электростанцию; это имеет место в Заполярье, в Узбекистане, в Армении и Грузии, в районе Иркутска; очевидно, для таких районов нет расчета строить тепловые электростанции и процент гидроэнергии для этих районов будет близок к 100.

Есть и другие районы, такие как Центрально-Черноземный, Белоруссия, Донбасс, Туркмения, реки которых имеют очень малое падение в широкие поймы. Гидроэлектростанции в этих районах требуют огромных затоплений, и стоимость их получается очень дорогой. В то же время в Донбассе и Белоруссии имеются топливные ресурсы. Оценивая все эти обстоятельства, можно прийти к выводу, что здесь процент участия гидроэнергии к общей выработке будет измеряться 5—10.

Для некоторых районов вопрос было решать сложнее. Так, например, для Урала решение в результате длительной работы специальной комиссии этот процент был определен равным 25. Для района Ленинграда и Сибири он должен составить несколько больше 50. В среднем для всего Союза процент участия гидроэнергии будет близок к 35—40%.

Для США, обладающих значительно большими и более качественными запасами угля и более дорогими для освоения гидроэнергоресурсами, этот процент все же составляет сейчас уже почти 40. Для ряда стран участие гидроэнергии в общем балансе выработки электроэнергии еще в 1938 г. выражалось: во Франции—50, Японии—85, Италии—97, Швеции—90, Швейцарии, Норвегии и Канаде—более 98.

У нас в Союзе развитие гидроэнергостроительства по ряду причин, несмотря на все увеличивающиеся темпы, отставало от строительства тепловых электростанций и процент участия увеличивался медленно: нуль в 1920 г., 0,5%—в 1925 г., 4%—в 1928 г., 5,2%—в 1932 г., 11,6%—в 1937 г. и, наконец, 13,4%—в 1940 г. Война оборвала дальнейший быстрый рост.

Необходимо иметь в виду, что процент участия гидроэнергии не постоянен и с усовершенствованием техники передачи электроэнергии, скажем с увеличением расстояния передачи энергии в несколько раз, будет возрастать.

По вопросу стоимости гидроэлектростанций и тепловых электростанций обстоятельным изучением установлено, что при строительстве тепловой станции кроме капитальных затрат по самой станции надо вкладывать до 500 руб. на каждый киловатт мощности: на сооружение шахт или подготовку торфяных болот, на железнодорожное строительство, на жилье для огромной армии рабочих, занятых на добыче и перевозке топлива. Эти затраты раньше при сравнении вариантов не учитывались и приводили порой к ошибочным выводам при решении вопроса, какой станции отдать предпочтение тепловой или гидро. При учете капиталовложений на топливо и транспорт стоимость лучших тепловых электростанций с агрегатами в 50 и 100 тыс. kW обходится в среднем до 1 800 руб. на 1 установленный kW, для станций с меньшими машинами до 2 000 руб., а для малых станций с машинками по 6 тыс. kW и меньше даже до 4 000 руб. Это установлено специальной работой «Гидроэнергпроект», законченной в текущем году.

В то же время подтвержденная практикой современного строительства стоимость гидроэлектростанций в среднем на 1 установленный kW мощности составляет 3 000 руб. При этом разница в стоимости отдельных гидростанций колеблется в широких пределах от 1 800 руб.—2 000 руб. (Днепротэс, Ангарская, Саларская и др.) и до 10 тыс. руб. (Маломальская) на 1 установленный kW. В среднем получаем, что стоимость гидроэлектростанции только на 35% выше тепловой электростанции.

По срокам строительства установлена возможность при соответствующем оснащении строительным оборудованием и др. заканчивать стройки в короткие сроки. Из ранних строек тому пример Земо-Авчалская гЭС—3½ года, Днепрострой—5 лет, позднее Нива-II—4 года, Тулома—3½ года, во время войны узбекские стройки каждая мощностью более 10 тыс. kW, Ак-Кавак-I—17 мес., Ак-Кавак-II—16 мес. Саларская—13 мес. За границей стройки заканчивались в более короткие сроки, а во время войны на р. Теннесси в США гидроэлектростанция Дуглас мощностью 120 тыс. kW дала первый ток через 14 мес. после начала работ.

По стоимости энергии установлено, что 1 kWh гидроэнергии стоит от 1½ до 3 коп., в то время как стоимость энергии от тепловых электростанций колеблется от 4 до 11 коп., т. е. в среднем в три раза дороже.

По общей ежегодной экономии установлено, что каждый миллион киловатт гидроэлектростанций дает денежную экономию в 225 млн. руб. на разнице в стоимости энергии, экономит угля 4,5 млн. т, на транспортных перевозках—1,8 млрд. tkm и, наконец, освобождает из шахт и болот, а также от угольных топок 14 000 человек рабочих.

По работе в энергосистеме установлено, что работа даже мало зарегулированной гидростанции в соразмерной ей системе чрезвычайно эффективна и тем выше, чем больше пиковости графика нагрузки. Это особенно существенно в послевоенное время, когда бытовым вопросам теперь уделяется столько внимания. Бытовая нагрузка может получить весьма чувствительные размеры. Так, например, в США в 1944 г. величина бытового потребления электроэнергии достигла 15% от общего потребления и составила внушительную цифру в 40 млрд. kWh (без учета расхода энергии на мелкую моторную нагрузку в сельских местностях, составляющего примерно такую же величину).

При возросшей пиковости графика нагрузки гидроэлектростанции будут чрезвычайно облегчать работу энергосистем. Все перечисленные преимущества привели уже к тому, что за границей гидроэлектростанции получили широчайшее распространение; даже во время войны их строительство шло быстрыми темпами. В Канаде, все население которой составляет только 10 млн. человек, во время войны ежегодно вводилось до 500 тыс. kW, а в США—свыше 1 млн. kW.

Необходимо вспомнить, что во время войны эвакуированные на восток СССР предприятия вступали в строй, существенно перегружая энергетическую базу восточных районов. И несмотря на то, что за время войны мощность восточных электростанций удвоилась, работа их проходила неизменно при очень большом числе часов использования. Теперь, планируя ввод новых мощностей, необходимо делать особый упор на строительство гидроэлектростанций с тем, чтобы в ближайшие 15—20 лет довести их участие в работе разных энергосистем до процента, оптимально соответствующего условиям данного района.

В наступающем пятилетии восстановление старых заводов и развитие новых потребует значительных количеств энергии, быстро будет развиваться также бытовое энергопотребление. При этих условиях развитие генерирующих мощностей должно пойти еще быстрее, так как встанет задача не только удовлетворить нового потребителя, но и снизить число часов использования установленной мощности в ряде районов, чтобы создать необходимые резервы. Все это требует развертывания самого широкого гидроэнергостроительства.

Если принять, что доля участия гидроэнергии в общем балансе выработки электроэнергии электростанциями Союза будет повышаться постепенно с 10% в 1945 г. до 20% в 1950 г., до 30% к 1955 г. и, наконец, до 36% в 1960 г., темпы роста гидроэнергостроительства должны будут все время резко возрастать. В первом послевоенном пятилетии потребуется восстановить и ввести до 3 млн. kW

гидроэлектростанций, в следующем — 5,5 млн. kW и, наконец, в пятилетии 1955—1960 гг.—8,5 млн. kW.

Соответственно вводу новых мощностей и в полнению работ по переходящим объектам (зделу), которые обеспечат этот возрастающий в мощности, необходимые ассигнования на гидроэнергостроительство в первом послевоенном пятилетии составят 10—12 млрд. руб., в следующем они поднимутся до 20 млрд. руб. и в третьем послевоенном—до 30 млрд. руб. за пятилетие. Ежегодный эффект от выполнения такого плана может быть грандиозен—освобождается из шахт, с торфяных болот, транспорта от топок до 250 тыс. рабочих, сохраняется от сжигания 80 млн. t угля, железные дороги разгружаются от перевозок 32 млрд. tkm топлива и, наконец, на разности в стоимости энергии, равной примерно 6 коп., экономится до 4 млрд. руб. Эта ежегодная экономия обеспечивает почти все дальнейшее гидроэнергостроительство.

В каком направлении желательно было бы развивать гидроэнергостроительство отдельных районов СССР в предстоящее пятилетие?

На Севере необходимо вести гидроэнергостроительство в Мурманском крае для удовлетворения развивающейся промышленности цветных металлов. Кроме окончания Нива-III нужно закончить среднюю гидроэлектростанцию Нива-I и начать крупную Князегубскую гЭС; в Карело-Финской ССР (г. Петрозаводск) на очереди должно быть восстановление Суны и строительство Валазменского водохранилища и малой при нем гЭС.

В Ленинградском районе необходимо восстановить до полной мощности гидроэлектростанции Свирь-III, Роухнала и Энсо. Закончить строительство далеко продвинувшейся вперед перед войной гидроэлектростанции Свирь-II и приступить к постройке одной новой гЭС на р. Нарове, которая является лучшей станцией Северо-Западного района. Эта станция могла бы снабжать энергией также Эстонии. Намечающийся огромный рост энергопотребления в центральных районах Европейской части СССР необходимо обеспечить как путем наращивания мощностей тепловых электростанций, так и ввода новых гидроэлектростанций. Для сохранения доли участия гЭС в энергобалансе этих районов необходимо немедленно же начать интенсивное строительство Калужской гЭС на р. Оке и Горьковской гЭС на р. Волге.

На Урале, мощные энергосистемы которого все лишены гидроэлектростанций, следует ввести в эксплуатацию половину машин Молотовской гЭС. Кроме ввода Молотовской гЭС на Урале необходимо окончание строительства ряда мелких и средних гидроэлектростанций.

На Украине мощный коллектив, работающий на восстановлении ДнепрогЭС, сможет быть переключен на Кременчугскую электростанцию.

В Белорусской ССР, бедной гидроэнергией, желательно ввести в строй среднюю гЭС на Вилейском каскаде и начать Оршанскую гЭС на Днепре.

В Латвии предстоит окончание восстановления крупной Кегумской гЭС на р. Западная Двина.

В Грузии должно быть закончено строительство Храмской и Сухумской гидроэлектростанций и начато строительство новой гЭС и Шоори гЭС.

В Армении необходимо закончить строительство Озерской гЭС и начать строить Гюмушскую гЭС.

В Азербайджане к 1950 г. должны дать ток машины крупной Мингечаурской гЭС.

На Северном Кавказе необходимо закончить три средних гидроэлектростанции и начать четыре новых средних гЭС, а затем крупную Дарьяльскую гЭС на р. Терек.

В Узбекистане следует закончить строительство начатых гидроэлектростанций и в этом числе Фархадской и начать ряд новых средних гЭС и одну или две крупных.

В Казахстане возможен ввод в конце пятилетия первых машин Усть-Каменогорской гЭС и продолжать вводить мелкие гидростанции в районе Алма-Ата.

В Сибири, качественные запасы водной энергии которой еще совершенно не затронуты, необходимо начать строительство ряда крупных гидроэлектростанций: Новосибирской на р. Оби, Ангарской на Ангаре у Иркутска, Таландинской у Комсомольска на р. Горюн и Канской у Красноярска. Удивительно дешевая энергия некоторых из этих станций позволит организовать во втором послевоенном пятилетии развитие энергоемкого производства и заложить твердый фундамент для дальнейшего использования несравненных гидроресурсов Сибири.

Для успешного выполнения новых больших задач энергостроительства необходимы следующие условия.

Первое — сохранять созданные коллективы, переводя их по окончании строительства одной гидроэлектростанции на строительство новой.

Второе — оснастить строительные организации современными строительными машинами, а мастерские, заводы и подсобные предприятия — станками.

Третье — своевременно снабжать стройки материалами.

Четвертое — суметь создать на стройках хорошие бытовые условия в целях привлечения рабо-

чих, из которых нужно подготовить строительные кадры для работы на мощных заводах.

Пятое — немедленно начать подготовку инженеров гидроэнергостроителей в специальном институте системы НКЭС.

Шестое — обеспечить своевременное развитие заводов-изготовителей основного оборудования турбин, генераторов, трансформаторов, комплектующей аппаратуры, автоматики, подъемных механизмов.

Седьмое — обеспечивать тщательное предварительное изучение новых возможных объектов гидроэнергостроительства (изыскания, исследования, лабораторные опыты, проектирование), памятуя, что прежде чем явится возможным оценить действительную стоимость гидроэлектростанции и ее эффективность, нужна очень глубокая работа по изучению геологических, гидрогеологических, топографических, гидрологических условий, районов затопления, вопросов качества и количества строительных материалов. Несоблюдение этого условия принесло много разочарований, и немало строек пришлось закрывать.

Восьмое — отыскивать новые наиболее эффективные решения как в общих компоновках и конструкциях, так и в области изысканий и исследований. Проверять лабораторными опытами новое и не бояться необычности решений, если они дают хороший эффект.

Мы будем бороться за выполнение этих условий, а вместе с тем и за выполнение новой величественной программы гидроэнергостроительства, которая освободит сотни тысяч людей от тяжелого труда и вооружит нашу социалистическую родину дешевой и надежной энергией на пути к дальнейшим победам.

Развитие электрификации сельского хозяйства СССР за 25 лет

Кандидат сельскохозяйств. наук А. Г. ЗАХАРИН

Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

При разработке плана электрификации страны Комиссия ГОЭЛРО уделила серьезное внимание вопросам электрификации сельского хозяйства как мощному фактору подъема сельскохозяйственного производства и культурного роста деревни.

Проблема электрификации сельского хозяйства явилась предметом изучения специальной агрономической секции ГОЭЛРО; в проектах электрификации отдельных районов страны — Северного, Центрально-Промышленного и др. — учитывались потребности сельского хозяйства в электроэнергии; наконец, в докладе Комиссии ГОЭЛРО VIII Съезду Советов РСФСР электрификация сельского хозяйства посвящена отдельная глава, в которой наряду с принципиальными положениями о роли электрификации в советских условиях выдвигаются конкретные вопросы об электрификации интенсивного

пригородного хозяйства, об электрификации животноводства, как «самого удобного поля для применения электроэнергии», электрификации орошения в степных и засушливых районах, а также о применении электроэнергии для обработки почвы наряду с тракторами.

В течение 25 лет, прошедших со времени составления плана ГОЭЛРО, в сельском хозяйстве Советского Союза произошли истинные гигантские сдвиги: оно превратилось в крупное коллективизированное хозяйство с самым высоким в мире процентом механизации полевых работ. На фоне этих исторических сдвигов успехи в области электрификации сельского хозяйства СССР пока еще относительно не велики. Однако сегодня мы можем с полной уверенностью утверждать, что основная мысль доклада ГОЭЛРО о высокой эффективности элек-

трификации сельского хозяйства в советских условиях получила полное практическое подтверждение.

Первые шаги в области сельской электрификации связаны у нас с Октябрьской революцией и с именем Ленина: в 1918 г. зажглись в деревне первые «лампочки Ильича»; 12 ноября 1920 г. Владимир Ильич выезжал на открытие сельской электростанции в д. Кашино (Волоколамского района Московской области).

К 1930 г. общее количество сельскохозяйственных электроустановок превысило 800 с суммарной мощностью 39 тыс. kW и потреблением электроэнергии 49 млн. kWh.

Дальнейшее развитие сельской электрификации совпадает с годами сталинских пятилеток. Участие мощных районных энергосистем в электроснабжении сельскохозяйственных районов поднялось с 2% в 1928 г. до 50% в 1936—1938 гг.

В Днепропетровской области, начиная с 1933 г., т. е. сейчас же после пуска Днепрогэс, электрификация сельскохозяйственных районов получила широкий размах. К 1938 г. в области (в старых границах) было построено свыше 300 км сельскохозяйственных линий электропередачи 35 kV, которые питали 21 трансформаторную подстанцию 35/6 kV суммарной мощностью 15 600 kVA. В колхозах насчитывалось 800 трансформаторных киосков, а установленная мощность электродвигателей составляла 17 тыс. kW. Электроэнергия находила себе широкое применение в самых разнообразных отраслях сельскохозяйственного производства.

Значительного развития достигла также электрификация колхозов в Московской области, где, например, в Подольском и Ленинском районах 60—70% колхозов снабжались электроэнергией от системы Мосэнерго, а также в некоторых районах Горьковской, Саратовской, Киевской и других областей Союза.

Суммарная мощность сельскохозяйственных электроустановок в 1938 г. достигла 246 тыс. kW, а потребление электроэнергии сельским хозяйством—370 млн. kWh.

Оценивая значение этого этапа в развитии сельской электрификации Советского Союза, прежде всего следует отметить те высокие качественные показатели, которые характерны для электрификации крупного коллективизированного хозяйства. Известно, что в передовых странах Западной Европы, где до войны было охвачено электроснабжением 80—90% крестьянских хозяйств, основным препятствием в развитии электрификации сельскохозяйственного производства являлись малые размеры единоличного крестьянского хозяйства, которое не располагает средствами для первоначальных затрат и не может эффективно использовать высокопроизводительные машины. Так, например, в Германии по довоенным данным использование мощности сельскохозяйственной электростанции в 350 kW составляло всего лишь 700—800 и не свыше 1 000 h в год; электродвигатели в крестьянских хозяйствах до войны работали в среднем 80—150 h в год; комплексная электрификация животноводства оказывалась не эффективной при малых размерах крестьянских ферм, а многочисленные попытки немецких предпринимателей повысить потребление электроэнергии и использование мощности в сельском хозяйстве неизменно оканчивались неудачей, что заставляло немецких авторов жаловаться на тупость и косность немецкого крестьянина, который не понимает преимуществ электрификации.

Комплексная электрификация колхозного производства в Советском Союзе характеризуется высокими коэффициентами использования. Так, например, Петрокаменская сельскохозяйственная гэс на Урале мощностью 350 л. с. в 1938 г. имела коэффициент использования в 3 250 h; использование мощности сельскохозяйственных трансформаторных подстанций 35/6 kV в Запорожском районе на Украине в 1938 г. превышало 4 000 h, а колхозных трансформаторных киосков—2 200 h; электродвигатели при комплексном использовании работали 800—1 000 и больше h в год; электрификация колхозных молочных ферм в Московской области дала прекрасные результаты: длительное изучение эффективности этих ферм показало, что при электрификации процессов водоснабжения, кормоприготовления и дойки производительность труда повышается на 50—70%, количество продукции увеличивается с 8—10 тыс. l в год на человека до 14—15 тыс. l, а количество обслуживающего персонала снижается при поголовьи в 50 коров на 25%, а при поголовьи в 100 коров—на 35%.

Высокой эффективностью в колхозных условиях отличается также электрификация молотбы: опыт украинских колхозов показал, что при электрификации всех производственных процессов на молотильном току состав бригады, обслуживающей сложную молотилку, сокращается с 32—35 до 16—17 человек, освобождаются 6 рабочих лошадей, и расходы по электромеханизации молотильного тока окупаются в течение одного сезона.

Наконец, проблема электрификации полевых работ может быть решена только на больших массивах коллективного хозяйства. Шестилетний опыт работы электротракторов советской конструкции в одной из машинотракторных станций Саратовской области показал, что использование электроэнергии при высоком качестве работ сокращает по меньшей мере в 3 раза расходы по ремонту, освобождает

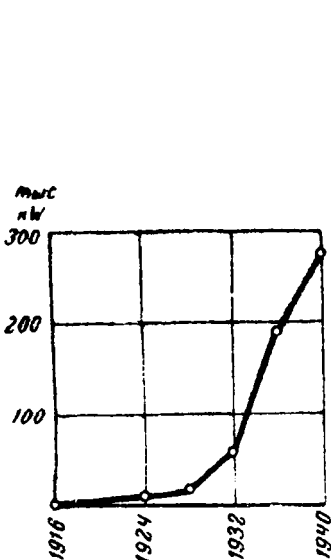


Рис. 1. Рост общей мощности сельских электроустановок.

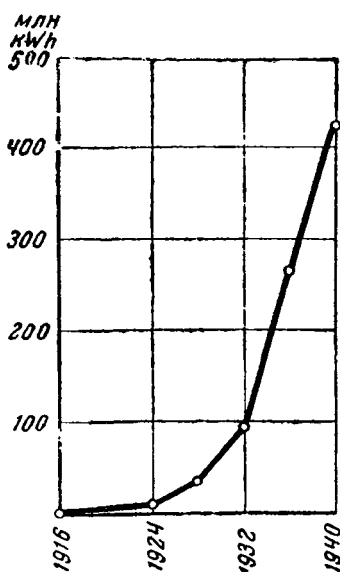


Рис. 2. Рост потребления электроэнергии сельским хозяйством.

около 40% персонала тракторных полевых бригад в 7 раз уменьшает потребность в подсобной тягловой силе (для подвозки горючего и воды).

Все эти примеры, количество которых можно было бы значительно увеличить, подтверждают то основное положение, что электрификация крупного колхозного производства в Советском Союзе уже на первых этапах развития оказалась значительно более эффективной по сравнению с условиями мелкого единоличного хозяйства зарубежных стран.

В процессе дальнейшего развития, еще в довоенные годы, стало очевидно, что одним из основных вопросов широкой электрификации сельских районов Советского Союза является создание собственной энергетической базы для районов, удаленных от зоны действия мощных энергетических систем, т. е. строительство в этих районах специальных сельскохозяйственных электростанций, использующих местные энергетические ресурсы.

С 1939 г. в соответствии с решениями XVIII Съезда ВКП(б) о строительстве гидрогазогенераторных и ветростанций небольшой мощности строительство таких станций, и в первую очередь гидростанций на малых реках, приобретает значительный размах в сельских районах, лишенных централизованного электроснабжения.

