

# 75 ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Л Е Т

1880-1955

1955



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

7

Подготовленные для юбилейного номера материалы значительно превысили объем № 7 (увеличенного до 20 печ. л.). В связи с этим редакционная коллегия журнала приняла решение опубликовать эти материалы в № 7 и № 8.

## СОДЕРЖАНИЕ

Журнал «Электричество» в борьбе за технический прогресс . . . . .	1	Б. М. Вул — Физические предпосылки технического использования полупроводников . . . . .	102
Г. М. Кржижановский — ЛЕНИН И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ . . . . .	5	К. А. Андрианов — Синтетические полимеры в электрической изоляции . . . . .	108
Ф. Г. Логинов — Развитие советской энергетики и задачи энергетического строительства в 1955 г. . . . .	11	В. Т. Ренне — Развитие отечественного конденсаторостроения . . . . .	114
А. С. Павленко — 75 лет журнала «Электричество» и развитие электрификации в СССР . . . . .	17	М. М. Морозов и С. К. Медведев — Конденсаторы для силовых установок . . . . .	123
А. М. Некрасов — Основные технические задачи развития электростанций и энергосистем . . . . .	21	<b>ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ</b>	
Н. И. Борисенко — Задачи электротехнической промышленности на современном этапе . . . . .	24	Д. Д. Рейн — Журнал «Электричество» (1880—1955 гг.) . . . . .	130
М. Г. Чиликин, А. Т. Голован, И. И. Петров — Научно-технические вопросы электропривода . . . . .	29	Г. О. Левит — 75 лет организации отечественной энергетической общественности . . . . .	140
И. И. Иванов — Научно-технические вопросы электрификации железных дорог . . . . .	36	<b>ДИСКУССИИ</b>	
Л. Р. Нейман — Теоретические проблемы современной электротехники . . . . .	42	Поле как вид материи — Б. В. Фролов . . . . .	142
А. Г. Иосифьян — Научные проблемы отечественного электромашиностроения . . . . .	47	<b>ПО СТРАНИЦАМ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖУРНАЛОВ</b>	
А. Е. Алексеев, А. С. Еремеев, Р. А. Лютер — Задачи отечественного гидрогенераторостроения . . . . .	55	Работы по передаче энергии трехфазным током 380...650 кВ и постоянным током высокого напряжения. Испытания турбогенераторов реактивной нагрузкой. Буровой автоматический регулятор. Методы поверки измерительных трансформаторов . . . . .	144
Е. Г. Комар — Вопросы сооружения турбогенераторов большой мощности . . . . .	65	<b>ХРОНИКА</b>	
Г. В. Буткевич, Л. К. Грейнер — Перспективы развития и основные задачи в области выключателестроения . . . . .	73	6-я Веймарская конференция электриков в Германской Демократической Республике . . . . .	149
Н. А. Тищенко — Автоматизированный электропривод в черной металлургии . . . . .	80	<b>ЗАМЕТКИ И ПИСЬМА</b>	
И. А. Сыромятников — Объединение энергосистем на параллельную работу . . . . .	89	Разъяснение Харрингтона в „Electrical Engineering“ . . . . .	149
В. П. Пименов и М. Р. Сонин — Электропередача постоянного тока высокого напряжения . . . . .	93	<b>БИБЛИОГРАФИЯ</b>	
Н. М. Чупраков — Важнейшие вопросы автоматизации гидроэлектростанций . . . . .	100	Я. А. Шнейберг — Очерки по истории энергетической техники в СССР . . . . .	150
		И. М. Чалидзе — Книга С. Н. Корсака „Электрические водонагреватели и паровые котлы“ . . . . .	151
		Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике . . . . .	152
		<b>РЕФЕРАТИВНЫЕ КАРТОЧКИ</b>	

В юбилейном номере помещены художественно исполненные репродукции на мелованной бумаге: Выдающиеся ученые и электротехники (вкладыши I, II, III, IV и VII). Обложка № 1 журнала «Электричество» за 1880 г. (вкладка II). Карта ГОЭЛРО (вкладка IV). Карта электрификация сельского хозяйства (вкладка V—VI).

Адрес редакции: Москва, Б. Черкасский пер., д. № 2. Телефон: К 4-24-80.

Адрес для телеграмм: МОСКВА ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

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

*Считать важнейшей задачей партийных, советских и хозяйственных организаций в области промышленности, наравне с обеспечением выполнения народнохозяйственного плана, всемерное повышение технического уровня производства.*

(Из постановления Пленума ЦК КПСС 11 июля 1955 г.)

## Журнал «Электричество» в борьбе за технический прогресс

Ленинский план построения в России коммунистического общества неразрывно связан с задачей технического прогресса и предусматривает ускоренное развитие средств производства и электрификацию всей страны. Это положение лежит в основе генеральной линии Коммунистической партии Советского Союза. Претворяя в жизнь ленинскую программу строительства коммунизма, Центральный Комитет партии и Советское правительство направляют усилия всего советского народа на быстрое развитие тяжелой индустрии и дальнейшую электрификацию всего народного хозяйства.

На Всесоюзном совещании работников промышленности были всесторонне обсуждены пути неуклонного роста производства, со всей прямотой, свойственной советским людям, вскрыты недостатки в нашей работе и огромные резервы, которые могут и должны быть использованы в интересах дальнейшего крутого подъема народного хозяйства. Укрепление могущества Советского государства, повышение благосостояния советского народа невозможны без постоянной борьбы за всемерный технический прогресс и требуют нового подъема советской индустрии и электрификации страны.

Июльский Пленум ЦК КПСС принял по докладу товарища Н. А. Булганина постановление о задачах по дальнейшему подъему промышленности, техническому прогрессу и улучшению организации производства.

Журнал «Электричество» в борьбе за осуществление этих задач должен пополнить содержание ближайших номеров журнала материалами, способными помочь читателям при решении разнообразных вопросов электротехники.

Журнал «Электричество» в дни своего 75-летия находится на рубеже новых сдвигов в развитии энергетического хозяйства и электротехнической промышленности страны.

Дальнейший технический прогресс — обязательное условие роста производительности труда и увеличения социалистического производства.

Техника должна совершенствоваться постоянно. Новая техника должна заменяться новейшей. Машиностроение — сердцевина индустрии. От темпов развития машиностроения и в том числе электромашиностроения в значительной степени зависят дальнейший технический прогресс, повышение технического уровня всей промышленности, автоматизация производственных процессов, успешное решение задач неуклонного повышения производительности труда и дальнейшего подъема всех отраслей народного хозяйства. Это налагает на машиностроителей особую ответственность. Электрические машины, трансформаторы, аппараты и прочие изделия электротехнической промышленности по своему ассортименту, по своим конструктивным данным и техническим характеристикам должны полностью удовлетворять требованиям оснащения всей промышленности, транспорта, сельского хозяйства и других отраслей народного хозяйства передовым энергетическим и электротехническим оборудованием.

Энергетика является важнейшей отраслью народного хозяйства. Освоение новых экономических районов, увеличение производства продукции промышленности и сельского хозяйства зависят прежде всего от развития электрификации страны. Мощность электростанций и протяженность линий электропередачи в СССР растут с каждым годом, однако темпы их прироста недостаточны, что сдерживает развитие отдельных отраслей народного хозяйства. Потребности народного хозяйства в электрической энергии настолько велики, что задачи дальнейшего развития энергетики, строительства новых мощных станций и сетей с объединением энергосистем являются первоочередными. Всесоюзное совещание работников промышленности призвало полнее использовать новую технику и новые методы в эксплуатации и строительстве энергетических объектов в целях увеличения темпов ввода новых энергетических мощностей, шире использовать опыт передовых предприятий по быстрейшему освоению технико-экономических проектных показателей новых турбин, котлов, электрообору-

дования и других агрегатов электростанций, обеспечить надежную работу электростанций и электросетей с тем, чтобы улучшить электроснабжение всех отраслей народного хозяйства. В связи с этим должен быть закончен рассмотрением ряд научно-технических вопросов, от которых зависит, в частности, повышение устойчивости и маневренности в работе объединенных энергосистем, повышение экономичности работы, внедрение комплексной электрификации (независимо от ведомственной принадлежности потребителей электроэнергии), переброска больших мощностей по транзитным линиям на дальние расстояния, развитие автоматизации и телемеханизации энергетических систем и т. п. Большая группа вопросов, нуждающихся в скорейшем завершении их изучения, относится к проблеме передачи электроэнергии постоянным током. Результаты опытной проверки специальной линии Кашира—Москва подтверждают практическую возможность и преимущества передачи энергии постоянным током высокого напряжения. Необходимо ускорить разработку и внедрение в производство более мощных вентилях, реакторов, трансформаторов и другого оборудования для осуществления промышленной передачи электроэнергии постоянным током.

В Советском Союзе действует первая в мире атомная электростанция. Предстоит сооружение более мощных электростанций на атомной энергии, и целый ряд технических задач в этой новой области энергетики связан с работой энергосистем, с созданием новых видов электрооборудования и электроматериалов.

Решение сложных вопросов при создании объединений энергосистем и конструировании новых крупных машин облегчается применением метода электродинамического моделирования. Им с успехом пользовались при проектировании дальних электропередач Куйбышев—Москва и Сталинград—Москва и при разработке мощных гидрогенераторов для крупных гЭС. Исследования на динамических моделях необходимо продолжать.

Кроме технических вопросов, связанных с развитием электрических сетей высокого напряжения, имеются также вопросы рационального построения сетей низкого напряжения в больших городах, где во многих случаях эти сети находятся в запущенном состоянии.

Ожидает своего быстрого разрешения ряд вопросов релейной защиты электрических систем, в том числе: повышения надежности работы защитных устройств, уменьшения потребляемой ими мощности, повышения чувствительности и быстродействия, использования управляемых полупроводников, цепей с насыщенной сталью и др.

В ближайшее время необходимо решить все конструктивные и производственно-технические проблемы сооружения турбо-гидрогенераторов большой мощности, несомненные экономические преимущества которых в современных условиях электроэнергетики выяснены достаточно убедительно.

При этом придется особое внимание уделить дальнейшему изучению средств устранения вибрации, совершенствованию конструкций обмоток с эффективным охлаждением обмоток статора и ротора и др.

Роль гидроэлектростанций в общем балансе электроснабжения страны велика. Дальнейшее строительство крупных ГЭС связано с созданием новых более мощных машин. Необходимо наилучшим образом разрешить вопросы общей компоновки гидрогенераторов, их технического совершенства и экономичности и ряд вопросов статической и динамической устойчивости.

В числе задач, от решения которых зависит технический подъем на новую ступень электроэнергетики, находится также задача разработки рациональной конструкции крупных транспортных трансформаторов, не требующих сооружения на подстанциях дорогостоящих трансформаторных помещений с мощными кранами и вакуумными печами для сушки.

Для создания многих новейших видов оборудования в схемах автоматики, телемеханики, счетно-решающих устройств, в различных агрегатах связи, на транспорте и пр. применяются электрические машины малой мощности (микромашин). Усовершенствование их конструкции имеет большое значение, так как применение микромашин в ближайшие годы будет расти особенно быстрыми темпами.

Ряд важных научно-технических задач должен быть разрешен в области электрического привода. К ним в первую очередь относятся: развитие автоматизации электроприводов и использование средств бесконтактного управления; расширение областей применения наиболее простых, дешевых и надежных в работе электродвигателей переменного тока для различных регулируемых приводов; разработка теории многодвигательных приводов и построение на этой базе наиболее рациональных систем; установление принципов и создание новых схем программного управления электроприводами; создание инженерных методов расчета переходных процессов в замкнутых системах; уточнение инженерных методов тепловых расчетов на базе развития теории нагрева электродвигателей; разработка электроприводов возвратно-поступательного и вибрационного движения и др.

Всесоюзное совещание работников промышленности призвало ускорить освоение производства новых высокопроизводительных машин и оборудования для угольной, нефтяной, металлургической, химической и лесной промышленности, электростанций, для оснащения машиностроительных предприятий, предприятий легкой и пищевой промышленности, сельского хозяйства, строительства и транспорта. С этим неразрывно связаны названные задачи развития электрического привода.

Дальнейшее совершенствование требует электротяга на магистральных железных дорогах. Темпы электрификации железнодорожных магистралей в ближайшие годы повысятся; элек-

тремя будут охвачены магистрали протяжением в несколько тысяч километров. Многие вопросы должны быть разрешены по системе электротяги на переменном токе высокого напряжения: по защите линий связи от помех, источником которых служит контактная сеть, по типам электровозов, разработки современных конструкций аппаратов для комплексной автоматизации тяговых подстанций и перевода их на телеуправление, по выбору схем рекуперации энергии на электрифицированных железных дорогах и др.

Ответственные задачи стоят перед научно-техническими силами по разработке новых видов и конструкций кабелей и кабельной арматуры. Большое внимание должно быть уделено вопросам повышения качества и техническим данным силовых и высоковольтных конденсаторов, изучению процессов старения керамических конденсаторов, изысканию новых теплостойких полимерных и других диэлектриков для работы в тяжелых режимах. Должны получить скорейшее разрешение вопросы дальнейшей разработки электротехнических сталей с малыми потерями и стальных поковок очень высокой прочности.

К электроизмерительной технике всем ходом развития современной электротехники предъявлены ответственные требования: повышение стабильности параметров аппаратуры, расширение диапазона применимости в условиях больших температурных колебаний, вибрации и т. п., разработка принципиально новых систем электроизмерительной техники на базе новейших достижений высокочастотной и импульсной техники и электроники.

Дальнейший подъем электроэнергетики невозможен без достаточно глубокой разработки соответствующих теоретических вопросов. Известно, например, значение для электроавтоматики, телемеханики, радиотехники и других отраслей электротехники особых свойств нелинейных цепей. Дальнейшее изучение их природы и зависимостей должно лечь в основу соответствующих рекомендаций для практических применений. Ряд теоретических вопросов должен быть дополнительно выяснен и в области внедрения мощных систем постоянного тока.

В течение многих лет своего издания журнал «Электричество» осуществляет борьбу за технический прогресс нашей Родины. Работники электротехнической и энергетической промышленности обязаны постоянно и внимательно изучать и широко использовать достижения науки и техники в нашей стране и за рубежом, всеми силами ускорять технический прогресс, непрестанно обогащать Родину новыми открытиями. Журнал «Электричество» систематически освещает достижения и опыт передовых отечественных электротехников и ученых и результаты работы зарубежных специалистов в различных областях электротехники. Наряду с обзорами в разделе «По страницам технических журналов» в каждом номере журнала «Электричество» помещаются рефераты, с 1955 г. на особых карточках, по последним выпускам

многих иностранных электротехнических журналов. В этом направлении работа журнала будет продолжаться и развиваться.

За 75 лет журнал «Электричество» прошел большой путь. В советский период на страницах журнала «Электричество» освещались исторические проблемы становления в России собственной энергетической базы по плану ГОЭЛРО, боевые задачи энергетического строительства в период пятилеток и восстановления мощи отечественной электроэнергетики в послевоенные годы. Содержание журнала, однако, еще не полностью отвечает всем практическим запросам для дальнейшего быстрого роста электрификации. В преддверии нового, шестого пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР перед журналом «Электричество» стоит ответственная задача пропаганды со страниц журнала новых научных и технических идей и разработок в разнообразных разделах электротехники и электроэнергетики. Всесоюзное совещание работников промышленности призвало деятелей науки и техники, научных работников вузов, работников научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, инженеров и техников промышленных предприятий, изобретателей и рационализаторов усилить работу над созданием новых машин, усовершенствованием и модернизацией действующего оборудования, изысканием новых материалов и методов их производства, активно внедрять в производство научные открытия и технические достижения, помня, что новое не внедряется быстро в жизнь без борьбы со старым. Совещание призвало объявить беспощадную борьбу рутине и косности, быстрее осваивать в производстве все то новое, передовое, что создается в наших научно-исследовательских институтах, конструкторских бюро и на предприятиях; добиваться такого положения, чтобы внедрение новой техники обязательно сопровождалось совершенствованием организации труда и производства, улучшением методов управления предприятиями.

Устранение еще имеющихся в работе редакции недостатков облегчит продвижение на страницы журнала всех важных теоретических и инженерных работ. Изложение материалов должно удовлетворять широкие круги читателей и по своей направленности в большей мере отвечать практическим требованиям их инженерной и научной работы.

В настоящем юбилейном номере журнала помещен ряд статей, в которых намечаются и определяются важные задачи для дальнейшего подъема электрификации Советского Союза.

Стремясь охватить своим содержанием и теоретические вопросы электротехники и ее инженерные практические вопросы, журнал «Электричество», особенно в период после Великой Октябрьской социалистической революции, внес свой вклад в дело распространения среди широкого круга читателей глубоких научных знаний и инженерного опыта.

«Электричество» — журнал трех организаций: Академии наук СССР, Министерства электростанций СССР и Министерства электротехниче-

ской промышленности СССР. Это отнюдь не случайный и не второстепенный по своему значению синтез. Три перечисленные организации в отношении направления журнала «Электричество» имеют одну общую цель, но ведут к ней журнал присущими каждой из них дорогами; это и определяет при общей цели единое направление и довольно широкую тематику журнала и широкий характер содержания — от сравнительно трудных теоретических и проблемных статей до более доступных инженерных и обзорных работ. Информировав читателей о новейших достижениях и открытиях науки, о результатах огромной экспериментальной и исследовательской работы, направленной на дальнейшую электрификацию народного хозяйства СССР, журнал «Электричество» критически освещает основные тенденции развития электротехники, ставит на обсуждение конкретные технические и научные вопросы, вытекающие из практических нужд проводимой электрификации промышленности, сельского хозяйства, строительства, транспорта, быта; помогает советским электротехникам — научным работникам и инженерам — успешно бороться за внедрение новых передовых конструктивных решений и технологических приемов в электротехнической промышленности и при проектировании и эксплуатации электрических станций, сетей и энергосистем.

Содержание журнала должно в большей мере отражать указания Партии и Правительства о всемерном развитии отечественной электроэнергетики и электротехники для подъема их до уровня мировой техники и опережения последней. Журнал «Электричество» не может допускать в освещении вопросов упрощенчества или снижения научного уровня в публикуемых работах. Журнал рассчитан на читателей, стремящихся расширить свой кругозор и повысить свою квалификацию, т. е. на читателей, которые относятся к научно-техническому журналу творчески. Одна из задач журнала — способствовать критическому разбору как теоретических идей, так и новых инженерных разработок на ранней стадии их выдвижения с целью заблаговременного обсуждения и своевременного вскрытия и устранения возможных в новой теоретической работе или в новых методах недостатков. Успешное и быстрое развитие науки невозможно без борьбы мнений, без критики. Открытые творческие дискуссии всегда облегчают поиски наиболее верного решения в любом вопросе, предотвращают потерю излишних средств и времени, возможную и даже неизбежную в обстановке замкнутости. Обсуждение важных научных и инженерных проблем в журнале имеет особую ценность, так как журналы выходят регулярно и могут быстро, оперативно ставить эти проблемы на обсуждение широкого круга читателей. Роль

журнала, осуществляющего пропаганду современных научных и технических достижений, огромна; если же наряду с этим журнал организует систематически обсуждение важных научных проблем, возникающих в ходе выполнения различных народнохозяйственных задач, то его роль становится еще более значительной. В этом случае журнал не только отражает наличные успехи науки, но и организует ее прогресс, т. е. проявляет себя как боевой орган печати, как трибуна передовой науки и передового опыта. Отдел «Дискуссии» существует в журнале «Электричество» не первый год. На страницах журнала прошли обсуждения многих инженерных и теоретических проблем различной тематики. Из года в год растет число участников дискуссий; оно было бы еще большим, если бы первичные научно-технические общественные организации энергетиков вплотную включились в обсуждение вопросов, поднимаемых в очередных номерах журнала. Следует отметить, что связи, существующие между журналом «Электричество» и организациями энергетической общественности, нельзя считать достаточно крепкими и продуктивными. Организации ВНИТОЭ проявляли интерес к проведению совместно с редакцией читательских конференций, но в периодах между конференциями активность ВНИТОЭ по отношению к задачам журнала резко ослабевала, хотя у ВНИТОЭ и у журнала всегда были общие задачи, наилучшее решение которых требовало совместного и постоянного тесного сотрудничества. При условии тесной, творческой связи общественности и журнала инженерные и научные проблемы, поднимаемые в журнале, найдут распространение в широких массах электротехников и энергетиков на предприятиях, в энергосистемах и на строительных работах страны.

Состоявшаяся недавно в Ленинграде Всесоюзная конференция Научно-технического общества энергетической промышленности (НТОЭП) продемонстрировала большую заинтересованность Общества в развитии связей Общества и журнала «Электричество» и можно полагать, что более тесная совместная работа в дальнейшем принесет свои положительные результаты.

В осуществление указаний Центрального Комитета партии редакционная коллегия провела за последние годы ряд мероприятий по улучшению журнала, давших, в частности, значительный рост тиража. Журнал должен полностью отвечать требованиям развития электрификации страны, требованиям технического прогресса. Освещение важнейших теоретических и инженерных вопросов, связанных с разработкой нового пятилетнего плана в области электроэнергетики, — ближайшая задача журнала. На разрешение этой ответственной задачи направлены все усилия редакционной коллегии.



# Ленин и электрификация

Академик Г. М. КРЖИЖАНОВСКИЙ

Время является самым непогрешимым судьей людей и событий. Истинная гениальность не боится испытания временем и подтверждение этой истины мы особо наглядно видели в дни знаменательного для всего человечества 85-летия со дня рождения Владимира Ильича Ульянова-Ленина. Нисколько не потускнел его чудесный образ; наоборот, за полсотню таких полновесных послеоктябрьских лет, про которые сам Владимир Ильич говорил, что каждые 10 лет этого периода составляют целую историческую эпоху, все новые и новые миллионы людей с особой внимательностью подхватывают каждое живое слово, относящееся к Владимиру Ильичу Ленину.

Прошло 35 лет со дня оформления Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО) и выполнения первоначальных работ этой комиссии, неразрывно связанной с именем Ленина. Широко известно, какое значение придавал Владимир Ильич электрификации, и легко понять, почему эта тема так благодарна для характеристики Ленина как гениального мыслителя и дерзновенного практика, как основоположника социалистического строительства.

Уже на заре послеоктябрьских дней Владимир Ильич начертал гениальный план строительства социализма в нашей стране, план превращения отсталой России в могучую и богатую социалистическую державу. «У нас, — писал Ленин в марте 1918 года, — есть материал и в природных богатствах, и в запасе человеческих сил, и в прекрасном размахе, который дала народному творчеству великая революция, — чтобы создать действительно могучую и обильную Русь» (В. И. Ленин. Соч., т. 27, стр. 134).

Владимир Ильич призвал трудящихся, напрягая все силы «...собирать камень за камушком прочный фундамент социалистического общества...» (В. И. Ленин. Соч., т. 27, стр. 135).

Экономической основой социализма, базой могущества страны Советов и источником роста благосостояния народа Ленин считал крупную машинную промышленность, электрификацию страны. Это программное положение стало генеральной линией нашей партии, которая находит воплощение в советских хозяйственных планах.

С самого начала социалистического строительства Ленин добивался того, чтобы поставить на службу великого дела переустройства общества все достижения передовой науки и техники. Это видно по его замечательному наброску плана научно-технических работ, написанному в апреле 1918 г. в ответ на обращение Академии наук к Советскому правительству. В. И. Ленин приветствует начатую Академией наук работу по изучению природных производительных ресурсов и предлагает составить план реорганизации промышленности и экономического подъема России на базе высшей техники, электрификации народного хозяйства.

«Обращение особого внимания на электрификацию промышленности и транспорта и применение электричества к земледелию. Использование непервоклассных сортов топлива (торф, уголь худших сортов) для получения электрической энергии с наименьшими затратами на добычу и перевоз горючего.

Водные силы и ветряные двигатели вообще и в применении к земледелию» (В. И. Ленин. Соч., т. 27, стр. 288).

Эти строки Владимир Ильич писал задолго до встречи с работниками будущей комиссии ГОЭЛРО, а между тем по сути дела все это письмо является прямым наказом для работ этой комиссии. Да и в наши дни использование непервоклассных сортов топлива сохраняет свое значение. Особенности же нашего подхода к электрификации промышленности, транспорта и земледелия таковы, что мы и теперь еще обращаем особое внимание на надлежащую разработку этих вех электрификации, поставленных Лениным.

Как известно, в период 1920—1922 гг. все еще давали себя знать результаты послевоенной разрухи. Они заметно сказывались и в 1923 г. При преобразовании нашего хозяйства мы не могли в этих условиях идти по инерции, руководствуясь одними дореволюционными навыками и накладывая на зияющие раны разрухи лишь временные заплатки. Исключительная обстановка требовала исключительных мер. Страна наша еще находилась в кольце вражеской блокады. В такой обстановке Ленин поставил перед советскими хозяйственными органами, учеными и специалистами величественную задачу подготовки научного плана электрификации страны, создания мощной индустрии и социалистического переустройства на ее основе всей экономики России.

Уже в самых своих ранних работах, относящихся к концу 90-х годов, Владимир Ильич отдавал себе ясный отчет в революционной роли электрификации как одного из важнейших факторов индустриализации. В особенности же его интересовал вопрос о той роли электрификации, которую суждено ей сыграть в судьбах крестьянства. В этом отношении очень характерен его разбор работ Каутского, посвященных аграрному вопросу («Аграрный вопрос и „критика“ Маркса»). С поразительным предвидением он утверждал, что создание рационального комплекса систем сельскохозяйственных машин, которое оказалось не под силу на основах паровой техники, будет радикально разрешено на базе электрификации. Он допускал, что это движение будет иметь зигзагообразный характер, но в последнем счете то, что не удалось сделать пару, сделает электричество.

Ленин любил подчеркивать, что военная победа над более сильным врагом объяснялась тем, что в организации Красной Армии были великолепно осуществлены последовательность и твер-

дость пролетарского руководства союзом рабочего класса и трудящегося крестьянства. Решающим было то обстоятельство, что основной массив крестьянства осознал, как необходимо руководство большевиков, чтобы спастись от векового гнета всей царской своры захребетников и палачей.

Однако события той бурной эпохи шли так быстро, что от политики военного коммунизма стал необходимым переход к новой экономической политике. Система военного коммунизма, как отмечал Ленин, пришла в столкновение с интересами крестьянства. Военный коммунизм был попыткой взять крепость капиталистических элементов в городе и деревне штурмом, лобовой атакой. В этом наступлении партия забежала далеко вперед, рискуя оторваться от своей базы. Теперь Ленин предложил перейти от штурма к более длительной осаде крепости, чтобы, накопив силы, вновь начать наступление.

На этом этапе нужна была исключительная вооруженность как теоретическими знаниями, так и практическим расчетом. Ясно было, что не только наш опыт, но и заграничный опыт в этой предстоящей, решающей борьбе был недостаточен. Но, к счастью нашей Родины и всего дела революционного пролетариата, у руля нашего государственного корабля стоял такой гений революции, каким был Ленин.

В своих замечаниях по поводу тезисов французской коммунистической партии в 1921 г. по аграрному вопросу Владимир Ильич написал такие знаменательные строки:

«...не следует оставаться в пределах вполне обычного для капиталистической техники, ...следовало бы сделать шаг дальше. Следовало бы сказать несколько слов о необходимости планомерной и полной электрификации всей Франции...»

Крайне важно ...сказать в тезисах... о том, что современная передовая техника настоятельно требует *электрификации всей страны — и ряда соседних стран — по одному плану*; что такая работа вполне осуществима в настоящее время; что больше всего выиграло бы от нее сельское хозяйство и в особенности крестьянство...» (В. И. Ленин. Соч., т. 33, стр. 111).

Как видим, Ленин здесь связывал идею электрификации с идеей передовой техники, ставил уже вопрос о международном плане электрификации и подчеркивал особое значение последней для крестьянства.

На X Всероссийской конференции РКП(б) Ленин говорил:

«Действительной и единственной базой для упрочения ресурсов, для создания социалистического общества является одна и только одна — крупная промышленность. Без... крупной фабрики, без высоко поставленной крупной промышленности не может быть и речи о социализме вообще, и тем менее может быть речь о нем по отношению к стране крестьянской, а мы в России знаем это гораздо более конкретно, чем прежде, и, вместо неопределенной или отвлеченной формы восстановления крупной про-

мышленности, мы теперь говорим об определенном, точно рассчитанном, конкретном плане электрификации» (В. И. Ленин. Соч., т. 32, стр. 385).

Действительность показывает нам, насколько был прав Ленин, усматривая уже в те далекие времена в электрификации определенные резервы социализма.

В тяжкие 1919—1920 гг. иногда казалось, что все стихии — и голод, и холод, и небывалая разруха, и эпидемии, и крестьянская тяга к старым навыкам — с такой силой обрушились на нас, что наши шансы на преодоление их сокращались до предельного минимума.

Вспоминаю, как в эти дни тяжелых испытаний в неоднократных беседах с Владимиром Ильичем меня поражала и радовала его глубокая вера в неиссякаемые творческие силы наших народных масс. И сколько раз бывало говорил он мне, что другой народ, быть может, таких испытаний и не вынес бы, а наш народ вынесет и победит.

По ходу моих занятий в Москве мне приходилось много времени отдавать управлению созданной при моем участии, первой районной электрической станции на торфе, так называемой «Электропередачи», расположенной в 70 км от Москвы в центре торфяных болот. Эта станция являлась важной опорой электроснабжения тогдашней Красной Москвы. Кризис топлива принимал такие острые формы, что Ленину приходилось лично следить за каждым вагоном с топливом, подходившим к Москве. При такой обстановке ему, конечно, особенно наглядна была значимость для всей жизни красной столицы такой станции, как «Электропередача».

Ленин очень интересовался проблемой торфа и его ролью в электрификации страны. Этим вопросам была посвящена и наша беседа с Владимиром Ильичем 26 декабря 1919 г. Суть этой беседы достаточно выясняется письмом Ленина, которое я получил от него через несколько часов после моего ухода из Кремля. Он писал:

«Глеб Максимилианович!

Меня очень заинтересовало Ваше сообщение о торфе. Не напишете ли статьи об этом в «Экономическую Жизнь» (и затем брошюрой или в журнал)?

Необходимо обсудить вопрос в печати.

Вот-де запасы торфа — миллиарды.

Его топливная ценность.

Его месторождение — под Москвой; *Московская область*.

*Под Питером — поточнее.*

Его легкость добывания (сравнительно с углем, сланцем и проч).

Применение труда *местных* рабочих и крестьян (*хотя бы по 4 часа в сутки для начала*).

Вот-де база для электрификации: *во столько-то раз при теперешних* электрических станциях.

Вот *быстрейшая и вернейшая*, де, база восстановления промышленности;

—организации труда по социалистическому (земледелие + промышленность);

—выхода из топливного кризиса (освободим *столько-то* миллионов кубов леса на транспорт).



Дайте *итоги* Вашего доклада; — приложите карту торфа; — краткие расчеты суммарные. Возможность построить торфяные машины быстро и т. д. и т. д. Краткая суть экономической программы.

Необходимо *тогчас* двинуть вопрос в печать. Ваш *Ленин*» (В. И. Ленин. Соч., т. 35, стр. 366).

Статья, удовлетворявшая желание Владимира Ильича, была мною написана и напечатана в виде подвала в «Правде».

В другой статье, написанной в конце января 1920 г., рассматривались задачи электрификации промышленности. В этой статье я старался показать, что на грани физических и механических процессов электротехника не останавливается. Электрохимия и электрометаллургия отнюдь не являются ее последним словом. С особым нажимом я подчеркивал, что «за химической молекулой и атомом — первоосновами старой химии — все яснее вырисовывается ион и электрон — основные субстанции электричества; открываются ослепительные перспективы в сторону радиоактивных веществ. Химия становится отделом общего учения об электричестве. Электротехника подводит нас к внутреннему запасу энергии в атомах. Занимается заря совершенно новой цивилизации».

В ответ на эту статью 23 января 1920 г. я получил от Владимира Ильича такое письмо:

«Гл. М.!

Статью получил и прочел.  
Великолепно.

Нужен *ряд* таких. Тогда пустим брошюркой. У нас не хватает как раз спещов с размахом или «с загадом».

Надо 1) примечания *пока* убрать или сократить. Их слишком много для газеты (с редактором буду говорить завтра).

2) Нельзя ли добавить *план* не технический (это, конечно, дело *многих* и не скоропалительное), а политический или государственный, т. е. задание пролетариату?

Примерно: в 10 (5?) лет построим 20—30 (30—50?) станций, чтобы всю страну усеять центрами на 400 (или 200, если не осилим больше) верст радиуса; на торфе, на воде, на сланце, на угле, на нефти (*примерно* перебрать Россию всю, с *грубым* приближением). Начнем-де сейчас закупку необходимых машин и моделей. Через 10 (20?) лет сделаем Россию «электрической».

Я думаю, подобный «план» — повторяю, не технический, а государственный — проект плана, Вы бы могли дать.

Его надо дать сейчас, чтобы наглядно, популярно для массы увлечь ясной и яркой (вполне *научной* в основе) перспективой: за работу-де, и в 10—20 лет мы Россию всю, и промышленную и земледельческую, сделаем *электрической*. Доработаемся до *стольких-то* (тысяч или миллионов лош. сил, или киловатт?? чорт его знает) машинных рабов и проч.

Если бы еще *примерную* карту России с центрами и кругами? или этого еще нельзя?

Повторяю, надо увлечь *массу* рабочих и сознательных крестьян *великой* программой на 10—20 лет.

Поговорим по телефону.

Ваш *Ленин*.

Р. С. Красин говорит, что электрификация железных дорог для нас невозможна. Так ли это? А если так, то может быть будет возможна через 5—10 лет? может быть на Урале возможна?

Не сделать ли особой статьи о «государственном плане» сети электрических станций, с картой, или с примерным их перечнем (числом), с перспективами, способными централизовать энергию всей страны?

Позвоните мне, пожалуйста, по телефону, получив это письмо, и мы поговорим» (В. И. Ленин. Соч., т. 35, стр. 370).

Достаточно вдуматься в строки этого замечательного ленинского письма и сразу становится ясно, что все наши планы электрификации идут от Ленина, проникнуты его воодушевленной верой в неисчерпаемые силы нашей Родины. Ставка на крупную промышленность и электрификацию здесь особенно ясно сочетается со ставкой на творческую силу трудящихся, которые могут и должны увлечься ясной и великой программой народнохозяйственных работ.

Вся записка В. И. Ленина была испещрена двойными, тройными подчеркиваниями, написана короткими ударными строчками, так много говорившими о страстной творческой энергии их автора. Мне трудно здесь передать словами то волнение, которое охватывало меня самого при чтении этих замечательных строк Ленина.

За несколько недель я составил брошюру под названием: «Основные задачи электрификации России», в которой содержался краткий набросок плана электрификации основных районов нашей страны: северо-западного, центрально-промышленного, района Средней Волги, Урала и Донбасса.

Разумеется, что при спешной работе эта брошюра имела много недостатков, и поэтому я не мог решиться принять предложение Владимира Ильича дать к ней его предисловие. Без его решительного нажима на наши тогдашние типографские ресурсы даже и эта небольшая брошюрка не могла бы быть своевременно выпущена.

Владимир Ильич придавал этой брошюре большое значение. В какой обстановке она печаталась, лучше всего засвидетельствовать его словами. В своем докладе о работе ВЦИК и Совнаркома на первой сессии ВЦИК VII созыва, 2 февраля 1920 г., Ленин говорил:

«Мне удалось, благодаря помощи Государственного издательства и энергии рабочих типографии Кушнерева, теперь 17-й государственной типографии, добиться того, чтобы в очень краткий срок была издана брошюра Кржижановского «Основные задачи электрификации России». Завтра эта брошюра будет роздана всем членам ВЦИК. Эта брошюра... подводит итоги тому, что уже сделано и ставит вопросы, пропаганда которых... составит теперь одну из наиболее важных задач.

...Автор брошюры совершенно прав, когда эпиграфом для нее избрал изречение: «Век пара — век буржуазии, век электричества — век социализма». Мы должны иметь новую техническую базу для нового экономического строительства. Этой новой технической базой является электричество. Мы должны будем на этой базе строить все. Это стоит долгих лет. Мы не побоимся работать в течение 10 и 20 лет...

...Мы должны показать крестьянам, что организация промышленности на современной высшей технической базе, на базе электрификации, которая свяжет город и деревню, покончит с разрывом между городом и деревней, даст возможность культурно поднять деревню, победить даже в самых глухих углах отсталость, темноту, нищету, болезни и одичание. К этому мы приступим сейчас же, как справимся с нашей очередной, основной задачей» (В. И. Ленин. Соч., т. 30, стр. 310).

Ленинские указания о крупной машинной индустрии и электрификации страны как материальной основе социализма явились руководящей нитью для всей работы по составлению плана электрификации России, который вошел в историю как ленинский план великих работ.

С конца февраля 1920 г. начала работать организованная при помощи Ленина Государственная комиссия по электрификации России (ГОЭЛРО). Владимир Ильич с самого начала проявлял большой интерес к работам Комиссии, давал советы, оказывал громадную помощь и поддержку Комиссии, лично познакомился с основными членами Комиссии и имел точное представление об их роли в нашей работе. Программа деятельности Комиссии была разработана при непосредственном участии Ленина. Об этом говорит нижеследующее его письмо (от 14 марта 1920 г.):

«Гл. М.!

Просмотрев заявление *Гоэлро*, подумав над вчерашней беседой, я прихожу к выводу, что оно *сухо*.

Мало этого.

Нельзя ли Вам написать или Кругу (или еще кому) заказать статейку такого рода, чтобы доказать

или хотя бы иллюстрировать

- а) громадную выгодность
- б) *необходимость* электрификации.

Примерно:

I. Транспорт. Восстановить по-старому — надо  $\alpha$  миллионов (по довоенным ценам) или  $\alpha$  топлива +  $\beta$  рабочих дней.

А для восстановления на базе электрификации

$\alpha$  —  $x$  милл. рублей

$\alpha$  —  $u$  топлива + ( $\beta$  —  $z$ ) рабочих дней.

Или *то же*  $\frac{\alpha}{\alpha + \beta}$ , но с эффектом во столько-то раз больше прежнего.

II. Паровые силы. Если восстановить промышленность по-старому, нужно затратить *больше*, чем для восстановления на базе электрификации.

III. Земледелие.

Восстановить, скажем, +5 милл. плугов и конных упряжек. Стоимость этого по-старому и при электрификации?

Это — *примерно*. Я думаю, толковый спец в 2 дня сделает такую работу (если захочет исполнить добросовестно), взяв либо цифры доменной статистики (немного, совсем немного итоговых цифр), либо расчет *грубо приближительный* («в порядке первого приближения» к *первому приближению*<sup>1)</sup>.

Закажите это. Может быть, Вы себе закажете *материал*, а напишете сами или *дадите интервью*, я пошлю интервьюера. Тогда мы получим *канву* для пропаганды. А это важно.

Прочитав, позвоните по телефону.

Ваш Ленин» (В. И. Ленин. Соч., т. 35, стр. 374).

Это письмо наглядно показывает, с какой детальностью обдумывал Владимир Ильич проекты наших технических и экономических работ. Неоднократно в зимние вечера этого года он приглашал меня к себе. В беседах со мной на тему об электрификации Владимир Ильич особенно интересовался тем, что можно назвать масштабом организующих общественное производство возможностей электрификации. Он подробно выяснял, какие расстояния может преодолевать современная техника электропередач, не входя в конфликт с экономикой; возможно ли управлять распределением электроэнергии на большом расстоянии из одного центра, насколько электрификация может сэкономить издержки производства и т. п.

Ленин внимательно выслушивал все сообщения, которые я делал ему по поводу аналогичных работ на Западе. Как-то раз в беседе с Владимиром Ильичем был затронут вопрос о большом производстве лампочек накаливания в США. Ленин выразил уверенность в том, что за первым десятком отчаянно трудных лет мы сможем, при условии советского строя, гораздо более решительными темпами популяризировать завоевания науки и техники, добиваясь максимального внедрения этих завоеваний в практику, в итоге чего мы перекроем американские достижения. Советский строй обеспечивает такую прямую и тесную связь с трудящимися при проведении в жизнь любой прогрессивной идеи, которая недостижима при капиталистическом строе. Такая связь и является решающим залогом успеха.

Спустя несколько недель после этого разговора, я получил от Владимира Ильича нижеследующее письмо:

«Г. М.! Мне пришла в голову такая мысль.

Электричество надо пропагандировать. Как? Не только словом, но и примером.

Что это значит? Самое важное — популяризировать его. Для этого надо теперь же выработать план освещения электричеством **каждого дома** в РСФСР.

<sup>1</sup> Должен здесь пояснить, что В. И. Ленин этими словами («в порядке первого приближения» к *первому приближению*) подтрунивал над моей привычкой ради осторожности постоянно так оговаривать сообщаемые мною подсчеты или наметки. — Г. К.

Это надолго, ибо на 20 000 000 (—40 000 000?) лампочек, ни проводов и проч. у нас *долго* нехватит.

Но план все же нужен *тотчас*, хотя бы и на ряд лет.

Это, во-1-х,

А во-2-х, надо *сокращенный* план выработать тотчас и затем, это в-3-х, — и это самое главное — надо уметь вызвать и *соревнование* и *самодетельность масс* для того, чтобы они *тотчас* принялись за дело.

Нельзя ли для этого тотчас разработать такой план (примерно):

1) все волости (10—15 тыс.) снабжаются электрическим освещением в 1 год.

2) все поселки ( $1/2$ —1 миллион, вероятно, не более  $3/4$  миллиона) в 2 года.

3) в первую очередь — изба-читальня и совдеп (2 лампочки).

4) столбы *тотчас* готовьте так-то.

5) изоляторы *тотчас* готовьте *сами* (керамические заводы, кажись, местные и маленькие?). Готовьте *так-то*.

6) *медь* на провода? *Собирайте сами* по уезду и волостям (тонкий намек на колокола и проч.).

7) обучение электричеству ставьте так-то.

Нельзя ли *подобную* вещь обдумать, разработать и *декретировать*?

Ваш Ленин» (В. И. Ленин. Соч., т. 35, стр. 399).

Близкое знакомство с возможностями нашей тогдашней электропромышленности могло внести в цифры и сроки этого письма необходимые поправки. Но эти поправки не могли изменить того факта, что эта записочка, проникнутая такой горячей убежденностью ее автора в возможности быстро разделаться со всеми недостатками темной крестьянской жизни, уже сама по себе дает основание называть лампочки, разносящие электрический свет по нашей колхозной России, «лампочками Ильича».

Для того чтобы закончить в 9-месячный срок доклад по электрификации, нашей Комиссии пришлось работать с лихорадочной поспешностью. Целые главы этой книги приходилось отправлять прямо с пишущей машинки в типографию. А за плечами стоял необычайно внимательный и такой критически изощренный первый читатель этого труда, каким был Владимир Ильич. Он потребовал, чтобы один экземпляр типографской корректуры шел непосредственно по его адресу. Вспоминую, как я бывал озабочен в те дни, когда он просматривал эти корректуры, и как я волновался, поджидая в такие дни его заветного телефонного звонка.

Ленинский план электрификации России, план ГОЭЛРО, явился первым в мире научным планом построения фундамента социализма на основе высшей техники.

«На мой взгляд, — говорил Ленин о плане электрификации на VIII Всероссийском съезде Советов, — это — наша вторая программа партии». Ленин указывал, что программа Коммунистической партии должна превратиться в програм-

му хозяйственного строительства. «Она должна дополниться второй программой партии, планом работ по воссозданию всего народного хозяйства и доведению его до современной техники» (В. И. Ленин. Соч., т. 31, стр. 482). План ГОЭЛРО намечал твердый курс на создание в России собственной тяжелой промышленности как основы независимости и упрочения обороноспособности страны и социалистического переустройства всего народного хозяйства.

Планом ГОЭЛРО предусматривалось не только восстановление за 10 лет довоенного уровня развития промышленности, но и удвоение промышленного производства. В плане электрификации указывалось, что после восстановления народного хозяйства и удвоения промышленного производства в ближайшее десятилетие будут созданы все предпосылки для дальнейшего мощного экономического подъема страны при высоких темпах хозяйственного развития.

Конечно, в наши дни показатели плана ГОЭЛРО представляются скромными: к постройке намечалось всего 30 районных электростанций общей установленной мощностью 1,75 млн. квт. Но этот план давал правильные вехи для всех статей нашего народного хозяйства, по вопросам электрификации промышленности, транспорта, сельского хозяйства и городов с таким расчетом, чтобы примерно в 10—15 лет намного перекрыть тот уровень царской России, который относился к 1913 г. и который, конечно, высоко стоял над катастрофически низкими цифрами послевоенной разрухи.

В наметках ГОЭЛРО мы впервые имели перед собой развернутый генеральный план всего нашего строительства, причем темпы разворота этого строительства во всяком случае были такими, о которых царская Россия не могла и мечтать.

В целях создания экономической основы социализма, реконструкции народного хозяйства на базе современной машинной индустрии план ГОЭЛРО намечал наиболее быстрое развитие металлургии, машиностроения, химии, топливной, энергетической промышленности, промышленности стройматериалов, т. е. производства средств производства.

Правильность основных установок плана ГОЭЛРО подтверждена жизнью, всей практикой социалистического строительства. Правильность плана ГОЭЛРО более всего подтверждается тем обстоятельством, что вопреки всем исключительным трудностям начальных послеоктябрьских лет этот план электрификации России за 10 лет в своих решающих статьях был успешно выполнен и перевыполнен.

Этот план как бы устанавливал основные рельсы, по которым пошел весь наш гигантский культурно-хозяйственный поезд с тем оснащением, которое должно было радикально преобразовать все хозяйство и всю культуру страны Советов. Ленинский план электрификации России получил дальнейшее развитие и конкретизацию в разрабатываемых Коммунистической партией пятилетних

планах индустриализации страны и коллективизации сельского хозяйства, планах строительства коммунизма.

В наши дни Советский Союз стал могучей индустриально-колхозной социалистической державой. По производству электроэнергии наша страна перешла с 15-го места на 2-е место в мире и на 1-е место в Европе. В 1955 г. наш электробаланс составит около 166 млрд. *квтч.* Мы уже можем обеспечить ежегодный прирост электро-мощности в размере свыше 5 млн. *квт.* Недалеко то время, когда и эти успехи нашей электрификации покажутся нам скромными.

С каждым истекшим послеоктябрьским годом мы все более и более убеждаемся в правильности прогноза Ленина, закончившего свою речь на VIII Всероссийском съезде Советов знаменательным утверждением:

«...если Россия покроется густой сетью электрических станций и мощных технических оборудований, то наше коммунистическое хозяйственное строительство станет образцом для грядущей социалистической Европы и Азии» (В. И. Ленин. Соч., т. 31, стр. 486).

Мы видим, как сбывается ныне это предвидение Ленина. Ленин мечтал о создании общего плана электрификации ряда стран в интересах их культурного подъема. В наше время и эта ленинская мечта становится реальной действительностью — в планомерных усилиях свободных народов социалистического лагеря во всех областях хозяйственного и культурного строительства.

Передовая техника всегда была предметом особого внимания Ленина. Подобно Марксу он внимательно следил за достижениями техники, нередко предвосхищал социальные последствия этих достижений задолго до их практического внедрения. Особая значимость передовой техники для судеб социализма и коммунизма для него была предельно ясна. Социалистическая революция и новая техника, электрификация страны в своем нераздельном единстве призваны создать новую радостную и братскую жизнь для всех народов.

Указания Ленина об электрификации страны, о создании и всемерном развитии крупной машинной индустрии намечают верный путь и главную задачу коммунистического строительства. Это с особой силой подчеркнул в своих решениях январский Пленум ЦК Коммунистической партии Советского Союза.

Непревзойденный корифей творческой науки Ленин постиг величайшую созидательную роль электрификации в развитии производительных сил, в подготовке материальных условий для преобразования производственных отношений и всего общественного уклада, для создания материально-производственной базы коммунизма.

Электрификация неразрывно связана с комплексной механизацией всех трудоемких процессов, с автоматизацией и химизацией производства, с широким применением всех новейших достижений техники.

Величайшее открытие современности — внутриатомная энергия — при своей выработке требует расхода электроэнергии, но на конечном этапе для своего практического использования в мирных целях требует превращения в электрическую энергию. В этом отношении развитие народнохозяйственного применения внутриатомной энергии теснейшим образом связано с развитием электрификации.

Нынешние электроэнергетические системы мы называем полноценными, поскольку они позволяют рационально использовать весь ряд доступных нам энергий. Но именно такое рациональное комплексное использование энергии обеспечивает максимальную производительность общественного труда, являющуюся основой изобилия материальных благ. Включение ядерной энергии в нынешний ряд используемых энергий дает новый гигантский толчок к ключам материального изобилия — этой необходимой предпосылки коммунизма. И как характерно, что это производственное использование внутриатомной энергии впервые было осуществлено в нашей стране! Нет никаких сомнений, что за первой нашей электростанцией на ядерной энергии мощностью в 5 000 *квт* последует ряд других несравненно более мощных и рационально устроенных станций. И к прежней формулировке «век пара — век капитализма, век электричества — век социализма» уместно прибавить новую формулу: «век широкого производственного использования внутриатомной энергии — век развернутого коммунизма».

И, размышляя о наших путях к коммунизму, о наших задачах дальнейшего технического подъема, мы всегда видим перед собой прозорливую ленинскую формулу: «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны».

[12.5.1955]



# Развитие советской энергетики и задачи энергетического строительства в 1955 г.

Ф. Г. ЛОГИНОВ

Министр строительства электростанций СССР

Гениальная мысль В. И. Ленина о том, что «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны» с предельной полнотой определяет значение электрификации в построении коммунистического общества, равно как и текущие задачи развития народного хозяйства СССР.

И. В. Сталин говорил, что «...под электрификацией страны Ленин понимает не изолированное построение отдельных электростанций, а постепенный «перевод хозяйства страны, в том числе и земледелия, на новую техническую базу, на техническую базу современного крупного производства», связанного так или иначе, прямо или косвенно, с делом электрификации»<sup>1</sup>.