Начавшаяся война нарушила ход этого строительства, но не смогла надолго приостановить процесс развития электрификации страны. В напряженных военных условиях высокая эффективность электрификации как фактора повышения производительности труда сказалась еще более наглядно. Показательно, что в некоторых колхозах в восточных районах страны именно в военные годы электрификация сельскохозяйственного производства получила широкое развитие. Так, например, в колхозе «Заря», Свердловской области, на базе локомотивной электростанции мощностью 105 л. с. были электрифицированы водоснабжение, кормоприготовление, молотьба, зерноочистка, мельница, орошение огородов; были оборудованы механические мастерские с электросваркой, деревообделочные мастерские и лесопильная рама. В этих условиях колхоза при сократившемся количестве трудоспособных колхозников сумел не только расширить посевные площади и увеличить сельскохозяйственное производство, но также выполнить значительный объем строительных работ. В настоящее время колхоз заканчивает строительство собственной гидроэлектростанции и предполагает после ее пуска электрифицировать при помощи электротракторов весь комплекс полевых работ.

В военные годы началось массовое строительство колхозных электростанций, причем в ряде областей и республик колхозники приняли на себя обязательство собственными силами построить электростанции и электрифицировать свои хозяйства.

Совет Народных Комиссаров Союза ССР, одобряя эту инициативу постановлением, принятым в текущем году, наметил программу работ и мероприятия государственной помощи колхозам, необходимые для осуществления этой программы.

О масштабах развернувшихся работ можно судить по примеру Свердловской области: если до 1945 г. здесь было электрифицировано лишь 7,5% колхозов, то в 1945 г. принята и успешно завершается программа электрификации 1 000 колхозов, т. е. немногим менее 50% всех колхозов области; причем заканчивается строительство 215 колхозных гидроэлектростанций. Значительный размах получили строительство гидроэлектростанций и электрификация колхозов в Узбекской ССР, в Молотовской, Горьковской и других областях Союза. Параллельно со строительством колхозных гидроэлектростанций продолжает развиваться использование для сельской электрификации мощных энергосистем. Так, для Московской области разработана и начала осуществляться схема широкой электрификации сельских районов, в которой строительство нескольких сот колхозных гидроэлектростанций сочетается с использованием существующей сети Мосэнерго и строительством сельскохозяйственных линий передачи и подстанций 30 кВ, а в отдельных случаях и 110 кВ. Мощность, потребная от системы Мосэнерго для электрификации сельскохозяйственных районов области, исчисляется цифрами порядка 150—180 тыс. кВт.

При этом, однако, по Союзу в целом удельный вес мощных энергосистем в электроснабжении сельских районов падает и в ближайшие годы составит, повидимому, не более 25—30% вместо 50% в 1938 г.

Таким образом к концу войны и к началу мирного послевоенного строительства электрификация сельского хозяйства в Советском Союзе твердо стала на путь использования местных ресурсов и приняла характер массового народного движения, а по размаху и темпам строительства во много раз превзошла довоенный уровень.

Объем нового строительства, намечаемый на ближайшее пятилетие, должен по количественным показателям в 6—7 раз превысить объем работ за предыдущие 25 лет. Необходимо, однако, помнить, что осуществляемая в настоящее время электрификация является лишь первым этапом в процессе реконструкции всей энергетической базы сельскохозяйственного производства. Социалистические формы нашего сельского хозяйства, широкие возможности комплексного использования всех элементов оборудования, а также принцип наиболее рационального использования местных энергетических ресурсов создают в Советском Союзе наиболее благоприятные и совершенно своеобразные условия развития сельской электрификации, не известные в зарубежных странах. Поэтому советской энергетике в ближайшие годы предстоит проделать большую работу по созданию простых и экономичных схем и конструкций сельскохозяйственных электроустановок и малых энергосистем, отвечающих многообразным условиям различных районов нашей страны.

Нет сомнений, что при том большом внимании, которое уделяют партия и правительство и лично товарищ Сталин вопросам сельской электрификации, эта задача будет успешно выполнена.

40-летие Московской школы энергетиков

Доктор техн. наук, проф. Г. Н. ПЕГРЭВ

М. к. вский-энергетический институт им. Молотова

Двадцатипятилетие ГОЭЛРО совпадает с 40-летием организации высшего электротехнического образования в Москве.

В 1905 г. на механическом отделении МВТУ было впервые введено преподавание электротехнических дисциплин: теории переменных токов, электрических машин и установок и др., которые совместно с механическими и теплотехническими дисциплинами образовали электромеханическую специальность.

До 1905 г. преподавание электротехники сводилось к чтению одного курса. Первая лекция по электротехнике в МВТУ была прочитана проф. Б. И. Угримовым в 1900 г. С образованием электромеханической специальности преподавание электротехники получило свое дальнейшее развитие. Электромеханическая лаборатория, помещавшаяся в физическом институте МВТУ, получила дополнительное оборудование. К преподаванию электротехники были привлечены новые лица и среди них К. А. Круг и Н. И. Сушкин.

До Великой Октябрьской революции высшее электротехническое образование в России, в противоположность теплотехническому, развивалось слабо, и период между 1905 и 1918 гг. можно рассматривать лишь как период постепенного оформления тех основ высшей электротехнической школы, на базе которых в дальнейшем эта школа получила свое самостоятельное развитие.

Передовые представители технической интеллигенции того времени сознавали необходимость расширения в России высшего электротехнического образования, которое в сочетании с прочно сложившимся к тому времени теплотехническим образованием могло бы обеспечить подготовку нужных стране инженеров-энергетиков. Однако только в 1916 г. в МВТУ удалось приступить к организации электротехнического отделения. Только после Великой Октябрьской революции эта работа была завершена и в 1918 г. в МВТУ был образован самостоятельный электротехнический факультет. Этим было положено прочное основание для дальнейшего развития электротехнического и энергетического образования в Москве.

Задачи, которые стояли в тот период перед электротехнической школой, и, в частности, московской школой, были огромны.

25 лет тому назад в нашей стране было начато осуществление плана ГОЭЛРО; в сталинских пятилетках электрификация промышленности, транспорта и сельского хозяйства получила мощное развитие.

Для того чтобы справиться с этой задачей, нужны были кадры инженеров-специалистов. Создание этих кадров и явилось основной задачей высшей школы.

Параллельно с развитием высшего электротехнического и энергетического образования в Москве подготовка инженеров электриков и энергетиков проводилась в высших школах Ленинграда, где преподавание электротехники как самостоятельной дисциплины началось еще раньше, а также и в Харькове.

В первый период своего развития электротехнический факультет МВТУ встречал большие затруднения: не было достаточного помещения, необходимого оборудования и должного состава профессоров и преподавателей. Для того чтобы наладить преподавание основных электротехнических дисциплин, небольшому наличному составу профессоров — К. А. Кругу, К. И. Шенферу, Н. И. Сушкину, М. К. Поливанову, Б. И. Угримову, Л. К. Рамзину, Л. И. Сиротинскому приходилось брать на себя организацию и чтение разнообразных курсов. Им помогали более молодые преподаватели, в большинстве своем воспитанники МВТУ — В. С. Кулебакин, А. А. Глазунов, А. Я. Рябков, Н. Н. Луценко, В. В. Шулейкин, М. А. Перекалин, Е. В. Нитусов и др.

Реализация плана ГОЭЛРО заставила обратить серьезное внимание на постановку электротехнического образования, на создание научных кадров по электротехнике. Не имея возможности в нужной мере развить научную деятельность в стенах электротехнического факультета, группа профессоров и преподавателей во главе с проф. К. А. Кругом в 1921 г. организовала научно-исследовательский институт по электротехнике, получивший название ГЭЭИ и выросший затем в крупный научный электротехнический центр — ВЭИ. Большое внимание было уделено на электротехническом факультете развитию электроэнергетической, теплоэнергетической и гидроэнергетической специальностей. Замечательная научная школа теплотехников, возглавляемая профессорами В. И. Гриневецким и К. В. Киршем, выросшая и развивавшаяся в МВТУ, в значительной мере способствовала этому.

В 1925 г. электротехнический факультет МВТУ представлял собой крупную электротехническую школу, в которой в основных чертах уже сложилась система подготовки инженера-энергетика и электрика, существующая в настоящее время. Быстрый рост различных отраслей народного хозяйства привел к необходимости значительного расширения контингента учащихся МВТУ. В 1929 г. эта крупнейшая в Союзе высшая политехническая школа была реорганизована и на ее базе был создан ряд самостоятельных крупных вузов, одним из которых явилось Московское энергетическое училище, которое в 1930 г. после слияния с электропромышленным факультетом Института народного хозяйства им. Плеханова получило название Московского энергетического института. Таким образом начатая в 1905 г. в недрах МВТУ организация высшего энергетического и электротехнического образования была закончена в 1930 г., т. е. через 25 лет, образованием крупного самостоятельного энергетического вуза.

Дальнейшее развитие МЭИ, которому присвоено было имя тов. В. М. Молотова, шло быстрыми темпами: развивалась лабораторная база института и постепенно крепнул профессорско-преподавательский коллектив, пополняемый молодыми силами — воспитанниками самого института. В институте создавалась крупная научная электротехническая школа. В 1940 г. за выдающуюся деятельность в

области подготовки инженерных кадров институт был награжден орденом Ленина.

Особенно широкое развитие институт получил во время Великой Отечественной войны, когда на него пала основная тяжесть подготовки энергетических кадров для Советского Союза. Почти полностью была обновлена лабораторная база института; был создан ряд новых лабораторий: автоматизации и релейной защиты энергетических систем, электрических сетей и систем, электрических станций, преобразовательной и выпрямительной техники, кабельной техники, авиа- и автотракторного электрооборудования, радиолокации, теоретических основ теплотехники, теплопередачи, автоматизации контроля тепловых процессов, газопечной теплотехники и военно-авиационной электротехники.

В настоящее время институт насчитывает в своем составе около 5 тыс. студентов. Огромная армия инженеров—воспитанников МЭИ работает в самых разнообразных энергетических и электротехнических предприятиях Советского Союза. Они активно помогали нашей доблестной Красной Армии в ее борьбе против фашистских захватчиков и ак-

тивно участвуют в восстановительной работе. Можно назвать десятки славных имен, сотни фамилий инженеров, окончивших институт и являющихся в настоящее время крупнейшими деятелями нашего государства.

Сорок лет — это долгий, сложный путь, который прошла московская школа энергетиков, в течение которого был накоплен большой положительный опыт. Этот опыт создает уверенность, что коллектив этого крупнейшего в Союзе института сумеет и в дальнейшем правильно разрешать новые задачи по подготовке инженерных кадров, способных обеспечить быстрое развитие энергетики и электротехники в Советском Союзе. Вторая мировая война создала предпосылки для крупнейших сдвигов в современной технике, сблизила между собой казавшиеся раньше далекими задачи теоретической физики, химии и энергетики и предъявила новые требования к инженеру — творцу современной техники. Обеспечить подготовку таких инженеров — это новая задача, которая поставлена перед высшей технической школой.

Особенности проектирования амплидинов

Кандидат техн. наук Я. С. ЭПШТЕЙН

Всесоюзный электротехнический институт

В статье рассмотрено влияние размагничивающего эффекта коммутрующих витков на выбор геометрических размеров активной зоны амплидина. Выведены упрощенные формулы для подсчета этих размагничивающих ампервитков и дан подробный анализ с указанием мероприятий для их уменьшения.

В общей теории амплидина обычно принимают, что э. д. с. на выходе (при холостом ходе или при нагрузке и полной компенсации реакции якоря в продольной оси) пропорциональна квадрату числа оборотов. Действительно, э. д. с. E_2 якоря в поперечной оси при неизменной величине тока управляющей обмотки пропорциональна числу оборотов. Следовательно, ток i_2 короткозамкнутой цепи и создаваемый им поток Φ_2 (при отсутствии насыщения, что имеет место в амплидине) также пропорциональны числу оборотов, т. е.

$$\Phi_2 \propto n.$$

Так как э. д. с. E_3 на выходе пропорциональна потоку Φ_2 и числу оборотов, то

$$E_3 \propto n^2.$$

Однако все эти выводы сделаны без учета размагничивающего влияния коммутрующих короткозамкнутых секций якоря. В действительности размагничивающее влияние коммутрующих секций при отсутствии добавочных полюсов в поперечной оси¹ настолько велико, что ампервитки этих секций в несколько раз превосходят ампервитки обмотки управления, необходимые для создания номинальной э. д. с. на выходе при отсутствии размагничивающего эффекта коммутрующих секций. При определенном количественном соотношении этих ампервитков меняется качественная картина нарастания напряжения E_3 на выходе при увеличении числа оборотов.

Вместо прямолинейной характеристики $E_3 = f(n)$, получаемой без учета размагничивающего эффекта коммутрующих секций (пунктирная кривая I на рис. 1), действительная характеристика с учетом

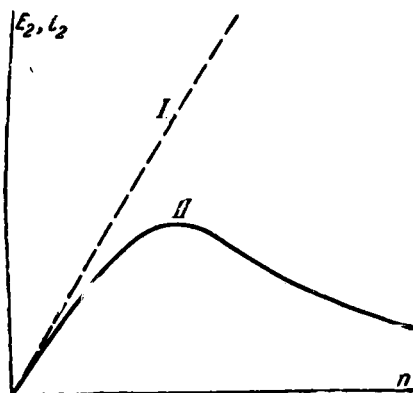


Рис. 1. Кривые тока поперечной цепи i_2 в зависимости от числа оборотов.

I — без учета размагничивающего эффекта коммутрующих секций; II — действительные характеристики.

этого фактора имеет более сложную форму, которая изображена сплошной кривой II на рис. 1. Так как ток в поперечной (короткозамкнутой) цепи пропорционален E_2 , то эта же кривая в некотором масштабе дает зависимость $i_2 = f(n)$. Точно так же кривая $E_3 = f(n)$ вместо параболической формы (пунктирная кривая I на рис. 2) имеет вид, изображенный на рис. 2 сплошной линией. Из этих кривых

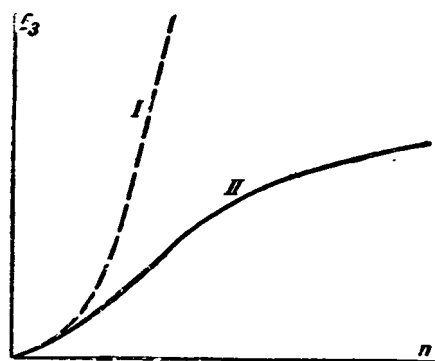


Рис. 2. Кривые выходного напряжения амплидина $E_3 = f(n)$.

видно, что при неизменном значении тока i_1 в управляющей обмотке ток i_2 в поперечной оси нарастает до определенного числа оборотов. При дальнейшем увеличении числа оборотов ток i_2 уменьшается.

Напряжение E_3 на выходе изменяется при малых оборотах приблизительно пропорционально квадрату, затем пропорционально первой степени и в дальнейшем приблизительно пропорционально корню кубическому из квадрата числа оборотов.

В отличие от обычных машин постоянного тока, в которых мощность изменяется пропорционально числу оборотов, для каждого амплидина (в зависимости от его конструктивных параметров) существует оптимальное по мощности число оборотов и дальнейшее их увеличение дает лишь небольшой выигрыш в мощности. В дальнейшем мы более подробно остановимся на этом вопросе.

Размагничивающий эффект коммутрующих секций. Как известно из теории машин постоянного тока, влияние коммутрующих секций на главное поле определяется характером коммутации. При прямолинейной коммутации распределение токов в короткозамкнутых секциях (при равномерно распределенной обмотке) показано на рис. 3а. Относительно оси щетки эти токи распределены симметрично и направлены в противоположные стороны. Эти токи упрощают форму распределения м. д. с. якоря, но не смещают оси этой м. д. с. относительно нейтрали. В самом деле, при протекании тока i_2 в каждом витке равномерно распределенной обмотки форма распределения якоря имеет вид треугольника (пунктирная кривая на рис. 3б). Так как ток

¹ Амплидины зачастую проектируются без указанных полюсов.

в витках, находящихся под щеткой, меньше i_z и равны нулю под серединой щетки, то действительная форма распределения м. д. с. соответствует сплошной кривой рис. 3б. Ось м. д. с. не смещается относительно нейтрали. Таким образом токи короткозамкнутых секций при прямолинейной коммутации несколько уменьшают величину ампервитков якоря в поперечной оси. Это уменьшение чрезвычайно мало (1—2%) и в дальнейших расчетах не учитывается. На главное поле в продольной оси они никакого влияния не оказывают.

Иная картина получается при криволинейной коммутации (рис. 4). Токи криволинейной коммутации можно рассматривать как суммарный результат

действие на продольное поле в генераторе при замедленной и подмагничивающее — при ускоренной коммутации. Ампервитки добавочных токов, сцепленных с обмоткой возбуждения в продольной оси, пропорциональны заштрихованной площади на рис. 4.

В нормальных машинах постоянного тока влияние коммутирующих витков ничтожно, так как ампервитки основного поля даже в машинах небольшой мощности имеют величину порядка 500—1 000, в то время как размагничивающие ампервитки коммутирующих секций — порядка 26—30; поэтому при проектировании даже при отсутствии дополнительных полюсов их вовсе не учитывают.

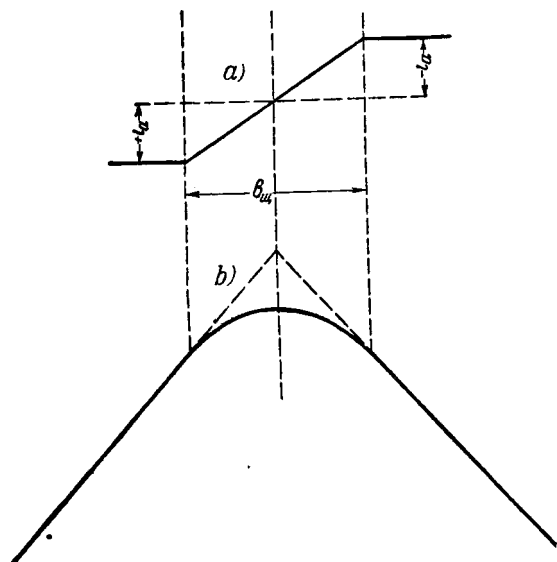


Рис. 3. Кривые м. д. с. якоря и коммутации тока.

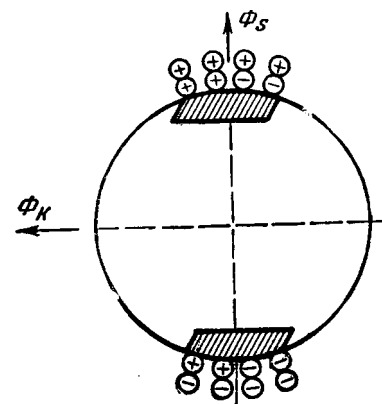


Рис. 5. Распределение токов и потоков короткозамкнутых витков.

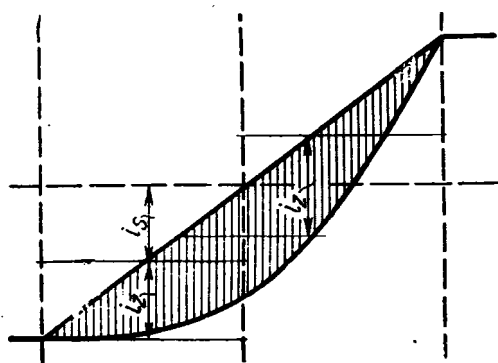


Рис. 4. Кривые токов при замедленной коммутации.

токов прямолинейной коммутации i_s , сумма которых относительно оси щетки равна нулю, и добавочных токов i_z , протекающих короткозамкнутые витки в одном направлении.

Схематически протекание токов в короткозамкнутых секциях изображено на рис. 5. Один слой токов i_s прямолинейной коммутации имеет противоположные знаки относительно оси щеток и создает поток Φ_s , направленный по поперечной оси и не оказывающий влияния на поток продольной оси. Другой слой токов (добавочных токов i_z) создает поток Φ_z , ось которого совпадает с осью продольного поля. Этот поток в зависимости от характера коммутации усиливает или ослабляет продольное поле, а именно добавочные потоки Φ_z оказывают размагничивающее

В амплидинах результирующие ампервитки обмотки управления в продольной оси очень малы (порядка 5—10), поэтому влияние коммутирующих секций огромно и это обстоятельство в корне меняет весь ход проектирования. Приведем вкратце общий вывод уравнения добавочного тока i_z для случая, когда ширина щетки не превышает одного коллекторного деления, а затем на основе этого уравнения выведем упрощенную формулу, облегчающую практически подсчет размагничивающих ампервитков и показывающую, какие параметры необходимо изменить, чтобы свести к минимуму влияние коммутирующих секций на поле обмотки управления.

Если обозначить добавочную э. д. с. в короткозамкнутой секции через e_z и полное сопротивление щеточного контакта через R_k , то, пренебрегая сопротивлением самого витка и соединительных проводов (которое мало по сравнению с R_k), мы получим следующее дифференциальное уравнение для добавочного тока (рис. 6):

$$e_z - L_s \frac{di_z}{dt} - i_z R_k \left(\frac{T}{t} + \frac{T}{T-t} \right) = 0, \quad (1)$$

где T — полное время коммутации; L_s — индуктивность короткозамкнутых секций.

Обозначив $\frac{t}{T} = x$, откуда $dt = T dx$, и подставляя в (1), получим окончательно:

$$\frac{di_z}{dx} + i_z \frac{R_k T}{L_s} \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{1-x} \right) - e_z \frac{T}{L_s} = 0. \quad (2)$$

Решение этого дифференциального уравнения, если учесть начальные условия $x(0)=0$ и $i_k(0)=0$, имеет следующий вид:

$$i_z = \left(\frac{x}{1-x}\right)^{-A} \int_{x=0}^{x=x} \frac{e_z T}{L_s} \left(\frac{x}{1-x}\right)^A dx, \quad (3)$$

где $A = \frac{R_k T}{L_s}$.

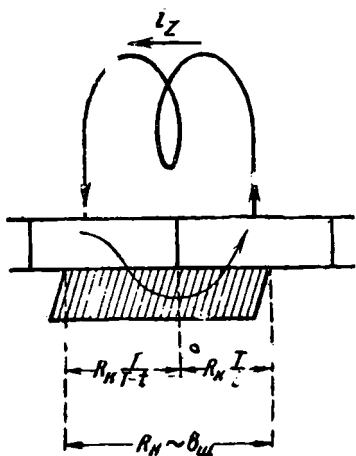


Рис. 6. Протекание добавочного тока по секции и щеточному контакту.