Во всей своей деятельности Коммунистическая партия и Советское правительство постоянно уделяли и уделяют серьезное внимание развитию энергетического хозяйства страны. Темпы развития энергетики непрерывно увеличиваются. Уже в 1937 г., т. е. за 17 лет, наша страна по производству электроэнергии перешла с пятнадцатого на третье место в мире. В результате на базе электрификации произошла коренная реконструкция промышленности Советского Союза.

Наибольший размах энергетическое строительство получило в послевоенные годы. Несмотря на тяжелые последствия войны для народного хозяйства, в 1950 г. Советский Союз по производству электроэнергии занял второе место в мире. Впереди него в этой области находятся лишь США.

Как прежде, так и теперь главной задачей, на успешное решение которой Коммунистическая партия и Советское правительство непрерывно направляют силы советского народа, является дальнейший подъем тяжелой индустрии — основы всего народного хозяйства и несокрушимой обороноспособности нашей Родины, источника неуклонного роста благосостояния всего советского народа. Только на базе непрерывного роста тяжелой индустрии возможно развитие легкой, пищевой и других отраслей промышленности, развитие крупного социалистического сельского хозяйства. Эту неизменную линию Коммунистической партии еще раз подтвердили январский и июльский Пленумы ЦК КПСС.

Являясь важнейшей отраслью тяжелой индустрии, энергетическая промышленность в своем развитии должна опережать другие отрасли народного хозяйства, чтобы не тормозить их роста. Эта директива XIX съезда КПСС является основой всей практической деятельности советских энергетиков.

Планом ГОЭЛРО предусматривалось построить за 10—15 лет новые электростанции

общей мощностью 1 500 тыс. квт. К 1935 г., т. е. за 15 лет, было введено 4 345 тыс. квт новых мощностей, т. е. задание плана ГОЭЛРО было превышено в 2,9 раза. Если среднегодовой прирост мощности на районных электростанциях в 1933—1937 гг. принять за единицу, то в 1938—1940 гг. он равнялся 1,4.

Великая Отечественная война была серьезным испытанием и проверкой для энергетической промышленности страны, она нанесла ей тяжелый урон. За время войны было выведено из работы около 5 млн. квт мощностей и разрушено около 10 тыс. км линий электропередачи. Были разрушены крупнейшие электростанции — Днепровская, Сталиногорская, Дубровская, все электростанции Донбасса, Харькова, Киева и десятки других.

Проведя огромную работу по строительству новых электростанций на Востоке и монтажу на них эвакуированного оборудования, а также по восстановлению отбитых у врага разрушенных электростанций, страна в годы войны смогла удержать среднегодовой прирост новых мощностей почти на предвоенном уровне. В 1941—1945 гг. этот прирост составил около 90% среднегодового прироста 1938—1940 гг. Война не остановила, а лишь затормозила развитие энергетики в стране и способствовала резкому увеличению мощностей восточных энергосистем: Уральской в 2 раза, Карагандинской больше чем в 4 раза, Узбекской почти в 2 раза, Кузбасской в 1,7 раза.

После окончания войны в короткий срок было завершено восстановление электростанций, и общая мощность электростанций в стране значительно превысила довоенный уровень и продолжает резко увеличиваться. Среднегодовой ввод мощностей на электростанциях в первом послевоенном пятилетии в 2,5 раза превысил среднегодовой прирост 1933—1937 гг., а за 4 года второго пятилетия — в 4,9 раза. Были введены в действие мощные тепловые и гидравлические электростанции — Щекинская, Черепетская, Мироновская, Верхне-Свирская, Цимлянская, Усть-Каме-ногорская, Мингечаурская и многие другие.

1954 г. был рекордным в отношении ввода новых мощностей. Прирост мощности в этом году почти на 30% превысил прирост 1953 г. Было введено 17 тепловых и гидравлических электростанций, среди них такие, как Славянская в Донбассе, Приднепровская и Дарницкая на Украине, Камская и Серовская на Урале, Северная в Азербайджане, Дубоссарская в Молдавии, Белореченская и Эзминская на Северном Кавказе, электростанции в Ивановской области, Грузии, Узбекистане, Казахстане, Карело-Финской ССР и на Дальнем Востоке. В 1954 г. успешно протекало строительство Куйбышевской, Каховской, Сталин-

<sup>1</sup> И. В. Сталин. Соч., т. 11, стр. 254.

градской, Горьковской и других гидроэлектростанций.

Несмотря на огромный масштаб энергетического строительства в нашей стране и ежегодный ввод в действие новых весьма крупных мощностей, нам не везде удается в полной мере обеспечить электроэнергией бурно растущее народное хозяйство. В связи с этим сама жизнь требует развертывания строительства электростанций и электросетей в еще большем масштабе, чем мы имеем сейчас.

В настоящее время ни одна из строек электростанций не испытывает недостатка в средствах механизации массовых работ, и главной задачей является наиболее полное использование имеющегося громадного парка механизмов и транспортных средств. О насыщенности наших строек современной строительной техникой можно судить по следующим данным.

В 1954 г. удельный вес гидромеханизации в общем объеме земляных работ составил 31%, а на строительстве Куйбышевской, Сталинградской и других гидроэлектростанций — 70...80%. Механизация земляных работ составила 96,8% их общего объема, а комплексная механизация — 92,6%. Комплексная механизация работ по приготовлению бетона составила 93,5%, а по его укладке — 92,3%.

Однако, если учесть, что в 1955 г. на строительстве электростанций и сетей предстоит выполнить более 160 млн.  $m^3$  земляных работ и уложить 6,9 млн.  $m^3$  бетона, то будет понятно, какие большие объемы массовых работ приходится выполнять вручную и что многое еще нужно сделать, чтобы свести их к минимуму.

Говоря о развитии советской энергетики, нельзя забывать, что успех в этом деле явился следствием непрерывного и огромного роста всего народного хозяйства СССР и в особенности машиностроительной и электротехнической промышленности, следствием постоянного внимания и огромной помощи, оказываемых энергетическому строительству Коммунистической партией и Советским правительством.

Советская теплоэнергетика прошла путь от небольших электростанций с турбогенераторами мощностью до 10 тыс.  $kвт$ , с давлением пара до 30  $ат$  и температурой перегрева 360° С, до районных электростанций мощностью 300...400 тыс.  $kвт$  и более с турбогенераторами по 100 тыс.  $kвт$ , с давлением пара 100  $ат$  и температурой перегрева 500° С. Удельный вес электростанций высокого давления быстро растет и достиг в 1954 г. примерно 48% против 2,7% в 1940 г.

В последние годы в нашей стране проводится успешная работа по дальнейшему увеличению давления и температуры перегрева пара. Закончено строительство мощной электростанции с турбогенераторами по 150 тыс.  $kвт$ , с давлением пара 170  $ат$  и температурой перегрева 550° С. Значимость этого факта станет понятной, если напомнить, что переход к давлению 170  $ат$  от давления 100  $ат$  дает снижение расхода топлива на один выработанный киловаттчас на 8...10%, а от давления 30  $ат$  — более 25%.

За последние годы коренным образом изменены технология и способы производства строительных и монтажных работ при сооружении новых тепловых электростанций. В строительные и монтажные работы прочно вошли индустриализация и на ряде строек комплексная механизация, широко внедряется поточность и совмещение во времени строительных работ с монтажом технологического оборудования.

Особенно значительные успехи достигнуты в области производства работ по монтажу тепло-механического оборудования. Коренным образом изменен самый сложный и трудоемкий процесс монтажа — такелажные работы. Применение мостовых кранов в машинных и котельных цехах, порталных и самоходных кранов на сборочных площадках позволило значительно механизировать и упростить производство монтажных работ.

Широко внедрен новый прогрессивный блочный метод монтажа. Освоение его позволило разработать новую конструкцию котлоагрегатов, изготавливаемых и поставляемых заводами в виде крупных блоков. Опыт изготовления и монтажа таких котлов производительностью до 90  $t$  в час показал, что внедрение их обеспечит сокращение сроков монтажа в 2,5...3 раза и уменьшение трудовых затрат на 50...60%. Производство таких котлов производительностью 75, 170 и 230  $t$  пара в час внедряется на стечественных заводах, с 1955 г. начнется их серийный выпуск.

Все перечисленное позволило значительно повысить производительность труда и сократить производительность строительства электростанций. Однако непрерывный рост народного хозяйства страны требует от строителей значительного увеличения ввода новых мощностей на электростанциях и дальнейшего серьезного сокращения сроков и стоимости строительства. Для решения этих больших и сложных задач следует по-новому подходить к определению конечной мощности новых районных тепловых электростанций, предназначенных для работы в крупных энергосистемах.

Мощность районных тепловых электростанций должна устанавливаться, исходя лишь из условий водоснабжения, топливоснабжения и передачи электроэнергии. Снижение установленной мощности новых электростанций, несомненно, будет сдерживать темпы ввода мощностей и удорожать строительство. Крупные тепловые электростанции в тех случаях, когда от них не предполагается снабжать паром производственные процессы, необходимо строить вблизи месторождений топлива. Жизнь требует перехода к строительству тепловых электростанций с установленной мощностью примерно 0,6...1 млн.  $kвт$ . Для решения этой важной задачи машиностроителям необходимо ускорить выпуск новых мощных котельных агрегатов производительностью 430 и 650  $t$  пара в час.

Наша страна исключительно богата водно-энергетическими ресурсами, но до недавнего прошлого они практически не использовались. Лишь советская власть дала возможность поставить их на службу народу. Первенец советской

гидроэнергетики — Волховская гидроэлектростанция, носящая имя В. И. Ленина, явилась отправным пунктом, от которого началось летоисчисление советского гидроэнергостроительства. Она вошла в работу в 1926 г., и по тому времени ее мощность 64 тыс. *квт* была весьма значительной. В 1955 г. начинает свою жизнь советский богатырь — Куйбышевская гидроэлектростанция мощностью 2,1 млн. *квт*. Таков 29-летний путь развития советского гидроэнергетического строительства. Вехами, которые делают этот трудный путь на этапы, являются известные всему советскому народу и вошедшие в жизнь в результате его мысли и труда огромные гидротехнические сооружения: Днепровская и Нижне-Свирская гидроэлектростанции, Беломорско-Балтийский канал и канал им. Москвы, Щербаковская и Угличская гидроэлектростанции, каскад Чирчикских гидроэлектростанций, Фархадская, Храмская, Цимлянская гидроэлектростанции, Волго-Донской канал, Мингечаурская, Усть-Каменогорская и Камская гидроэлектростанции.

Советское гидроэнергостроительство развивалось на основе плановости и комплексности решения водохозяйственных проблем. Ни один более или менее значительный гидроузел не осуществлялся без заранее разработанной схемы использования водных ресурсов реки в интересах гидроэнергетики, судоходства, ирригации, водоснабжения, лесосплава и борьбы с наводнениями.

За прошедший сравнительно короткий срок гидротехническими строительными (Волховстрой, Днепрострой, Свирьстрой, Беломорканал, Волга-Москва канал, Волгострой), проектными (Гидроэнергопроект, Гидропроект), научно-исследовательскими (ВНИИГ, ТНИСГЭИ, ВОДГЕО, САНИИРИ, ВИГМ) организациями и машиностроительными заводами (ЛМЗ им. Сталина, завод «Электросила» и др.) были проведены огромные по объему изыскательские, исследовательские, проектные и опытные работы в области сооружения средних и крупных гидроэнергетических узлов.

Необходимо выделить работы по сооружению гидроузлов на нескальных основаниях — глинах и песках. На этих работах постепенно развивалась и оформлялась советская школа специалистов, работающих в области инженерной геологии и прикладной механики грунтов.

Первым крупным сооружением, построенным на пластичных ленточных глинах, была Нижне-Свирская гидроэлектростанция. Геологические и гидрогеологические условия в створе Нижне-Свирского гидроузла были таковы, что видные американские специалисты высказались против строительства гидроэлектростанции в этом районе. Однако сооружения электростанции при неравномерной их осадке, величина которой была определена еще в процессе разработки проекта, на протяжении более чем 20 лет, прошедших с момента пуска станции, показали безупречную работу. На основе этого опыта в последние годы была построена новая крупная гидроэлектростанция, находящаяся в аналогичных грунтовых условиях.

Успешно преодолены или преодолеваются серьезные трудности, связанные с особенностью грунтовых оснований, при сооружении канала имени Москвы, Угличской, Щербаковской, Цимлянской, Каховской, Куйбышевской и Сталинградской гидроэлектростанций, расположенных на глинах и мелких песках.

Не меньших успехов советские ученые достигли в развитии теоретической и практической гидравлики сооружений и русел, инженерной гидрологии и водноэнергетических расчетов, теории фильтрации и ее практического применения, плотиностроения и конструирования зданий гидроэлектростанций. Последние в настоящее время используются не только для установки технологического оборудования, но и как водосливы для сброса избыточных расходов воды. При этом сбросные расходы, оказывая эжектирующее действие, повышают рабочий напор гидроэлектростанции.

Практическая работа по совмещенным гидроэлектростанциям была начата советскими инженерами во время Великой Отечественной войны. Впервые в СССР идея совмещения гидроэлектростанции с водосбросом весьма оригинально была претворена в жизнь на Камской гидроэлектростанции.

В настоящее время разнообразные по типу гидроэлектростанции, совмещенные с водосбросами, широко применяются в практике нашего гидротехнического строительства. Их применение позволяет сокращать фронт бетонных сооружений. Величина этого сокращения в построенных и строящихся гидроузлах составляет 12...40%. Благодаря применению совмещенного типа гидроэлектростанции на одном из крупнейших гидроузлов оказалось возможным полностью отказаться от водосливной бетонной плотины.

Развитие наших знаний в области большого комплекса научных дисциплин, обслуживающих гидротехническое строительство, дало возможность более смело подходить к назначению величины удельного расхода воды, сбрасываемого в нижний бьеф через водосливные плотины. Это оказывает прямое влияние на протяженность фронта бетонных водосливных плотин. Длина плотины Днепровской гидроэлектростанции, построенной на прочных гранитах, определилась удельным расходом 36  $m^3/сек$  на погонный метр, Цимлянской, построенной на мелких песках, 34  $m^3/сек$  и Каховской, также построенной на мелких песках, 37  $m^3/сек$ . Таким образом, то, что не так давно считалось допустимым только для скальных пород, в современных условиях широко применяется для легко размываемых грунтов, какими являются мелкие пески.

Весьма успешно развивалось и отечественное гидротурбостроение, в результате чего стало возможным изготовление крупнейшего в мире рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины мощностью 105 тыс. *квт* (Куйбышевская гидроэлектростанция). Это колесо имеет диаметр 9,3 м и весит 425 т. Проектируется турбина, мощность которой намного превышает Куйбышевскую. Не отставала от турбостроения и электротехниче-

ская промышленность. Для Куйбышевской гидроэлектростанции уже изготовлено несколько генераторов, роторы которых имеют диаметр 14,5 м и весят по 754 т. Особо сложные задачи перед электротехнической промышленностью встали в связи с сооружением линии электропередачи 400 кв Куйбышевская гидроэлектростанция — Москва протяженностью около 900 км. Эти задачи успешно разрешаются. В 1955 г. линия войдет в эксплуатацию.

Развитие гидромеханического способа разработки грунтов дало возможность советским гидротехникам внести коренное изменение в компоновку сооружений гидроузлов на равнинных реках. В настоящее время массивные бетонные сооружения размещаются в пойме реки, а основное русло перекрывается земляной плотиной, причем перекрытие осуществляется вслед за возведением массивных бетонных сооружений. Такое решение облегчает строительство перемычек и позволяет начать разработку котлованов под основные сооружения одновременно с проведением подготовительных работ по организации строительной площадки, т. е. в первый год строительства. Следует заметить, что не всегда удается в полной мере использовать это преимущество. Однако винить в этом, кроме самих себя, нам некого.

Гидромеханизация — мощное орудие в руках строителей. При правильном ее использовании можно получить исключительный эффект. На строительстве Цимлянской гидроэлектростанции была намыта земляная плотина общей протяженностью 12,7 км с наибольшей высотой 35 м и объемом грунта 32 млн. м<sup>3</sup>, причем 25 млн. м<sup>3</sup> были намыты за один сезон 1952 г.

В Советском Союзе построены гидроэлектростанции с напорами от 7,5 до 580 м. На станциях деривационного типа сооружены многокилометровые каналы и несколько десятков километров гидротехнических туннелей. Пропускная способность одного из каналов равна 450, а другого 750 м<sup>3</sup>/сек. Наиболее длинный туннель имеет протяженность 6,8 км. Большая часть построенных туннелей имеет диаметр, равный 5 м. Построен туннель сечением 9 × 12 м, строится туннель длиной 9,5 км и диаметром 4 м. При постройке туннелей произведено выломки породы свыше 2,7 млн. м<sup>3</sup>, в облицовку туннелей уложено свыше 900 тыс. м<sup>3</sup> бетона.

До Великой Отечественной войны работы по монтажу гидроагрегатов велись после окончания строительных работ. Сейчас монтаж максимально совмещен во времени со строительными работами; на многоагрегатных станциях он базируется на предварительной сборке крупных узлов агрегата, на поточности, когда в монтаже одновременно находится несколько агрегатов. Предварительная сборка узлов осуществляется на временных монтажных площадках, расположенных вне здания гидростанции и оборудованных кранами.

На Мингечаурской гидроэлектростанции на таких площадках монтировались узлы весом до 150 т, а на Цимлянской — рабочее колесо и ротор генератора (без полюсов). Затем эти узлы по

железнодорожным путям доставлялись в машинный зал. На Камской гидроэлектростанции совмещение строительных и монтажных работ, заблаговременная сборка узлов и частичное применение временной сборочной площадки позволили в 1954 г. ввести первые три агрегата почти одновременно. Разница в сроках ввода не превышала 5...9 дней.

Наиболее полно новые принципы будут применены при монтаже агрегатов Куйбышевской гидроэлектростанции. В настоящее время там заканчивается сооружение временной сборочной площадки площадью более 3 тыс. м<sup>2</sup>. Площадка примыкает к машинному залу и по существу представляет заводский сборочный цех, оборудованный кранами различной грузоподъемности, расположенными в два яруса. С этой площадки крупные узлы агрегатов весом до 750 т будут поступать в машинный зал для окончательного монтажа.

В текущем году Министерство строительства электростанций обязано ввести в действие 15 новых электростанций, в том числе Куйбышевскую, Горьковскую, Каховскую, Нарвскую, Барнаульскую № 2 и Саратовскую № 2. Кроме того, Министерство будет производить работы по строительству и расширению более 100 электростанций, на которых вводится в действие значительное количество турбин мощностью по 100 тыс. квт. В 1955 г. должно быть построено и введено в действие более 5 тыс. км высоковольтных линий электропередачи напряжением 110 кв и выше и соответствующее количество трансформаторных подстанций.

В 1955 г. будут введены в действие: первая в СССР линия электропередачи напряжением 400 кв Куйбышевская гидроэлектростанция — Москва; около 1200 км линий электропередачи напряжением 154 и 220 кв; около 800 км линий электропередачи напряжением 110 кв для электрификации железных дорог. Ввод в действие в 1955 г. Куйбышевской гидроэлектростанции и линии электропередачи 400 кв является особо важной задачей.

Капиталовложения в строительство только восьми наиболее крупных гидроэлектростанций составят в 1955 г. около 6 млрд. руб. За год должно быть смонтировано около 400 тыс. т металлоконструкций и армокаркасов, изготовлено свыше 300 тыс. м<sup>3</sup> железобетонных сборных конструкций и изделий, введено 390 тыс. м<sup>2</sup> жилой площади и значительное количество культурно-бытовых учреждений.

Строители-энергетики большое внимание уделяют выполнению заданий Коммунистической партии и Советского правительства по развитию применения конструкций из сборного железобетона, крупных стеновых блоков и крупных железобетонных панелей. Развитие производства и применения сборного железобетона раскрывает огромные резервы роста производительности труда и сокращения сроков строительства электростанций.

В связи с Всесоюзным совещанием по строительству строители-энергетики, как и все



строители Советского Союза, подвели итоги своей работы и на основе работы этого совещания внесли предложения по улучшению строительства. Серьезной задачей строителей и гидромеханизаторов Куйбышевской, Горьковской и Каховской гидроэлектростанций, от успешного решения которой зависит ввод этих станций в действие в 1955 г., является перекрытие русел рек Волги и Днепра в навигационный период без перерыва судоходства.

Учитывая многоводность указанных рек и интенсивность судоходства на них, эта работа по своим масштабам, сложности и ответственности является беспрецедентной. В короткие сроки в створах Куйбышевского, Горьковского и Каховского гидроузлов должны быть отсыпаны в текущую воду сотни тысяч кубических метров камня, крупных бетонных кубов и гравия с тем, чтобы до наступления морозов успеть намыты миллионные объемы грунта в земляные русловые плотины и поднять напор на сооружениях до отметок, обеспечивающих ввод в действие агрегатов гидроэлектростанций. Для выполнения этих громадных по объему работ в крайне сжатые сроки потребуются героические усилия коллективов строителей.

Куйбышевская гидроэлектростанция является грандиозным сооружением нашего времени. В состав гидроузла входят: здание гидроэлектростанции длиной 700 м, в котором будут размещены 20 гидроагрегатов мощностью 105 тыс. квт каждый; водосливная бетонная плотина протяженностью 1,2 км, земляная плотина, судопропускные устройства — шлюзы и речной порт. Общая длина напорного фронта сооружений равна примерно 5,5 км. Они будут поддерживать напор воды в 30 м и образуют водохранилище площадью 5 580 км<sup>2</sup> (площадь Онежского озера — 10 тыс. км<sup>2</sup>), протяженностью по Волге 580 км и по Каме 300 км. Наибольшая ширина водохранилища 40 км, его объем 52,3 млрд. м<sup>3</sup>. Это самое большое искусственное водохранилище в нашей стране. С созданием водохранилища улучшатся условия судоходства по Волге и откроются возможности орошения засушливых земель Заволжья. Значительная доля электроэнергии Куйбышевской гидроэлектростанции будет передаваться по линии электропередачи 400 кв в Центральный промышленный район. Куйбышевская гидроэлектростанция позволит в широком масштабе электрифицировать сельское хозяйство. На строительстве Куйбышевского гидроузла должно быть выполнено земляных работ 151 млн. м<sup>3</sup>; уложено около 8 млн. м<sup>3</sup> бетона и железобетона; смонтировано около 98 тыс. т металлоконструкций и механизмов.

В прошлом году на этом строительстве укладка бетона превалировала над всеми другими видами работ. В этом деле строители достигли определенных успехов. За год было уложено 1 932 тыс. м<sup>3</sup> бетона, что в 1,6 раза превышает весь объем бетона, уложенного в сооружения Днепровской гидроэлектростанции. Месячная укладка достигла 257 тыс. м<sup>3</sup>, а суточная — более 13 тыс. м<sup>3</sup>. Наибольшая суточная укладка бетона на Волгодон-

строе составила 12,5 тыс. м<sup>3</sup>, на Днепрострое — 5,2 тыс. м<sup>3</sup> и на строительстве Каховской гидроэлектростанции — 4,5 тыс. м<sup>3</sup>. Достигнутые темпы укладки бетона на Куйбышевгидрострое свидетельствуют об исключительно высокой технической оснащенности строительства. В наиболее напряженные месяцы 1954 г. наибольшая электрическая мощность, потребляемая строительством, достигала 72 тыс. квт.

Из общего объема работ на 1 апреля 1955 г. выполнено около 84 млн. м<sup>3</sup> земляных выемок и насыпей и уложено более 2,8 млн. м<sup>3</sup> бетона и железобетона. В конце 1955 г. Куйбышевская гидроэлектростанция войдет в действие. Этот год для строителей и монтажников является годом исключительного напряжения, так как за год нужно выполнить 43 млн. м<sup>3</sup> земляных работ, уложить 3,1 млн. м<sup>3</sup> бетона (на строительстве Волго-Донского канала и Цимлянского гидроузла наибольшая годовая укладка бетона достигла 1 978 тыс. м<sup>3</sup> в год), произвести около 1,3 млн. м<sup>3</sup> каменных набросок и смонтировать около 38 тыс. т металлоконструкций и механизмов. Зимой 1954/55 г. ежемесячная укладка бетона составляла 170 ... 190 тыс. м<sup>3</sup> в месяц.

Огромных усилий от строителей потребует перекрытие русла Волги. Река в настоящее время примерно наполовину закрыта перемычками, ограждающими котлован здания гидроэлектростанции.

Бетонная плотина, шлюзы и часть земляной плотины расположены на острове, в староречье и в пойме; они не стесняют оставшегося живого сечения реки, по которому до конца 1954 г. свободно производилось судоходство. Начавшиеся в прошлом году работы по перекрытию русла Волги успешно продолжатся в текущем году. В ближайшее время основное русло реки будет сужено до 350 м. Все судоходство будет переведено с естественного фарватера на специально созданный водный тракт в пойменной части реки, а в оставшейся части русла реки шириной 350 м будет наведен понтонный мост.