Добавочная э. д. с. e_z при отсутствии дополнительных полюсов является суммой э. д. с. вращения e_a короткозамкнутых витков в поле реакции якоря э. д. с. e_k , наводимой потоками рассеяния паза и лобовых частей вследствие изменения тока при переходе витков из одной параллельной ветви в другую, т. е.

$$e_z = e_a + e_k.$$

Первая составляющая значительно превышает вторую даже в том случае, когда магнитная проводимость в зоне коммутации мала; поэтому добавочная э. д. с. e_z в основном определяется величиной ампервитков реакции якоря в поперечной оси.

Так как ампервитки и поток якоря в зоне коммутации можно приблизительно считать постоянными, то и добавочную э. д. с. e_z в течение периода коммутации также можно считать постоянной; поэтому величину $\frac{e_z T}{L_s}$, входящую в уравнение (3), можно вынести за знак интеграла.

Если по уравнению (3) построить кривую i_z и определить среднее значение i_{zcp} , то размагничивающие ампервитки коммутируемых секций на один полюс

$$AW_g = i_{zcp} \omega_k \beta, \quad (4)$$

где ω_k — число витков одной секции (на одно коллекторное деление); β — число секций, находящихся в коротком замыкании.

В действительности, когда щетка перекрывает несколько коллекторных пластин, величина AW_g меньше той, которая получается согласно уравнению (4) вследствие смещения во времени токов в короткозамкнутых секциях. Так как в амплидинах для уменьшения размагничивающего эффекта

коммутирующих витков применяются щетки минимальной ширины и обычно число коллекторных пластин, перекрываемых щеткой, не больше 1,5, мы не вносим большой погрешности при определении AW_g по уравнению (4).

По уравнению (3) были построены кривые i_z для разных значений величины A , практически получающихся при расчете амплидинов (в пределах $A=0,5 \div 4$) и для $e_z \frac{T}{L_s} = 1$ (произведение $e_z T$ не зависит от n). Эти кривые даны на рис. 7 и там же приведены средние значения добавочных токов i_{zcp} для различных значений величины A . Анализируя эти кривые, мы можем принять без ущерба для точности практических расчетов, что средние значения добавочных токов изменяются обратно пропорционально корню кубическому из A^3 . При $A=1$ $i_{zcp} = 0,145A$ (рис. 7).

Таким образом мы можем составить следующее уравнение для определения среднего значения тока

$$i_{zcp} = 0,145 e_z \frac{T}{L_s} \sqrt[3]{\frac{1}{A^3}}. \quad (5)$$

Преобразуем уравнение (5). Мы можем написать что

$$e_z = B_q 2lv \omega_k \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

где v — окружная скорость в м/сек; ω_k — число витков в секции; l — длина активного железа в ст B_q — индукция в зоне коммутации, обусловленная полем реакции якоря.

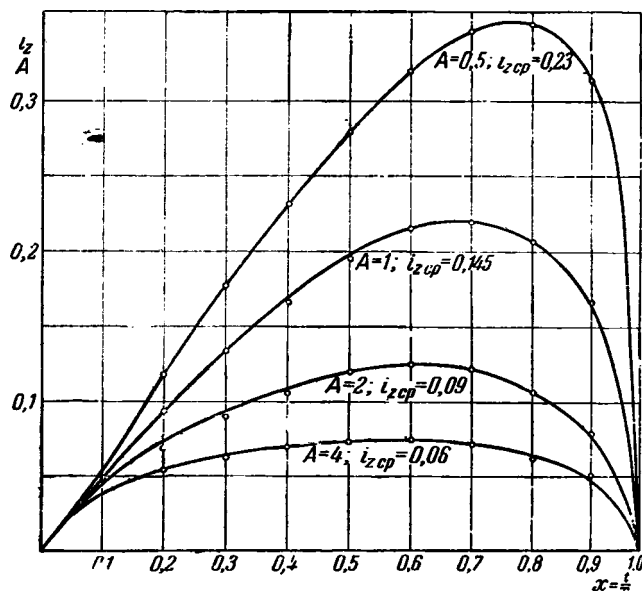


Рис. 7. Кривые добавочных токов i_z для разных значений A .

Так как в зоне коммутации действует максимальная величина ампервитков якоря, то

$$AW_g = \frac{i^2 \omega_k}{2}$$

(вывод уравнения производится для двухполюсного амплидина, как преимущественно применяемого в практике). Здесь AW_g — максимальная величина ампервитков якоря на один полюс; ω_k — эффектив-

ное число витков якоря (число витков одной параллельной ветви).

Обычно в амплидинах даже при малых насыщениях ампервитки, необходимые для проведения потока через железо, составляют в среднем около 25% от общих ампервитков.

Таким образом при равномерной магнитной проводимости по окружности статора уравнение, связывающее ампервитки якоря с индукцией в зоне коммутации, принимает следующий вид:

$$0,75 \frac{i_2 \omega_y}{2} = 0,8 K_c \delta B_q, \quad (7)$$

где B_q — индукция, обусловленная полем реакции якоря.

Принимая в среднем $K_c = 1,15$ и подставляя его значение в (7), получим окончательно:

$$B_q \approx 0,41 \frac{i_2 \omega_y}{\delta}. \quad (8)$$

Подставляя значение B_q из (8) в (6) и принимая во внимание, что для двухполюсной машины окружная скорость $v_m = \tau_{cm} - \frac{n}{3000}$, получим:

$$e_z = 0,82 \frac{\omega_k \omega_y l \tau}{\delta} \cdot \frac{n}{3000} i_2 \cdot 10^{-6}. \quad (9)$$

Далее, индуктивность рассеяния L_s , когда обе секционные стороны, расположенные друг над другом, одновременно выходят из состояния короткого замыкания, равна

$$L_s = 4 \omega_k^2 l \cdot \lambda \cdot 10^{-8}, \quad (10)$$

где λ — суммарная проводимость для потоков рассеяния пазов и лобовых частей.

Период коммутации

$$T = \frac{\frac{v_{ш}}{n}}{\frac{\pi D_k}{60}} = \frac{19 \theta_{ш}}{n \cdot D_k}, \quad (11)$$

где $\theta_{ш}$ — ширина щетки; D_k — диаметр коллектора.

Принимая в среднем $\lambda \approx 5,5$ и подставляя значения из (9), (10) и (11), получим:

$$e_z \frac{T}{L_s} = 0,0235 \frac{\omega_y \tau \theta_{ш}}{\omega_k \delta D_k} i_2 \quad (12)$$

и

$$A \approx 5,2 \omega_k \sqrt[3]{\frac{\omega_k l^2 n^2 D_k^3}{R_k^2 \theta_{ш}^2}} \quad (13)$$

Подставляя в (4) значения из (12), (13) и (5), получим упрощенную формулу для размагничивающих ампервитков при равномерной магнитной проводимости по окружности якоря

$$AW_g = 1,8 \sqrt[3]{\frac{l^2 \theta_{ш} \cdot \omega_k \omega_y \tau^3}{R_k^2 D_k} n^{\frac{2}{3}} i_2 \cdot 10^{-8}}. \quad (14)$$

Из (4) и (5) видно, что для уменьшения размагничивающего влияния коммутирующих витков необходимо по возможности уменьшить величину i_2 , которая в основном зависит от потока якоря

в поперечной оси. Для этой цели необходимо максимально увеличить магнитное сопротивление в зоне коммутации, т. е. создать достаточной ширины воздушный промежуток между полюсами в поперечной оси. Поэтому амплидины с неявно выраженными полюсами не применяются. Типичный вид жестей статора показан на рис. 8, там же показано расположение всех обмоток статора.

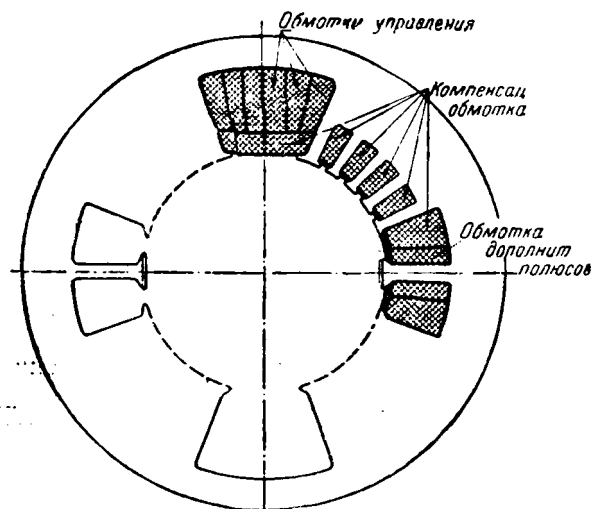


Рис. 8. Конструктивная форма жестей и обмотки статора амплидина.

В амплидинах с жестями статора согласно рис. 8 поток якоря Φ'_2 в зоне коммутации составляет примерно $\frac{1}{6}$ от его величины при равномерно распределенной магнитной проводимости по окружности статора (рис. 9), т. е.

$$\frac{\Phi'_2}{\Phi_2} \approx \frac{1}{6}.$$

Среднюю ординату потока Φ'_{2cp} в зоне коммутации можно примерно принять равной

$$\Phi'_{2cp} = \frac{\Phi_2}{3,5}.$$

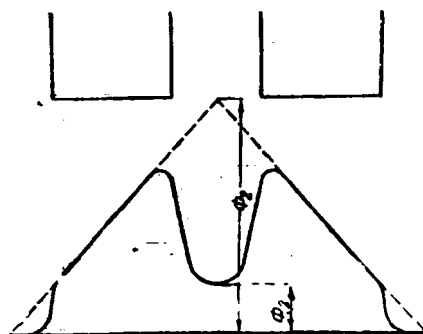


Рис. 9. Кривая потока якоря в поперечной оси.

Таким образом для амплидина с жестями статора согласно рис. 9 необходимо значение AW_g в уравнении (14) разделить на 3,5, т. е. для этого случая

$$AW_g \approx 0,52 \sqrt[3]{\frac{l^2 \theta_{ш} \cdot \omega_k \omega_y \tau^3}{R_k^2 D_k} n^{\frac{2}{3}} i_2 \cdot 10^{-8}}. \quad (15)$$

Так как величина AW_g зависит от переходного сопротивления щеток R_k , то при значительной величине размагничивающих ампервитков короткозамкнутых секций необходимо в поперечной оси ставить щетки с большим переходным сопротивлением, несмотря на малую величину э. д. с. в этой цепи, так как увеличение сопротивления поперечной цепи с избытком компенсируется уменьшением размагничивающих ампервитков AW_g . Так, например, при испытании в ВЭИ удалось изменением сопротивления щеток увеличить напряжение амплидина почти втрое при одном и том же токе в обмотке управления.

Из уравнения (15) также видно, что при неизменных габаритах и числе коллекторных пластин изменение числа витков секций ω_k , находящихся в коротком замыкании, за счет общего числа витков якоря незначительно влияет на величину размагничивающих ампервитков.

Действительно, если число коллекторных пластин остается неизменным, то для изменения ω_k необходимо изменить общее число витков якоря. Но так как поток, а следовательно, индукция в воздухе и необходимые ампервитки AW_2 обратно пропорциональны числу витков якоря, то ток поперечной цепи i_2 изменяется обратно пропорционально квадрату числа витков ω_k (так как $i_2 \approx \frac{AW_2}{\omega_k}$) и, следовательно, величина AW_g изменяется пропорционально $\omega_k^{1.3}$. Если же ω_k изменить за счет изменения числа коллекторных пластин, сохраняя неизменным число витков якоря ω_k , то размагничивающие ампервитки AW_g , как показывает уравнение (15), изменяются пропорционально $\omega_k^{4.3}$.

Для выявления основных факторов, влияющих на габаритные размеры амплидина, преобразуем уравнение (15) следующим образом.

Мы можем написать, что

$$i_2 \equiv \frac{AW_g}{\omega_k} \equiv \frac{AW_1}{\omega_k} \equiv \frac{\delta B_1}{\omega_k}.$$

С другой стороны,

$$B_1 \equiv \frac{\Phi_2}{\tau l} \equiv \frac{F_3}{\omega_k n \tau l} \equiv \frac{U_3}{\omega_k n \tau l},$$

где U_3 — напряжение амплидина.

Следовательно,

$$i_2 \equiv \frac{U_3 \delta}{\omega_k^2 n \tau l}. \quad (16)$$

Подставляя из уравнения (16) значение i_2 в уравнение (15) и учитывая, что

$$\omega_k \equiv \frac{2\omega_y}{K} \text{ и } D_k \equiv k,$$

а

$$\omega_y \propto \frac{U_3}{n \Phi} \propto \frac{U_3}{n \tau l B_1}$$

(k — число коллекторных пластин), получим:

$$AW_g \approx \sqrt[3]{\frac{\delta_{\text{ш}}}{R_k^2 l^2 n^3 B_1}} \cdot \frac{U_3^{4/3}}{k^2}. \quad (17)$$

Уравнение (17) показывает, что размагничивающие ампервитки пропорциональны напряжению амплидина в степени $\frac{4}{3}$.

Таким образом мы приходим к весьма важному выводу, что габариты амплидина зависят не только от мощности, но в значительной степени и от его номинального напряжения.

Уравнение (17) показывает также, что для уменьшения габаритов необходимо максимально увеличить число коллекторных пластин и применять возможно более узкие щетки, чтобы уменьшить число секций, находящихся в коротком замыкании.

Оптимальное число оборотов и мощность амплидина при отсутствии добавочных полюсов в поперечной оси. Ранее было указано, что изменение э. д. с. E_3 в зависимости от числа оборотов при учете размагничивающего эффекта коммутирующих витков соответствует сплошным кривым на рис. 1 и 2.

Выведем уравнение для числа оборотов, при котором имеет место максимальное значение тока.

При учете размагничивающих ампервитков коммутирующих секций уравнение для э. д. с. поперечной цепи принимает следующий вид:

$$E_3 = k_1 (AW_1 n - AW_g n). \quad (18)$$

Так как ток поперечной цепи i_2 пропорционален E_3 , а $AW_g \equiv i_2 n^{2.3}$ [уравнение (15)], то

$$i_2 = K_1 AW_1 n - K_2 i_2^{5.3},$$

где

$$K_1 = \frac{K'_1}{R_2} = \frac{E'_2}{AW_1 n R_2} = 0,0667 \frac{\Phi'_1}{AW_1} \cdot \frac{\omega_y}{R_2} \cdot 10^{-8},$$

Φ'_1 и E'_2 — соответственно поток и э. д. с., создаваемые ампервитками AW_1 при отсутствии размагничивающего эффекта короткозамкнутых секций,

$$K_2 = \left[(0,52 \dots 1,8) \sqrt[3]{\frac{l^2 \delta_{\text{ш}}}{D_k R_k^2}} \cdot \frac{\omega_k^{4/3} \omega_y \tau^3}{\delta} 10^{-8} \right] K_1,$$

R_2 — сопротивление поперечной цепи. Отсюда

$$i_2 \approx \frac{K_1 AW_1 n}{1 + K_2 n^{5.3}}. \quad (19)$$

Производная от тока

$$\frac{di_2}{dn} = K_1 AW_1 \frac{1 - \frac{2}{3} K_2 n^{5.3}}{(1 + K_2 n^{5.3})^2}.$$

Приравняв производную нулю, найдем то число оборотов n_{max} , при котором имеет место максимальное значение тока. Это число оборотов равно

$$n_{\text{max}} \approx \frac{1,28}{K_2^{3/5}}. \quad (20)$$

При дальнейшем увеличении числа оборотов происходит уменьшение тока i_2 , асимптотически стремящегося к нулю.

Уравнение (17) показывает, что изменение диаметра якоря существенно влияет на величину AW_g , так как число коллекторных пластин K пропорционально диаметру коллектора, а следовательно, диаметру якоря.

Если при увеличении числа оборотов в α раз мы изменим с целью уменьшения веса и габаритов диаметр якоря пропорционально $\sqrt[3]{\frac{1}{\alpha}}$ (что соответствует обычным законам проектирования электрических машин), то размагничивающие ампервитки AW_g , как показывает уравнение (17), остаются без изменения. Это означает, что сечение меди управляющей обмотки остается без изменения и, следовательно, сечение статорного паза поперечной оси должно остаться без изменения, в то время как по законам проектирования сечение паза должно измениться пропорционально $\sqrt[3]{\frac{1}{\alpha^2}}$ или высота паза должна измениться пропорционально $\sqrt[3]{\frac{1}{\alpha}}$. Только при этом условии внешний диаметр статора будет изменяться по тому же закону, что и диаметр якоря, т. е. пропорционально $\sqrt[3]{\frac{1}{\alpha}}$. Но так как в нашем

случае сечение паза статора должно остаться без изменения, то это означает, что высота паза не только не уменьшается, но увеличивается, так как сохранить то же сечение при меньшем внутреннем диаметре статора (а следовательно, при меньшей ширине паза) возможно только за счет увеличения высоты паза. Таким образом приходим к выводу, что, несмотря на уменьшение диаметра якоря, внешний диаметр статора при увеличении числа оборотов изменяется незначительно, а следовательно, выигрыш в весе амплидина также незначителен.

Уравнение (17) показывает, что длина машины изменяется обратно пропорционально числу оборотов, но изменение габаритов и веса за счет длины активной части не дает большого эффекта, так как полный конструктивный вес, как показал анализ исполненных машин, приблизительно пропорционален $\sqrt{l} D^3$, где D — внешний диаметр жестей статора; l — длина пакета жестей статора.

При очень малых длинах изменение веса даже пропорционально \sqrt{l} .

Из вышеизложенного следует, что для каждой мощности амплидина существует оптимальное число оборотов, которое может быть уточнено в ходе проектирования, и дальнейшее увеличение оборотов почти не дает выигрыша в весе и в габаритах. Во всяком случае этот ничтожный выигрыш не оправдывает усложнений в конструкции и технологии изготовления амплидина, которые неизбежны с увеличением числа оборотов.

Дополнительные полюса в поперечной оси. Из вышеизложенного анализа следует, что уменьшение добавочных токов коммутирующих витков является серьезной проблемой в амплидинах. Поэтому с первого взгляда может показаться, что применение добавочных полюсов в поперечной оси, уменьшающих величину добавочных токов до минимума, должно повлечь за собой увеличение коэффициента усиления и уменьшение габаритов машины. Однако в большинстве случаев, особенно

в амплидинах малой мощности с несколькими обмотками управления, применение добавочных полюсов не дает никаких преимуществ. Значительная часть активной зоны заполнена сердечником и обмоткой самого дополнительного полюса. Сечение этой обмотки значительно, так как ампервитки добавочных полюсов должны быть на 15—20% больше ампервитков якоря в поперечной оси. В результате для меди обмоток управления остается такая незначительная часть сечения паза, что иногда даже приходится увеличивать габариты амплидина, а не уменьшать их. Кроме того обмотка добавочных полюсов увеличивает сопротивление короткозамкнутой цепи амплидина в 2—2,5 раза, что влечет за собой увеличение тока обмотки управления. Применение добавочных полюсов дает некоторое преимущество в амплидинах большой мощности и при малом числе обмоток управления. С точки зрения коммутации добавочные полюса в большинстве случаев не нужны, так как ток поперечной цепи не превышает 30—40% от нагрузочного тока и искрение под щетками обычно не наблюдается. В заключение необходимо отметить, что добавочные полюса в поперечной оси вносят ряд серьезных недостатков в работу амплидина, из которых основными являются:

1. Большая чувствительность амплидина к сдвигу щеток с нейтралей, т. е. неустойчивость характеристик вследствие нарушения полной компенсации добавочных токов коммутирующих витков при смещении щеток.

2. Большая склонность амплидина к самовозбуждению и колебательным процессам при неполной компенсации реакции якоря в продольной оси.

Сказанное требует некоторого пояснения.

В предыдущей статье — «Переходные процессы амплидина»¹ было указано, что явления самовозбуждения или неустойчивого колебательного процесса имеют место при определенной величине

$$\gamma = \frac{K_2 K_3}{R_2 R'_3}, \quad (21)$$

где R_2 и R'_3 — соответственно сопротивления поперечной и нагрузочной цепи якоря; K_3 — коэффициент, пропорциональный степени нескомпенсированности реакции якоря в продольной оси.

Уравнение э. д. с. якоря в поперечной оси без учета размагничивающего действия коммутирующих витков

$$E_2 = K_1 i_1 = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt},$$

а с учетом этого фактора

$$E_2 = K_1 i_1 - K_2 i_2 = i_2 R_2 + L_2 \frac{di_2}{dt}$$

или

$$K_1 i_1 = i_2 R'_2 + L_2 \frac{di_2}{dt}, \quad (22)$$

где

$$R'_2 = R_2 + K_2.$$

Из уравнения (22) видно, что размагничивающее влияние коммутирующих витков по своему эффекту эквивалентно увеличению омического сопротивления поперечной цепи.

¹ Вестник электропромышленности, № 1—2, 1945.

Обращаясь к уравнению (21), мы видим, что увеличение сопротивления поперечной цепи R_2 дает возможность увеличить коэффициент K_3 , т. е. получить большую степень перекомпенсации или недокомпенсации, сохраняя при этом величину γ неизменной, а следовательно, не ухудшая устойчивости амплидина.

Экспериментальные и расчетные данные. На рис. 10 даны сравнительные кривые расчета и испытания для тока поперечной цепи i_2 и напряжения на выходе E_3 .

Испытания были проведены с амплидином 1000 W, 220 V, 3000 об/мин, построенным в ВЭИ. Подсчет указанных величин и всех параметров производится по тем упрощенным формулам, которые были нами выведены выше. Сравнение расчетных и экспериментальных кривых показывает, что эти формулы с достаточной точностью отображают как качественную, так и количественную стороны рассмотренного нами выше вопроса, особенно если учесть, что при малых насыщениях кривые намагничивания, применяемые в заводских расчетах, не отличаются большой точностью.

В расчете не учитывалось влияние остаточного магнетизма, которое имело место при испытании амплидина.

Общие выводы. 1. Габаритные размеры амплидина (без добавочных полюсов в поперечной цепи) определяются не только мощностью, но в значительной степени также и напряжением амплидина. Габаритные размеры будут тем меньше, чем меньше номинальное напряжение амплидина.

2. Для увеличения коэффициента усиления и уменьшения габаритов амплидина необходимо максимально увеличивать число коллекторных пластин и применять в поперечной оси щетки

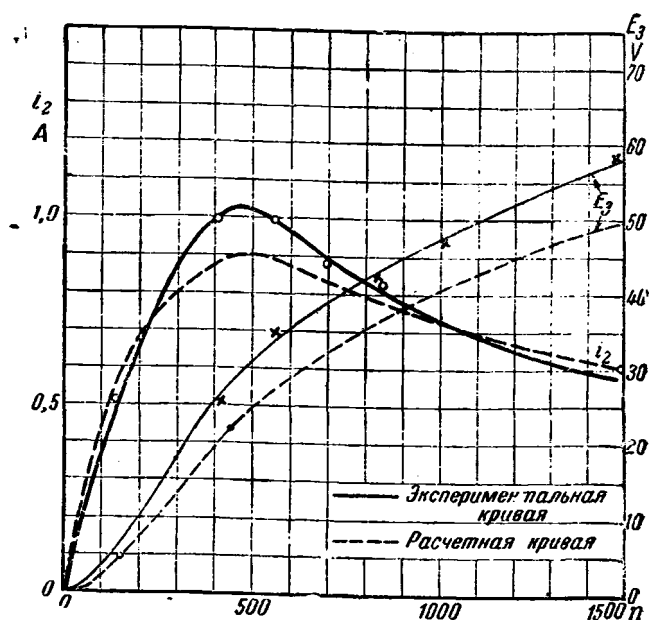


Рис. 10. Расчетные и экспериментальные кривые тока i_2 поперечной цепи и э. д. с. E_3 амплидина.

минимальной ширины — в большинстве случаев с большим переходным сопротивлением.

3. Применение добавочных полюсов в поперечной цепи в амплидинах малой мощности не дает никаких преимуществ и излишне усложняет технологию и конструкцию амплидина. В то же время добавочные полюса в поперечной цепи вносят ряд серьезных недостатков в работу амплидина — прежде всего неустойчивость характеристик при небольшой сдвиге щеток от нейтрали и большую склонность к самовозбуждению и к колебательным процессам.

Механические силы в обмотках трансформаторов¹

Кандидат техн. наук М. С. ЛИБКИНД

Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

Измерения усилий в обмотках, которые производили различные авторы [Л. 1, 2, 3, 4], относятся к схематизированным моделям, значительно отличающимся от практических конструкций. В качестве измерительного прибора применялись рычажные или пружинные весы. С помощью весов могло быть измерено усилие, действующее на всю обмотку ($F_e = \int_0^l F(x)dx$) и только в статическом режиме.

Очевидно, что при такой постановке опыта не выясняется ни распределение электродинамических сил по обмотке, ни влияние механических свойств обмотки на происходящие в ней процессы.

Мы поставили перед собой следующие задачи: а) разработать методику экспериментального исследования, которая позволила бы учесть не только электромагнитные, но и механические свойства обмотки; б) создать аппаратуру, пригодную для измерений в обмотках трансформаторов, а не в схематизированных моделях.

В основу принятой методики исследования мы положили измерение давлений в обмотке. Давление на опоры или одной части обмотки на другую, возникающее в каком-либо сечении, можно измерить, поместив туда динамометры, размеры которых малы сравнительно с длиной обмотки. Динамометры размещаются по окружности катушек таким образом, чтобы они воспринимали все давление, передаваемое через данное сечение. Сумма их показаний дает величину искомого давления, того давления, которое в действительности существует в данном сечении обмотки.

Показания динамометров полностью отражают механические процессы в обмотках, возникающие под действием аксиальных электродинамических сил. Результаты подобных измерений могут быть непосредственно использованы для практических целей.

Измерение давлений можно производить как в распущенных обмотках, так и в зажатых между опорами, поэтому выбранный метод исследования пригоден для реальных трансформаторов.

Аппаратура. Динамометр, предназначенный для измерения давления в обмотке, должен удовлетворять ряду требований. Основные из них таковы: а) малые размеры особенно в осевом направлении; б) отсутствие влияния электромагнитных полей низкой частоты; в) отсутствие влияния толчков и сотрясений; г) высокая частота собственных колебаний; д) измерение мгновенных значений давлений.

Выдвинутым требованиям удовлетворяет пьезокварцевый динамометр (в комбинации с осциллографом), обладающий к тому же многими другими достоинствами: линейной характеристикой в широких пределах, удобной регулировкой чувствительности, простотой конструктивного оформления и др.

¹ Первая часть статьи (теоретическое исследование) — Электричество, № 9, 1945. В настоящей — второй части излагается экспериментальное исследование.

Принципиальная схема пьезокварцевого динамометра представлена на рис. 1. На рис. 2 показан датчик прибора. Описание пьезокварцевого прибора автора дано в отдельной работе [Л. 5].

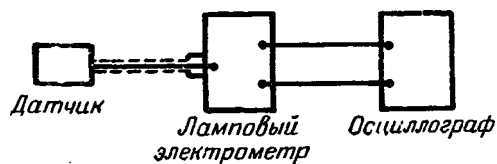


Рис. 1. Принципиальная схема пьезокварцевого динамометра.

Для измерения давления в обмотках, имеющих значительные поперечные размеры, устанавливаются три и более датчиков. Каждый датчик может быть соединен со своим электрометром. Возможно, однако, и параллельное подключение всех датчиков к одному электрометру, если пьезокварцевые константы всех датчиков равны.

Примененный нами динамометр был снабжен тремя датчиками, включенными на общий электрометр. Размер датчиков в осевом направлении 16 мм, что составляет около 3,5% длины обмотки исследованной модели.



Рис. 2. Датчик.

Модель трансформатора. Экспериментальному исследованию была подвергнута модель трехфазного стержневого трансформатора. Измерения производились в режиме однофазного короткого замыкания при различных выключениях витков в обмотках. Короткое замыкание осуществлялось со вторичной стороны модели. Установившаяся мощность короткого замыкания достигала 400 kVA при продолжительности процесса от 0,2 sec до 0,6 sec.

Конструкция модели в важнейших чертах соответствовала конструкциям современных трансформаторов. Основное отличие модели заключалось в уменьшенном трении в обмотках (свободная установка катушек, отсутствие масла), что способствовало резкому проявлению механических колебаний. В силу этого, а также вследствие переменной жесткости обмоток количественные соотношения, полученные для модели, нельзя распространять без критического пересмотра на реальные трансформаторы. Но картина развития механических процессов в обмотках трансформаторов правильно отражается в изложенных ниже результатах исследования модели.

Колебания обмотки. Зажатая между опорами обмотка образует совместно с опорными конструкциями систему, способную колебаться. Свободные

колебания этой системы можно наблюдать после выключения тока короткого замыкания, т. е. после устранения возбуждающей силы, под действием которой обмотка приходит в движение. Свободные колебания хорошо видны на осциллограмме рис. 3, где заснят момент выключения тока.



Рис. 3. Свободные колебания обмотки.

На этой осциллограмме свободные колебания близки к синусоидальным; здесь имело место только одно из главных колебаний системы. В других случаях, в зависимости от частоты электродинамической силы и распределения ее по длине обмотки, наблюдались колебания иной частоты, либо сложные колебания, представляющие собой наложение нескольких частот.

Так, например, в одном случае при частоте тока в обмотках 48 Hz наблюдались свободные колебания, приближающиеся к синусоидальным, с частотой порядка 100 Hz. При тех же условиях, но при частоте тока в обмотках 92 Hz имели место свободные колебания, также приближающиеся к синусоидальным, но с частотой порядка 20 Hz. Расчетные значения собственных частот обмотки, подсчитанные по формуле (35)², оказались близки к опытным:

$$C_1 = 90 \text{ Hz},$$

$$C_2 = 193 \text{ Hz}.$$

При подсчете принято $k = 3500 \text{ kg/cm}$ (по данным испытания обмотки на сжатие) при $p_0 = 28 \text{ kg/cm}^2$ и $\eta_1 = \eta_3 = 0,25$.

В другом случае имели место свободные колебания с частотой 70 Hz. При прочих равных условиях, но при другом законе распределения электродинамических сил по длине обмотки возникли колебания с частотой 140 Hz.

Расчетные значения частот для этого случая таковы:

$$p_0 = 7 \text{ kg/cm}^2,$$

$$C_1 = 63 \text{ Hz},$$

$$k = 1700 \text{ kg/cm},$$

$$C_2 = 134 \text{ Hz}.$$

Влияние переменной жесткости. Вследствие переменной жесткости обмотки ее собственные частоты зависят от начальной прессовки (p_0) и от амплитуды колебаний.

Некоторое измерение частоты по мере затухания свободных колебаний можно заметить в пределах одной осциллограммы. Значительные и определенные изменения частоты наблюдались при изменении величины действующих электродинамических сил. Представление о характере этой зависимости дает график рис. 4.

Весьма значительные изменения частоты происходят при изменении начального сжатия обмотки. Экспериментируя с моделью, мы получали путем изменения прессовки обмоток частоты свободных колебаний от 110 Hz до 65 Hz (низшая частота). Как и следовало ожидать, увеличению начальной прессовки соответствовало повышение частоты

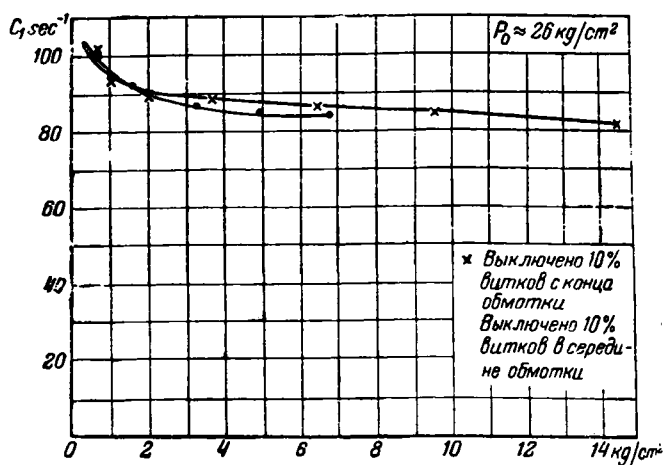


Рис. 4. Зависимость низшей частоты собственных колебаний обмотки от давления электродинамических сил.

свободных колебаний. При весьма слабой прессовке ($< 6 \text{ kg/cm}^2$) обмотка теряла способность к устойчивым свободным колебаниям.

Зависимость частоты свободных колебаний от начальной прессовки представлена на рис. 5. На том же рисунке даны расчетные значения частоты, определенные с помощью статической механической характеристики обмотки. Теоретическая и опытная кривые обнаруживают удовлетворительное совпадение.

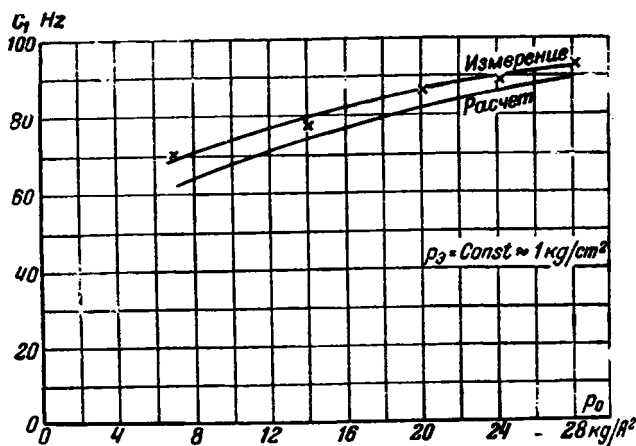


Рис. 5. Зависимость низшей частоты собственных колебаний обмотки от величины начального сжатия.

Несмотря на переменную жесткость, обмотка все же не является существенно нелинейной системой, поведение которой даже в первом приближении не может быть описано линейными уравнениями. Как известно, линейные колебания характеризуются следующими основными свойствами: а) частоты собственных колебаний зависят лишь от постоянных параметров системы; амплитуды и фазы собственных колебаний зависят от начальных условий; б) вынужденные колебания происходят с частотой внешних сил; в) явление резонанса имеет место при равенстве частот собственного и вынужденного колебания; г) полное колебание складывается из вынужденных и собственных колебаний; д) вынужденное колебание, возбужденное результирующей ряда внешних сил, складывается из вынужденных колебаний, возбужденных каждой из этих сил в отдельности.

² Здесь и в дальнейшем даются ссылки на первую часть статьи автора.

Исследование модели показало, что все эти условия в основном выполняются. Лишь условие а), как видно из изложенного, удовлетворяется только в грубом приближении.

В наших опытах начальное сжатие обмотки (p_0) варьировало от 6 kg/cm^2 до 60 kg/cm^2 . Давление в обмотке от электродинамических сил (p_s) доходило до половины начального сжатия.

Трение в обмотке. Затухание свободных колебаний происходило в большинстве случаев через 3—5 периодов. По своему характеру затухание свободных колебаний приближается к затуханию, которое имеет место в случае трения жидкостного типа (пропорционального скорости движения.) Поэтому мы будем пользоваться понятием логарифмического декремента свободных колебаний, который обозначим через d .

Постоянная трения h связана с логарифмическим декрементом d известным соотношением:

$$h = d \cdot c, \tag{1}$$

где c — частота собственных колебаний.

Представление о величине постоянной трения дает табл. 1.

Таблица 1

Общее число рассмотренных осциллограмм	120
Наиболее часто встречающиеся значения	h от 20 до 40 sec^{-1}
Наименьшее значение	$h = 11 \text{ sec}^{-1}$
Наибольшее значение	$h = 75 \text{ sec}^{-1}$

Фаза колебаний обмотки. Из осциллограмм видно, что между током в обмотке, а стало быть, и электродинамическими силами, и давлением существует сдвиг фаз. Угол сдвига фаз в установившемся режиме равен:

$$\psi(x) = \arctg \frac{\sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \left(\frac{v_n x}{l} + \alpha_n \right) \cdot H_n \sin \phi_n}{\sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \left(\frac{v_n x}{l} + \alpha_n \right) \cdot H_n \cos \phi_n} \tag{2}$$

На рис. 6 изображен график функций $\psi(x) = \theta \left(\frac{2\omega}{q_1} \right)$, построенный по формуле (2). Расчет выполнен для следующих условий: $\frac{x}{l} = 0$, $\lambda = 0,2$, $h = 30 \text{ sec}^{-1}$. В верхнем конце наружной обмотки выключено 19% витков.

На рис. 6 нанесены также опытные значения $\theta \left(\frac{2\omega}{q_1} \right)$, полученные из соответствующих осциллограмм.

Расчетные значения $\theta \left(\frac{2\omega}{q_1} \right)$ довольно близко подходят к опытным данным.

Резонансные явления. Для исследованной модели частоты свободных колебаний обмотки были близки к частоте вынуждающей силы. Малое трение (свободная установка катушек, отсутствие масла) способствовало развитию механических колебаний в обмотках и обеспечило резкое проявление резонансных явлений.

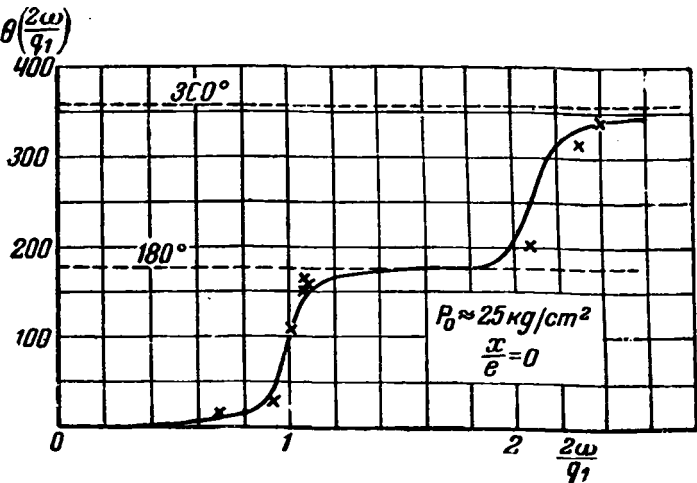


Рис. 6. Зависимость угла сдвига фаз между током в обмотке и давлением от соотношения частот (2ω и q_1).

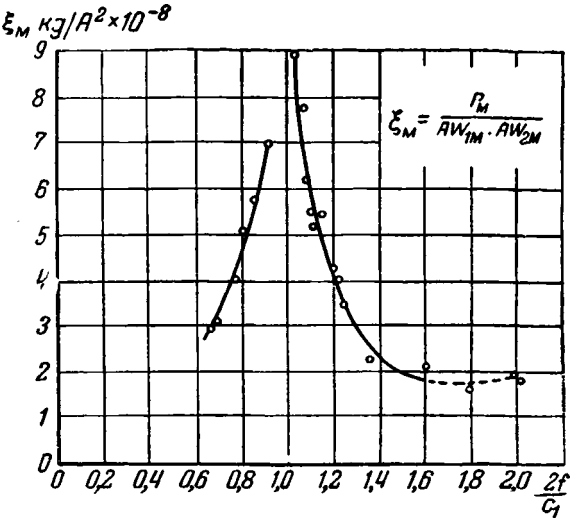


Рис. 7. Кривая резонанса на нижней частоте для модели.

Количественные соотношения характеризуются графиками рис. 7, где нанесены в зависимости от отношения частот $\left(\frac{2f}{c_1} = \frac{2\omega}{q_1} \right)$ амплитудные значения установившегося давления на опору, отнесенные к одному ампервитку:

$$\xi_m = \frac{P_m}{AW_{1m} \cdot AW_{2m}} \tag{2'}$$

Выключение витков производилось с одного конца наружной обмотки. Точки кривых рис. 7 получены при питании модели током переменной частоты при неизменной собственной частоте обмотки ($c_1 = 95 \text{ Hz}$), а также путем изменения частоты свободных колебаний за счет прессовки обмотки. Значение ξ_m , соответствующее отсутствию механических колебаний $\left(\frac{2f}{c_1} = 0 \right)$, будем обозначать через ξ_0 . Отношение $\frac{\xi_m}{\xi_0} = \eta$, показывающее, во сколько раз изменилось давление в обмотке вследствие механических колебаний, назовем коэффициентом динамичности. В табл. 2 приведены значения коэффициента динамичности, найденные из рис. 7. Там же даны

Таблица 2

$\frac{2f}{q_1} = \frac{2\omega}{q_1}$	h, sec^{-1}	$\gamma_1 = \frac{\xi_m}{\xi_0}$	
		Измерено	Рассчитано
0,64	42	1,3	1,5
0,76	40	1,9	2,0
0,8	41	2,3	2,3
0,85	40	2,6	2,8
0,91	30	3,3	4,0
1,04	40	3,6	5,3
1,16	28	2,3	2,8
1,22	27	1,9	2,3

расчетные значения γ_1 , определенные на основании (37). Наибольшее значение коэффициента динамичности, которое мы наблюдали в наших опытах, оказалось равным $\gamma=9,7$. Расчет для этого случая дает:

$$\gamma \approx H_1 = \frac{q_1}{2h} = \frac{2\pi \cdot 83}{2,25} \approx 10,5.$$

Давление в неустановившемся режиме. Большое практическое значение для динамической устойчивости обмоток имеют переходные режимы. ими определяется наибольшее давление в обмотках.

Поведение обмотки без разрыва в переходном режиме было рассмотрено нами теоретически для случая короткого замыкания со вторичной стороны трансформатора. Теоретическое исследование подтверждается здесь данными опыта. Мы изложим также некоторые сведения о механических явлениях в распушенной обмотке (начальное сжатие $P_0=0$). Полное отсутствие начального сжатия рассматривается как предел ослабления начальной прессовки, которое, как показывает опыт эксплуатации, имеет место с течением времени³.

Приводимые ниже опытные данные относятся к давлению обмотки на опоры.

Для случая $\frac{2\omega}{q_1} \ll 1$ механический нестационарный

процесс практически отсутствует. В полном соответствии с формулой (38а) наибольшее давление на опору возникает при наибольшем значении тока короткого замыкания и подчиняется квадратичному закону (табл. 3).

Таблица 3

№ осциллограмм	$\frac{2\omega}{q_1}$	m^2	$\frac{A_n}{P_m}$	$\frac{A_m}{P_m}$
40	0,38	1	1	1
59	0,5	1,28	1,29	1,29
21	0,5	1,34	1,34	1,34
20	0,5	1,46	1,45	1,45

Обозначения: m — отношение ударного тока короткого замыкания к установившемуся; A_n — амплитудное значение давления, соответствующее наибольшей амплитуде тока; A_m — наибольшее давление, зарегистрированное на данной осциллограмме; P_m — амплитудное значение установившегося давления.

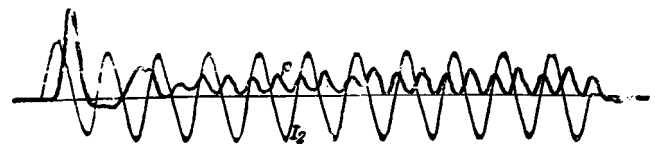
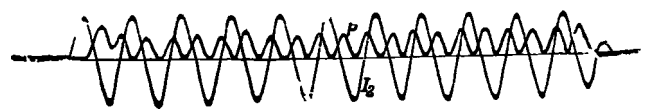
³ Имеется в виду наиболее распространенная конструкция без пружин в опорах.