Закрытие протока является самой трудной задачей, которую по состоянию работ на гидроэлектростанции возможно произвести лишь осенью, когда расходы в реке могут достигать 8 ... 12 тыс. м<sup>3</sup>/сек, и в протоке будут иметь место большие скорости. К этому времени перемычки, ограждающие здание гидроэлектростанции, будут разобраны, а сама гидроэлектростанция подготовлена к пропуску воды. Чтобы образовать банкет, при помощи которого будет создан подпор воды и обеспечено протекание ее через водосбросные отверстия гидроэлектростанции, с понтонного моста в реку будут сброшены десятки тысяч кубометров камня. В последующем банкет явится упорной призмой и фильтром земляной русловой плотины. Чтобы свести к минимуму унос камня течением, при закрытии протока будут применены металлические каркасы и бетонные массивы весом свыше 10 т. Перекрытие протока намечено произвести в течение 14 дней, при этом суточная интенсивность отсыпки достигнет 20 тыс. м<sup>3</sup>.

Аналогичный порядок закрытия русел рек осуществлен на строительстве Каховской гЭС и осуществляется на строительстве Горьковской гЭС с той лишь разницей, что работы по закрытию на этих строительствах проведены и проводятся в другое время, ширина закрываемых протоков (250 м), объемы и интенсивность работ меньше, чем на Куйбышевской гидроэлектростанции.

Строительство Каховской гидроэлектростанции идет с опережением на год против установленного срока ее пуска. Сооружения этого гидроузла общей протяженностью 3,8 км поднимут горизонт Днепра на 16 м и образуют водохранилище объемом 18,2 млрд. м<sup>3</sup> и протяженностью 250 км. Наибольшая ширина водохранилища 22 км. Мощность Каховской гидроэлектростанции 260 тыс. квт. Объемы работ по земляным выемкам и насыпям составляют 35,2 млн. м<sup>3</sup>, по укладке бетона и железобетона 1,4 млн. м<sup>3</sup>, по монтажу металлоконструкций и механизмов 26 тыс. т. На 1 апреля 1955 г. выполнено 25,6 млн. м<sup>3</sup> земляных работ и уложено свыше 970 тыс. м<sup>3</sup> бетона и железобетона. В текущем году все массовые работы по земле и бетону будут полностью закончены. Два гидроагрегата намечено ввести в ноябре текущего года.

Сталинградская гидроэлектростанция будет иметь мощность, близкую к мощности Куйбышевской гидроэлектростанции. На ней будут установлены такие же гидроагрегаты, как и на Куйбышевской гидроэлектростанции. Сооружения гидроузла, образующие напорный фронт протяженностью 4,9 км, поднимут уровень Волги на 27 м и образуют водохранилище длиной более 600 км и шириной до 30 км. Объем водохранилища 33,5 млрд. м<sup>3</sup>. Оно, помимо улучшения условий судоходства по Волге, создаст возможности для орошения земель Каспийской низменности.

На строительстве Сталинградского гидроузла должно быть произведено 138 млн. м<sup>3</sup> земляных работ, из которых свыше 54 млн. м<sup>3</sup> уже выпол-

нено, и уложено более 7,5 млн. м<sup>3</sup> бетона и железобетона.

Сталинградгидрострой провел огромную работу по строительству благоустроенного жилья со всеми необходимыми культурно-бытовыми учреждениями, дорог, подсобных и вспомогательных предприятий, перемычек для всех основных бетонных сооружений гидроузла. Почти полностью закончены земляные работы в котлованах здания гидроэлектростанции, бетонной водосливной плотины и шлюзов. Начата укладка бетона в здание гидроэлектростанции. Подготовительные работы почти полностью завершены, и в 1955 г. строительство приступило к массовой укладке бетона в сооружения гидроузла.

На Горьковской гидроэлектростанции в текущем году вводятся пять гидроагрегатов. В настоящее время ее строители широким фронтом ведут работы по укладке бетона, монтажу основного оборудования и металлоконструкций.

Юбилейная дата в жизни нашего широко распространенного и заслужившего уважение журнала «Электричество» дала повод оглянуться назад и подвести некоторые, далеко не полные итоги развития советского энергетического и в особенности гидроэнергетического строительства.

Эти итоги таковы, что наполняют нас радостью и гордостью за нашу страну, за наш советский народ, который под руководством Коммунистической партии и Советского правительства неустанно и неуклонно идет к своей заветной цели — к построению коммунистического общества. Но вполне естественная радость и гордость за дело, которому мы, советские строители-энергетики, отдаем наши силы, знания и опыт, не должна нас успокаивать, так как наша задача состоит в том, чтобы строить электростанции и электросети много скорее, значительно дешевле и постоянно повышать производительность труда во всех производственных процессах. Это — задание Коммунистической партии и Советского правительства и наш долг выполнить его с честью.

## Редакции журнала „Электричество“

### ДОРОГИЕ ТОВАРИЩИ!

*Всесоюзная конференция Научно-технического общества энергетической промышленности горячо приветствует старейший русский электротехнический журнал „Электричество“, созданный учредителями Общества — пионерами русской электротехники на заре ее развития, 75 лет тому назад.*

*Конференция отмечает неоценимый вклад журнала „Электричество“ в дело становления и развития ответственной электротехники и энергетики.*

*Конференция шлет редакции наилучшие пожелания успешного претворения в жизнь ее мероприятий, направленных на дальнейшее улучшение деятельности родного и близкого всем энергетикам страны журнала „Электричество“. Научно-техническое общество энергетической промышленности будет всемерно содействовать журналу в этом направлении.*

ПРЕЗИДИУМ ВСЕСОЮЗНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ НТОЭП

(Принято на торжественном заседании конференции в Ленинграде 29 июня 1955 г.)

# 75 лет журнала „Электричество“ и развитие электрификации в СССР

А. С. ПАВЛЕНКО

Заместитель министра электростанций СССР

В дни юбилея старейшего русского электротехнического журнала «Электричество» советские энергетики с особой любовью и гордостью вспоминают великого корифея науки и основоположника электрификации России В. И. Ленина, который впервые в России по достоинству оценил труды русских ученых и инженеров и поставил их на службу нашей славной Родине.

Журнал «Электричество», основанный по инициативе выдающихся русских электротехников прошлого столетия В. Н. Чиколева, П. Н. Яблочкова, А. Н. Лодыгина, Д. А. Лачинова и др., оказывал и оказывает серьезное содействие ученым, инженерам и техникам энергетикам в решении вопросов всемерного развития производства и распределения электроэнергии, систематически публикуя на своих страницах наиболее важные теоретические и экспериментальные работы в этой области.

После Великой Октябрьской социалистической революции открылись широкие, неисчерпаемые возможности для развития энергетики в нашей стране.

Вдохновляемые идеями ленинизма, народы нашей страны под руководством Коммунистической партии завоевали себе свободу и вышли на широкую дорогу невиданных в истории социалистических преобразований, показывая всему человечеству путь к свободной и счастливой жизни.

Решающим условием строительства социализма и коммунизма Ленин считал всемерное, преимущественное развитие тяжелой индустрии, неуклонный рост производительности труда и постоянное совершенствование техники.

Важнейшее место в создании материально-технической базы коммунизма В. И. Ленин отводил электрификации, широкому строительству электрических станций и всестороннему внедрению электричества во все отрасли народного хозяйства.

«Только тогда, — писал В. И. Ленин, — когда страна будет электрифицирована, когда под промышленность, сельское хозяйство и транспорт будет подведена техническая база современной крупной промышленности, только тогда мы победим окончательно» (т. 31, стр. 484, 1953).

Ленинский план электрификации нашей страны явился первым государственным планом, определившим перспективы грандиозной созидательной работы первого в мире Советского государства.

Развернувшееся в первом пятилетии строительство электростанций обеспечило досрочное выполнение плана ГОЭЛРО в 1931 г. План ГОЭЛРО, рассчитанный на 10—15 лет, был выполнен в исторически короткий срок — 10 лет.

За годы предвоенных пятилеток энергетическая база нашей страны коренным образом изменилась. В разных районах страны вступили в строй десятки электростанций. На базе роста энергетической вооруженности в нашей стране

были созданы новые энергоемкие отрасли промышленности — алюминиевая, производство ферросплавов, электрометаллургия, электрохимия и др. Увеличение выработки электроэнергии позволило электрифицировать тысячи километров железнодорожных путей.

Сооружение высоковольтных линий электропередачи, строительству которых В. И. Ленин придавал большое значение, дало возможность передавать электроэнергию от мощных районных электростанций на большие расстояния и этим разрешило вопрос о строительстве крупных электростанций на месте добычи топлива, широком использовании богатейших гидроэнергетических ресурсов нашей страны. В результате осуществления этих мероприятий в стране были созданы мощные энергетические системы.

Война нанесла огромные потери советской энергетике. Однако усилиями всех трудящихся нашей страны разрушенные и взорванные электростанции были восстановлены; был построен ряд новых электростанций, и выработка электроэнергии в нашей стране резко возросла по сравнению с довоенным периодом.

В директивах XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы в области электрификации предусмотрено дальнейшее обеспечение высоких темпов наращивания мощностей электростанций в целях более полного удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства и бытовых нужд населения в электроэнергии и увеличения резерва в энергетических системах. Общая мощность электростанций СССР за пятилетие должна увеличиться примерно вдвое, а гидроэлектростанций — втрое. Значительно должна возрасти выработка электроэнергии. При общем повышении уровня промышленного производства на 70% рост производства электроэнергии предусмотрен на 80%.

Советские энергетики с большим воодушевлением выполняют эту грандиозную программу электрификации нашей страны. Производство электроэнергии за 4 года пятой пятилетки выполнено Министерством электростанций с превышением против плановых заданий. На основании итогов за 4 года и заданий на 1955 г. можно сделать вывод, что уровень производства электроэнергии, предусмотренный по Министерству электростанций пятым пятилетним планом, будет превзойден в 1955 г. примерно на 3—4%.

За годы пятой пятилетки построены и введены в эксплуатацию крупные электростанции. Прирост мощности за 1954 г. по СССР в 2,3 раза превышает мощность, которую намечалось ввести по плану ГОЭЛРО за 10—15 лет. В 1955 г. — завершающем году пятой пятилетки — перед энергетиками стоят большие задачи в деле наращивания новых мощностей для обеспечения растущей потребности в электроэнергии промышленности, железнодорожного транспорта, сельского хозяйства и населения. Ввод новых мощностей,

предусмотренный на 1955 г., превышает фактический ввод за прошедший год по электростанциям на 21,6%, а по электросетям — в 3,5 раза.

Особо следует отметить достижения наших ученых и инженеров в области использования атомной энергии в мирных целях. В 1954 г. в Советском Союзе была построена и введена в эксплуатацию первая в мире промышленная электростанция на атомной энергии мощностью 5 тыс. *квт*, на которой уже около года вырабатывается электрическая энергия для нужд народного хозяйства. Советскими учеными и инженерами ведутся работы по созданию промышленных электростанций на атомной энергии мощностью 50—100 тыс. *квт*. Достижения советских ученых и инженеров в области использования атомной энергии в мирных целях открыли неисчерпаемые возможности для совершенствования самых различных отраслей народного хозяйства.

Достижения советской энергетики неоспоримы, однако нас это не может удовлетворить, так как потребности народного хозяйства страны в электрической и тепловой энергии непрерывно растут и в отдельных районах страны опережают развитие энергетики.

Исходя из необходимости осуществления задач, поставленных Партией и Правительством по дальнейшему подъему тяжелой индустрии, составляющей прочную основу всего народного хозяйства и несокрушимой обороноспособности нашей Родины, источника неуклонного роста благосостояния советского народа, мы должны обеспечить всемерное развитие энергетики. Рост мощностей электростанций должен опережать развитие других отраслей народного хозяйства.

Дальнейшее развитие энергетики намечается в направлении строительства крупных тепловых и гидравлических электростанций, развития высоковольтных электросетей и создания крупных энергетических систем. К концу 1960 г., с вводом в эксплуатацию Куйбышевской, Сталинградской, Горьковской и других гидроэлектростанций, будет создана единая энергетическая система Европейской части СССР мощностью порядка 28 млн. *квт*. Развитие строительства крупных гидроэлектростанций в Сибири приведет к созданию мощных энергосистем на Востоке страны.

В дальнейшем с развитием строительства высоковольтных линий электропередачи, промышленным освоением передачи электроэнергии постоянным током высокого напряжения на дальние расстояния можно будет осуществить создание еще более мощной энергетической системы и перейти к созданию единой высоковольтной сети.

Создание крупных энергетических систем имеет большое значение для народного хозяйства, так как оно позволит наиболее рационально использовать мощности электростанций, особенно гидроэлектростанций, даст возможность сооружать мощные экономичные тепловые электростанции с крупными агрегатами по блочной схеме — котел — турбина непосредственно на месте добычи топлива, увеличит резерв мощности для обеспечения резко возрастающих нагрузок как за счет использования разности поясного времени в раз-

личных районах страны, так и за счет наиболее разумного режима эксплуатации электростанций.

В связи со значительным увеличением в ближайшие годы мощности энергосистем и отдельных электростанций особое значение приобретают вопросы новой техники. Намечаемое развитие энергетики в энергосистемах Министерства электростанций имеет в виду осуществлять в направлении значительного увеличения средней установленной мощности турбоагрегатов, улучшения их технико-экономических характеристик и широкого внедрения автоматизации на электростанциях и в электросетях. Особое значение для дальнейшего развития энергетики имеют переход на более высокие параметры пара и применение оборудования большей единичной мощности.

Дальнейшее успешное применение пара сверхвысоких параметров затрудняется оставанием исследовательских и опытных работ в области изыскания и освоения различных марок теплоустойчивых сталей. От Министерства черной металлургии и Министерства тяжелого машиностроения требуются всемерное расширение научно-исследовательских и экспериментальных работ, а также промышленное освоение новых марок сталей, потребных для изготовления энергетического оборудования на сверхвысокие параметры пара.

Учитывая рост мощности энергосистем, единичную мощность конденсационных турбин для крупных электростанций целесообразно в следующем пятилетии довести до 200 ... 300 тыс. *квт*, а теплофикационных — до 50 тыс. *квт*. Производительность котельных агрегатов как на высокие, так и на сверхвысокие параметры требуется также увеличить до 430 ... 730 т пара в час. Причем изготовление и поставка турбин и котлов большой мощности должны производиться укрупненными блоками, что позволит значительно уменьшить трудовые затраты на монтаж, а также сократить сроки ввода их в эксплуатацию.

Особое значение для дальнейшего развития энергетики имеют вопросы автоматизации и телемеханизации электростанций, подстанций и энергосистем. Автоматика является одной из наиболее прогрессивных отраслей техники. Автоматизация обеспечивает резкое увеличение производительности труда, освобождает человека от тяжелых и вредных видов труда, приближает труд рабочего к труду инженерно-технического работника. Поэтому переход к автоматическому управлению производству является одной из наиболее важных особенностей развития современной техники. Применение автоматизации и телемеханизации на гидроэлектростанциях и электроподстанциях позволяет в 2—3 раза уменьшить количество обслуживающего персонала. На тепловых электростанциях внедрение автоматики в котельных цехах дает значительную экономию топлива, а также позволяет улучшить организацию и условия труда.

Проводимые в настоящее время работы по автоматизации тепловых электростанций, а также по автоматизации и телемеханизации электросетей не дали пока необходимого технико-эконо-

мического эффекта, особенно в части снижения численности персонала, так как они недостаточно сочетались с механизацией трудоемких процессов (топливно-транспортные цехи, золоудаление и др.) и не носили комплексного характера. Отдельные процессы (регулирование перегрева и солевого содержания пара и др.) оставались неавтоматизированными.

Наша наука и техника достигла такого уровня, когда автоматизация может и должна быть развернута в совершенно иных масштабах, чем до настоящего времени. От автоматизации отдельных агрегатов мы должны переходить к автоматизации всего технологического комплекса. В частности, в энергетическом строительстве мы должны добиться в ближайшие годы такого положения, чтобы вводить новые электростанции с управлением цехами с центральных щитов. Комплексная автоматизация наряду с улучшением технологического процесса позволит уменьшить капитальные затраты на строительство энергетических объектов.

Технические средства для осуществления автоматизации производственных процессов, являющиеся материальной основой, без которой невозможна широкая автоматизация, не соответствуют требованиям, предъявляемым энергетикой и другими отраслями народного хозяйства. В настоящее время наша приборостроительная промышленность освоила новые виды автоматической аппаратуры и увеличила ее выпуск. Однако существующий уровень производства средств автоматики не обеспечивает нужд промышленности ни по объему, ни по качеству, ни по номенклатуре выпускаемой аппаратуры и приборов, что является одной из основных причин, тормозящих широкое внедрение автоматизации в энергетике.

Развитие энергетики в ближайшие годы в намеченных объемах потребует серьезной перестройки энергомашиностроительной промышленности в части разработки конструкций и производства нового, более мощного и технически совершенного оборудования.

Серьезные требования должны быть предъявлены к электротехнической промышленности. Выпускаемые в настоящее время трансформаторы, выключатели и кабельная продукция по своим техническим характеристикам, габаритам и весу не отвечают требованиям, предъявляемым энергетической промышленностью в связи с ростом энергетических систем и необходимостью передачи больших мощностей на напряжениях 400 кВ. Так, например, силовые понижающие трансформаторы, изготовленные для линий электропередачи 400 кВ, имеют вес фазы 320 т, что приводит к необходимости доставки его на место монтажа частями и требует последующей сборки, сушки и испытания. Все это вызывает дополнительные затраты на сооружение специальных устройств на подстанциях. При уменьшении веса трансформатора все эти работы могли бы быть выполнены в заводских условиях, что дало бы значительную экономию и ускорило бы ввод в действие высоковольтных подстанций. Задерживается серийное производство высоковольтных выключателей раз-

рывной мощностью 15 млн. кВА и выше, воздушных выключателей с автоматическим повторным включением, автотрансформаторов большой мощности на напряжения 110—400 кВ, трансформаторов с регулировкой напряжения под нагрузкой и др. Недопустимо медленно осваивается выпуск кабеля на напряжения 220 и 400 кВ, хотя потребность в этом кабеле чрезвычайно велика, так как применение его позволило бы значительно упростить схему выдачи мощности от крупных электростанций.

Исключительно важное значение приобретают вопросы проектирования и строительства энергетических объектов. Проектные организации Министерства электростанций в настоящее время выполняют большую работу по проектированию энергетических объектов. Значительно повысились квалификация и опыт кадров проектных и научно-исследовательских институтов в области проектирования тепловых и гидравлических электростанций и высоковольтных линий электропередачи. От проектирования тепловых электростанций небольшой мощности с турбинами 12, 25 и 50 тыс. кВт на давление пара 35 атм и температуру 435°С проектные организации в тесном сотрудничестве с научно-исследовательскими институтами перешли к проектированию мощных тепловых электростанций высокого и сверхвысокого давления с турбинами мощностью 100 и 150 тыс. кВт и параметрами пара 170 атм и 550°С. Серьезные качественные изменения произошли в проектировании и строительстве гидротехнических сооружений. От проектирования и возведения гидротехнических сооружений на скальных основаниях советские гидротехники-проектировщики и строители перешли к широкому проектированию и строительству крупнейших низко- и средненапорных гидроузлов на мягких и полускальных грунтах, не имеющих аналогов в мировой практике гидротехнического строительства.

Вместе с тем в работе проектных и строительных организаций имеются существенные недостатки, устранение которых позволит значительно ускорить ввод новых энергетических мощностей, снизить стоимость строительства и поставить нашу энергетику на новый, более высокий уровень. Проектные организации, а также научно-исследовательские институты, ведущие исследования для объектов энергетического строительства, неудовлетворительно решают вопросы применения новой техники в энергетике, не выдвигают с достаточной остротой требования к промышленности по улучшению качества энергетического оборудования и не оказывают должного влияния на энергомашиностроителей в направлении создания мощных и экономичных агрегатов, отвечающих современному уровню техники. В ряде случаев при проектировании и изысканиях допускаются ошибки, приводящие к сооружению энергетических объектов с низкими эксплуатационными показателями и нерациональным капиталовложением.

Серьезным недостатком в области перспективного проектирования энергетического строительства является отставание с разработкой перспективных схем развития энергетики по отдельным

районам страны на длительный период в увязке с использованием топливных и гидроэнергетических ресурсов и развитием промышленности, сельского хозяйства и электрификации железнодорожного транспорта. Отсутствие надлежаще разработанной перспективы развития энергетического хозяйства приводит к совершенно неправильному определению мощностей отдельных электростанций. В ряде случаев вопрос о строительстве электростанций и энергетических связей решался без учета целесообразного размещения энергетических объектов и использования топливной базы и гидроэнергетических ресурсов района, а исходя из частных потребностей отдельных потребителей.

Дальнейшее развитие энергетики должно вестись на основе глубоко продуманного, с учетом потребности всех отраслей народного хозяйства, плана строительства крупных электростанций и развития энергосистем не менее чем на 10—15 лет.

Большие задачи стоят перед энергетиками в области повышения культуры эксплуатации электростанций, улучшения технико-экономических показателей, повышения производительности труда и снижения себестоимости электрической и тепловой энергии. Обсуждения «Обращения участников Всесоюзного совещания работников промышленности» на предприятиях и в организациях Министерства электростанций, прошедшее при большой активности рабочих и инженерно-технических работников, вскрыло наличие серьезных недостатков в работе электростанций, электросетей и энергосистем, а также больших резервов и возможностей в деле значительного улучшения их работы. Крупнейшим недостатком в работе электростанций является то, что до настоящего времени медленно идет освоение оборудования высокого давления.

Эксплуатация ряда электростанций находится на низком уровне. К числу таких электростанций относятся: Нижне-Туринская грэс, Карагандинская грэс, Сталинградская грэс, Каменская тэц, Кураховская грэс, Несветай грэс, Безымянская тэц, Калининградская грэс № 2 и некоторые другие. Одной из причин неудовлетворительной работы этих электростанций является то, что они вводились в работу с большим количеством строительно-монтажных недоделок. Устранение этих недоделок и повышение культуры эксплуатации указанных электростанций являются важнейшей задачей.

Имеющиеся возможности роста производительности труда на электростанциях не используются в полной мере. Следует отметить, что на ряде электростанций и подстанций внедрение автоматизации не сопровождается снижением численности обслуживающего персонала.

Серьезным недостатком является отставание развития высоковольтных электросетей. В ряде энергосистем из-за отставания строительства линий электропередачи задерживается выпуск мощностей, существующие линии электропередачи крайне перегружены, что приводит к большим потерям электрической энергии. Аварийность на электростанциях и особенно в электросетях еще

недопустимо высока. Важнейшим условием обеспечения безаварийной работы электростанций и электросетей являются повышение квалификации и укрепление производственной дисциплины персонала электростанций и электросетей, а также высококачественное проведение текущих и капитальных ремонтов.

Наряду с обеспечением наращивания новых мощностей мы должны добиться максимального использования мощностей на действующих электростанциях. В этом отношении мы имеем большие резервы, использование которых по своему значению равноценно строительству новой крупной районной электростанции. Достаточно сказать, что проведение в 1955 г. мероприятий по устранению разрыва между установленной и рабочей мощностями на электростанциях из-за несоответствия мощностей отдельных цехов или дефектов оборудования позволит получить дополнительную мощность порядка 135—140 тыс. квт, а перевод генераторов на водородное охлаждение позволит увеличить реактивную мощность в энергосистемах на 240 тыс. квар.

Выявленные в результате обсуждения «Обращения участников Всесоюзного совещания работников промышленности» резервы, а также анализ работы электростанций за 5 мес. позволяют сделать вывод, что работники электростанций имеют возможность за счет проведения ряда мероприятий дополнительно снизить против плана расход натурального топлива на 850 тыс. т, а также досрочно выполнить план 1955 г. по выработке электроэнергии и дать сверх плана 1 800 млн. квтч электроэнергии народному хозяйству. Наряду с этим проведение ряда мероприятий совместно с основными промышленными потребителями электрической и тепловой энергии позволит сэкономить в 1955 г. против действующих норм 1 700 млн. квтч электроэнергии и 1 100 тыс. мгкал тепловой энергии.

Важнейшие задачи в деле внедрения новой техники на электростанциях, в решении вопросов экономии топлива, усовершенствования процессов горения, широкого внедрения пара высоких и сверхвысоких параметров и автоматизации тепловых процессов на электростанциях стоят перед научно-исследовательскими институтами и организациями, работающими в области энергетики и обязанными возглавить работу по внедрению новой техники на электростанциях и в электросетях. Они должны глубоко вникать в работу энергетических предприятий, обобщать и добиваться внедрения передовых методов труда и усовершенствования технологических процессов, используя достижения отечественной и зарубежной науки и техники в области энергетики.

Партия и Правительство поставили важнейшую задачу — обеспечить всемерное развитие энергетики, повседневно заботиться о том, чтобы рост мощностей электростанций опережал развитие других отраслей народного хозяйства.

Советские энергетики приложат все усилия, знания и опыт для выполнения этой важнейшей и почетной задачи.



# Основные технические задачи развития электростанций и энергосистем

Инж. А. М. НЕКРАСОВ

Техническое управление Министерства электростанций СССР

За последние 10 лет развитие энергетики Советского Союза шло по пути создания новых и объединения существующих энергетических систем, освоения гидроэнергетических ресурсов как в Европейской, так и в Азиатской части СССР, строительства крупных тепловых электростанций мощностью 400 тыс. *квт* и более, применения пара высоких параметров для новых и расширяемых электростанций, развития теплофикации, широкого внедрения автоматики на электростанциях и в электрических сетях, телемеханизации диспетчерских пунктов энергосистем и телеуправления гидроэлектростанциями и подстанциями. За это время созданы мощные объединения энергосистем Центра, Юга и Урала, укрупнены существующие и созданы новые энергосистемы. Широко развито строительство мощных гидроэлектростанций на Волге — Горьковской, Куйбышевской и Сталинградской — и других реках. Пуском Усть-Каменогорской гЭС положено начало освоению сибирских рек, на которых ведется строительство нескольких крупных гидроэлектростанций. Ввод в действие за последние годы ряда гидроэлектростанций (Гумюшской, Мингечаурской, Дубассарской и др.) позволил увеличить выработку электроэнергии на белом угле до 17% всей выработки по Министерству электростанций. Мощность электростанций и «надстроек» высокого давления достигла 48,5% всей мощности тепловых электростанций.

Автоматизировано 99,2% всех установленных гидроагрегатов, телемеханизировано 14 диспетчерских пунктов энергосистем и более 130 подстанций. На электростанциях и подстанциях установлено более 3 000 комплектов устройства автоматического ввода резервного питания, более 90% (по протяженности) линий напряжением 35... 220 *кв* оснащено автоматами повторного включения, 60% (по установленной мощности) гидрогенераторов телеуправляется с диспетчерских пунктов энергосистем.

Успехи, достигнутые в области автоматизации тепловых процессов позволили оснастить около 75% котельных агрегатов автоматами горения и 90% котлов автоматами питания, массовое применение нашли автоматы загрузки шаровых мельниц и питания деаэраторов, автоматизированы также бойлерные установки на теплоэлектроцентралях.

За послевоенные годы длина магистральных тепловых сетей возросла почти в 2,6 раза, а отпуск тепловой энергии в 2,9 раза.

За последние годы турбогенераторы мощностью от 25 до 100 тыс. *квт* выпускаются только с водородным охлаждением.

Задача повышения устойчивости работы энергосистем успешно решалась путем применения автоматического регулирования возбуждения генераторов, установки новых типов быстродействующих защит, автоматической разгрузки си-

стем по частоте, самосинхронизации и других мероприятий.

В электротехнических устройствах нашли широкое применение воздушные выключатели, комплектные распределительные устройства, синхронные компенсаторы с упрощенными схемами пуска. Почти во всех кабельных сетях с напряжением 6 и 10 *кв* установлены дугогасящие катушки, применение которых позволило резко увеличить надежность работы кабельных сетей.

На электростанциях и подстанциях устанавливаются более крупные агрегаты, что позволило быстрее наращивать энергетические мощности. Широко стали применяться паровые турбины и генераторы мощностью 50—100 тыс. *квт*, однофазные трансформаторы мощностью 60 тыс. *кВа* с высшим напряжением 220 *кВа*, синхронные компенсаторы мощностью 37,5 тыс. *кВа*, котельные агрегаты производительностью 230 *т* пара в час. На тепловых электростанциях освоено сжигание промпродуктов (отходов от углеобогажительных фабрик) и углей с повышенной зольностью и влажностью (башкирские и александрийские угли, сланцы). В значительной мере механизированы угольные склады станций путем установки на них кранов-перегрузателей большой производительности и транспортеров, а также применения грейферных кранов на гусеничном ходу, бульдозеров и других механизмов. Почти на всех тепловых станциях механизировано золоудаление, очистка дымовых газов электростанций осуществляется электрофильтрами, батарейными циклонами, жалюзийными золоуловителями. За последнее время находит применение простая по конструкции система мокрого золоулавливания (скрубберы).

В эксплуатации энергетических установок нашла применение система централизованного ремонта оборудования, а также механизация ремонтных работ (краны и подъемники в котельных цехах, подъемные приспособления у отдельных механизмов, электрифицированный инструмент). Разработан и внедрен ряд новых методов профилактических испытаний оборудования.

Проведенная работа позволила значительно увеличить надежность электроснабжения потребителей, снизить удельный расход условного топлива на выработанный киловаттчас, удельную численность персонала на установленные 1 000 *квт* и себестоимость киловаттчаса. Так, за период с 1950 по 1955 г. удельный расход условного топлива снижен с 541 до 497 *г* на выработанный киловаттчас, удельная численность персонала — на 28% и себестоимость киловаттчаса — на 20%.

За последние годы работниками энергетики, научно-исследовательских организаций и промышленности проведены крупные работы, позволившие приступить к осуществлению ряда новых энергетических установок. Заканчивается строительство первой линии электропередачи 400 *кв*,

для которой промышленностью разработано и изготавливается все необходимое оборудование. Сооружена и осваивается первая тепловая электростанция с турбоагрегатами 150 тыс. кВт на сверхвысокие параметры пара: 170 ата и 550° С. Освоены установки продольной компенсации на линиях 110 и 220 кв. Сооружаются кабельные линии 110 кв, выполняемые в стальных трубах под давлением масла или маслonaполненным кабелем. Организованы и широко проводятся работы по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения. Проходят промышленную проверку установки ионного возбуждения гидрогенераторов, комплектные подстанции 35/6 кв, установки глубокого химического обессоливания природных вод, циклонные топки котлов. В ближайшее время начнется сооружение опытной промышленной установки энерготехнологического использования топлива и ряда других установок, которые должны найти применение при сооружении новых электростанций и сетей.

Дальнейшее развитие энергетики будет идти по пути укрупнения и объединения существующих энергосистем и создания объединенной энергосистемы Европейской части Советского Союза. Преимущества такого укрупнения и объединения очевидны и на них нет необходимости останавливаться.

Увеличение надежности энергоснабжения потребителей и повышение устойчивости работы энергосистем должны обеспечиваться не только применением всевозможных автоматических устройств, но и резким увеличением темпов развития электрических сетей всех напряжений и широким применением для транзитных линий и линий связи между отдельными энергосистемами напряжений 150, 220 и 400 кв. Особенно значительна роль мощных связей между энергосистемами, имеющими крупные гидроэлектростанции, способные в аварийных случаях за счет использования емкости своих водохранилищ быстро набрать полную мощность даже в период минимального водотока.

Мощности современных энергосистем таковы, что уже сейчас имеется возможность строить электростанции с турбоагрегатами 100, 150 и 200 тыс. кВт и котлами производительностью 440 т пара в час. Основным типом электростанций будут станции с турбоагрегатами мощностью 100 и 150 тыс. кВт, с повышенными параметрами пара: 130 ата и 535° С, с применением промежуточного перегрева пара и с упрощенными схемами коммутации (блок котел — турбина или два котла — турбина). Будет сооружаться несколько станций с такими же параметрами пара, но с турбоагрегатами 200 тыс. кВт. Переход от применяемых сейчас параметров пара (90 ата, 500° С) к повышенным (130 ата и 535° С) при промежуточном перегреве пара позволит снизить расход топлива на 7,5%.

Увеличение единичных мощностей основного оборудования позволит быстрее наращивать мощности, снизить стоимость электростанций. Эксплуатация станций с крупным оборудованием

потребуется меньшего количества обслуживающего персонала.

Работа по дальнейшему снижению удельного расхода топлива будет проводиться и на существующих электростанциях путем модернизации их оборудования и осуществления на станциях среднего давления «надстроек» высокого и сверхвысокого давления. Работа по совершенствованию эксплуатации должна вестись систематически. Существенное снижение удельных расходов топлива будет достигнуто в результате выполнения намеченных мероприятий по увеличению доли электроэнергии, вырабатываемой в теплофикационном режиме, путем повышения использования отборов пара турбин.

Сооружение надежных и экономичных тепловых электростанций требует не только оборудования на новые параметры пара, но и турбин, котлов и вспомогательного оборудования с более высокими к. п. д. Проведенные научно-исследовательские работы и конструктивные проработки показывают, что возможно создать турбины с к. п. д., на 3...4% превышающим к. п. д. выпускаемых турбин, котлы для сжигания бурых углей с к. п. д. до 90...92% и для сжигания антрацитового штыба и тощих углей с к. п. д. до 87...91%. Вспомогательное оборудование (дымососы, вентиляторы, насосы) должно изготавливаться с к. п. д. не ниже 75...80%. Конструкция нового оборудования должна предусматривать его поставку на строительные площадки блоками, что позволит, как показывает опыт, значительно сократить сроки монтажа оборудования.

Применение на электростанциях схемы блока котел — турбина или два котла — турбина настоятельно требует создания более надежного котла, равнопрочного турбине. С этой целью должны быть пересмотрены конструкция и технология изготовления наиболее слабых элементов котла — водяных экономайзеров, пароперегревателей, регуляторов температуры перегретого пара, воздухоподогревателей, и особенно должно быть улучшено качество пароводяной арматуры.

Имеющийся опыт автоматизации отдельных технологических процессов на электростанциях и комплексной автоматизации котельных цехов подтверждает возможность создания полностью автоматизированных электростанций. Для успешного внедрения комплексной автоматизации новые конструкции оборудования должны быть органически приспособлены для автоматической работы.

Основные трудоемкие процессы (разгрузка угля из вагонов, обдувка поверхностей нагрева котлов и удаление шлака из топок котлов) должны быть механизированы. На гидроэлектростанциях, помимо агрегатов, нужно полностью автоматизировать все гидромеханическое оборудование.

Осуществление объединения энергетических систем Европейской части СССР потребует широкого внедрения линий электропередачи 400 кв, осуществления первой промышленной передачи постоянного тока высокого напряжения и зна-



чительного увеличения числа линий напряжением 220 кВ. Дальнейшее объединение для параллельной работы крупнейших электростанций и энергосистем требует значительного увеличения отключающей способности выключателей. Уже сейчас необходимы выключатели с отключающей способностью для напряжения 220 кВ — 8...10 млн. кВА, 154 кВ — 5...7 млн. кВА, 110 кВ — 5...7 млн. кВА и 35 кВ — 1,5...2 млн. кВА. Конструкция новых выключателей должна предусматривать устройства для ограничения перенапряжений, возникающих при отключении ненагруженных трансформаторов и линий, до  $2...2,5U_{фн}$ .

Дальнейшее освоение гидроэнергетических ресурсов Сибири и развитие энергосистем требует передачи больших количеств электроэнергии более чем на 1 000 км. Научно-исследовательские организации и промышленность должны начать разработки по применению для электропередач напряжения 500...600 кВ.

Для снижения стоимости электрических установок, а в ряде случаев и для увеличения устойчивости параллельной работы должны применяться автотрансформаторы. Увеличение пропускной способности линий электропередачи должно производиться путем повышения их напряжения до следующей его ступени, что также в отдельных случаях возможно осуществить путем установки автотрансформаторов в начале и конце линии, без коммутационной аппаратуры. Стоимость осуществления такого варианта перевода линии 110 кВ на напряжение 154 кВ равна стоимости сооружения второй цепи протяженностью 40...50 км.

Особое внимание должно быть обращено на повышение качества электроэнергии и снижение потерь в сетях. Применение трансформаторов с автоматической регулировкой напряжения под нагрузкой как в магистральных, так и в распределительных сетях и установка у потребителей батарей статических конденсаторов позволит наиболее экономично достигнуть хороших результатов в этом направлении. Достаточно сказать, что установка 100 квар статических конденсаторов, снижающих потери в сетях на 10 кВт, стоит 7 500 руб., а установка на станции средней величины соответствующей мощности для покрытия тех же 10 кВт потерь обходится около 25 тыс. руб. Кроме того, на покрытие потерь станция ежегодно будет расходовать определенное количество топлива.

Быстрейшее развитие электросетей потребует разработки таких конструкций опор и фундаментов для линий электропередачи, которые позволили бы в максимальной степени применить индустриальные методы строительства. Конструкции опор должны быть сведены к небольшому числу типов с тем, чтобы для их изготовления можно было использовать пять — восемь профилей металла. При проектировании и строительстве новых линий должно быть уделено особое внимание максимальному снижению эксплуатационных расходов, что может быть обеспечено путем применения железобетонных опор, устойчивых покрытий или оцинковки металлических опор, строитель-

ства деревянных опор только на железобетонных пасынках, а также применения более совершенной арматуры и соединителей.

При проектировании подстанций должны применяться упрощенные схемы электрических соединений, главным образом с одной системой шин, комплектные распределительные устройства, автоматизация и телемеханизация. Большинство подстанций нужно сооружать для работы без дежурного персонала или с дежурством персонала на дому. Многие подстанции напряжением до 110 кВ, особенно для глубокого ввода и питания сельскохозяйственных потребителей, должны присоединяться к линиям электропередачи при помощи ответвлений с установкой на стороне высокого напряжения вместо выключателей разъединителей, способных отключать токи холостого хода трансформаторов и ненагруженных линий. Нужно смелее применять оперативный переменный ток, что позволит резко снизить потребность в аккумуляторных батареях и кабеле. Перечисленные мероприятия позволят резко упростить сооружение подстанций и снизить их стоимость. Необходимо шире внедрять комплексную автоматизацию и телемеханизацию целых районов воздушных и кабельных сетей.

Новые тепловые электростанции должны иметь минимальное количество обслуживающего и ремонтного персонала. В топливно-транспортных цехах крупных станций занято около 15% общего числа работающих на станции. Применение ваганопроектировщиков, электровозной тяги, пневматических устройств для открытия и закрытия люков в полувагонах позволит значительно уменьшить (в 3—5 раз) численность персонала этих цехов. Централизация управления блоками котел — турбина и цехами и автоматизация процессов обдувки поверхностей нагрева, удаления шлака и золы из котельных агрегатов, а также большая автоматизация регулирования других процессов позволят провести дальнейшее сокращение численности вахтенного персонала.

Весьма важным является получение от машиностроительной промышленности агрегатов, могущих иметь длительную рабочую кампанию. Особенно это относится к новым типам котельных агрегатов, предназначенных для сжигания высококалорийных и сернистых топлив, и котельно-вспомогательному оборудованию — мельницам, мельничным вентиляторам, дымососам, аппаратам гидрозолоудаления и насосам. Удлинение рабочей кампании котла до 2 500...3 500 час позволило бы сократить количество ремонтного персонала до 25% общей численности персонала станции против 35% в настоящее время. Снижение численности ремонтного персонала должно идти также по пути более широкого внедрения централизованного ремонта во всех областях энергетики — на тепловых и гидравлических электростанциях, в электрических сетях, на подстанциях.

Существующая система обходов линий электропередачи и обслуживания почти всех подстанций дежурным персоналом должна быть пересмотрена в сторону упрощения. Опыт эксплуатации показывает, что увеличение периодичности

# Задачи электротехнической промышленности на современном этапе

Н. И. БОРИСЕНКО

Заместитель министра  
электротехнической промышленности СССР

Электротехническая промышленность, по существу, сложилась в годы советской власти, вырастила свои многочисленные квалифицированные кадры рабочих и специалистов, создала научно-исследовательские и экспериментальные базы, превратившись тем самым в крупную хорошо оснащенную отрасль промышленности, способную производить сложнейшее современное уникальное электрооборудование и удовлетворять быстро растущие потребности в нем.

Оборудование, созданное отечественной электротехнической промышленностью, составило значительную часть материальной базы, которая обеспечивает выработку советской энергетикой электрической энергии в размерах, предусмотренных пятилетними планами развития народного хозяйства, и позволяет широко внедрять этот вид энергии во все отрасли народного хозяйства — промышленность, транспорт, сельское хозяйство, а также в быт.

Советское электромашиностроение сыграло большую роль в подъеме и реконструкции всех отраслей народного хозяйства.

Электротехническая промышленность в короткие сроки восстановила довоенный уровень производства, затем значительно превысила его на более высокой технической базе. Объем валового выпуска продукции в 1955 г. вырастет по сравнению с выпуском довоенного 1940 г. в 8 раз.

В 1952 г. было освоено производство турбогенераторов с водородным охлаждением мощностью 150 тыс. *квт* в единице, которые успешно эксплуатируются. Для Куйбышевской гЭС и линии электропередачи напряжением 400 *кв* Куйбышев — Москва разработаны, освоены и выпускаются уникальные гидрогенераторы мощностью 105 тыс. *квт* при 68,2 *об/мин* с давлением на пяту

3,5 тыс. *т*, синхронные компенсаторы для наружной установки мощностью 75 тыс. *кВа* с водородным охлаждением, трансформаторы мощностью 123 000 *кВа* в одной фазе, воздушные выключатели (рис. 1), разъединители (рис. 2), трансформаторы тока (рис. 3), трансформаторы напряжения, разрядники, реакторы, конденсаторы продольной компенсации и другое современное электрооборудование.

Железнодорожному и городскому транспорту электропромышленность поставляет магистральные электровозы, электрооборудование для тепловозов, метрополитена, трамваев, дизельэлектрических автобусов, троллейбусов, пригородных железных дорог. Ведутся работы, связанные с электрификацией железных дорог на однофазном переменном токе промышленной частоты напряжением 22 *кв*. Успешно закончены испытания изготовленного электропромышленностью мощного электровоза на переменном токе с ионными преобразователями (рис. 4). Изготовлены новые восьмиосные электровозы постоянного тока мощностью 4 200 *квт* (рис. 5), а также новое электрооборудование для вагонов метро и трамвайных вагонов с автоматическим управлением и рекуперативным торможением. Предприятиями электротехнической промышленности разработано и поставляет современное электрооборудование для всего цикла металлургического производства: автоматической загрузки доменных печей, электропечей, прокатных станов (рис. 6), вспомогательных устройств, а также весь комплекс электрооборудования для механизированной добычи угля, нефти, руды и т. д.

Для строек народного хозяйства разработаны и изготавливаются совершенные высокопроизводительные конструкции электросварочного электро-

---

обходов линий позволяет сократить численность обходчиков, а автоматизация подстанций — отказаться уже сейчас на многих из них от постоянного дежурства.

Проектным организациям предстоит пересмотреть нормы технологического проектирования на основе имеющегося опыта строительства и эксплуатации. Созданные в соответствии с этими нормами энергетические установки должны быть более надежными и более дешевыми, должны требовать меньшего времени на сооружение, меньших эксплуатационных расходов и меньшей численности персонала для своего обслуживания.

Подъем нашей энергетики на более высокий технический уровень требует применения более совершенного и надежного оборудования. Промышленность тяжелого машиностроения, машиностроения и приборостроения, электротехническая промышленность обязаны расширить номенклатуру оборудования для энергетических установок. Организация выпуска нового оборудования в короткие сроки поможет энергетикам успешно решить важнейшую задачу, поставленную Партией и Правительством, по опережению энергетикой развития остальных отраслей промышленности.

[25. 5. 1955]



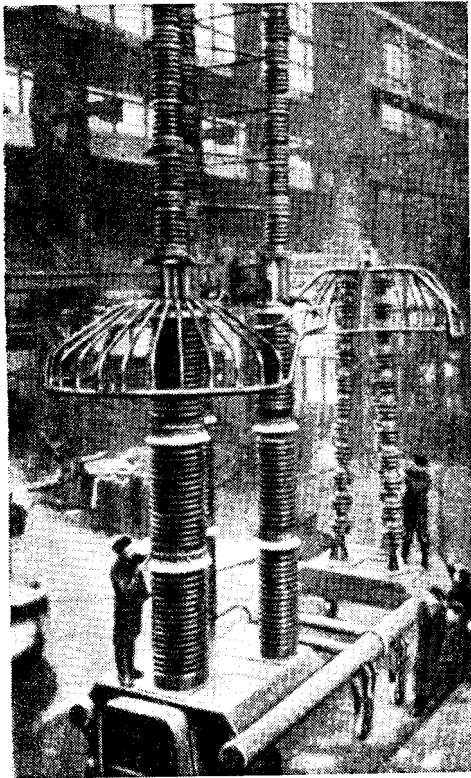


Рис. 1. Воздушный выключатель на 400 кв.

Освоено производство лабораторных приборов переменного тока класса 0,1; 0,2; 0,5, постоянного тока класса 0,2 и 0,5, универсальных малогабаритных переносных приборов постоянного и переменного тока, приборов особо высокой метрологической точности — компенсаторов, потенциометров и образцовых катушек сопротивления (до 0,02% точности и 0,003% стабильности) и многих других. Только за годы пятой пятилетки объем производства электроизмерительных приборов вырос более чем в 4 раза, но все же электроприборостроительная промышленность пока не покрывает еще всех потребностей нашей страны в приборах. Основной задачей электроприборостроителей на ближайшее время является создание единых серий электроизмерительных приборов переменного и постоянного тока, разработка и внедрение в производство более точных и совершенных приборов, а также продолжение работ с целью повышения стабильности и долговечности приборов.

Рентгеновские и гамма-излучения заняли прочное место в практике работы научно-исследовательских институтов, заводов, клиник, больниц, амбулаторий, заводских лабораторий. Для удовлетворения разнообразных запросов этих организаций предприятия Министерства электротехнической промышленности разработали и выпускают стационарные, передвижные и переносные диагностические и терапевтические рентгеновские аппараты, рентгеновскую аппаратуру для дефектоскопии, структурного и спектрального анализа, а также гамма-аппаратуру.

Эта аппаратура дает возможность советским ученым, врачам определять паталогические отклонения человеческого организма от нормы, лечить

оборудования (рис. 7): сварочные трансформаторы, машины контактной сварки, автоматы дуговой сварки, автоматы для сварки арматурных каркасов, арматурных сеток, звеньев цепей и др.

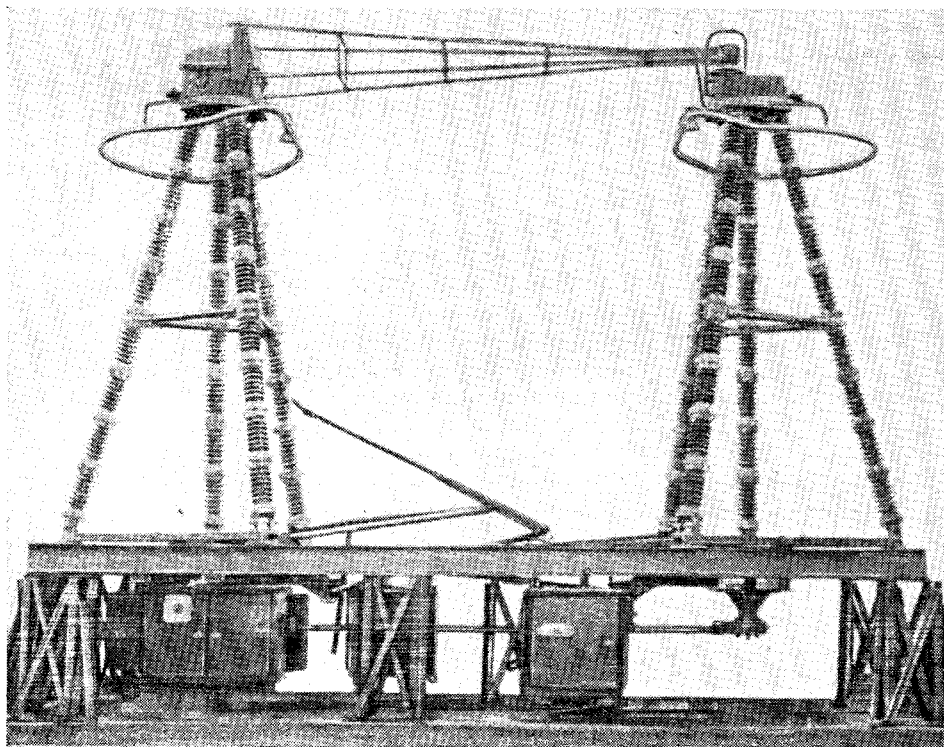


Рис. 2. Разъединитель на 400 кв.

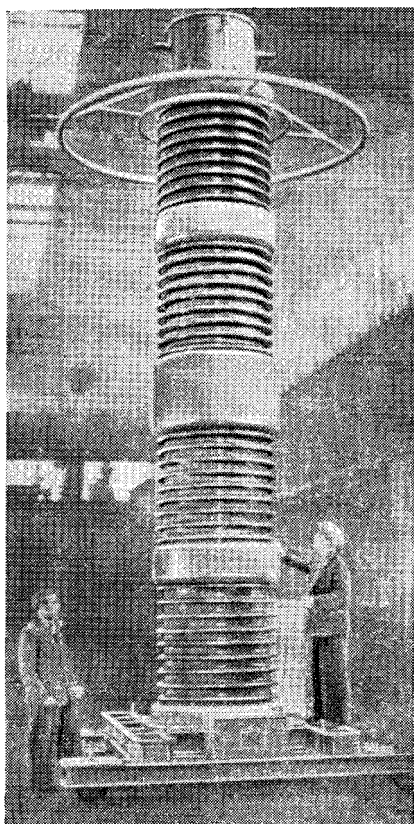


Рис. 3.