В распушенной обмотке ($P_0=0$) механический переходный процесс характеризуется появлением ударного давления, превосходящего установившееся давление в несколько раз. В отличие от случая $\frac{2\omega}{q_1} \ll 1$ в распушенной обмотке имеет место удар и при $m=1$, т. е. при отсутствии электромагнитного переходного процесса. Ударное давление, зависящее также от механического переходного процесса, не должно изменяться пропорционально квадрату ударного тока короткого замыкания. Опыт показывает, что ударное давление растет быстрее, чем квадрат ударного тока, и притом с увеличивающейся скоростью нарастания (табл. 4).

Таблица 4

№ осциллограмм	P_m, kg	m^2	$\frac{A_n}{P_m}$	$\frac{A_n}{P_m} : m^2$
245	216	1,0	1,39	1,39
240	23	1,21	1,91	1,58
31	146	1,26	2,16	1,71
250	202	1,44	2,8	1,95
241	50	1,57	3,33	2,1
246	205	1,83	4,4	2,4
249	200	1,96	4,27	2,18
247	210	2,09	4,9	2,35

Использованные в табл. 4 осциллограммы № 245 и 249 приводятся на рис. 8 и 9. На этих осциллограммах отчетливо видны ударные давления и весь дальнейший ход устанавливающегося процесса.

Рис. 8. Переходный процесс в обмотке $P_0=0$; $m=1$.Рис. 9. Переходный процесс в обмотке $P_0=0$; $m=1,4$.

В зажатой обмотке, в условиях близости к резонансу, переходный механический процесс состоит в постепенной раскачке системы. Появляются биения, характерные для наложения двух близких частот. Наибольшее давление может не соответствовать ударному току короткого замыкания. Оно не пропорционально квадрату этого тока. Отношение наибольшего давления к установившемуся зависит от трения в обмотке и других факторов. Однако оно меньше, чем квадрат отношения ударного тока к установившемуся (m^2).

Промежуточные состояния обмотки, когда существует небольшая прессовка ($p_0=10-20 \text{ kg/cm}^2$ для модели) и система несколько отдалена от резонанса ($1,15 < \frac{2\omega}{q_1} < 1,45$), характеризуются смешением признаков, свойственных процессам в распушенной обмотке и в обмотке, близкой к резонансу.

В первой части работы мы указывали, что при однофазном коротком замыкании наибольшее давление в неустановившемся режиме не может превысить амплитудное значение установившегося давления более чем в три раза при $a=50 \text{ sec}^{-1}$ и $h=50 \text{ sec}^{-1}$. Анализ более чем 200 осциллограмм не обнаружил ни одного случая, когда указанное отношение было бы превзойдено.

Сравнение опыта с расчетом. Давление в обмотке зависит от механических свойств обмотки и опор, от закона распределения сил по длине обмотки и от закона изменения их во времени.

В первой части работы были получены расчетные формулы для давления в обмотке. Эти формулы мы применим к модели, испытание которой производилось в условиях, близких к условиям выполненного нами расчета. Механические параметры системы примем по опытным данным. Изменение электродинамических сил во времени известно. Распределение сил по длине обмотки будем определять по формулам Г. С. Аронсона [Л. 6].

Результаты подсчетов для различных схем выключения витков даны в табл. 5. Там же приведены значения давлений, измеренные в разных местах обмотки, при соответствующих схемах выключения обмоток.

Таблица 5

Выключение витков	$\frac{x}{l}$	№ ссп.	$\frac{2\omega}{q_1}$	$\xi_m \cdot 10^{-8} \text{ kg/A}^2$	
				Рассчитано	Измерено
19% с конца наружной обмотки	0	—	0	2,0	2,2
		16	0,64	3,1	2,9
		89	0,80	4,7	5,2
		90	0,91	8,1	7,2
		148	1,16	5,7	5,2
		12	1,22	4,7	4,1
21% в середине наружной обмотки	0,6	199,200	1,5	—3,9	—3,3
14% с конца внутренней обмотки	0	116	1,1	—3,5	—3,8
По 5% на $\frac{1}{4}$ и $\frac{3}{4}$ высоты обмотки	0	73	1,11	1,1	0,8

Примечание. Знак минус указывает на уменьшение давления по сравнению с начальным сжатием.

Экспериментальные и расчетные данные обнаруживают удовлетворительное совпадение. Интегральное значение электродинамической силы

$$F_l = \int_0^l F(x) dx \text{ равно разности статических опорных}$$

реакций обмотки. Упругие свойства системы на величину этой разности, очевидно, не влияют. Указанное соотношение удобно использовать для сопоставления расчетных и опытных интегральных значений электродинамической силы.

В некоторых случаях интегральная электродинамическая сила может быть непосредственно измерена в распушенной обмотке.

В табл. 6 даны расчетные и измеренные значения интегральных сил.

Таблица 6

Выключение витков	$\xi_m \cdot 10^8 \text{ kg/A}^2$		
	Измерено		Расчет
	$P_0 = 0$	$P_0 \neq 0$	
40% с конца обмотки	— 9,2	—	— 10,2
10% с конца обмотки	— 3,5	— 3,6	— 3,5
20% в середине обмотки	—	— 1,2	— 1,3

Примечание. Знак минус означает, что интегральная сила направлена к нижней опоре.

Экспериментальное исследование было выполнено автором в лаборатории Московского трансформаторного завода им. Куйбышева.

Работники завода и, в частности, инж. А. С. Симakov во многом содействовали организации сложных испытаний на заводе. Доктору техн. наук Э. А. Мееровичу автор обязан многочисленными советами и указаниями в ходе выполнения работы.

Литература

1. Рихтер. Электрические машины, т. III. Трансформаторы, изд. ОНТИ, 292 стр., 1935.
2. Norris. The Mechanical Strength of Large Power Transformers. World Power, Dec. 1935.
3. Müller. Stromkräfte in Transformatorwicklungen. E. u. M., S. 679, Heft 47, 1924.
4. Я. М. Рабинович. Измерение электродинамических сил в обмотках трансформатора. Технический отчет лаборатории Московского трансформаторного завода, 1938.
5. М. С. Либкинд. Пьезокварцевый прибор для измерения электродинамических усилий в обмотках трансформаторов. Научный отчет Энергетического института Академии наук СССР, 1939.
6. Г. С. Аронзон. Расчет электродинамических усилий в трансформаторах при коротких замыканиях. Научный отчет Энергетического института Академии наук СССР, 1939.

К теории регулирования дуговых электросталеплавильных печей

Кандидат техн. наук Ю. Е. ЕФРОЙМОВИЧ

В статье дан анализ влияния переменных технологических и электрических факторов, свойственных процессу плавки в дуговой сталеплавильной печи, на условия и характер работы регуляторов прерывистого действия. Рассмотрена работа действующих регуляторов, характеризующаяся значительными колебаниями мощности в период расплавления металла. Описана общая схема, обеспечивающая возможность повышения точности и скорости регулирования при отсутствии колебаний электродов.

Дуговые электросталеплавильные печи являются весьма мощными потребителями энергии. Толчкообразный характер нагрузки, определяемый технологическим процессом, при значительной мощности агрегатов отдельных установок затрудняет работу электрических станций, отрицательно влияет на работу смежных заводских потребителей и ухудшает основные производственные показатели электрометаллургического агрегата.

В связи с этим понятием проявляемый к вопросам регулирования дуговых печей интерес, который находит свое выражение в большом количестве предложенных типов, конструкций и схем автоматических регуляторов. В настоящее время наблюдаются тенденции к переходу от простых односкоростных контактных схем управления асинхронными или шунтовыми двигателями и от электромагнитных реле как измерительных органов к весьма сложным, но гибким схемам. В последних используются амплитуды или агрегаты Леонарда и возбудители специальной конструкции, несущие измерительные обмотки [Л. 1, 2, 3].

В настоящей статье изложены некоторые положения теории регулирования дуговых электросталеплавильных печей, разработанные в Московском ордена Ленина энергетическом институте. На основе этой теории были спроектированы и выполнены автоматические регуляторы, которые в настоящее время работают на промышленных печах.

Задача автоматического регулятора для дуговых печей заключается в поддержании постоянства значения подводимой к ним активной мощности.

Мощность, вводимая в печь, сконцентрирована в небольшом объеме, занятом дуговым разрядом. Возмущения, возникающие в печи и устраняемые автоматическим регулятором, связаны с изменением длины или физического состояния дуги.

Согласно теории, выдвинутой и экспериментально проверенной проф. С. И. Тельным [Л. 4, 5, 6], в сильнотоковой дуге переменного тока напряжение горения ее за полупериод постоянно и не зависит от силы тока. Физическая сторона явления у анода и катода дугового разряда изучена явно недостаточно, количественная же сторона явлений, исследованная весьма подробно экспериментально [Л. 7, 8, 9, 10], приводит к выводу, что падение напряжения у анода и катода в основном определяется материалом электродов и не зависит от длины дуги и силы тока.

Относительно простые физические явления, имеющие место в столбе дуги, изучены хорошо, однако при попытке математического исследования их возникают значительные трудности.

Экспериментальное исследование столба мощного дугового разряда было приведено в Днепро-

петровском металлургическом институте [Л. 7]. В результате работы получено общее выражение для падения напряжения в столбе в зависимости от длины дуги и физических условий, при которых разряд имеет место.

Напряжение на дуге представляется в следующем виде:

$$E = \alpha + (b - ct + dt^2)l = \alpha + \beta(t) \cdot l, \quad (1)$$

где α — сумма падений напряжения у анода и катода; l — длина дугового разряда; t — температура окружающего пространства; $\beta(t)$ — величина градиента напряжения в столбе дуги; b, c, d — коэффициенты. Значения α (для различных процессов дуговой печи) и отдельных коэффициентов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал электродов, между которыми горит дуга	α	b	c	d
	V	V·mm ⁻¹	V·mm ⁻¹ °C ⁻¹	V·mm ⁻¹ °C ⁻²
Уголь—металл	26	3,8	—	—
Уголь—основной шлак	9	5,8	4,7	1
Уголь—кислый шлак	30	0,8	—	—

Для облегчения аналитического исследования ниже сделаны следующие допущения: мощность питающей сети бесконечно велика, изменение реактивного и активного сопротивления установки от изменения длины и положения электродов, а также от влияния железных масс отсутствует; печь симметрична как в конструктивном отношении, так и по нагрузке различных фаз; ток намагничивания трансформатора равен нулю; коэффициенты формы кривых тока и напряжения на дуге равны единице; переходные процессы в цепях ввиду малости постоянной времени электропечного контура не учитываются.

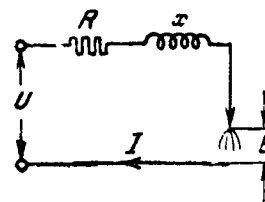


Рис. 1.

В соответствии со схемой замещения однофазной или симметричной трехфазной печи (рис. 1) имеем:

$$u^2 = (IR + E)^2 + (IX)^2.$$

Отсюда

$$E = \sqrt{u^2 - (IX)^2} - IR = I \left[\sqrt{\left(\frac{u}{I}\right)^2 - X^2} - R \right]. \quad (2)$$

Подстановка в (1) значения E из (2) дает:

$$\alpha + \beta(t) \cdot l = I \left[\sqrt{\left(\frac{u}{I}\right)^2 - x^2} - R \right].$$

В общем случае

$$l = \frac{1}{\beta(t)} \left[I \left(\sqrt{\left(\frac{u}{I}\right)^2 - x^2} - R \right) - \alpha \right]. \quad (3)$$

При номинальном токе длина дуги равна

$$l_n = \frac{1}{\beta(t)} \left[I_n \left(\sqrt{\left(\frac{u}{I_n}\right)^2 - x^2} - R \right) - \alpha \right].$$

Производная от длины дуги по току определяется выражением

$$-\frac{dl}{dI} = \frac{1}{\beta(t)} \left(\frac{x^2}{\sqrt{\left(\frac{u}{I}\right)^2 - x^2}} + R \right); \quad (4)$$

приближенное значение изменения длины дуги (δ_{mm}), зависимой от ширины зоны нечувствительности по току ($-2 \cdot \Delta I$ А), находится из условия

$$\delta = -2 \cdot \Delta I \cdot \frac{dl}{dI} = \frac{2 \cdot \Delta I}{\beta(t)} \left(\frac{x^2}{\sqrt{\left(\frac{u}{I}\right)^2 - x^2}} + R \right).$$

Более точное значение δ , полученное с помощью разложения в ряд Фурье, равно

$$\delta = \frac{2 \cdot \Delta I}{\beta(t)} \left[\frac{I}{u} x^2 \left(1 + \frac{I^2}{u^2} \cdot \frac{x^2}{2} \right) + R \right]. \quad (5)$$

Как следует из (2) и (3), кривая $l=f(I)$ (рис. 2) может быть получена из кривой $E=f(I)$ смещением абсциссы на величину α и уменьшением масштаба ординаты в $\beta(t)$ раз. Таким образом при заданной ступени напряжения и параметрах сети длина дуги будет изменяться в зависимости от наведенного шлака и температуры внутри печной камеры.

Значение $\beta(t)$ для трех моментов цикла плавки в основной печи дается в табл. 2.

Таблица 2

Период плавки	Начало плавления	Расплавление $t=100-1200^\circ\text{C}$	Рафинировка
$\beta(t) \text{ В} \cdot \text{мм}^{-1} \dots$	10-12	3,8	1,1

Приведенные цифры показывают, что в течение одного цикла плавки градиент напряжения в столбе дуги изменяется больше чем в 10 раз, причем наибольшая величина его имеет место в момент включения печи.

В регуляторах прерывистого действия наличие мертвой зоны является фактором, влияющим на характер регулирования. На рис. 3 приведена зависимость ширины мертвой зоны по длине дуги (δ) и от величины вторичного напряжения трансформатора, мертвой зоны по току, заданной величины рабочего тока, активного и реактивного сопротивления рабочей сети и величины градиента напряжения в столбе дуги.

Из выражения (5) и кривых рис. 3 следует, что ширина мертвой зоны по длине дуги не зависит от величины анод-катодного падения напряжения, линейно растет вместе с шириной мертвой

зоны по току и довольно резко уменьшается с уменьшением рабочего тока печи. Равным образом она зависит от активного и реактивного сопротивлений подводящей сети, причем коммутационные операции с дросселем при прочих равных условиях весьма резко сказываются на величине δ . Повышение ступени и вторичного напряжения трансформатора влечет за собой уменьшение δ . Что касается температуры и других физических факторов состояния плавильного пространства, то влияние их, учитываемое коэффициентом $\beta(t)$, дает изменение δ за время плавки большее чем в 10 раз.

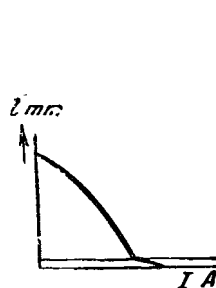


Рис. 2.

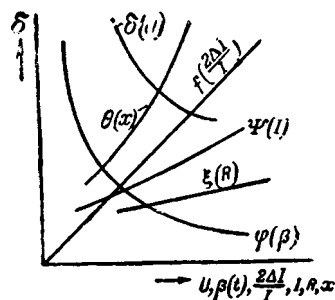


Рис. 3.

Попутно отметим, что закон изменения $\beta(t)$ во времени различен для печей различной мощности, причем величина $\beta(t)$ более резко изменяется (в первый период расплавления) в печах большей мощности, где местный нагрев металла и окружающей среды вокруг дугового разряда происходит быстрее. Чтобы увязать величину мертвой зоны по току печи с величиной мертвой зоны в измерительном органе, необходимо располагать характеристиками последнего, а также выяснить, постоянство каких параметров (или соотношения их) поддерживает регулятор.

Далее исследуем работу одностороннего автоматического регулятора прерывистого действия, что поможет нам выяснить ряд положений, общих и для регуляторов других типов.

Принципиальная схема такого регулятора изображена на рис. 4, где она нанесена сплошными

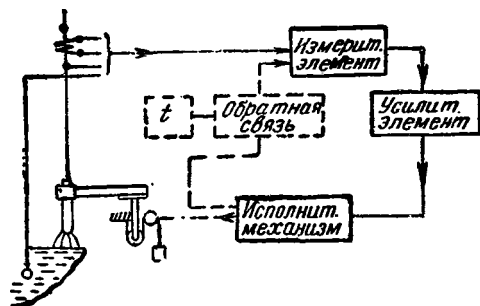


Рис. 4.

линиями. Измеряемым параметром служат ток печи и напряжение, снимаемое с конца пакета шин, идущих от трансформатора; регулирование осуществляется изменением длины дуги. Для каждого момента плавки регулятор должен автоматически решать задачу о требуемой длине дуги и поддерживать постоянство этой величины. Приведенная схема характеризуется замкнутой цепью регулирующих воздействий и все элементы ее обладают

свойством детективности. Наличие мертвой зоны определяет принудительный разрыв связей, имеющий место за измерительным и усилительным элементами.

Требования, обычно предъявляемые к регулятору (с точки зрения качества регулирования), можно сформулировать следующим образом. Регулятор должен характеризоваться небольшой шириной мертвой зоны. Регулятор в целом должен быть быстродействующим, т. е. время, потребное для устранения возмущения любой величины и знака, должно быть по возможности наименьшим. Характер регулирования желательно иметь аperiодический (или полуаperiодический).

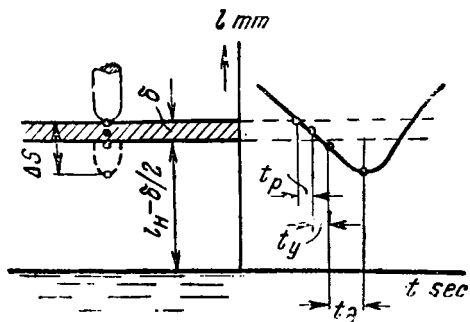


Рис. 5.

Рассмотрим качественную сторону процесса регулирования (рис. 4 и 5). Пусть в результате возникшего уменьшения тока и импульса, переданного по цепи регулирующих воздействий регулятора, электрод движется к шихте. В идеальном регуляторе (без статического и динамического трения, искрения, мертвых ходов и массы) как только конец электрода коснется границы мертвой зоны (обозначена штриховкой), процесс регулирования оборвется. В реальном регуляторе работа каждого из элементов схемы характеризуется некоторым временем запаздывания. Так, для измерительного органа время запаздывания Δt_p определяется временем, потребным для разрыва связей с усилительным элементом после того, как электрод коснулся границы мертвой зоны. Величина эта зависит от параметров регулятора в целом и от технологического процесса.

Для усилительного элемента (контактор) время запаздывания Δt_v равно времени отключения контактора. Для исполнительного органа это время равно времени торможения двигателя — $\Delta t_{\text{с}}$.

Благодаря свойству детективности схемы импульс от измерительного органа будет распространяться по цепи воздействия со все возрастающим запаздыванием, общая величина которого ΔT равна

$$\Delta T = \Delta t_p + \Delta t_y + \Delta t_{\partial_s}. \quad (6)$$

Перемещение электрода за время запаздывания ΔT , измеренное в оборотах двигателя, запишется в следующем виде:

$$\Delta S = (\Delta t_p + \Delta t_y) \frac{n' + n''}{120} + \Delta S_\theta(n''), \quad (7)$$

где $(n'' - n')$ — изменение скорости двигателя за время запаздывания $(\Delta t_p + \Delta t_y)$, а $\Delta S_d(n'')$ — выбег двигателя в режиме торможения, определяемый скоростью двигателя в начале торможения.

параметров выбранного регулятора и совершенно не связаны с технологическими условиями работы агрегата.

Для соблюдения условия аperiodического характера регулирования в любой момент плавки должно быть соблюдено условие неравенства: $\dot{\omega} \geq \Delta S$. Максимальное значение ΔS будет иметь место при установившейся скорости двигателя.

Если пренебречь изменениями величины Δt , то можно утверждать, что инерционный выбег за время запаздывания определяется в основном параметрами регулятора и зависит от величины первоначального отклонения режима. В то же время мертвая зона по длине дуги, ширина которой задается при настройке измерительного органа, зависит от параметров печи и технологического режима.

Если вышеуказанное неравенство не соблюдается, работа регулятора характеризуется качаниями и график мощности или тока имеет тогда вид, изображенный в правой части рис. 5.

Сказанное относится также и к регуляторам пропорционального регулирования, так как у них скорость изменения длины дуги увязывается обычно с величиной отклонения регулируемого параметра от задания, но работа их не увязывается с состоянием плавильной камеры.

В результате большинство существующих регуляторов, начиная от какой-то промежуточной стадии плавки и далее, дает аperiодический характер, но все регуляторы, известные автору, вызывают значительные колебания тока и мощности в первый период расплавления.

Указанный момент исчезновения колебаний наступит тем раньше, чем меньше сумма членов выражения (7) и чем шире зона нечувствительности. При заданной конструкции регулятора в целом ΔS определяется величиной максимальной скорости перемещения электродов и степенью форсировки разбега. Чем они меньше, тем быстрее прекратятся качания в работе регулятора. Если с этой точки зрения проанализировать показатели регуляторов различных фирм (см. табл. 3), то становится понятным, почему конструктора, улучшая один из основных показателей качества регулирования, ухудшают одновременно другой.

Таблица 3

Тип регулятора	$2 \cdot \frac{\Delta I}{I_n} 100\%$	Скорость подъема электрода в см/мин
Леонарда — Тирриля	10—16	60
Сименс	20—30	70—90
ХЭМЗ	25—40	120

Наименьшие качания свойственны регуляторам Леонарда — Тирриля, наибольшие — регуляторам ХЭМЗ.

Изложенные выше положения позволяют ответить на вопрос о том, каким же должен быть совершенный автоматический регулятор для дуговых печей, дающий аperiодический характер регулирования в любой из моментов плавки.

Если разрыв связей за измерительным органом произвести в момент, когда конец электрода отстоит от границ мертвой зоны на расстоянии $\Delta S = \lambda/2$, то в этом случае, учитывая время запаздывания, к концу цикла регулируемый параметр будет иметь нормальное значение. Обращаясь к вы-

ражению (7), можно заключить, что $(\Delta S - \delta/2)$ для каждого момента плавки зависит от достигнутого числа оборотов двигателя.

Следовательно, для компенсации инерционности измерительного и усилительного элемента, а также исполнительного органа необходимо ввести обратную связь отрицательного знака, охватывающую упомянутые элементы цепи регулирования, причем датчиком должна служить скорость двигателя, пропорциональная производной от длины дуги по времени.

Чтобы учесть специфические требования технологии, влияющие на запас устойчивости регулятора, необходимо характер обратной связи изменять в течение плавки, увязав его со всеми технологическими факторами. Цикл плавки, не будучи строго стандартным, все же довольно единообразен, особенно в период расплавления. Вследствие этого факторы температуры плавильного пространства, переключения ступеней напряжения, дачи присадков и пр. можно учесть как факторы, довольно строго чередующиеся во времени, и таким образом в качестве одного из параметров регулирования выбрать время плавки.

Схема регулятора, отвечающего поставленным требованиям, изображена на рис. 4 сплошными и пунктирными линиями.

В зависимости от того, насколько точно рассчитаны и подобраны характеристики обратной связи и правильно учтены технологические факторы, будет достигнуто большее или меньшее приближение значения вводимой в печь мощности к прямой.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие *выводы*: 1) изменение в течение цикла плавки температуры плавильного пространства, вторичного напряжения, реактивности установки и пр. вызывает значительное изменение ширины мертвой зоны регулятора, измеренной в mm длины дуги; 2) в регуляторах прерывистого действия инерционный выбег двигателя за общее время запаздывания регулятора в основном определяется параметрами последнего и мало зависит от переменных технологических факторов; 3) в большинстве существующих регуляторов для уменьшения колебаний мощности приходится идти на искусственное понижение чувствительности и быстродействия регулятора; 4) для получения высококачественного регулирования время запаздывания отдельных элементов регулятора должно быть по возможности наименьшим, однако наряду с этим в схеме регу-

лятора следует предусмотреть обратную скоростную связь, жесткость которой непрерывно увязывается с переменными технологическими факторами, электрическими параметрами и режимом агрегата, меняющимся в течение цикла плавки; 5) так как технологический цикл плавки в дуговых печах довольно единообразен, то для устранения колебаний мощности можно жесткость обратной связи изменять в зависимости от времени плавки.

В заключение отметим, что введение в схему регулирования обратной скоростной связи, жесткость которой изменяется в течение цикла плавки, позволяет разрешить сформулированные выше противоречия и получить регулятор с высокими регулировочными показателями. Одновременно укажем, что если регулятор правильно рассчитан и настроен, то зарегулирование возмущения любой величины и знака в любой из моментов плавки будет произведено за одно-два включения контактора, что резко улучшит условия работы всей аппаратуры и механизмов.

Литература

1. G. E. Sh a a d. Blast Furnace and Steel Plant, v. 31, № 8, 1943.
2. T. B. Montgomery. Blast Furnace and Steel Plant, v. 30, № 8, 1942.
3. R. Gleiselman n, C. Lexy, W. Harris. Electr. Eng., v. 62, № 11, 1943.
4. С. Тельный, И. Жердев. Теория и практика металлургии, № 2, 1936.
5. С. Тельный, И. Жердев. Теория и практика металлургии, № 8, 1937.
6. С. Тельный. Сборник Днепропетр. горного института, 1928.
7. И. Хитрик и Н. Чуйко. ДОМЭЗ, № 10, 1935.
8. A. Engel, R. Seeliger, M. Steenbeck. Zs. für Ph., Bd 85, H. 3—4, 1933.
9. W. Weizel, R. Rompe, M. Schon. Zs. für Ph., Bd 115, H. 3—4, 1940.
10. P. Rossbach, R. Seeliger. Zs. für Ph., Bd 116, H. 1—2, 1940.
11. J. Kern. Zs. für Ph., Bd 114, H. 9—10, 1939.
12. E. Lamar, A. Stone, K. Compton. The Ph. Rev., v. 55, № 12, 1939.
13. A. Stone, S. Lamar. The Ph. Rev., v. 57, № 3, 1940.
14. C. Sruts, H. Poritsky. The Ph. Rev., v. 55, № 12, 1939.
15. W. Finkelburg. Zs. für Ph., Bd 112, H. 5—6, 1939; Bd 113, H. 7—8, 1939; Bd 114, H. 11—12; Bd 116, H. 3—4, 1940.
16. И. Вочке. Электрические дуговые печи, 1931.
17. Ю. Е. Ефроймович, МЭИ, диссертация, 1941.
18. Н. Окороков. Автоматические регуляторы, 1935.
19. А. Михайлов. Автоматика и телемеханика, № 3, 1938.

В Научно-техническом обществе Московского энергетического института им. Молотова

В НТО МЭИ за последнее время состоялся ряд докладов, в числе которых был (на общем собрании общества) доклад доктора физико-математических наук, проф. В. Л. Гинзбурга, посвященный атомной энергии и возможностям ее применения. Этот доклад, осветивший историю вопроса и его современное состояние, вызвал живейший интерес среди многочисленной аудитории, состоявшей в основном из профессоров, преподавателей и студентов МЭИ.

На общих собраниях электротехнического отделения общества выступили с докладами доктор техн. наук, проф. А. Я. Буйлов, доктор техн. наук, проф. П. С. Жданов и доктор физико-матем. наук, проф. Ф. Ф. Волькенштейн.

Первый доклад на тему: «Типы высоковольтных выключателей после войны» был посвящен разбору особенностей устройства и работы современных типов высоковольтных выключателей.

Рассказывая о них, проф. А. Я. Буйлов считает, что для ряда случаев эксплуатации выключатели с сжатым воздухом, требующие компрессорных установок и пневматического хозяйства, будут слишком сложны и дороги; кроме того выключатели этого типа требуют серьезного изучения вопроса о перенапряжениях, которые при выключении мощным выключателем малых токов могут быть недопустимо велики.

В СССР по мнению докладчика более подготовлен и будет более легким переход не к выключателям с сжатым воздухом, а к малообъемным масляным выключателям. Поэтому необходимо наряду с разработкой пневматических выключателей приступить к разработке и производству наиболее современных типов масляных выключателей.

Во втором докладе «Симметричные составляющие и цепочечные схемы замещения синхронных машин» проф. П. С. Жданов рассказал о проведенной им работе, разбившей метод симметричных составляющих и позволившей применить его для расчета несимметричных режимов синхронных машин.

Согласно предложенному докладчиком методу э. д. с. взаимной индукции от высших гармоник тока обратной и нулевой последовательности, появляющиеся в статоре при несимметричных режимах, вводятся в схемы Эванса и Вагнера. Эти схемы, построенные для отдельных гармоник, после приведения их параметров к частоте основной гармоники, объединяются в одну цепочечную схему замещения, каждое звено которой представляет схему Эванса и Вагнера для соответствующей гармоники. При представлении элементов схемы только индуктивными сопротивлениями легко получается аналитическое решение для простейшего случая — отдельной машины, совпадающее с результатами, полученными К. Doherty и С. Nicle. В более сложных случаях расчеты легко производятся на расчетном столе переменного тока, позволяя, в частности, рассчитывать динамические перенапряжения.

В докладе «Современные представления о механизме электрического тока в проводниках и диэлектриках» проф. Ф. Ф. Волькенштейн дал общий обзор современных, основанных на квантовой механике, взглядов на природу электрического тока в полупроводниках, а также диэлектриках и металлах, рассматриваемых как крайний случай полупроводников. Остановившись на теории свободных электронов Зоммерфельда, статистике Ферми-Дирска, теории Блоха, различии между проводниками и диэлектриками с точки зрения зональной теории и ряде других вопросов, проф. Волькенштейн в заключение сообщил о переходе от идеальной решетки к реальной и о локальных уровнях.

Выступившие по докладу заслуженный деятель науки и техники, доктор техн. наук, проф. Л. И. Сиротинский и доктор техн. наук, проф. С. М. Брагин, отмечая большой интерес затронутых в докладе вопросов, указывали на необходимость приблизить теоретические знания физики к практической деятельности инженера, имеющего дело с вопросами электроизоляции и пробоя. Решено организовать ряд докладов этого цикла.

Очередное собрание Секции электрических сетей и систем было посвящено обсуждению доклада

«Выбор сечения проводов воздушных линий по потерям энергии», сделанного заслуженным деятелем науки и техники, доктором техн. наук, проф. А. А. Глазуновым.

Исходя из установленных принципов определения стоимости энергии, докладчик считает ошибочным предложение считать стоимость потерянной энергии по топливной составляющей, по дополнительной установленной мощности на станции или по средневзвешенной стоимости энергии. Продолжительность использования максимума потерь мощности меньше, чем средняя продолжительность использования установленной мощности на станции; следовательно, говорит А. А. Глазунов, расходы, не пропорциональные выработке энергии, лягут большей величиной на себестоимость потерянной энергии, чем на среднюю стоимость энергии в системе. Соответствующие расчеты показывают, что себестоимость потерянной энергии выше на 15—25%, чем средневзвешенная себестоимость в системе.

Докладчик рекомендует ввести понятие расчетной мощности, отличной от максимальной нагрузки расчетного года, и предлагает использовать формулу Кельвина, вводя в нее соответствующие коэффициенты и ограничивая точность расчетов 10—20%, что соответствует точности исходных данных.

Выступившие в прениях проф. П. С. Жданов, доц. И. Я. Гумин и другие в основном соглашались с предложениями докладчика, считая, что предложенный метод уточняет многие факторы при выборе сечения проводов. Доц. Г. М. Розанов при этом считает, что в формулу Кельвина лучше вводить стоимость только проводов, поскольку величина, показывающая зависимость стоимости линии от сечения проводов, весьма неопределенна. Доц. Ф. П. Лашков, соглашаясь с принципиальными положениями докладчика, считает более целесообразным для практических целей устанавливать экономические плотности тока. Ст. научный сотрудник В. М. Блок предлагает при выборе сечения проводов исходить из минимума эксплуатационных расходов. В принятом постановлении отмечается желательность установления правительственными органами исходных величин для оценки стоимости линий и потерь электроэнергии.

В Секции теоретической электротехники состоялось два доклада: доклад инж. Д. А. Виккера «Графический метод прогноза устойчивости и определения параметров колебательных процессов, описываемых линейными дифференциальными уравнениями с численными коэффициентами».

Докладчик показывает, что решение характеристических уравнений может быть разбито на два этапа: определение их вещественных корней и определение их комплексных корней. После определения вещественных корней задача сводится к решению численных алгебраических уравнений четной степени, имеющих только комплексные корни. Если область минимумов графиков указанных алгебраических уравнений четной степени уместается целиком или частично в области положительных абсцисс системы осей координат, то колебательный процесс неустойчив; если же область минимумов графиков указанных уравнений уместается целиком в области отрицательных абсцисс, то прогноз устойчивости и последующее колебательное движение может быть сделан путем построения последовательного ряда векторных диаграмм, представляющих сумму членов рассматриваемого уравнения четной степени, при определенных вариациях корней этого уравнения. Определение всех корней указанных уравнений может быть произведено путем последовательного построения таких же векторных диаграмм.

В прениях по докладу выступили: доктор техн. наук, проф. К. М. Поливанов, проф. М. А. Перекалкин, кандидат техн. наук, доц. С. В. Страхов и др.

Второй доклад, сделанный кандидатом физико-матем. наук, доц. Л. А. Зельмановым «Современное учение о строении вселенной в целом», был посвящен космологическим проблемам и носил общетеоретический характер.

Кандидат техн. наук, доц. В. А. ВЕНИКОВ

Новые стандарты на электрические аппараты низкого напряжения

За последние 5 лет Всесоюзным комитетом стандартов при СНК СССР утверждены 10 государственных общесоюзных стандартов (ГОСТ) на электрические аппараты низкого напряжения, разработанные заводами Народного комиссариата электропромышленности, причем 9 из них введены впервые.

Краткие аннотации этих стандартов приводятся ниже.

ГОСТ 2774-44. Аппараты электрические низкого напряжения промышленного применения. Терминология утвержден 30 декабря 1944 г. как рекомендуемый. Стандарт устанавливает термины и определения, относящиеся к электрическим аппаратам низкого напряжения, для применения в технических документах, в литературе, учебниках, справочниках и пособиях. Всего стандарт содержит 208 основных терминов по следующим разделам:

I. Основные виды электрических аппаратов. В этом разделе содержатся определения терминов: «Рубильник», «Рубящий переключатель», «Предохранитель», «Автоматический воздушный выключатель», «Контроллер», «Сопrotивление», «Реостат», «Пускатель», «Контактор», «Электрическое реле» и «Командоаппарат», — всего 69 основных терминов.

II. Исполнения электрических аппаратов в зависимости от рода защиты, от воздействия окружающих условий. В разделе приведены определения терминов: «Открытый», «Защищенный», «Брызго-непроницаемый», «Водозащищенный», «Герметический», «Пыленепроницаемый», «Химостойкий» и «Взрывозащищенный аппарат», — всего 11 основных терминов.

III. Элементы электрических аппаратов. В разделе даны определения терминов: «Расстояние утки», «Электрический зазор», «Блокировка», «Механизм свободного расцепления», а также приведены термины, относящиеся к приводам, контактам, коммутирующим устройствам, катушкам, сопротивлениям и дугогасительным камерам, — всего 71 основной термин.

IV. Номинальные режимы и номинальные величины электрических аппаратов. В разделе даны определения терминов, относящихся к режимам работы аппарата («Продолжительный режим», «Прерывисто-продолжительный режим», «Кратковременный режим», «Повторно-кратковременный режим»), а также определения терминов «Относительная продолжительность включения», «Число пусков подряд», «Частота пусков», «Число включений подряд» и «Частота включений», — всего 11 основных терминов.

V. Коммутация и коммутационная способность электрических аппаратов. В разделе приведены определения терминов: «Коммутация», «Коммутационная способность», «Предельная разрывная способность», «Критическая разрывная способность», «Предельная способность включения» и «Коммутационное положение».

VI. Нагревание электрических аппаратов. В разделе приведены определения 9 основных терминов, относящихся к испытаниям аппаратов на нагревание («Окружающая среда», «Холодное состояние», «Превышение температуры», «Нагретое состояние», «Установившаяся температура» и т. д.).

VII. Характеристики автоматического действия электрических аппаратов. В разделе приведены определения терминов: «Срабатывание», «Величина срабатывания», «Возврат», «Величина возврата», «Огпадание», «Втягивание», «Коэффициент возврата», «Собственное время замыкания», «Полное время отключения», «Установка» и др., — всего 21 основной термин.

VIII. Электрические цепи и схемы соединений электрических аппаратов. В разделе даны определения терминов «Главная цепь», «Цепь возбуждения», «Цепь управления», «Сигнальная цепь», «Принципиальная схема соединений», «Элементарная схема соединений» и некоторых других, — всего 10 терминов.

Стандарт снабжен алфавитным указателем терминов. **ГОСТ 2933.** Аппараты электрические низкого напряжения. Методы основных испытаний утвержден в июле 1945 г. со сроком введения 1 января 1946 г. Стандарт распространяется на методы основных типовых и контрольных испытаний новых, не бывших в эксплуатации электрических аппаратов низкого напряжения (рубильников и рубящих переключателей, предохранителей, автоматических воздушных выключателей, контроллеров, сопротивлений, реостатов, пускателей, контакторов, электрических реле и командоаппаратов). В стандарте

приведены методы следующих испытаний: испытания на нагревание, испытания изоляции, испытания на коммутационную способность, определения нажатия, раствора и провала контактов, определения величин срабатывания, испытания на механическую прочность и испытания оболочек (на водонепроницаемость, водозащищенность, герметичность и пыленепроницаемость).

ГОСТ 403-41. Аппаратура низковольтная. Допустимые температуры контактов и медных шин утвержден 26 марта 1941 г. со сроком введения 1 июня 1941 г. Стандарт устанавливает допустимые температуры контактов аппаратов и контактов медных шин, предназначенных для включения в сети переменного и постоянного тока при напряжении до 500 V включительно при длительном режиме работы (по терминологии, принятой ГОСТ 2774-44 «Прерывисто-продолжительный режим»). Допустимые температуры установлены в зависимости от исполнения контактов.

ГОСТ 711-41. Реле вторичные защитные (основной стандарт) утвержден 20 мая 1941 г. со сроком введения 1 января 1942 г. В стандарте приведены классификация реле, основные технические требования, общие для всех вторичных защитных реле (допустимое превышение температуры, термическая и динамическая устойчивость и др.), правила приемки, методы испытаний, маркировка и упаковка. На базе данного стандарта должны разрабатываться стандарты на отдельные виды вторичных защитных реле (реле вторичные защитные тока, напряжения и т. д.).

ГОСТ 2221-43. Контакторы переменного тока силовые на номинальные токи от 40 до 600 A и **ГОСТ 2758-44.** Контакторы постоянного тока силовые на номинальные токи от 40 до 600 A утверждены соответственно 30 ноября 1943 г. со сроком введения 1 января 1944 г. и 30 декабря 1944 г. со сроком введения 1 августа 1945 г.

В стандартах приведены классификация контакторов, основные технические требования (величина испытательного напряжения изоляции, допустимое превышение температуры, коммутационная способность, механическая прочность и др.), правила приемки, методы испытаний, маркировка и упаковка.

ГОСТ 2327-43. Рубильники и переключатели открытого исполнения на номинальные токи до 1000 A при номинальном напряжении до 500 V утвержден 25 декабря 1943 г. как рекомендуемый. В стандарте приведены шкалы номинальных токов рубильников и переключателей, основные технические требования, правила приемки, методы испытаний и пр.

ГОСТ 2491-44. Пускатели магнитные для электродвигателей с короткозамкнутым ротором утвержден 29 апреля 1944 г. со сроком введения 1 сентября 1944 г. В стандарте приведены классификация пускателей, основные технические требования (величина испытательного напряжения, допустимое превышение температуры, коммутационная способность, механическая прочность и др.), правила приемки, методы испытаний и пр.

ГОСТ 2492-44. Кнопки управления для электромагнитных аппаратов утвержден 28 апреля 1941 г. со сроком введения 1 сентября 1944 г. Стандарт содержит классификацию, основные технические требования, правила приемки, методы испытаний и пр.

ГОСТ 2585. Выключатели автоматические быстродействующие постоянного тока. Стандарт распространяется на автоматические быстродействующие поляризованные выключатели постоянного тока, предназначенные для защиты электрических машин, ртутных выпрямителей и фидеров при коротких замыканиях, перегрузках и обратных токах. В стандарте приведены определения ряда терминов, классификация, основные технические требования (коммутационная способность, допустимое превышение температуры, испытательное напряжение изоляции, калибровка, механическая прочность и др.), правила приемки, методы испытаний и пр.

В ближайшее время должен быть утвержден стандарт на предохранители с закрытым разборным патроном без наполнителя на номинальные напряжения до 500 V, а в течение 1946 г. намечается утверждение стандартов на силовые промышленные контроллеры постоянного и переменного тока, неавтоматические пусковые и пускорегулирующие реостаты постоянного тока, неавтоматические регуляторы возбуждения и вторичные защитные реле тока и напряжения.

У. М. ЛИТВАКОВ

Центральное бюро стандартов
1-го Главного управления НКЭП

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ САМОЛЕТОВ

Т. В. Holliday. Развитие электрического оборудования для самолетов и др. *Product Eng., стр. 841—843, Dec. 1944; там же, стр. 49—52, Jan. 1945; El. Eng., стр. 58—60, Febr. 1945.*

В связи с развитием авиации, в особенности во время войны, мощность электрических установок на самолетах сильно возросла. Если в 1920 г. мощность самолетной электростанции определялась всего в 2 kW, а в 1936 г. (год появления первой летающей крепости) — 3 kW, то к 1940 г. она достигла уже 20 kW, а к 1944 г. — 120 kW. При этом напряжение сети постоянного тока на самолетах 6—12 V впервые время повысилось до 30 V на средних самолетах, а на больших и транспортных достигло 30 и 120 V.

В очень мощных самолетах и с большим радиусом действия ярко выявилась тенденция к применению трехфазного тока напряжением 210/120 V при частоте 400 Hz.

За это время в связи с повышением скорости электрических машин на самолетах и усовершенствованием материалов мощности самолетных генераторов при тех же габаритах увеличились в 16 (!) раз.

Значение частоты в 400 Hz для электродвигателей (а их на мощном самолете устанавливается до 100—150 шт.) видно из сопоставления весовых данных.

Мощность двигателя в л. с.	Вес двигателя постоянного тока в kg		Вес двигателя переменного тока при 400 Hz в kg	
	Длительный режим	Повторно-кратковременный режим	Длительный	Повторно-кратковременный режим
2	5,65	2,85	1,32	1,04
5	11,4	5,9	3,4	2,51

В настоящее время, когда любая точка земного шара (в том или другом направлении) может быть достигнута уже за 60 h, вопрос весов электрооборудования и занимаемого им места становится исключительно существенным. В военных самолетах 40% веса в полете приходится на конструктивные элементы, 40% — на оборудование и 20% — на полезную нагрузку и горючее. Экономия вес, в двигателях длительного режима работы можно идти на ухудшение к. п. д. В двигателях повторно-кратковременного режима работы минимальный вес является решающим с точки зрения быстроты операций. Понятно, что вопрос веса связан с минимумом занимаемого места. При всем этом конструкции должны оставаться вполне надежными в работе и обеспечивать работу в течение 1000 h без ремонта, с профилактическим осмотром и 5000 h с самым легким ремонтом в перерыве между полетами. В этих условиях должна быть предусмотрена тщательная электрическая конструктивная защита генераторов, приемников, сетей, электрооборудования.