рентгеновскими и гамма-лучами, а инженерам находить пороки в изделиях, главным образом в металлах (литье, сварка), изучать кристаллическую структуру материалов, определять химический состав сложных химических соединений и т. д.

Заводы электротехнической промышленности выпускают также электрохимические источники тока, силовые кабели на напряжение до 110 кВ включительно, электропечи, провода на различные напряжения и различных сечений, электрофарфоровые изделия, электроосветительную аппаратуру, бытовые электрические приборы и многие другие электротехнические изделия различного назначения.

Однако в электропромышленности имеется ряд крупных недостатков, тормозящих дело технического прогресса.

Возросшие технические запросы энергетического хозяйства страны, вызванные увеличением мощностей тепловых электростанций и гидроэлектростанций, передачей громадных количеств электроэнергии на большие расстояния, необходимостью создания в будущем энергосистем, охватывающих значительные пространства единой высоковольтной сетью, требуют от электротехнической промышленности более совершенных электрических машин, аппаратуры, автоматических устройств, электроизмерительных приборов, кабелей и прочего электрооборудования. Одной из первоочередных технических задач электротехнической промышленности является разработка и освоение: турбогенераторов мощностью до

300 тыс. кВт в единице при скорости вращения 3 000 об/мин; гидрогенераторов мощностью 250 тыс. кВА для сибирских гидроэлектростанций; комплекса электрооборудования переменного тока на напряжения, еще более высокие, чем 400 кВ; комплекса электрооборудования для передачи электроэнергии постоянным током высокого напряжения; мощных силовых трансформаторов; высоковольтной выключающей аппаратуры, рассчитанной на отключение огромных токов короткого замыкания проектируемых мощных энергосистем.

Усовершенствование электроприводов, в частности для металлургической промышленности, требует от электротехнической промышленности перехода на новую более износоустойчивую низковольтную аппаратуру управления (контакты, автоматы, реле, командоаппараты, контроллеры и др.) с широким применением высококачественных металлокерамических контактов и магнитных сплавов, синтетической теплостойкой изоляции проводов и катушек, а также перехода на бесконтактную систему управления приводами и, следовательно, разработки серии магнитных усилителей и других элементов бесконтактной автоматики. Одновременно значительно расширится область применения ртутных выпрямителей взамен двигатель-генераторов для регулируемых и реверсивных электроприводов.

В электроприводах металлургических прокатных станов в связи с увеличением мощностей электросетей и питающих подстанций предстоит перейти от асинхронных двигателей с маховиками на применение синхронных двигателей мощностью 10 тыс. кВт и выше на напряжение 10 кВ, имеющих лучшие характеристики, а также в кратчайший срок закончить внедрение в производство рольганговых электродвигателей на кремнийорганической изоляции.

Для удовлетворения нужд угольной и нефтяной промышленности надлежит закончить разработку и освоить производство новых единых серий асинхронных электродвигателей повышенной на-

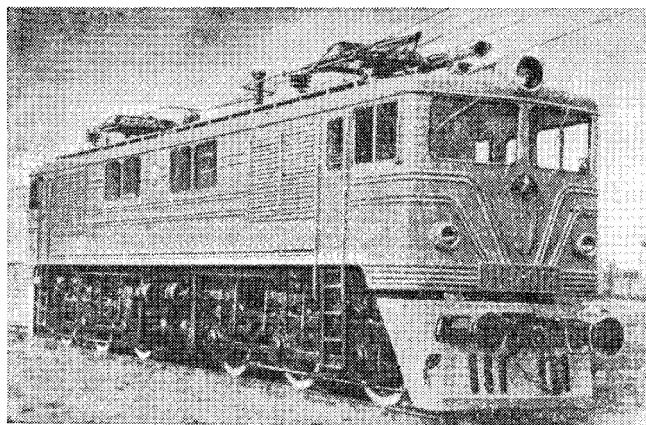


Рис. 4. Опытный шестиосный электровоз переменного тока 50 Гц, 20 000 в с ионным преобразователем (игнитронами).

Спешной вес — 130 т, часовая мощность — 2 400 кВт, часовая скорость — примерно 40 км/час, максимальная скорость — 75 км/час.

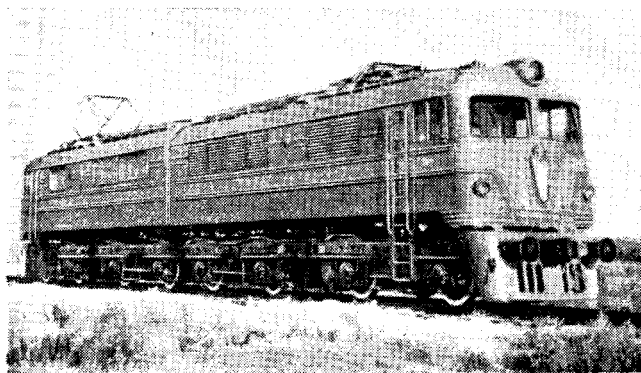


Рис. 5. Восьмиосный грузовой электровоз постоянного тока 3 000 в.

Сцепной вес — 180 т, часовая мощность — 4 200 квт, часовая скорость — 42 км/час, максимальная скорость — 90 км/час.

дежности мощностью до 250 квт с пусковой аппаратурой, погружных и взрывобезопасных двигателей, взрывобезопасных сухих шахтных трансформаторов и передвижных электростанций комплектно с пускораспределительной аппаратурой, штепсельных разъединителей, кнопок управления, легких гибких негорючих кабелей, осветительной аппаратуры и аккумуляторов.

В области электрификации железнодорожного транспорта потребуется создание новых конструкций мощных магистральных электровозов, в том числе на переменном токе напряжением 22 кв, 50 гц, пассажирского электровоза с максимальной скоростью 130 ... 140 км/час, промышленных электровозов для открытых угольных разработок, для работы в составе с самоходными думпкарами, электровоза на переменном токе для торфоразработок, а также электрооборудования моторвагонных секций пригородных поездов.

Следует подчеркнуть необходимость более активного участия электротехнической промышленности в электрификации сельского хозяйства.

Пути и направления решения этих задач заключаются в усовершенствовании и создании новых конструкций изделий с полным использованием электрофизических и механических свойств применяемых материалов, а также в резком сокращении сроков внедрения новых изделий, в применении новых изоляционных и магнитных материалов, в максимальной унификации и нормализации узлов и деталей, в расширении номенклатуры изделий с целью еще большего охвата электроприводами новых областей народного хозяйства и удовлетворения возрастающих требований к ним, в разработке и освоении производства единых серий электрических машин, аппаратов, приборов и других изделий.

Заводам электротехнической промышленности следует решительно провести в короткие сроки работы, направленные на повышение уровня механизации и автоматизации производственных процессов, работы по ликвидации не изжитых до сих пор упущений в технологии. Ближайшими мероприятиями во всех отраслях электротехнической промышленности должно быть предусмотрено быстрое преодоление отставания по техниче-

ским характеристикам ряда изделий и оборудования от лучших образцов зарубежного производства. Идет речь о разработке конкретных технических предложений, имеющих целью улучшение качества и основных технических показателей (экономичность, производительность, вес, габариты, степень автоматизации и т. д.) электрооборудования. На июльском Пленуме ЦК КПСС были вскрыты факты завышенных веса и габаритов ряда выпускаемых электропромышленностью машин и аппаратов, было указано на медленное внедрение новых материалов, например, кремний-органической изоляции.

Технические задачи в области изоляции, как наиболее важного и решающего элемента в конструкции любого изделия электротехнической промышленности, весьма значительны. Министерство химической промышленности, должно в крат-

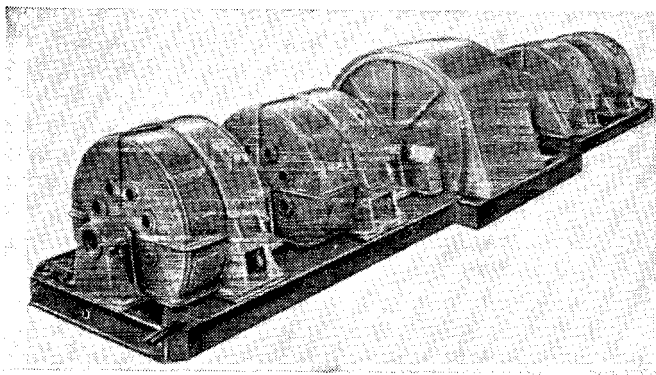


Рис. 6. Пятимашинный агрегат стана 2800 МАП.

Один синхронный двигатель МС-15/8, 6500 квв (5000 квт), 1000 в, 750 об/мин,  $\cos \varphi = 0,8$ ; два генератора постоянного тока типа ПБК-120/45, 2 130 квт, 830 в, 750 об/мин; два генератора постоянного тока типа ПБК-120/27, 1 100 квт, 660 в, 750 об/мин.

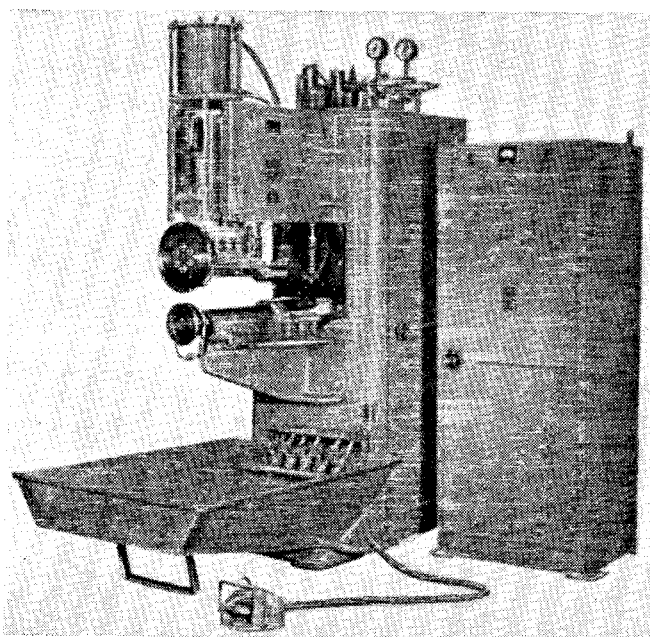


Рис. 7. Сварочный агрегат завода „Электрик“. Мощность—150 квв, скорость сварки—до 4 м/мин, толщина свариваемого материала—около 2 мм.

чайший срок организовать массовое производство таких материалов, как эпоксидные смолы, кремнийорганические каучуки и смолы, смолы типа лавсан, резольно-капроно-лаки и др.

Применяемая до сих пор в электротехнических изделиях изоляция на органической основе естественного происхождения (хлопчатобумажные ткани и пряжа, растительные масла, битумы и т. д.), допускающая нагрев не свыше  $105^{\circ}\text{C}$ , должна быть заменена более теплостойкой и механически более прочной синтетической изоляцией, допускающей нагревы до  $180 \dots 200^{\circ}\text{C}$  и еще более высокие для особых случаев.

Уменьшение толщины изоляции обмоточных проводов с одновременным повышением теплостойкости и механической прочности может быть осуществлено, например, применением взамен хлопчатобумажной пряжи, образующей изоляционную оболочку около  $0,3 \text{ мм}$ , высокопрочной эмалевой изоляции толщиной около  $0,08 \dots 0,10 \text{ мм}$ , а уменьшение толщины пазовой изоляции электрических машин — за счет применения термически, механически и электрически более прочных электроизоляционных материалов, например синтетических пленок взамен применяемых в настоящее время электрокартонов, лакотканей и др. Проведение этих работ не терпит отлагательства; они должны быть выполнены в кратчайшие сроки.

Применение новых видов изоляции позволит повысить мощность электродвигателей в тех же габаритах, сэкономить народному хозяйству сотни тонн остродефицитных материалов, а также создать новые электрические машины и аппараты, более надежные в эксплуатации.

Опыт применения кремнийорганических лаков в композиции со стекловолкнистыми материалами для изоляции обмоток электродвигателей врубных машин и угольных комбайнов показал существенные преимущества такого типа изоляции. Выход из строя этих электродвигателей из-за перегрева обмоток снизился в несколько раз. Применение теплостойкой изоляции позволит допускать для электродвигателей и генераторов значительные более длительные перегрузки, чем это имеет место теперь. В эксплуатации это обстоятельство чрезвычайно важно. Правильный выбор мощности электропривода, учитывающий эту важную особенность теплостойкой изоляции, даст народному хозяйству громадный экономический эффект.

Необходимо также усиленно работать над повышением эффективности действия охлаждающей среды турбогенераторов, гидрогенераторов и крупных электрических машин. Рациональное распределение потока, масс и скоростей охлаждающих сред по элементам конструкции электрических машин может дать значительное увеличение мощности, приходящейся на единицу веса конструкции. Можно ожидать в некоторых случаях дости-

жения увеличения мощности за счет охлаждающих сред до  $30\%$ .

Применение электротехнической стали с малыми электрическими и магнитными потерями также должно быть положено в основу конструкций серий электрических машин. Должны быть разрешены технологические задачи отжига электротехнической стали, изоляции листов, сборки пакетов, механической обработки с целью приблизить величину удельных потерь в стали собранного статора к потерям, определяемым в образцах динамной стали. В настоящее время, как известно, эта разница достигает значительных размеров, например в двигателях единой серии типа А потери в стали зубцов возрастают на  $80\%$ , а в стали спинки статора на  $60\%$  по сравнению с рассчитанными по удельным потерям данной марки стали.

Внедрение в производство передовой, прогрессивной технологии должно привести к увеличению производительности труда, снижению себестоимости, повышению надежности и долговечности изделий, а также значительному улучшению внешнего вида продукции.

Для этого необходимо:

1) осуществить специализацию заводов для организации массового производства с учетом экономических факторов и районирования, а также выделить специализированные заводы по централизованному изготовлению крепежа, нормализованных деталей и изоляционных материалов;

2) при разработке новых изделий с целью снижения их трудоемкости, а также экономии материалов ориентироваться на сварно-штампованные и сварно-литые конструкции, детали и узлы которых должны изготовляться методами прогрессивной технологии (штамповка, литье под давлением, электросварка и др.), а также шире применять пластмассы, профильные материалы и т. д.;

3) при изготовлении заготовок перейти на такие высокопроизводительные методы, как корковое литье, литье в выплавляемые модели, кокильное литье, литье под давлением, холодная и горячая штамповка и др.;

4) шире внедрять механизацию и автоматизацию литейных, штамповочных, обмоточных, сушильно-пропиточных и других процессов, а также максимально автоматизировать испытание изделий крупносерийного и поточного производства;

5) организовать конвейерные и поточные линии по производству деталей, узлов и изделий;

6) максимально оснастить заводы агрегатными станками и автоматическими поточными линиями.

Работники электротехнической промышленности приложат все усилия для того, чтобы успешно решить поставленные перед ними задачи по освоению новейшей техники и передовой, прогрессивной технологии.



# Научно-технические вопросы электропривода

Доктор техн. наук, проф. М. Г. ЧИЛИКИН, доктор техн. наук, проф. А. Т. ГОЛОВАН

Московский энергетический институт им. Молотова

Кандидат техн. наук, доц. И. И. ПЕТРОВ

Всесоюзный заочный энергетический институт

**Исторический очерк развития электропривода.** В первой половине XIX в. русский академик Б. С. Якоби (1801—1874) создал электродвигатель постоянного тока с вращательным движением, при помощи которого в 1834—1838 гг. он осуществил движение катера на реке Неве.

Уже на этой, весьма несовершенной модели электропривода обнаружилось его преимущества по сравнению с господствующим в то время паровым приводом. Однако вследствие несовершенства электродвигателей, а главное — неэкономичности источника электроэнергии того времени — гальванической батареи — работы Б. С. Якоби и его последователей не получили практического применения.

Вопросы электропривода были поставлены вновь лишь во второй половине XIX в. после создания электромагнитного генератора, экономичного источника энергии для питания электродвигателей. Это время было характерно для России рядом достижений в области электропривода. Так, русский изобретатель А. П. Давыдов в 1867 г. создал электропривод в форме синхронно-следящей системы для управления артиллерийским огнем. Система осуществляла слежение орудия за движущейся целью с коррекцией, обеспечивающей необходимый угол возвышения орудия в зависимости от расстояния до цели. Система А. П. Давыдова, намного опередившая иностранную технику, была использована на судах «Россия» и «Веста» (1877) и несколько позже в Выборгской крепости. К практическим работам того времени относятся также труды по электроприводу выдающегося русского электротехника В. Н. Чиколева (1845—1898). Им создан сервопривод постоянного тока для дуговых ламп (1879), а также электропривод швейной машины (1882) и вентилятора (1886). В конце XIX в. электропривод постоянного тока получил некоторое распространение на городских железных дорогах (трамвай) и на морских судах. Следует отметить первый рулевой электропривод на броненосце «12 апостолов» (1892), первую электролебедку для подъема грузов на транспорте «Европа» (1897), электровентиляторы на крейсерах «Лейтенант Ильин», «Адмирал Нахимов» и др. (1896).

Эти достижения в разработке электроприводов отдельных механизмов были лишь решением частных, разрозненных задач и не затрагивали основного вопроса о вытеснении с фабрик и заводов парового привода с механической системой распределения энергии. Огромный шаг в этом направлении сделал крупнейший русский электротехник того времени профессор Дмитрий Александрович Лачинов (1842—1902).

В год основания журнала «Электричество» (1880) Д. А. Лачинов опубликовал на его страницах (в № 1, 2, 5, 6 и 7) свой капитальный труд

«Электромеханическая работа». В этом труде убедительно вскрыты преимущества электрического распределения механической энергии — электропривода по сравнению с механическим распределением. «Изобретение динамо-электрической машины», — писал Лачинов, — «выдвинуло на первый план вопрос о получении работы посредством гальванического тока, который казался похороненным под развалинами неудачных электрических машин, столь мало отвечающих надеждам изобретателей. Но почему же электродвижение, над которым в последние десятилетия трудились столько выдающихся умов, давало до сих пор лишь жалкие результаты, способные обескуражить самых пламенных его адептов? Главная причина этого явления лежит не в электродвигателях, из которых многие были удовлетворительны, но в самом способе добывания электричества»<sup>1</sup>.

Указав на возможность получения относительно дешевой электроэнергии при помощи динамо-электрических машин, он писал далее: «Прилагая паровую (или всякую другую) силу к динамо-электрической машине, мы получим ее почти всю в форме гальванического тока, который будет обходиться, таким образом, в слишком двадцать раз дешевле обыкновенного»<sup>1</sup>. Ничем не отличаясь по качествам от этого последнего, он может с огромною выгодой заменить его во всех технических применениях, как-то: в электрическом освещении, гальванопластике, телеграфии и, наконец, в *электродвижении* (курсив Лачинова). В этом последнем наиболее интересном случае вопрос принимает новую, довольно оригинальную форму: в одном пункте мы пользуемся паровой (или какой-либо иной) силой для вращения динамо-электрической машины и полученный, таким образом, ток проводим, посредством проволок в другой, более или менее удаленный пункт, где заставляем его действовать на машину Сименса или Грамма, которая, наконец, и производит требуемую механическую работу. Электродвижение является здесь, следовательно, в форме *передачи механической работы посредством электричества*» (курсив Лачинова).

Обладея большим даром научного предвидения, Д. А. Лачинов считал, что электрическая передача работы «...представляет едва ли не самую интересную и многообещающую область электротехники».

Таких же взглядов придерживался и другой выдающийся электротехник того времени В. Н. Чиколев. В заметке, опубликованной им в № 3—4 журнала «Электричество» за 1882 г. «По поводу статей гг. Лачинова и Булыгина», — он писал: «Несомненно, в самом близком буду-

<sup>1</sup> Имеется в виду получение электроэнергии от гальванических батарей.

щем осуществится канализация электричества в больших городах и, параллельно с освещением, в меньшем объеме, электричество будет разносить в мастерские, типографии, магазины, семейные квартиры двигательную силу от самых микроскопических до грандиозных размеров...».

Помимо обоснований преимуществ электропривода, Д. А. Лачинов в своем труде впервые провел исследование важных вопросов теории электропривода. Им дано выражение для механической характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением, рассмотрены условия питания двигателя от генератора и дана классификация электрических машин по способу возбуждения.

Эта выдающаяся работа Д. А. Лачинова заложила первые основы науки об электроприводе, которая позднее была доведена до современного состояния трудами главным образом советских ученых.

Все это дает основание возникновение науки об электроприводе датировать годом опубликования работы Д. А. Лачинова — 1880 г.

Начатая работой Д. А. Лачинова пропаганда электропривода была продолжена журналом «Электричество», а также в выступлениях представителей электротехнической общественности на всероссийских электротехнических съездах. Этот период характерен для России некоторым развитием электропривода постоянного тока. Так, А. В. Шубин разработал электропривод по системе генератор — двигатель для рулевого устройства, установленный в дальнейшем (1899—1905) на броненосцах «Князь Суворов», «Слава» и др. К концу XIX в. на подмосковных текстильных фабриках работало значительное количество двигателей постоянного тока, а в некоторых городах (Киеве, Казани и Нижнем Новгороде) уже действовал трамвай.

Особенно знаменательным для развития электропривода было последнее десятилетие XIX в. В 1893 г. замечательный русский ученый и инженер Михаил Осипович Доливо-Добровольский (1862—1919) создал систему трехфазного тока и изобрел трехфазные электродвигатели с контактными кольцами и короткозамкнутым ротором. В результате его работ устранены последние принципиальные технические препятствия к распространению электрической передачи энергии и был создан наиболее простой, надежный и дешевый асинхронный электродвигатель, обеспечивший широкое распространение электропривода во всех странах. Блестящие работы русских электротехников сыграли, таким образом, выдающуюся роль в общем развитии мировой электротехники и техники электропривода. За границей в 1900—1914 гг. создается крупная электротехническая промышленность, осуществляются электроприводы прокатных станков, подъемников, бумажных и других машин. Однако в самой России распространение электропривода шло крайне медленно, с большим отставанием от заграницы. Так, к началу империалистической войны 1914 г. Россия выпускала лишь 2,5% мировой электротехнической продукции, а по выработке электроэнергии

занимала 15-е место в мире. Объяснялось это общей промышленной отсталостью России, зависимостью ее от иностранного капитала и неспособностью правящих классов создать отечественную электропромышленность. В период 1914—1917 гг. электропромышленность России пришла в упадок, что еще больше затормозило развитие электропривода.

Совершенно новые условия сложились для электропривода после Великой Октябрьской социалистической революции.

На основе указания IX съезда партии по инициативе и под руководством В. И. Ленина был разработан план развития народного хозяйства — план ГОЭЛРО. Намеченная этим планом программа реконструкции старых и строительства большого числа новых электростанций, а также укрепления и расширения электропромышленности, как известно, была выполнена досрочно, что создало необходимые условия для безостановочного и нарастающего в темпах развития электропривода, как важнейшего и ведущего фактора в развитии промышленного производства, в первую очередь тяжелой индустрии.

Быстроту, с какой электропривод распространился в производстве, наглядно характеризует значение отношения мощности установленных в стране электродвигателей  $A$  к мощности всех установленных источников двигательной силы  $B$ , а именно коэффициент  $k = \frac{A}{B}$ . Данные табл. 1 показывают рост этого коэффициента по годам. В отдельных отраслях тяжелой индустрии уже во втором пятилетии коэффициент  $k$  достиг почти предельных значений (табл. 2).

Вместе с количественным ростом происходило и качественное развитие электропривода.

В первые годы индустриализации СССР основной задачей электрификации рабочих машин была ликвидация парового и электрического группового привода с присущим ему сложным трансмиссионным хозяйством и замена его более рациональным одиночным электроприводом. К концу 1934 г. групповой трансмиссионный привод практически был повсюду вытеснен одиночным электроприводом. Однако подобная электрификация являлась лишь первым шагом на пути к внедрению электрической энергии в рабочие машины, так как система одиночного электропривода, хотя и обеспечивала для каждой рабочей

Таблица 1

Коэффициент $k$ (1913—1935 гг.)	
Год	$k$ , %
1913	40
1928	51,2
1932	69
1935	80
В настоящее время	Около 100

Таблица 2

Коэффициент  $k$  по отраслям тяжелой индустрии на 1935 г.

Отрасль индустрии	$k$ , %
Угольная . . . . .	94
Цветная металлургия . . . . .	98
Машиностроение . . . . .	95
Химия . . . . .	94



машины индивидуальный электродвигатель, но сохраняла все промежуточные передачи внутри самой машины и оказывала лишь незначительное влияние на автоматизацию рабочего процесса и упрощение конструкции машины. Таким образом, задача вытеснения механического распределения энергии до конца решена не была.

На следующем этапе (1932—1940) на первый план были выдвинуты вопросы, связанные с приближением источников двигательной силы к исполнительным и вспомогательным органам рабочих машин, что являлось предпосылкой к автоматизации технологических процессов. Такое направление в развитии электропривода открывало широкие возможности для повышения производительности труда и экономичности рабочих машин, улучшения качества выпускаемой ими продукции и упрощения их кинематических схем. В 30-х годах стали избегать механических систем распределения энергии внутри машины; каждое движение машины стремились осуществлять от отдельного двигателя. Во избежание неправильного включения электродвигателей в их цепи управления вводились необходимые электрические связи. Таким образом, появился многодвигательный электропривод с блокировочными связями. Эта система электропривода нашла широкое применение во всех отраслях промышленности, особенно в машиностроении, где она является в настоящее время господствующей. Электроприводы современных металлорежущих станков, металлургических механизмов, бумагоделательных и других машин являются классическими примерами многодвигательных приводов.