Четкая работа электрооборудования должна быть обеспечена на большой высоте, где условия охлаждения усложняются значительным уменьшением плотности воздуха (в 2—4 раза). Проблема изоляции и коммутации на таких высотах ухудшается.

Ничтожное искрение на коллекторе на больших высотах переходит в круговой огонь.

Учитывая необходимость надежной работы самолетного электрооборудования как в арктических, так и в тропических условиях, при больших высотах приходится считаться с необходимостью работы электрооборудования в диапазоне от +75°C до —43°C.

Электрооборудование самолета должно быть испытано на отсутствие вибрации при всех частотах от 10 до 500 Hz и даже выше. Вибрационные повреждения авиационных двигателей наблюдались даже при 200 Hz. Должны быть учтены условия работы при всех критических частотах.

Все электрооборудование самолета должно быть надежно защищено от влажности, соли и песка. В Африке, например, песок и пыль достигают высоты 6 km.

Радиооборудование самолета должно быть снабжено защитой от помех.

Выбор между постоянным и переменным током зависит от мощности самолета и его назначения. Дальнейшая механи-

зация и автоматизация управления самолетами продолжается. Это вызывает увеличение разнородного самолетного электрооборудования.

В указанных трудных условиях работы электрооборудования возникает срочная необходимость формулировки правил и норм по электрооборудованию самолетов. Для этого необходимо: установить рабочие условия для самолетов разных типов; стандартизировать минимальные требования к различному электрооборудованию; определить методику испытания этого электрооборудования.

Доктор техн. наук, проф. В. К. ПОПОВ

Godsey. Система регулирования скорости для привода кабинного нагнетателя самолета. *El. Eng., стр. 37—40, № 1 1915.*

При изменении высоты полета самолета скорость нагнетателя должна меняться так, чтобы в кабине поддерживалось требуемое давление, а количество воздуха, протекающего через вентилятор в минуту, оставалось постоянным. Привод вентилятора осуществляется от главного двигателя самолета. Для возможности получения требуемых скорости вращения вентилятора, независимо от рабочей скорости двигателя самолета, применяется система электрической связи. Она состоит из генератора постоянного тока и питающего от него двигателя, который вращает вентилятор. Если заставить двигатель работать по такой характеристике, чтобы увеличению момента соответствовало увеличение скорости для каждой высоты полета, то вентилятор будет вращаться с определенной скоростью на каждой высоте и никакой специальной конструкции, реагирующей на изменение давления воздуха, не потребуется.

Э. д. с. двигателя постоянного тока может быть выражена зависимостью

$$e = 1,192 K^2 \Phi^2 I_0 10^{-4}. \quad (1)$$

Это уравнение показывает, что для работы при неизменной силе тока поток должен меняться, как корень квадратный из напряжения.

Если отношение между током и напряжением выражается зависимостью $I = I_0 + Ae$ и величина Ae мала по сравнению с величиной I_0 вышеуказанное условие как раз выполняется.

$$\Phi^2 = \frac{e}{1,192 K^2 (I_0 + Ae)}. \quad (2)$$

Регулятор напряжения, удовлетворяющий требованию уравнения (2), весьма прост. Он состоит из двух катушек, из одной из которых течет потребляемый из линии ток, а во второй — ток, пропорциональный напряжению системы. Такой регулятор управляет полем генератора до тех пор, пока алгебраическая сумма токов в обеих катушках не создаст потока, достаточного для уравновешивания пружины регулятора.

С увеличением высоты полета уменьшается момент двигателя, пропорционально ему уменьшается и ток, потребляемый двигателем. Однако при этом регулятор для достижения положения равновесия увеличивает ток возбуждения генератора. Последнее ведет к увеличению напряжения системы, к увеличению скорости вентилятора, к росту момента. При новой устойчивой рабочей точке регулятора мощность, момент и скорость двигателя увеличиваются, а количество нагнетаемого в кабину ежесекундно воздуха остается прежним.

Инж. Е. Л. КОВАРСКАЯ

ИОННО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Emil J. Remscheid. Рассеивание тепла и регулирование температуры в мощных ионитронах. *GER, стр. 25—28, № 3 1944.*

Тепло в ртутном выпрямителе выделяется в трех зонах и распределяется примерно следующим образом: 1) 30% — в дуге, где тепло является конечной формой энергии, сообщенной электронам для ионизации атомов ртутных паров при столкновении с ними; 2) 40% — у катода, где тепло создается с целью высвобождения электронов, и 3) 30% — у ано-

дов, где тепло образуется от бомбардировки поверхности анода электронами.

Для отвода тепла в современных мощных интритронах применяется почти исключительно циркуляционная система охлаждения, которая из-за малой теплоемкости выпрямителя должна быть рассчитана на отвод всего выделяемого тепла, независимо от того, работает ли выпрямитель с постоянной или прерывистой нагрузкой.

Колебания температуры ртутного катода не влияют на процесс выпрямления тока. Большая часть тепла, выделяемая катодом, распределяется по всему корпусу выпрямителя ртутными парами, а остальная часть тепла передается через анод и катод к шинам.

Температура анодных головок должна быть значительно ниже критической. При критической температуре анод сам испускает электроны и действует, как катод. Поэтому должны быть приняты меры для отвода тепла от анода. Большая часть тепла анода отводится циркуляционной водой. Тепло, проходящее через стержень анода, отводится прямым лучеиспусканием от анодных шин. Задача конструктивно сильно упрощается применением литой микалексовой заделки, изолирующей анод от катода и допускающей рабочую температуру в 250°C без ущерба для ее электрических и механических свойств.

Температура стенок корпуса выпрямителя поддерживает сравнительно низкую, чтобы дать возможность ртутным парам конденсироваться. Так как внутренние поверхности микалексовых изоляторов анода и сетки также являются частью вакуумного корпуса, то необходимо предотвратить конденсацию ртути на этих поверхностях. Для этой цели предусматриваются вделанные в анод и сетку нагреватели. Анодные нагреватели контролируются термостатически и заблокированы с катодным автоматом так, что при отключенном автомате они обтекаются током.

На случай, если рабочая температура выпрямителя выйдет за допустимые пределы, предусматривается защита термостатами, действующая на сигнал или отключение выпрямителя. На случай задержки в протекании воды, когда температура выпрямителя станет выше допустимой, предусматривается защита при помощи реле давления, действующего также на сигнал или отключение.

Развитие циркуляционной системы охлаждения сыграют большую роль в успешной эксплуатации современных мощных интритронов.

Инж. П. Л. ХАЙНЕР

КАБЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Длительные испытания 132-kV кабеля давления. *Electrician Oct. 1944.*

Фирмам Enfield Cable Works Ltd. и Central Electricity Board на площадке в Yorkshire поставлены испытания 132-kV кабеля давления по режимам нормальной эксплуатации промышленных линий.

Установка имеет две цепи, каждая из которых состоит из трех одножильных кабелей длиной около 225 м, присоединенных с одной стороны к воздушным линиям и сращенных с другой стороны вместе посредством соединительных муфт. Весь участок этой цепи длиной около 450 м осуществляет связь между воздушными 132-kV линиями.

Фирмой еще в 1932 г. было выполнено для Лондона около 3,7 км 66-kV кабеля под давлением в трубе, а за последние годы было изготовлено для различных энергосистем еще около 30 км кабеля давления разных типов на напряжение 50—120 kV.

Испытуемый кабель давления имеет две свинцовые оболочки, пространство между которыми заполнено азотом под давлением около 14,6 ат. При изменениях температуры жилы, обусловленных изменением нагрузки, образование пустот и развитие ионизации в диэлектрике такого кабеля исключаются. Большая однородность диэлектрика дает возможность применять рабочие градиенты напряжения в 110 kV/cm при величине пробивной прочности пропитанной бумаги около 400 kV/cm.

Жила кабеля овальная; имеет сечение около 260 мм² и выполнена из отдельных медных проволок. Изоляция состоит из бумаги, пропитанной вязкими составами. Внутренняя свинцовая оболочка овального сечения действует, как непроницаемая диафрагма давления. Она имеет меньшую толщину, чем в обычном кабеле, и усилена двумя медными лентами холодной прокатки. Наружная свинцовая оболочка круглого

сечения усилена двумя латунными лентами, поверх которых наложены обычные защитные покровы.

Особый интерес представляют концевые муфты, где впервые поверхность фарфоровой рубашки изготовлена из полупроводящего стекла. Разнообразные меры по устранению неравномерного распределения напряжения на поверхности фарфорового изолятора и повышению прочности при высокочастотных перекрытиях не приводили до настоящего времени к должным результатам, и лишь применение полупроводящего стекла позволило разрешить эту проблему.

Образцы кабелей на заводе подвергались нормальным и типовым испытаниям высоким напряжением переменного и постоянного тока, а также испытанию давлением газа 20,8 ат в течение 24 ч. Все металлические части подвергались испытанию гидравлическим давлением 29,2 ат, а затем давлением газа в 21,9 ат.

Установка для испытания кабелей находится в эксплуатации уже в течение нескольких лет.

Кандидат техн. наук И. Г. ГЕРЦЕНШТЕЙН

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Проволока формек фасонного сечения. *Rev. Scientific Instruments, стр. 212, № 8, 1944.*

Нормальная эмальпроволока, как известно, может изготавливаться только круглого сечения, так как на острых ребрах прямоугольного сечения эмаль плохо держится и дает пониженное пробивное напряжение. Фирма GEC в настоящее время выпускает эмальпроволоку с синтетической эмалью типа Formex, обладающей особо большой механической прочностью и эластичностью, не только круглого, но и фасонного (прямоугольного) сечения. Применение такой проволоки представляет интерес для электромашинно- и аппаратоостроения, так как дает возможность существенно повысить коэффициент заполнения обмоток.

Кандидат техн. наук Б. М. ТАРЕЕВ

E. O. Hausmann, A. E. Parkinson и G. H. Mains, Нагревостойкость слоистых пластинок. *Modern Plastics (Overseas Edition), стр. 47—50 и 68—72, 1944.*

Подробно исследовались на действие повышенных температур широко применяемые в электрической изоляции слоистые пластины типа текстолита на различных основах с применением фенольного связующего. Показано, что наибольшей нагревостойкостью обладает текстолит на основе стекляной ткани, который практически не дает изменения механических свойств и сохраняет стабильность размеров в результате прогрева до 200°C в течение одной недели или до 150°C в течение одного месяца. Несколько хуже, в отношении нагревостойкости, текстолит на основе асбестовой ткани; далее следуют текстолиты на основе хлопчатобумажной ткани и на основе искусственного шелка, которые при прогреве заметно снижают гибкость и прочность на ударный изгиб.

Кандидат техн. наук Б. М. ТАРЕЕВ

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ТЕХНИКА

E. M. Guyer. Высокочастотная сварка стекла. *Electronics, стр. 92—96, № 6, 1945.*

В реферируемой статье подробно описывается применение для нагрева стекла токов высокой частоты. При этом возможны различные варианты обогрева: помещение стекла в поле конденсатора, индуктирование токов высокой частоты через катушку, подведение тока высокой частоты через пламя газовых горелок. При выделении тепла в массе обрабатываемого стекла обеспечиваются быстрый и равномерный нагрев, отсутствие местных перегревов поверхности и связанного с этим изменения свойств стекла в поверхностном слое, возможность нагрева особо больших и толстостенных стеклянных изделий. Высокочастотный нагрев может быть с большим успехом использован не только для сварки стек-

ла (сварки друг с другом стеклянных деталей, а также при-варки стекла к металлу), но и для пайки металлических вы-водов к нанесенному на стекло металлическому слою, для образования отверстий в стекле, изгиба и других видов стеклообработки.

Кандидат техн. наук **Б. М. ТАРЕЕВ**

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

A. Boyadgian and G. Camilly. Точные одновитковые трансформаторы тока. *El. Eng., Tr. стр., 137, № 3, 1945.*

При одновременном возбуждении железного сердечника токами двух разных частот можно заметить, что в области низких индукций потери в железе, измеренные со стороны низшей частоты, уменьшаются, а эффективная магнитная проницаемость увеличивается по мере усиления возбуждения на высокой частоте. Общие потери в железе при этом повышаются, однако необходимая мощность доставляется со стороны высшей частоты. Это явление использовано авторами для улучшения характеристик одновитковых проходных трансформаторов тока. Новая схема трансформатора тока, названного ортомагнитным трансформатором, изображена на рисунке.

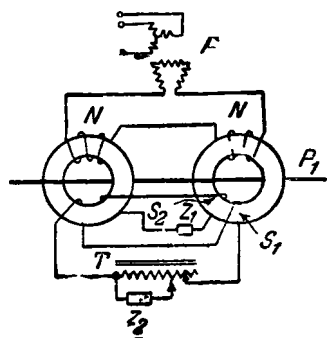


Рис. 1.

F — статический преобразователь частоты на 180 Hz; P_1 — первичная обмотка (шина); S_1 — основная вторичная обмотка; S_2 — компенсационная вторичная обмотка; Z_1 — компенсирующая нагрузка; N — обмотка для тока тройной частоты; T — автотрансформатор; Z_2 — потребитель.

Результаты испытаний одновиткового трансформатора тока 150,5 А, осуществленного по схеме рисунка, приводятся в таблице. Для сравнения в этой таблице даны цифры погрешностей того же трансформатора в обычном исполнении

	$I_2 = 0,5 \text{ A}$		$I_2 = 5 \text{ A}$	
	$f, \%$	δ_{\min}	$f, \%$	δ_{\min}
Обычный трансформатор тока . .	-6,7	+262	-1	+72
Ортомагнитный трансформатор .	-0,56	+4	-0,43	0

Подмагничивание повышенной частотой способствует также устранению остаточного магнетизма и, следовательно, уменьшает разброс величин погрешностей. Колебание напряжения в цепи тройной частоты на $\pm 10\%$ изменяло погрешность коэффициента трансформации всего на 0,1%, а погрешность в угле на 1 мин.

Наложение повышенной частоты не только уменьшает ток и потери холостого хода трансформатора, но и способствует спрямлению кривой намагничивания. Погрешности становятся при этом почти независимыми от тока и могут быть компенсированы простыми средствами, например, включением нагрузки Z_1 (фазовая погрешность) и автотрансформатора T (погрешность коэффициента трансформации).

Улучшение характеристик холостого хода в сочетании с постоянством погрешностей позволило превратить одновитковый трансформатор тока в точное измерительное устройство.

Кандидат техн. наук **М. С. ЛИБКИНД**

РАЗНОЕ

Проект американской мощной ветросиловой электростанции. *Eng. News. Record, 31 may 1945.*

В результате изучения возможностей использования энергии ветра для производства электроэнергии инженерами Федерального энергетического управления (Ф. Р. С.) запроектированы две мощные ветроустановки. Одна из них является двухагрегатной с суммарной мощностью 6 500 кВт, мощность второй установки, запроектированной для больших скоростей ветра, — 7 500 кВт.

Первая установка состоит из двух ветряных турбин, насаженных на концы стальной фермы 60 м длиной, вращающейся на вершине башни высотой 143 м. Турбины с лопастями длиной по 12 м присоединены к генераторам постоянного тока, находящимся в центральном машинном зале. Ветросиловые установки запроектированы на основе изучения данных Американского бюро погоды о скоростях и распределении ветра за долгий период.

В проекте подчеркиваются общезвестные преимущества ветровой энергии: неограниченность энергоресурсов, относительная свобода размещения энергоустановок, постоянство эксплуатационных издержек, простота обслуживания, возможность снижения стоимости линий электропередачи вследствие размещения ветроэлектростанций в пунктах, близких к местам потребления энергии. Отмечаются также низкие строительные и эксплуатационные издержки по ветроэлектростанциям.

Кандидат техн. наук **Б. Л. ЭРЛИХМАН**

G. H. Floyd. Вакуумные конденсаторы. *Proc. of the Inst. of Radio Eng., стр. 463, № 8, 1914.*

Обычные воздушные конденсаторы постоянной емкости работают ненадежно при использовании в авиационной радиопаратуре при высоких полетах. Понижение давления воздуха дает заметное снижение пробивного напряжения конденсатора; кроме того при быстром снижении самолета с большой высоты на охладившихся металлических частях конденсатора при переходе в область нормальной температуры и влажности конденсируется вода, что ухудшает электрические характеристики конденсатора. В широком диапазоне рабочих температур, характерном для авиационной радиоаппаратуры, стабильность емкости воздушных конденсаторов в ряде случаев оказывается недостаточной.

Указанными недостатками не обладают вакуумные конденсаторы, разработанные фирмой ГЕС. Благодаря применению высокого вакуума в этих конденсаторах достигается резко увеличенная пробивная напряженность электрического поля, которая не зависит от высоты подъема самолета. Диэлектрическая проницаемость вакуума стабильна и не зависит от температуры. Доступ влаги внутрь конденсатора полностью исключен. Вакуумные конденсаторы выпускаются двух основных типов: GL—1L38 с номинальной емкостью 50 мкФ при пиковом значении напряжения 7,5 кВ и GL—1L22 с емкостью 25 мкФ при пиковом напряжении 16 кВ. Конденсатор первого типа имеет наружный диаметр 40 мм и длину 83 мм. Корпус конденсатора представляет собой толстостенную трубку из боросиликатного стекла. В края этой трубки с обоч торцов впаяны колпачки из железо-никель-кобальтового сплава («ферринок»); к одному из колпачков приварена тонкая металлическая трубка для откачки. С внутренней стороны каждого колпачка приварен стальной диск, служащий основанием для крепления цилиндрических электродов. Последние представляют собой тонкостенные латунные цилиндры с загнутыми с одной стороны краями. Цилиндры закрепляются заваркой их краев между стальным диском и никелевым кольцом. Цилиндры, закрепленные на верхнем колпачке, входят своими стенками в зазоры между стенками цилиндров, закрепленных на нижнем колпачке. Расстояние между стенками разноименных цилиндров (толщина диэлектрика) составляет 1,25 мм. При достаточном вакууме это расстояние выдерживает напряжение порядка 50—75 кВ; поэтому пиковое напряжение конденсатора распределяется не пробоем между внутренними электродами, а величиной разрядного напряжения по наружной поверхности стекла между колпачками при минимальном рабочем значении давления окружающего воздуха. Для крепления конденсатора с наружной стороны колпачков приварены отрезки металлических трубок, на которые для улучшения контакта надеваются серебряные латунные колпачки. Потери энергии конденсаторе определяются величиной угла потерь стекла, поскольку потери в металлических частях до частоты 50 МГц очень малы и ими можно пренебрегать.

Температура перегрева конденсатора в рабочих условиях может быть выражена формулой

$$\tau = kfU^2,$$

где f — частота и U — эффективное значение напряжения высокой частоты, приложенного к конденсатору. Зная определенным допустимым значением перегрева по этой формуле, можно найти значение допускаемых для конденсатора нагрузок при разных частотах.

Температурный коэффициент емкости вакуумных конденсаторов положителен и для предела температур от -50 до $+100^{\circ}\text{C}$ составляет $0,0027\%$ на 1°C .

Конструкция конденсатора обеспечивает его высокую механическую прочность и устойчивость против вибраций.

Кандидат техн. наук В. Т. РЕННЕ

M. Brotherton. Бумажные конденсаторы для цепей постоянного тока. *Proc. of the Inst. of Radio-Eng., стр. 139—144, № 3, 1944.*

Основное требование, предъявляемое к бумажному конденсатору, заключается в том, что он должен выдерживать приложенное к нему постоянное напряжение в течение всего времени срока службы аппаратуры, в которой он используется. При установлении значения рабочего напряжения для бумажного конденсатора необходимо учитывать, что его электрическая прочность зависит от температуры.

Обычные бумажные конденсаторы, пропитанные воскообразными веществами и защищенные от действия влажности заливкой асфальтовым компаундом, предназначены для работы в закрытых помещениях при температуре от $+15$ до $+50^{\circ}\text{C}$. В этих условиях, при двух слоях бумаги между обкладками конденсаторы могут в течение достаточно длительного времени выдерживать напряжение 200 В . При повышении температуры сверх 50°C компаунд может вытечь из конденсатора, открыв его для доступа влаги; может также наблюдаться миграция компаунда внутри конденсаторной секции, снижающая электрическую прочность последней. При низких температурах компаунд трескается и пропускает влагу внутрь конденсатора.

Поэтому для конденсаторов, работающих при температурах ниже 0°C или выше 50°C , должна применяться герметическая конструкция корпуса. Для пропитки таких конденсаторов вместо воскообразных веществ должны применяться масла, обеспечивающие повышение электрической прочности как при низких, так и при высоких рабочих температурах. Для обеспечения длительного срока службы конденсатора при высокой температуре необходимо уделять должное внимание правильному выбору сорта бумаги, типа пропиточной массы и металла обкладок. Кроме того надо добиваться минимально возможного содержания остаточной влаги в диэлектрике конденсатора и практического отсутствия химически активных веществ: кислот, щелочей и т. п. При соблюдении этих условий бумажные конденсаторы могут быть изготовлены для рабочего диапазона температур от -50 до $+85^{\circ}\text{C}$.

При включении группы конденсаторов под постоянное напряжение, превышающее рабочее значение (для ускоренного испытания), в начале испытания может наблюдаться пробой нескольких экземпляров, вызванный случайными причинами. Далее следует период времени, в течение которого ни один конденсатор не пробивается, после чего количество пробоев начинает закономерно возрастать, пока не выйдут из строя все исследуемые конденсаторы. Этот период времени, до начала закономерного пробоя, можно назвать мини-

мальным сроком службы данного типа конденсаторов: L_{\min} . Срок службы конденсатора быстро снижается с повышением напряжения, приложенного к конденсатору, подчиняясь эмпирической формуле

$$L_{\min} \approx \frac{1}{E^n},$$

где E — постоянное напряжение на зажимах конденсатора.

Для обычных типов пропитки (воскообразные вещества и масла) показатель степени n лежит в пределах от 4 до 6. Эти значения получены при емкости до 4 мкФ , температуре до $+85^{\circ}\text{C}$ при напряжениях до 3 кВ и при значениях напряженности поля до 60 кВ/мм . Данная формула не применима при воскообразной пропитке, если температура превышает точку плавления пропиточной массы или если температура значительно ниже 0°C .

Пользуясь данной эмпирической формулой, можно определять допустимые для конденсаторов рабочие напряжения, проводя ускоренные испытания при повышенном напряжении. Эти испытания следует проводить при максимальном значении рабочей температуры конденсатора.

Кандидат техн. наук В. Т. РЕННЕ

W. M. Allison and N. E. Beverly Новый высокочастотный конденсатор для подавления радиопомех. *El. Eng., стр. 915—916, № 12, 1944.*

Конденсаторы, применяемые для борьбы с радиопомехами, должны иметь малое кажущееся сопротивление в широком диапазоне частот. При низкой частоте кажущееся сопротивление конденсатора определяется величиной его емкости, а при высоких частотах — индуктивностью выводных проводников и самой конденсаторной секции. В обычных конденсаторах за счет индуктивности происходит значительный рост кажущегося сопротивления при высоких частотах, затрудняющий использование конденсатора как шунта для высокочастотных помех.

Конденсаторы нового типа «Hypass» имеют низкое кажущееся сопротивление в очень широком диапазоне частот вплоть до 150 МГц . Это — трехвыводные конденсаторы, со сквозным пропусканием основного тока. Конструкция этих конденсаторов отличается от конструкции обычных бумажных конденсаторов применением в качестве обкладок длинных лент фольги с двумя значениями ширины, разделенных диэлектриком с промежуточным значением ширины.

При использовании конденсаторов данного типа необходимо иметь в виду, что их эффективная емкость снижается с частотой. Так, например, конденсатор, имеющий при частоте 60 Гц емкость $14,2\text{ мкФ}$, при переходе к частоте 20 МГц снижает емкость до $0,1\text{ мкФ}$.

По такому же принципу могут изготавливаться не только бумажные конденсаторы, наматываемые из длинных лент диэлектрика, но и слюдяные конденсаторы, собираемые в виде стопки из отдельных пластинок слюды.

Кандидат техн. наук В. Т. РЕННЕ

Содержание журнала „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“ за 1945 г.

Авторы и название материалов	№ жур.	стр.	Авторы и название материалов	№ жур.	стр.
Академии наук СССР — Приветствие СНК СССР и ЦК ВКП(б)	7	1	Берг А. И. — Изобретатель радио А. С. Попов	5	1
Буквенные обозначения общетехнических и основных электротехнических величин	1—2	46	Бронштейн А. М. — Газогенерирующий разъединитель мощности	7	35
Дискуссия по статье В. И. Полонского: «Закон электромеханического подобия и универсальные диаграммы переходных процессов электродвигателей постоянного тока»	10	44	Брук И. С. — О некоторых методах механического решения системы линейных алгебраических уравнений	11	17
К 60-летию академика Б. Е. Веденеева	1—2	3	Брук И. С. — Об устойчивости электрических систем	9	9
Новые типы современной высоковольтной аппаратуры	7	24	Брук И. С., Лебедев С. А., Жданов П. С. — О статье И. М. Марковича и С. А. Савалова	3	22
Об ознаменовании 50-летия со дня изобретения радио А. С. Поповым	5	1	Буткевич Ю. В., Гройс Е. С., Зеликин М. Л. — Трубочные разрядники на основе нового газогенерирующего материала	7	25
О некоторых ранних научных работах А. С. Попова	4	6	Бычков В. П. — Графические методы построения кривых асинхронного двигателя	9	33
О развитии сельской электрификации	4	8	Вавилов С. И. — Памяти академика [Л. И. Мандельштама]	1—2	43
От участников юбилейной сессии Академии наук СССР товарищу И. В. Сталину	7	2	Вавилов С. И. — Несколько слов о понятии и значении люминесценции	1—2	4
От Фарадея до Попова	1—2	40	Б. А. Введенский — От А. С. Попова к современному радио	5	20
Первая в России практическая радиоустановка А. С. Попова в Нижнем-Новгороде	5	35	Веников В. А. — Критерии подобия электромеханических явлений и их применение к моделированию электросистем	4	30
А. С. Попов о своем приоритете	5	40	Веников В. А. — Серийный генератор постоянного тока как отрицательное сопротивление	1—2	23
А. С. Попов в Петербургском электротехническом институте	5	39	Веников В. А. и Чугунов С. С. — Стробоскопическая регистрация угла расхождения э. д. с.	10	39
Праздник передовой науки	6	1	Винтер А. В. — Первые шаги электрификации СССР	12	23
Технические науки в Академии наук СССР за 220 лет	6	4	Галонен Ю. М. — О реконструкции троллейбуса	5	61
Честь и слава советским энергетикам	4	1	Галонен Ю. М. — Электромобили	11	35
Электрики — члены Академии наук	6	29	Геллер Ф. К. — Добавочные потери в асинхронных двигателях при холостом ходе, вызываемые открытием пазов статора	8	33
Айзенберг Б. Л. — Замкнутая сеть без сетевых автоматов	5	54	Герценштейн М. Г. — О кабелях со сжатым газом	1—2	37
Айзенберг Б. Л. — Система плавких предохранителей для селективной защиты электрических сетей	9	31	Гинзбург С. А. — Суммирование числа импульсов	3	39
Айзенберг Б. Л. — Об актуальных вопросах проектирования и эксплуатации городских электрических сетей	4	52	Голован А. Т. и Дубенский А. А. — Асинхронный самовозбуждающийся генератор переменной частоты	5	50
Акодис М. М. — Оценка грозоупорности высоковольтных линий	9	49	Голубев Д. В. — Новый прибор для измерения реактивной мощности при больших токах приемника	10	34
Алексеев А. Е. — Советское энергетическое электромашиностроение за 25 лет	12	20	Горев А. А. и Рябов Б. М. — Импульсные характеристики линейной изоляции	10	28
Анрианов К. А. — Новая эмалевая изоляция «винифлекс»	10	15	Городский Д. А. — Расчет установившихся значений динамических перенапряжений	9	20
Апаров Б. П. — Основные вопросы электрооборудования современных самолетов	10	1	Городский Д. А. — Исследование режима двухфазного короткого замыкания	8	39
Аркадьев В. К. — Спектр электромагнитных волн в год открытия радио	5	33	Городский Д. А. — Асинхронный ход синхронной машины в системе	3	23
Аронов Р. Л. — Выбор основных размеров катушек для аппаратов постоянного тока	9	36	Городский Д. А. — Ответ на замечания инж. Е. Я. Казовского	10	47
Аронзон Г. С. — Расчет электромагнитного поля при наличии железа	10	25	Головин Г. И. — А. С. Попов на Колумбийской выставке в 1893 г.	1—2	42
Артамонов И. Д. — В. Н. Чиколев — военный электротехник	8	13	Графтио Г. О. — Водохвостой и ГОЭЛРО	12	25
Атабеков Г. И. — Пути развития современной техники релейной защиты	9,11	1,1	Гутенмахер Л. И. — Интегральные уравнения многомерных электрических моделей	1—2	14
Бабаг Г. И. и Лукошков В. С. — О расчете потерь в основании дороги высокочастотного электротранспорта	5	47	Гутенмахер Л. И., Коган А. Г., Попов И. Н. — Электромагнитные расчеты на интеграторе	11	26
Балыгин И. Е. — К вопросу о грозопоражаемости нефтяных озер	4	46	Гутенмахер Л. И., Корольков Н. И., Тафт В. А. — Электрические схемы для решения системы уравнений	4	33
Балыгин И. Е., Миньков Р. Я. — О регистрации частичных пробоев изоляции в силовых кабелях высокого напряжения	1—2	29	Димитрадзе А. С. — Элементы теории электропередачи от дизеля к осям	3	33
Бамдас А. М. — Трансформаторно-выпрямительные агрегаты для электрической очистки газов	4	45	Доливо-Добровольский М. О. — О передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения	3	15
Барский С. З. — Нестационарный электрический и температурный режим металлического сопротивления	3	40	Ежов А. И. — Десять лет работы Московского метрополитена	7	1
Белаш П. М. — Электрические модели для приближенного решения интегральных и интегродифференциальных уравнений	11	23			
Белькинд Л. Д. — М. О. Доливо-Добровольский	3	12			
Беляков А. А. — 25 лет гидроэнергетики СССР	12	32			

Авторы и название материалов	№ жур.	стр.	Авторы и название материалов	№ жур.	стр.
Ермолинский Н. Н., Шефтель Е. Б. — Светильники с люминесцентными лампами	8	21	Литвиненко А. И. — О реконструкции подвижного состава трамвая	1—2	35
Ефроймович Ю. Е. — К теории регулирования дуговых электросталеплавильных печей	12	52	Ломоносов В. Ю. — Магнитное поле кольцевых токов	4	48
Жданов П. С. — О симметричных составляющих	9	26	Лукомская А. М. и Шафрановский К. И. — Встреча Попова с Маркони	3	45
Жежерин Р. П. — Схема замещения явнополюсной синхронной машины	4	2	Лукомская А. М. и Шафрановский К. И. — Литература по электричеству и электроэнергетике в изданиях Академии наук СССР	6	42
Жимерин Д. Г. — 25 лет плана ГОЭЛРО	12	6	Лукомская А. М., Шафрановский К. И. — О некоторых статьях и заметках изобретателя радио А. С. Попова	1—2	41
Жимерин Д. Г. — Основа экономической мощи нашей страны	1—2	1	Лурье А. И. — Использование разряда конденсатора в электровзрывании	3	39
Захарин А. Г. — Развитие электрификации сельского хозяйства СССР за 25 лет	12	35	Луценко Н. Н. и Ческис И. М. — Военные электрики в Великой Отечественной войне	8	4
Захарин А. Г. — Электроснабжение сельскохозяйственных районов в условиях широкой электрификации сельского хозяйства	4	9	Лямин В. А., Баженов С. А. — Эксплуатация кабельных сетей и требования к электропромышленности	1—2	39
Зингерман А. С. — К вопросу о координации протизагрозовоой защиты	3	38	Мандельштам Л. И. — Из предистории радио	5	8
Иванов Л. И., Савельев В. П. — Новые вентиляционные разрядники	7	29	Маракулина К. П. — Универсальный ламповый прибор для электрических измерений без разрыва цепи тока	7	45
Институт электросварки Академии наук УССР — Развитие автоматической электросварки под флюсом за годы войны	3	4	Марквардт Г. Г. — Выбор длины анкерного участка по условиям компенсации натяжения контактного провода	1—2	31
Каган Б. М. и Исаев П. В. — Авиационные сельсины	10	8	Маркович И. М. и Совалов С. А. — Практические критерии статической устойчивости электрической системы	3	17
Казовский Е. Я. — Замечания по статье Д. А. Горюнского «Асинхронный ход синхронной машины в системе»	10	47	Меерович Э. А. — Расчет электромагнитных процессов в катушке трансформатора	1—2	19
Казовский Е. Я. — Теоретические вопросы современного электромашиностроения	7	13	Мелькумов А. М. — Мощные высоковольтные предохранители с кварцевым песком	7	39
Калантаров П. Л. — О рационализации уравнений электромагнитного поля	8	46	Минов Д. К. — Ближайшие задачи городского и пригородного электротранспорта	1—2	33
Кантер А. С. — Электрические машины малой мощности с высоким коэффициентом полезного действия	8	31	Миткевич В. Ф. и Радовский М. И. — Международное признание А. С. Попова	3	42
Каплинский А. Е. — Универсальный прибор переменного тока	10	31	Миткевич В. Ф. и Радовский М. И. — А. С. Попов и русские общественные круги	4	2
Караулов Н. А. — Особенности гидроэнергостроительства в странах Северной Америки за годы войны	7	51	Морозов Д. П. — О колебательных процессах в электроприборах	8	28
Карякин Н. А. — Эффект высокой интенсивности в вольтовой дуге постоянного тока между угольными электродами	8—11	16,9	Нейман Р. Л. — Измерительный трансформатор, не подверженный влиянию посторонних магнитных полей, и некоторые его применения	7	43
Киклевич Н. А. — К вопросу о неустойчивой части пусковой характеристики асинхронного двигателя	10	43	Нетушил А. В. — К вопросу о «скачках» в нелинейных системах	5	58
Коган Б. Я. — О расчете мощности и выборе типа ignитронных ламп для прерывателей тока точечных электросварочных машин	10	37	Никитин В. П. — Развитие применения вольтовой дуги в электрической сварке металлов	6	18
Киопотов А. А. — Первоочередные задачи по подготовке к проектированию и производству нового подвижного состава трамвая	5	62	Николайчук М. Р. — Механическая модель синхронной машины	1—2	24
Кляцкин И. Г. — Перспективы развития радиотехники	5	26	Папалекси Н. Д. — О деятельности академика Л. И. Мандельштама в области радиофизики и радиотехники	1—2	44
Комаров В. Л. — Великий русский ученый М. В. Ломоносов	3	1	Перкович Г. И. — О статье инж. А. М. Бамдас «Трансформаторно-выпрямительные агрегаты для электрической очистки газов»	10	49
Комаров В. Л. — 220 лет Академии наук СССР	6	2	Петров Г. Н. — 40-летие Московской школы энергетиков	12	38
Коновалов Н. И. — Характеристика асинхронных двигателей в системе относительных единиц	9	50	Петров Г. Н. — Влияние насыщения на угловые характеристики синхронной машины	4	36
Кравец Т. П. — Президент Академии наук СССР С. И. Вавилов	8	1	Петров Б. П. — Переходные явления в плавающей схеме с дополнительным торможением на выбеге	10	41
Кржижановский Г. М. — К 25-летию юбилею плана ГОЭЛРО	12	17	Пистолькорс А. А. — Проблема высокочастотного транспорта	11	30
Крылов А. Н. — Попов и Маркони	5	31	Полонский В. И. — Закон электромеханического подобия и универсальные диаграммы переходных процессов электродвигателей постоянного тока	4	23
Круг К. А. — Перспективы развития передачи энергии постоянным током высокого напряжения	3	7	Поляк Н. А. — Машинная постоянная турбогенератора	3	27
Круг К. А. — Как протекала работа ГОЭЛРО	12	6	Поляк Н. А. — Основные размеры и электромагнитные характеристики турбогенераторов	8	36
Кьяндский Г. А. — Заграничные командировки А. С. Попова	5	37	Попов В. К. — Ионный электропривод постоянного тока	1—2	10
Либкинд М. С. — Механические силы в обмотках трансформаторов	9—12	43,47	Попов В. К. — Непрерывное управление автоматизированным электроприводом	8	25
Листов П. Н. — Электрификация полеводства	4	15	Привезенцев В. А. — Ближайшие задачи кабельной промышленности	1—2	36
Литвак Л. В. — О механической мощности холостого хода электропривода и продолжительности процесса его самоторможения	1—2	26			
Литваков У. М. — Новые стандарты на электрические аппараты низкого напряжения	12	57			

Авторы и название материалов	№ жур.	стр.	Авторы и название материалов	№ жур.	стр.
Пружинина-Грановская В. И. — Нелинейные вихревые сопротивления для разрядников . . .	7	32	Цейров Е. М. — Принцип гашения электрической дуги сжатым воздухом . . .	11	39
Радовский М. И. — Юбилей радио в СССР . . .	5	41	Цукерник Л. В. — Автоматическое регулирование напряжения компаундированных синхронных генераторов . . .	4	41
Рабинович А. А. — К вопросу о реконструкции городского электротранспорта . . .	5	60	Червоненко Я. М. — Передача энергии постоянным током с улучшенной характеристикой . . .	3	9
Рапопорт М. И. — Новые пути в методике профилактических испытаний изоляции . . .	10	21	Чернин А. Б. и Швагер В. Я. — Поведение регуляторов напряжения при несимметричных коротких замыканиях . . .	8	42
Розенфельд В. Е. — Некоторые выводы по дискуссии о путях реконструкции городского электротранспорта . . .	5	62	Чиликин М. Г. — Переходные процессы в квадратичной системе Леонарда . . .	11	44
Романов М. И. — Компенсация реакции якоря самовозбуждающихся синхронных машин . . .	5	53	Шателен М. А. и Радовский М. И. — Электротехника в Академии наук СССР за 220 лет . . .	6	11
Руссаковский Е. А. — От плана ГОЭЛРО к новым задачам в восстановлении и развитии народного хозяйства СССР . . .	12	10	Шателен М. А. — Советские метрологи в международных метрологических организациях . . .	7	3
Сапожников А. В. и Крайз А. Г. — О стандартизации импульсной прочности трансформаторов . . .	9	40	Шателен М. А. — Двадцать пять лет назад . . .	12	21
Сена Л. А. — Приспособления для регулировки быстродействующих автоматических выключателей . . .	1—2	30	Шенфер К. И. — За легкий, дешевый и экономичный электроподвижной состав городского электротранспорта . . .	1—2	33
Сердинов С. М. — Вопросы восстановления производства электротягового оборудования . . .	1—2	34	Шиферсон Н. И. — Расчет электронно-ионного регулятора напряжения тензорным методом . . .	10	39
Совалов С. А. — Расчет сложных сетей переменного тока с использованием модели постоянного тока . . .	1—2	27	Шницер Л. М. — Номограмма нагрузочной способности силового трансформатора . . .	4	44
Соколов А. А. — Триггерная схема предельной чувствительности . . .	10	32	Шостын Н. А. — Из истории электрических эталонов . . .	7	6
Соколов А. А. — Погрешности динамической компенсации . . .	5	56	Шостын Н. А. — Владимир Николаевич Чиколев . . .	8	7
Смирнов К. А. — Устойчивость компаундированного генератора при работе на шины бесконечной мощности . . .	9	23	Щедрин Н. Н. — К вопросу о статической устойчивости электроэнергетических систем . . .	9	56
Стекольников И. С., Комелеков В. С. — О заметке И. Е. Балыгина . . .	4	48	Эпштейн Я. С. — Особенности проектирования амплитудов . . .	12	40
Стекольников И. С. — Статические радиопомехи в полете на самолете и их устранение . . .	10	35	Юдицкий С. Б. — Выпрямление токов высокой частоты селеновыми выпрямителями . . .	9	48
Стекольников И. С. — Исследования по высокочастотному разряду в Академии наук СССР . . .	6	22	РЕЦЕНЗИИ		
Степанов А. Д. — О значении дизель-электрической тяги в промышленном транспорте . . .	4	20	Артамонов И. Д. — Учебное пособие по теории и расчету прожекторов, проф. Н. А. Карякин, «Прожекторы» (Теория и расчет). Госэнергоиздат, стр. 455, Москва, 1944, цена 23 руб. . . .	3	52
Столос Л. И. — Продолжительность пуска короткозамкнутого двигателя . . .	3	36	Атабеков Г. И. — Книга по релейной защите, М. Ф. Костров, И. И. Соловьев, А. М. Федосеев, «Основы техники релейной защиты», Госэнергоиздат, М.—Л., 1944, 436 стр., 705 рис., тираж 7 000 экз., цена 43 руб. . . .	9	60
Сыромятников И. А. — Об улучшении технологии и расширении научно-исследовательской базы кабельной промышленности . . .	1—2	38	Климовицкий Я. А. — Сборник «Электросила», № 1. Научно-технический сборник «Электросила», № 1, 1945. Изд. Госуд. союзного ордена Ленина Ленинградского электромашиностроительного завода «Электросила» им. Кирова: Редакция Д. Е. Ефремов (ответ. редактор), Е. Я. Казовский, Е. Г. Комар, В. А. Толвинский, тираж 1 000 экз. . . .	8	49
Тареев Б. М. — Размерности и единицы измерения характеристик диэлектриков . . .	9	49	Попов В. К. — Американская книга по электроприводу. Электродвигатели в промышленности. D. R. Shoults, C. J. Rife, T. C. Johnson, John Wiley and Sons, New-York, 1942, 389 стр., 219 рис. . . .	4	53
Телишевский Б. Е., Зернов Д. В. — Применение электронно-лучевых трубок для регулирования и следящего привода . . .	10	12	Радовский М. И. — Очерк истории Академии наук СССР. Г. А. Князев. Краткий очерк истории Академии наук СССР 1725—1945. Под редакцией академика С. И. Вавилова. Издательство Академии наук СССР, 1945. . . .	6	51
Тер-Газарян Г. Н. — О влиянии форсировки возбуждения синхронных генераторов на устойчивость асинхронных двигателей . . .	3	35	М. Р. — «СТРАНА ПЭЭФ» Г. Бабат, Молодая Гвардия, 110 стр., 1944, тираж 50 000, цена 5 руб. . . .	7	50
Тетельбаум С. И. — О беспроводной передаче электроэнергии на большие расстояния с помощью радиоволн . . .	5	43	Шостын Н. А. — Новые книги о П. Н. Яблочков, проф. Н. А. Капцов. Павел Николаевич Яблочков, М.—Л., 1944, 64 стр., тираж 10 000 экз., цена 5 руб.; проф. Л. Д. Белькинд (ред.). П. Н. Яблочков, Госэнергоиздат, М.—Л., 1944, 84 стр., тираж 5 000 экз., цена 3 руб. . . .	5	70
Трофименко Д. Е. — Расчет динамической устойчивости двух станций по типовым кривым . . .	9	52			
Фабрикант В. А., Бутаева Ф. А., Долгополов В. И. — Некоторые проблемы, связанные с разработкой люминесцентных ламп . . .	1—2	6			
Файбисович Л. И. — О кабеле для угольных шахт . . .	9	56			
Федоров Г. В. — За лучшие эксплуатационные показатели городского электротранспорта . . .	1—2	35			
Фридкин П. А. — Новый тип дугового статора для электропривода с малыми и регулируемые скоростями вращения . . .	1—2	22			
Фюрстенберг А. И. — Абсолютный метод измерения емкости и индуктивности . . .	10	32			
Хмельницкий С. В. — Улучшение коммутации генераторов блочинга путем применения диверторов . . .	3	37			