Параллельно с развитием многодвигательного привода, усовершенствование электропривода проводилось за счет автоматизации процессов пуска, торможения, реверсирования, осуществлявшегося путем широкого применения релейно-контакторной аппаратуры, а также путем замены механического регулирования скорости рабочих машин электрическим регулированием. В 30-х годах начали быстро распространяться асинхронные короткозамкнутые многоскоростные двигатели, регулируемые двигатели постоянного тока, а также система генератор — двигатель. Применение регулируемых двигателей, особенно системы генератор — двигатель, позволило изъять из рабочих машин такие элементы механического управления, как сложные зубчатые передачи, сменные шкивы, фрикционные муфты, кривошипные механизмы и т. п. Расширился диапазон и увеличивалась плавность регулирования скорости рабочих машин. Только система генератор—двигатель позволила решить задачу устранения парового привода в таких мощных машинах, как реверсивные прокатные станы. Первой такой установкой был электропривод блуминга с двигателем мощностью 7 000 л. с., выпущенный заводом «Электросила» в 1931 г. Питание прокатного двигателя осуществлялось от трехмашинного агрегата, состоящего из асинхронного двигателя мощностью 3 680 квт с маховиком и двух генераторов мощностью 3 000 квт каждый. Система управления, разработанная заводом ХЭМЗ, решала задачу автомати-

ческого управления полем генератора и прокатного двигателя, поддержания постоянства момента асинхронного двигателя и т. п. Сооружение подобных электроприводов было в то время доступно лишь немногим иностранным фирмам.

Внося коренные улучшения в производство, многодвигательные и регулируемые приводы явились мощным средством повышения производительности труда и общей культуры производства.

В тех случаях, когда по условиям работы отдельных элементов системы необходимо было обеспечить синхронное вращение двигателей без использования механического вала, стал применяться многодвигательный привод по системе электрического вала, предложенный и разработанный главным образом советскими учеными и инженерами, а также синхронно-следящий привод. В 1937 г. на автомобильном заводе ЗИС устанавливается многодвигательный привод с включением электрических машин в схему с преобразователем частоты и машинами двойного питания для межцехового цепного конвейера. В дальнейшем подобного рода приводы по системе электрического вала были значительно усовершенствованы и получили применение в бумагоделательных машинах, винторезных станках, шлюзных затворах и других устройствах.

Большое значение для развития электропривода имело применение в схемах управления ими практически безинерционных электронно-ионных преобразователей, повышающих быстродействие систем. Творческая мысль советских ученых и инженеров многое создала и в этой области. Еще в 1935 г. А. Г. Иосифьян разработал тиристорный синхронизированный электропривод. Для повышения быстродействия в копировальных станках были применены тиратроны в цепях возбуждения. В 1939 г. был разработан электропривод постоянного тока с большим диапазоном регулирования скорости, с электронной системой управления и с питанием двигателя от тиратрона или ртутного выпрямителя. В конце 30-х годов решается важная задача замены двигатель-генераторных групп управляемыми ртутными выпрямителями. Незадолго до войны, в 1940 г. был введен в эксплуатацию реверсивный электропривод шахтной подъемной машины, электродвигатель которой питался от ртутного выпрямителя. Несколько позже системы электроприводов подобного рода получили значительное распространение на металлургических заводах.

В 1936 г. Т. Н. Соколов разработал новую систему электрокопирования по шаблону с электронно-ионным управлением, реализованную станкостроительным заводом им. Свердлова. Электропривод подачи копировальных станков явился по существу первым советским следящим приводом. В 1936—1937 гг. создается схема автоматического управления нажимными винтами прокатных станов, построенная на принципе следящего привода. В последующие годы следящие системы стали широко применяться для привода производственных механизмов в самых различных областях техники. Разработка этих систем, представляющих

собой одну из наиболее сложных форм автоматизированного электропривода, являлась крупным успехом теории и практики советского электропривода.

Одним из направлений совершенствования электропривода в период 1932—1940 гг. было конструктивное объединение электродвигателя и механической части в единую электромеханическую систему. Примерами устройств такого рода могут служить электробуры (нефтяная промышленность), электропилы (лесотехническая промышленность), электрошпиндели (станкостроение), электроверетена (текстильная промышленность), электроинструмент (строительная промышленность).

В 1937 г. ВЭИ разработал первую советскую систему автоматического управления электроприводом на базе электромашинного усилителя, выполненного в виде генератора постоянного тока с несколькими обмотками в цепях возбуждения. Такие системы получили в дальнейшем значительное распространение.

Особенно большое развитие электропривод получает после Великой Отечественной войны в связи с реализацией решений XIX съезда КПСС, предусматривающих высокие темпы наращивания мощностей энергосистем, широчайшее развитие электрификации всех отраслей народного хозяйства и автоматизации производственных процессов. Из этих решений непосредственно вытекают задачи совершенствования и создания новых типов автоматизированных электроприводов как для автоматизации рабочих процессов отдельных машин, так и для комплексной автоматизации производства.

В послевоенные годы большое распространение получают замкнутые системы регулирования с электромашинными, электронно-ионными и магнитными усилителями, обеспечивающие высокий уровень автоматизации. Подобные системы нашли применение в приводах блумингов, слябингов, станов холодной прокатки и других металлургических механизмах, а также в приводах металлорежущих станков, бумажных агрегатов, подъемных установок, экскаваторов и т. д. С 1943 г. проводится широкое внедрение управляемых ртутных выпрямителей взамен генераторов постоянного тока для регулируемых приводов различных механизмов, в частности для главных приводов прокатных станов. Начало 50-х годов ознаменовалось значительными успехами в деле развития и создания новых систем следящих приводов для различных областей техники.

Большое внимание уделялось также разработке систем электроприводов переменного тока с бесступенчатым регулированием скорости. Широким фронтом проводились исследования частотных, импульсных и параметрических методов регулирования асинхронных двигателей. Значительно расширилось в послевоенный период применение синхронных двигателей, чему способствовала разработка дешевых и надежных схем пуска с глухоподключенным возбудителем.

Крупнейшим достижением советской техники в послевоенный период следует считать усовер-

шенствование и создание многих новых автоматических линий станков в машиностроительной промышленности, а также создание заводов-автоматов, на которых электрифицированы и автоматизированы как все основные, так и вспомогательные производственные процессы. Высокая производительность труда, небольшое количество эксплуатационного персонала, большая степень безопасности дают все основания считать заводы-автоматы новым этапом развития техники.

Прогресс электропривода неразрывно связан с успехами электротехнической промышленности СССР, являющейся материально-технической базой электропривода. Советская электропромышленность под руководством Коммунистической партии за короткий промежуток времени была превращена в мощную, высокоразвитую отрасль тяжелой индустрии, способную обеспечить высококачественной техникой самые сложные электроприводы. Особенно велика роль в развитии отечественного электропривода заводов «Электросила», ХЭМЗ и «Динамо». За короткие сроки эти заводы освоили машины в самых различных исполнениях и с различными характеристиками, мощностью от нескольких десятков ватт до 15 тыс. кВт, релейно-контакторную аппаратуру, магнитные станции управления и другие элементы электрооборудования. Помимо названных заводов, сейчас действуют многочисленные электротехнические предприятия, выпускающие самые разнообразные электротехнические изделия. Большой вклад в дело развития электропривода в СССР внесли проектные организации, научно-исследовательские и учебные институты. Здесь следует особо отметить ведущую роль ГПИ «Тяжпромэлектропроект» (бывш. «Электропром»), треста «Электропривод», ВЭИ, ЭНИМС, ЦБТМ, Гипромаша, Гипрошахт и других организаций, а также научных коллективов высшей школы — МЭИ, ЛПИ, ЛЭТИ и ХЭТИ.

Особое место в развитии электропривода занимает теория электропривода. В такой многогранной и всюду проникающей отрасли техники, как электропривод, была необходима общая теория вопроса, которая определенным образом могла бы направлять и обобщать практическую деятельность. Однако в условиях царской России, при слабо развитой промышленности, не только не было почвы для развития этой отрасли науки, но и осознанная потребность в ней практически отсутствовала. Этим, в сущности, объясняется и тот факт, что заложенные нашим соотечественником Д. А. Лачиновым еще в 1880 г. основы теории электропривода долгое время не получали развития. И только спустя 18 лет (1898) проф. П. Д. Войнаровский (ЛЭТИ) издает учебник «Электрическая передача и распределение механической энергии», а в 1903 г. проф. В. В. Дмитриев (ЛЭТИ) — курс «Электрическое распределение механической энергии». Однако эти книги рассматривали электропривод главным образом с энергетической точки зрения как источник механической и потребитель электрической энергии. Лишь при советской власти и в Советском Союзе сфор-

мировалась важнейшая отрасль электротехнической науки — теория электропривода. В 1925 г. выходит в свет первый советский учебник по электроприводу С. А. Ринкевича (ЛЭТИ) «Электрическое распределение механической энергии». Являясь первым систематизированным трудом по теории электропривода, эта книга положила начало развитию обширной ныне литературы по вопросам электропривода. К тому же времени относится организация больших научных исследований по электроприводу в ЛЭТИ и несколько позже в ВЭИ, МЭИ, «Электропроме» и других организациях.

Среди этих исследований следует особо отметить работы акад. В. С. Кулебакина в области регулируемых приводов постоянного тока, периодических процессов и теории нагрева.

Последующие годы характерны интенсивным развитием теории электропривода. Издается двухтомный труд В. К. Попова (ЛПИ) «Применение электродвигателей в промышленности» (1932—1935), книга Р. Л. Аронова «Электрооборудование промышленных приводов» (1936), капитальный труд С. А. Ринкевича «Теория электропривода» (1938) и некоторые другие. В послевоенные годы электропривод получил особенно большое развитие, что обогатило и литературу по нему. К этому периоду относится издание книги А. Т. Голована «Электропривод» (1948), Д. П. Морозова «Основы электропривода» (1950), М. Г. Чиликина «Общий курс электропривода» (1951—1953), С. Н. Вешневского «Расчет характеристик и сопротивлений для электродвигателей» (1954—1955) и др.

**Научно-технические проблемы электропривода.** Современный электропривод является органической частью рабочей машины, в значительной мере влияющей на ее производительность, качество технологического процесса и ее конструктивные формы. Глубоко развитый электропривод отдельных рабочих машин позволяет, кроме того, наиболее просто осуществлять поточность производства и комплексную автоматизацию технологических процессов. В связи с этим дальнейшее развитие электропривода направлено главным образом на осуществление им более сложных форм движения, без использования для этой цели каких-либо механических средств и на расширение его функций в отношении автоматического управления и регулирования рабочих машин и их процессов.

В настоящее время от электропривода требуется выполнение самых разнообразных форм движения, к числу которых относятся: по виду движения — вращательное и поступательное; по характеру — длительное, прерывистое, пульсирующее, следящее; по скоростному режиму — с неизменной, редко меняющейся и непрерывно меняющейся скоростью (по заданному закону или произвольно).

От современных систем автоматического управления электроприводами обычно требуется выполнение следующих основных функций: управление пуском; управление торможением и реверсом; автоматическое поддержание постоянства скоро-

сти, момента, мощности; слежение; автоматизация цикла; автоматизация технологических процессов.

При существующем состоянии теории и практики электропривода многие из перечисленных задач поддаются решению. Однако ряд задач, особенно связанных с комплексной автоматизацией технологических процессов, далеко еще не разрешен.

Одной из основных проблем современного электропривода является создание регулируемых приводов переменного тока и расширение областей применения наиболее простых, дешевых и надежных в работе асинхронных электродвигателей. Решение этой проблемы в значительной мере будет способствовать комплексной автоматизации производства, этому главнейшему направлению развития советской техники. В отличие от двигателей постоянного тока, бесступенчатое регулирование трехфазных асинхронных электродвигателей в широком диапазоне сопряжено с большими трудностями. В связи с этим приобретают особое значение вопросы разработки простых и надежных систем частотного управления для асинхронных двигателей. Главнейшей задачей в этой области является создание источников переменного тока с управляемой частотой. При решении этой задачи, наряду с дальнейшим усовершенствованием и развитием электромашинных преобразователей частоты, основное внимание должно быть уделено частотному регулированию скорости асинхронных двигателей посредством статических (ионных и др.) преобразователей частоты. Следует при этом выявить и исследовать наиболее рациональные схемы преобразования частоты, а также режимы регулирования напряжения при частотном управлении.

Важной задачей в деле создания регулируемых приводов переменного тока является дальнейшее исследование и расширение областей применения электроприводов переменного тока с дроссельным управлением. В этом направлении за последние годы достигнуты некоторые успехи. Трест «Электропривод» создал и испытал мощный асинхронный многодвигательный электропривод с дроссельным управлением для ротационного газетного агрегата с широким диапазоном регулирования скорости (от 2 до 100%); на Ковровском экскаваторном заводе изготовлен электропривод экскаватора на переменном токе с таким же управлением; эта система находит применение в шахтных подъемниках и других установках. Однако подобного рода примеры пока единичны. Необходимо продолжать работу в этом направлении, особо уделив внимание уменьшению веса и габаритов дросселей насыщения, а также повышению энергетических показателей установок.

Не разработана еще в полной мере и методика расчета систем электропривода с дроссельным управлением. Вошедшие в практику методы громоздки и приближенны; динамические характеристики электропривода недостаточно изучены. Не-

обходима поэтому дальнейшая разработка теории и инженерных методов расчета таких систем с учетом нелинейностей отдельных ее элементов.

Заслуживают также внимания вопросы импульсного управления электроприводами переменного тока, основанного на скачкообразных изменениях параметров привода или на периодических изменениях режима его работы (переход из двигательного в тормозной режим или режим свободного выбега). Основными направлениями развития таких систем, повидимому, следует считать применение замкнутых систем импульсного регулирования скорости электропривода, обеспечивающих устойчивое регулирование и использование бесконтактных способов управления.

В связи со все возрастающим применением короткозамкнутых асинхронных электродвигателей для рабочих машин с частыми и быстрыми процессами пуска, торможения и реверса есть необходимость в исследовании переходных процессов в этих приводах с учетом нагрева и электромагнитной инерции электродвигателей. Особое внимание следует уделить исследованию электродвигателей с нагревостойкой изоляцией, в частности кремнийорганической, применение которой может радикально решить вопрос о повышении допустимого числа включений в час короткозамкнутых электродвигателей.

Не разработаны еще вопросы исследования рабочих свойств электроприводов переменного тока при питании их от источников, соизмеримых с ними по мощности. Между тем эти вопросы приобретают остроту в связи с распространением на электровозах, судах, экскаваторах и других установках асинхронных электродвигателей, питаемых от местных генераторов.

Основной задачей в области следящих электроприводов при питании их от источников переменного тока следует считать повышение точности и быстродействия серводвигателей.

Не разрешены многие вопросы и в области регулируемых электроприводов постоянного тока. Так, соображения об экономии цветного металла и электроэнергии указывают на необходимость более решительного внедрения управляемых ртутных выпрямителей взамен генераторов постоянного тока в системах генератор — двигатель, применяемых для регулируемых электроприводов различных механизмов. Должны быть исследованы схемы с улучшенным коэффициентом мощности, решены вопросы повышения стабильности параметров и увеличения срока службы ртутных выпрямителей и инверторов и уменьшения их габаритов.

Необходимо также дальнейшее исследование и развитие систем автоматического управления и регулирования электроприводов постоянного тока, основанных на применении замкнутых цепей и обратных связей с использованием различных усилителей: электромашинных, ионно-электронных, магнитных. Вместе с тем необходимо более критически подходить к построению таких систем. Чрезмерное увлечение возможностью получения широкого диапазона регулирования скорости ра-

бочей машины электрическим путем приводит в ряде случаев к насыщению установки различными электрическими устройствами пониженной надежности и к общему усложнению электропривода при незначительном упрощении кинематических связей машины. Более того, такой широкий диапазон регулирования скорости исполнительных органов обычно практически не используется, а габариты электрических машин оказываются чрезмерно завышенными. Здесь необходимо разумное распределение функций регулирования скорости между электродвигателем и другими устройствами рабочей машины. Более критически следует относиться и к выбору типов электромашинных регуляторов. В ряде приводов недостаточно обоснованно применяется, например, электромашинный усилитель с самовозбуждением, для которого характерны несколько ухудшенные статические и динамические характеристики и который требует весьма точной настройки<sup>2</sup>.

Большое значение для развития систем электроприводов с замкнутой системой управления имеют вопросы методики их расчета. Несмотря на наличие в отечественной и иностранной литературе многочисленных работ, посвященных теории автоматического регулирования, до сих пор еще не существует инженерной методики расчета переходных процессов в замкнутых системах. Разработка такой методики, в особенности с учетом нелинейностей отдельных элементов системы, является важной задачей теории электропривода. Разрешение ее приведет к упрощению схем управления и тем самым повысит надежность и удешевит их.

В области многодвигательных электроприводов ждут своего разрешения следующие вопросы: создание и исследование системы электрического вала с изменяемым соотношением скоростей отдельных элементов для многодвигательных электроприводов поточных агрегатов; разработка теории установившихся и неустойчивых процессов работы многодвигательных электроприводов с фрикционным соединением между электродвигателями; инженерная методика расчета мощности машин системы электрического вала на переменном и постоянном токе; разработка и исследование способа демпфирования колебаний в системах электрического вала с преобразователем частоты и машинами двойного питания; создание обобщенной теории многодвигательного электропривода с электрическими связями, обеспечивающими постоянство натяжения обрабатываемого материала для агрегатов с непрерывным технологическим потоком.

К числу нерешенных проблем современного электропривода следует также отнести создание электроприводов возвратно-поступательного и вибрационного движения. До сих пор не разрешена задача вытеснения неэкономичного парового привода с возвратно-поступательным движением в штам-

<sup>2</sup> Здесь имеются в виду небольшие электромашинные усилители мощностью до 20 квт.

повочных молотах. Решение этой задачи состоит в создании простого, надежного в работе электро-двигателя поступательного движения, а главное — в разработке быстродействующей и точной системы электрического управления, которая могла бы конкурировать в этом смысле с системой парового управления. Окончательное решение потребует проведения большого количества теоретических и экспериментальных исследований, а также конструктивных разработок.

Аналогичные задачи возникают при разработке устройств вибрационного движения. Главнейшими из них являются: создание автоколебательных систем с однофазными двигателями поступательного движения и разработка электромагнитных вибраторов с простой системой управления амплитудой и частотой вибраций.

Большие задачи предстоит решить и в области дальнейшего развития и улучшения систем автоматического управления электроприводами и особенно в области комплексной автоматизации технологических процессов. В настоящее время для сложных схем управления ряда электроприводов и особенно для автоматических поточных линий и заводов-автоматов характерно большое их насыщение релейно-контакторной аппаратурой, работающей в режимах частых срабатываний. Так, в схемах современных автоматических линий станков число контакто-срабатываний достигает десятков тысяч в час, а на заводах-автоматах — сотен тысяч в час, что ведет к снижению надежности систем электрического управления и тормозит дальнейшее развитие автоматизации. В связи с этим приобретают особое значение разработка и внедрение для таких установок телемеханических принципов управления и, что особенно важно, бесконтактных электрических аппаратов и систем бесконтактного управления.

В целях резкого снижения габаритов и веса бесконтактных аппаратов, применяемых в цепях управления (путевых выключателей, реле и других устройств), следует конструировать их на повышенную частоту тока (до 500 гц).

При разработке систем управления автоматизированными электроприводами большое внимание должно быть уделено широкому использованию полупроводниковых приборов и устройств. Их достоинства — надежность, исключительно малые размеры и большой срок службы, которые трудно переоценить, позволяют им в ближайшее время вытеснить электронные лампы из ряда схем управления, что приведет к радикальному упрощению узлов автоматики. Недостаточно также используется в силовой автоматике аппаратура, специфичная для устройств связи (телефонные и кодовые реле и другие устройства), обладающая малыми габаритами и повышенной надежностью. Необходимо шире применять эту аппаратуру в системах управления сложными электроприводами и особенно при комплексной автоматизации производственных процессов.

Существует некоторая недооценка и роли электромагнитных муфт в системах автоматизированного электропривода. Между тем использование асинхронных (индукционных) муфт в ряде случаев приводит к наиболее рациональному построению системы электропривода. Весьма перспективны электромагнитные муфты с ферромагнитным наполнителем (порошковые муфты), способные выполнять функции тормоза, динамометра, фиксатора положения, ограничителя момента и т. п. Кроме того, они могут служить для плавного запуска привода, для разгона больших инерционных масс, для регулирования момента или скорости и т. д.

Комплексная автоматизация технологических процессов, в частности построение заводов-автоматов, выдвигает еще одну важную задачу — создание систем автоматического управления с использованием счетно-решающих устройств. В настоящее время имеются реальные предпосылки для постановки такой задачи, хотя она и требует длительных и сложных исследований и экспериментов.

В связи с ростом рабочих скоростей производственных машин для механизмов такого типа, как шахтные подъемные машины, муфты, экскаваторы и др., возникает необходимость в обеспечении при пуске и замедлении независимой от нагрузки заданной формы кривой скорости. Отсюда вытекают задачи разработки простых и надежных схем программного управления процессами ускорения и замедления. Наконец, следует значительно шире использовать возможности гидропривода, который в сочетании с электроприводом может дать в ряде случаев наилучшее решение вопроса автоматизации установок.

Не решены некоторые теоретические вопросы в области механики электропривода. В основном уравнении движения электропривода все элементы привода рассматриваются как идеально твердые тела и поэтому явления и процессы, в которых играют роль упругие деформации элементов приводного устройства, не могут быть описаны и исследованы при помощи этого уравнения. Между тем в современных электроприводах упругие деформации начинают приобретать все большее значение, в соответствии с чем возникает необходимость в изучении и разработке этого вопроса.

Не получил общего решения и вопрос об учете потерь в механических передачах электропривода от действия динамических моментов. Основное уравнение движения в этом случае не может быть разрешено в явном виде относительно ускорения, так как моменты сопротивления зависят от значения передаваемого механизмом динамического момента и, следовательно, являются функцией ускорения. Попытки решить это уравнение привели различных исследователей или к чрезмерно грубым упрощениям, нередко искажающим физическую сущность явления (метод введения к. п. д. передач в формулы приведения моментов инерции), или к весьма сложной методике, непригодной для практических расчетов. В то же время опыт показывает, что пренебрежение этими поте-

рями может привести к значительным ошибкам при определении величины динамического момента.

Ряд задач выдвигает теория нагрева электроприводов. Современные тепловые расчеты электроприводов базируются на одноступенчатой теории нагрева, рассматривающей электродвигатель как моногенное тело с одним источником тепла, тогда как в действительности он представляет собой сложную систему тел с несколькими внутренними источниками тепла, что обуславливает неточность этой теории. Однако основным недостатком одноступенчатой теории нагрева является не столько ее приближенность, сколько неправильная трактовка отдельных ее положений (основных допущений, тепловых констант, средних температур и т. д.), на базе которых строятся практические методы тепловых расчетов электродвигателей. Именно благодаря этому обстоятельству противоречия, возникающие между теорией и практикой, в ряде случаев не находят себе удовлетворительного объяснения и являются иногда причиной неправильного выбора мощности электродвигателей. Для устранения отмеченных недостатков необходимо уточнить инженерные методы тепловых расчетов с выявлением возможных областей их применения и оценкой могущих возникнуть при этом погрешностей.

Представляется также целесообразным продолжить работу по непосредственному использованию для тепловых расчетов электроприводов уравнения теплопроводности.

Не доведена еще до инженерных методов расчета и недостаточно экспериментально исследована многоступенчатая теория нагрева электродвигателей, в частности наиболее простая из них — двухступенчатая, применительно к циклической

переменной нагрузке. В том виде, в каком эта теория существует в настоящее время, она ввиду ее сложности мало пригодна для практических целей.

В области подготовки инженерных кадров — специалистов по приводу — перед отечественной высшей школой стоят две основные задачи. Одна заключается в дальнейшем увеличении количества специалистов, выпускаемых вузами дневного обучения, а также вечерними и заочными вузами и факультетами. Несмотря на значительный количественный рост подготовки специалистов по электроприводу, потребность в них до сих пор значительно превышает выпуск последних лет.

Другая задача состоит в повышении качества подготовки специалистов и в воспитании инициативных инженеров-новаторов, с широким техническим и политическим кругозором, способных двигать вперед науку и практику автоматизированного электропривода.

Для быстреего развития новой техники необходимо усилить научно-исследовательскую работу в области электропривода в системе Академии наук СССР, отраслевых научно-исследовательских институтах и вузах, а также резко улучшить координацию и обобщение опыта отечественной промышленности и шире использовать практику лучших образцов мировой техники.

В заключение отметим, что приведенный здесь перечень задач в области электропривода является далеко не исчерпывающим. Существует еще большое количество как общих, так и, особенно, частных задач, решение которых диктуется нуждами различных отраслей народного хозяйства. Однако объем настоящей статьи не позволяет дать более подробное освещение этих вопросов.

[25.4.1955]



## Научно-технические вопросы электрификации железных дорог

Кандидат техн. наук **И. И. ИВАНОВ**

Главное управление электрификации и энергетического хозяйства  
Министерства путей сообщения СССР

Наша страна является родиной электрической тяги. Еще в XIX в. русскими учеными были сделаны важнейшие открытия в области электротехники, создавшие необходимые предпосылки к практическому использованию электрической энергии для тяги поездов. Несмотря на то, что проекты электрификации железных дорог начали разрабатываться еще в дореволюционное время, реализация их в условиях царской России была неосуществимой.

С первых же дней существования советской власти В. И. Ленин придал большое значение разработке вопросов электрификации железных дорог.

В плане ГОЭЛРО этим вопросам было отведено значительное место, и уже в 1920 г. была поставлена на серьезную научную основу

проблема выбора основной системы тока и напряжения для электрифицированных железных дорог.

Практическое применение электрической тяги на железных дорогах СССР потребовало проведения больших подготовительных работ, быстрое осуществление которых зависело от темпов развития отечественной электропромышленности.

Первоначально была электрифицирована железная дорога городского типа, соединившая г. Баку с нефтяными промыслами Сабунчи и Сураханы (1926 г.). Первый электрифицированный пригородный участок Московского железнодорожного узла Москва — Мытищи был введен в действие 29 августа 1929 г. Эта дата считается началом развития электрической тяги на железных дорогах СССР.

С 1932 г. электровозная тяга была введена на участке Хашури — Зестафони Закавказской железной дороги (Сурамский перевал). С тех пор электрификация железных дорог в нашей стране начала развиваться быстрыми темпами. Уже в 1941 г. общая эксплуатационная длина электрифицированных железнодорожных линий достигла примерно 1900 км. Даже в условиях Великой Отечественной войны на Урале продолжались работы по электрификации железных дорог.

К началу 1955 г. общая протяженность электрифицированных линий более чем в 2,5 раза возросла по сравнению с довоенным уровнем. В настоящее время электрическая тяга применяется уже на 19 железных дорогах. Важно при этом указать, что сейчас электрифицированы важнейшие грузонапряженные магистральные линии на таких дорогах, как Томская, Омская, Южно-Уральская, Свердловская, Уфимская и др., что предъявляет к работе электрической тяги, в том числе к устройствам электроснабжения исключительно высокие требования.

Электрическая тяга на железных дорогах СССР показала высокую эффективность. Опытным установлено, что провозная способность железнодорожных линий после перевода их на электротягу возрастает в 1,5 ... 2 раза. В тех случаях, когда электрические железные дороги получают электроэнергию от тепловых станций, народнохозяйственные издержки топлива, отнесенные к одинаковой перевозочной работе, сокращаются по сравнению с паровой тягой в 2 ... 3 раза и более. При снабжении же электрических железных дорог энергией от гидроэлектростанций электрическая тяга оказывается единственным видом тяги, который позволяет в грузовом, пассажирском и пригородном движении обходиться без затраты топлива.

Значительную экономию дает электрификация железных дорог по эксплуатационным расходам. Как показывают расчеты, себестоимость каждого выполненного тонно-километра при электрической тяге на 25 ... 30% ниже, чем при паровой. Не малое значение имеет и величина энергетической составляющей себестоимости перевозок, которая эквивалентна топливной составляющей при паровой и тепловозной тяге. Особенно снижается энергетическая составляющая себестоимости перевозок при электроснабжении электрифицированных железных дорог от гидроэлектростанций. Производительность труда на электрифицированных железных дорогах значительно выше, чем на дорогах с паровой тягой.

В 1954 г. государственный план электрификации железных дорог был не только успешно выполнен, но и перевыполнен. В текущем году план значительно выше прошлогоднего. В числе магистральных грузонапряженных участков, которые электрифицируются в 1955 г., имеются такие, как Дема — Раевка Уфимской железной дороги, Татарская — Омск и Омск — Исиль-Куль Омской железной дороги и др. Электрификация участка Дема — Раевка, который является продолжением участка Кропачево — Дема Уфимской железной дороги, введенного в действие в конце 1954 г.,

обеспечит перевод на электротягу всего направления Челябинск Южно-Уральской железной дороги — Раевка Уфимской железной дороги с последующими выходами к Куйбышеву и Сызрани.

С электрификацией участков Татарская — Омск — Исиль-Куль будет работать на электротяге одна из наиболее грузонапряженных магистралей Новосибирск — Барабинск — Татарская — Омск — Исиль-Куль протяжением около 800 км.

В течение ближайших 10 ... 15 лет будет осуществлена электрификация железнодорожных магистралей огромного протяжения. Предполагается, что на электротягу будет переведено такое направление, как Москва — Куйбышев — Челябинск — Омск — Новосибирск — Иркутск длиной более 6000 км. Электрифицированных линий подобной протяженности не знает ни одна страна в мире. Намечается также перевод на электрическую тягу направлений Москва — Харьков — Ростов — Сочи, Москва — Казань — Свердловск, Москва — Горький, Москва — Ленинград, дальнейшая электрификация железных дорог Урала, Приволжья, Кузнецкого, Донецкого и Криворожского бассейнов. Еще шире будут развернуты работы по электрификации пригородных линий многих крупнейших узлов страны.

В связи с огромными масштабами предстоящих работ по электрификации железных дорог потребуются решить ряд важнейших научно-технических задач. Крупной проблемой, стоящей по-прежнему в центре внимания ученых и инженеров, работающих в области электрической тяги, является вопрос о системе электрической тяги. Если более четверти века назад выбор для наших электрических железных дорог системы постоянного тока с напряжением 1650 в для пригородных железных дорог и 3300 в для магистральных линий явился вполне правильным и практически себя оправдавшим, то сейчас в свете новых задач, стоящих перед электрической тягой, назрела необходимость пересмотра этого выбора.

За последние годы у нас стали электрифицироваться важнейшие артерии страны — наиболее грузонапряженные железнодорожные линии, связывающие Кузбасс с Уралом, Урал и Поволжье и т. п. Уже сейчас грузонапряженность ряда этих линий во много раз превосходит грузонапряженность железных дорог США. Непрерывный рост скорости движения поездов, среди которых все больший удельный вес занимают тяжеловесные поезда, рост интенсивности движения, применение мощных восьмиосных электровозов и пр. — все эти факторы влекут за собой не только повышение мощности тяговых подстанций, но и резкое увеличение сечения контактной сети. Если уже сейчас на отдельных участках контактной сети общее сечение проводов на один путь достигает 400 ... 500 мм<sup>2</sup> и более, что требует примерно 4 ... 5 т меди на 1 км, то дальнейшее увеличение размеров движения в условиях все более жестких требований, предъявляемых к поддержанию необходимого уровня напряжения в контактной сети (на пантографе электровоза), потребовало бы больших дополнительных затрат цветного металла на усиление контактной сети, а в некоторых слу-

чаях и увеличения числа тяговых подстанций. В связи с этим вполне закономерной является постановка вопроса о необходимости значительного повышения номинального напряжения контактной сети, что позволило бы увеличить расстояние между тяговыми подстанциями, резко снизить затраты цветного металла на устройства электроснабжения.

Однако, если пойти по пути повышения напряжения при системе постоянного тока, то это повлечет за собой рост напряжения и на тяговых двигателях, значительное их удорожание и снижение эксплуатационной надежности. Более того, при свойственной системе постоянного тока жесткой связи между напряжением тяговых двигателей и напряжением в контактной сети возможности повышения напряжения весьма ограничены ввиду трудностей конструирования и эксплуатации тяговых двигателей высокого напряжения. Подобного рода трудности устраняются при переходе к системе электрической тяги на переменном токе, где между напряжением контактной сети и напряжением тяговых двигателей могут существовать любые соотношения, и задача нахождения оптимальных напряжений для обоих этих элементов системы может быть решена отдельно.

Применение переменного тока высокого напряжения промышленной частоты дает возможность максимально облегчить контактную сеть, включая опоры и их фундаменты. При достаточно высоком уровне напряжения в контактной сети сечение контактной подвески в ряде случаев будет определяться не электрическим расчетом, а условиями механической прочности.

Если в ряде стран на железнодорожных линиях, электрифицированных на однофазном токе промышленной частоты, было применено напряжение 16 (Венгрия), 20 (Западная Германия) и 22...25 кВ (Франция, Бельгийское Конго и др.), то, судя по последним данным, опубликованным в иностранной периодической печати, в США разрабатывается вопрос об использовании в контактной сети напряжения 35...48 кВ. При этом подчеркивается, что применение такого широко распространенного в промышленных сетях напряжения, как 35 кВ, могло бы при известных условиях вообще исключить необходимость сооружения тяговых подстанций. Вместе с тем очевидно и то, что вопрос о мерах борьбы с асимметрией нагрузок фаз трехфазной системы при использовании в контактном проводе только одной фазы требует своего дополнительного изучения.

Говоря о серьезных преимуществах однофазного переменного тока промышленной частоты в отношении облегчения и удешевления устройств энергоснабжения электрифицированных линий, нельзя забывать, что использование переменного тока высокого напряжения в контактной сети приведет к значительному увеличению влияния тягового тока на линии связи. Повидимому, наиболее радикальными способами защиты линий связи являются кабелирование телефонных и телеграфных линий или переход к радиорелейной связи.

Работники кабельной промышленности в содружестве с металлургами создают в настоящее

время специальные типы кабелей с металлической броней, обладающей значительной магнитной проницаемостью. Совершенствуется рецептура изготовления особого сплава, который должен дать высокий коэффициент защитного действия. Большой интерес представило бы получение такого кабеля связи, в котором можно обойтись без свинцовой оболочки. Действительно, при составлении баланса расходов цветных металлов приходится учитывать не только экономию меди в контактной сети, которая будет иметь место при переходе на переменный ток, но и затраты цветного металла на кабели связи. Поэтому сокращение этих затрат путем замены, например, свинца алюминием резко улучшило бы баланс в пользу переменного тока.

Что касается радиорелейной связи, то на ней влияние переменного тока электрической тяги не скажется. Следовательно, электрификация на переменном токе промышленной частоты тех направлений железных дорог, где предусмотрено кабелирование линий связи или будет применяться радиорелейная связь, не повлечет за собой каких-либо дополнительных затрат, связанных с устранением опасных или мешающих влияний.

Следует попутно отметить, что научно-исследовательскими организациями Министерства связи должен быть тщательно изучен вопрос о допустимой величине напряжений в линиях связи, получающихся за счет электромагнитной и электростатической индукции от контактной сети.

При определении перспектив применения для электротяги на железнодорожном транспорте системы однофазного тока промышленной частоты одной из центральных является задача создания надежных и экономичных электровозов для этой системы. При этом должны быть приняты во внимание и всесторонне оценены как весовые показатели этих электровозов, так и их к. п. д. К сожалению, до настоящего времени нет еще твердо установленной методики комплексной оценки эффективности различных типов электровозов однофазного и постоянного тока. Было бы неправильно, например, определять экономичность электровоза только по к. п. д. тяговых двигателей, преобразователей и вспомогательных механизмов. Должны учитываться также такие факторы, как эффект формы тока, разница в величине коэффициента мощности, влияние тяговой сети и формы тяговых характеристик, эффект применения рекуперативного торможения и т. д. Выполняемое в Институте комплексных транспортных проблем Академии наук СССР исследование эффективности применения однофазного тока промышленной частоты для электротяги на железнодорожном транспорте должно привести к созданию методов комплексной оценки эффективности, а также дать эту оценку различным типам электровозов.

Несмотря на ряд проведенных уже исследований, выбор типа электровоза для железных дорог, электрифицируемых по системе однофазного тока промышленной частоты, не может пока еще считаться полностью решенной задачей. Предложен ряд схем и конструкций электровозов. Однако до



стадии опытных образцов доведена только одна из наиболее перспективных конструкций, а именно конструкция электровоза однофазно-постоянного тока с игнитронными ртутными выпрямителями запаянного типа. Два опытных образца электровозов этой конструкции проходят в настоящее время испытания на экспериментальном кольце Всесоюзного научно-исследовательского института Министерства путей сообщения. Разрабатываются проекты электровозов однофазного тока с вращающимися преобразователями и тяговыми двигателями переменного тока. Однако опытные образцы таких электровозов не изготавливались. Не изготавливался опытный образец и не разрабатывался проект мотор-генераторного электровоза для системы однофазного тока, который, несмотря на повышенные весовые характеристики, привлекает к себе внимание надежностью действия, неограниченностью практических возможностей осуществления рекуперации, благоприятной формы кривой тяговой характеристики, а также возможностью поддерживать в контактной и питающей сети высокий коэффициент мощности при чисто синусоидальном токе, что уменьшает влияние на линии связи и устраняет высшие гармоники тока в питающей сети, характерные для ионных преобразователей. Всесторонней оценке электровоза такого типа еще не сделано. Не снят с повестки дня вопрос о применении коллекторных двигателей для электровозов однофазного тока.

Задача состоит в том, чтобы быстрее закончить различные технико-экономические расчеты и сопоставления типов электровозов однофазного тока и перейти к практической работе по промышленному испытанию лучших образцов электровозов однофазного тока. Наша электропромышленность обладает всеми возможностями для того, чтобы дать стране лучшие в мире электровозы однофазного тока.

Рассматривая вопрос о типах электровозов однофазного тока, нельзя не сказать о тех исключительно широких перспективах, которые открываются в связи с бурным развитием техники кристаллических полупроводниковых выпрямителей (германиевых, кремниевых и др.). Трудно переоценить те благоприятные конструктивные и эксплуатационные показатели, которые мог бы иметь электровоз однофазно-постоянного тока, в котором вместо ртутных выпрямителей или вращающихся преобразователей были бы применены кристаллические полупроводниковые выпрямители. К сожалению, во Всесоюзном электротехническом институте им. Ленина работа по полупроводниковым выпрямителям для мощных установок совершенно не ведется. Необходимо, чтобы в соответствующих институтах Академии наук СССР и в ВЭИ им. Ленина в самом срочном порядке были развернуты работы по созданию промышленных образцов мощных полупроводниковых выпрямителей как для электровозов, так и для стационарных выпрямительных установок.

В конце текущего года представится практическая возможность испытать электровозы однофазного тока на сооружаемом опытном участке

Ожерелье — Михайлов (86 км) Московско-Курско-Донбасской железной дороги, электрифицируемом на однофазном токе промышленной частоты напряжением 22 кв. На этом участке будет также исследовано влияние тягового однофазного тока промышленной частоты на различные виды связи и устройства СЦБ.

Проводимые Институтом комплексных транспортных проблем Академии наук СССР и Транстехпроектом МПС с привлечением целого ряда других научных учреждений и проектных организаций технико-экономические расчеты применительно к большому полигону электрификации железных дорог, а также исследования на опытном участке позволят наметить конкретные мероприятия по практическому внедрению новой системы электрической тяги на железнодорожном транспорте.

Остается нерешенным ряд научно-технических задач, относящихся к тем электрифицированным железнодорожным линиям, на которых сохраняется система тяги на постоянном токе или которые будут в силу тех или иных соображений попрежнему электрифицироваться на постоянном токе. От существующей системы постоянного тока 3 кв должно быть взято все, что она может дать. Необходимо вскрыть и использовать все имеющиеся резервы. Должна быть выявлена эффективность так называемой «распределенной» системы питания тяговых подстанций и определена возможная область ее применения.

Исключительно важной для любого из видов системы тяги на постоянном токе является задача создания надежного малогабаритного мощного выпрямительного агрегата, полностью автоматизированного и телеуправляемого.

Указанное выше увеличение веса грузовых поездов, интенсивности и скоростей движения, а также применение мощных восьмиосных электровозов — все эти факторы, вместе взятые, приводят к значительному увеличению мощности тяговых подстанций, которая на магистральных грузонапряженных линиях уже в ближайшие годы возрастет в 1½—2 раза. В этих условиях выпускаемые в настоящее время заводом «Уралэлектроаппарат» для электрифицированных железных дорог ртутно-выпрямительные агрегаты РМНВ—500 × 6 на ток 750 а, мощностью 2 475 квт уже явно малы. Необходимо иметь выпрямительные агрегаты мощностью 4...5 тыс. квт в единице. Агрегаты такой мощности широко применяются в практике зарубежных электрифицированных железных дорог.

Завод «Уралэлектроаппарат» работает над повышением мощности ртутно-выпрямительных агрегатов для электрических железных дорог. В ближайшее время на Южно-Уральской железной дороге будет испытываться агрегат типа РМНВ—750 × 6 на номинальный ток порядка 1 100 а. Однако существенно отметить, что завод «Уралэлектроаппарат» выпускает ртутно-выпрямительные агрегаты только откачиваемого типа, а промышленное производство запаянных ртутных выпрямителей большой мощности практически в крупных масштабах еще не организовано. Опыт-

ный завод ВЭИ, выпустивший первые экземпляры запаянных выпрямителей на напряжение 3 000 в и ток 500 а, не может рассматриваться как производственная база для серийного выпуска таких выпрямителей. Необходимо, чтобы Министерство электротехнической промышленности в кратчайший срок решило вопрос о создании завода, который бы выпускал запаянные ртутные выпрямители для тяговых подстанций постоянного тока и для электровозов однофазно-постоянного тока.

Говоря о модернизации и повышении мощности ртутно-выпрямительных агрегатов, нельзя не подчеркнуть необходимость оснащения этих агрегатов современными приборами автоматики, что позволило бы не только повысить надежность работы тяговых подстанций, но и широко применить телеуправление.

Несмотря на то, что во Всесоюзном научно-исследовательском институте МПС А. Ф. Пронтарским уже несколько лет назад разработана аппаратура комплексной автоматизации ртутно-выпрямительных агрегатов, которая по точности регулирования, надежности действия и срокам службы превосходит известные образцы аналогичной аппаратуры, изготавливаемой зарубежными фирмами (ВВС, Сименс и др.), Министерство электротехнической промышленности до сих пор не организовало ее серийного производства.

Отсутствие необходимой аппаратуры автоматизации не дает возможности произвести комплексную автоматизацию тяговых подстанций и перевести их на телеуправление. В то же время успешный опыт работы первого в СССР, почти полностью телеуправляемого электрифицированного участка Москва — Раменское Московско-Рязанской железной дороги показывает, что телеуправление на электрических железных дорогах должно получить самое широкое распространение. Следует выразить пожелание, чтобы Всесоюзный научно-исследовательский институт МПС с помощью Института автоматики и телемеханики Академии наук СССР и Центральной научно-исследовательской электротехнической лаборатории МЭС продолжал совершенствовать схемы телеуправления, используя при этом электронную автоматику. При разработке схем телеуправления для электрифицированных железных дорог следует особо рассмотреть способы решения этой задачи для магистральных линий, где подлежащие телеуправлению объекты расположены не радиально, а по цепочке, и дальность управления определяется сотнями километров.

Требуется решения вопрос о целесообразности перехода на тяговых подстанциях электрифицированных железных дорог к 12-фазной схеме выпрямления с применением 12-фазных преобразовательных трансформаторов. Так как на практике возможно повторение случаев, подобных тому, который уже имел место и описан в литературе<sup>1</sup>, то переход к этой системе в целях борьбы с высшими гармониками в генераторах, питающих тяговую нагрузку может быть оправдан. Необходимо тщательно взвесить, действительно ли необхо-

димо в таких случаях переходить к 12-фазным тяговым трансформаторам или достаточно использовать условные 12-фазные схемы.

Серьезного усовершенствования требует вспомогательная и коммутационная аппаратура, поставляемая заводами электропромышленности для тяговых подстанций. В первую очередь следует указать на быстродействующие выключатели постоянного тока (ВАБ-2), ранее выпускавшиеся заводом «Электросила», а в настоящее время изготавливаемые на заводе «Уралэлектроаппарат». За истекшие 14 лет электропромышленностью этих выключателей, хотя условия их работы за последние годы значительно усложнились. Серьезные недостатки в конструкции этих выключателей вскрылись именно теперь, когда выключатели стали использоваться на полную мощность<sup>2</sup>.

Аварийным очагом в существующих быстродействующих выключателях является дугогасительная камера, конструкция которой не обеспечивает надежной работы выключателя. Высокая влажность ацеита, из которого изготавливаются камеры, резко ухудшает условия гашения дуги. Собственное время действия выключателя ВАБ-2 значительно выше установленного стандартом, что также приводит к резкому ухудшению условий дугогашения.

В настоящее время завод «Уралэлектроаппарат» изготовил опытные образцы новых дугогасительных камер из керамики с вставкой в зоне главных контактов пластин из микалекса. В ближайшее время эти опытные образцы будут проходить испытания. Необходимо в кратчайший срок отработать новую конструкцию дугогасительных камер и перейти к серийному производству доброкачественных быстродействующих выключателей постоянного тока на 3 300 в. Проходит также испытания опытный образец быстродействующего выключателя ВАБ-27 ненаправленного действия, предназначенного для постов секционирования электрических железных дорог.

Ряд претензий следует предъявить к конструкции теплообменников, поставляемых комплектно с ртутно-выпрямительными агрегатами. Существующие типы теплообменников конструктивно несовершенны, имеют большой вес, плохо регулируются, занимают много места, неэкономичны (большой расход электроэнергии) и т. п. В то же время известно, какое большое значение для нормальной работы ртутного выпрямителя имеет надежная и гибкая работа теплообменника.

Очень важно создать такую систему охлаждения ртутного выпрямителя, которая исключала бы необходимость применения воды в качестве охлаждающего агента. Именно из-за того, что вода широко используется в охлаждающих устройствах, на большинстве тяговых подстанций приходится устраивать дорогостоящее водоснабжение. Вместе с тем вопросам качества воды, применяемой для охлаждения ртутно-выпрямитель-

<sup>2</sup> Характерно, что повреждения быстродействующих выключателей в 1954 г. составили 41% общего числа аварийных случаев на тяговых подстанциях.

<sup>1</sup> Электричество, № 2, 1955.

ных агрегатов, и водного режима на тяговых подстанциях не уделялось достаточного внимания, что приводило к значительным отложениям солей в охлаждающих полостях и коррозии корпусов выпрямителей. Давно известные в теплохимии методы обеспечения нормального водного режима в теплообменных агрегатах не использовались.

К надежности работы ртутно-выпрямительных агрегатов предъявляются высокие требования. Несмотря на успехи, достигнутые заводом «Уралэлектроаппарат» в области выпрямительного строения, к качеству его продукции еще очень много претензий. На совещании работников электрифицированных железных дорог Урала и Сибири совместно с работниками завода «Уралэлектроаппарат», состоявшемся в конце марта 1955 г. в Свердловске, был отмечен ряд серьезных неполадок в работе ртутно-выпрямительных агрегатов из-за дефектов изготовления. Среди наиболее типичных неполадок были отмечены следующие: заедание брызгала, нарушение изоляции катушек контактора возбуждения, нарушение изоляции трансформаторов возбуждения и зажигания, а также сеточных трансформаторов, перекрытие изоляции анодных шпилек при обратных зажиганиях, каскадное горение дуги, перекрытие изоляции шкафов ШРВ и ряд других. Было отмечено также, что число обратных зажиганиях в ртутно-выпрямительных агрегатах очень велико. В среднем по электрифицированным железным дорогам за 1954 г. на каждый ртутный выпрямитель приходилось 1,9 обратных зажиганиях в месяц, или 4,6 на каждые 1 000 час. работы выпрямителя. Очевидно, нельзя мириться с таким положением. Завод «Уралэлектроаппарат» должен разработать меры, которые увеличили бы надежность работы ртутных выпрямителей и снизили бы число обратных зажиганиях.

Следует повысить качество графита, улучшить обработку поверхностей анодных головок, разработать необходимые температурные и нагрузочные режимы работы вентилях, после этого можно ожидать повышения надежности работы выпрямителей. В отношении борьбы с обратными зажиганиями представляются перспективными также и некоторые схемные мероприятия. Например, опыты, проведенные в Энергетическом институте Академии наук СССР и Научно-исследовательском институте постоянного тока, показали, что применение насыщающихся реакторов приводит к существенному замедлению нарастания обратных напряжений. Пока нарастает обратное напряжение, успевают произойти деионизация, и вероятность возникновения обратных зажиганиях резко уменьшается. Перенесение этих опытов на одну из действующих тяговых подстанций должно будет показать, насколько предлагаемые мероприятия эффективны в промышленных условиях.

Под руководством А. В. Орловского в Киевском политехническом институте проводятся интересные работы по повышению коэффициента мощности ртутно-выпрямительных агрегатов методом искусственной коммутации. Опытная проверка предложенной схемы на одной из тяговых подстанций Юго-Западной железной дороги при на-

пряжении 1,65 кв показала ее работоспособность, возможность повышения коэффициента мощности ртутно-выпрямительной установки и работы даже с опережающим углом сдвига фаз. Выявлена также способность установки при постоянной емкости и фиксированном угле регулирования автоматически давать компаундную внешнюю характеристику. Вместе с тем требуется дальнейшая разработка ряда вопросов. В частности, следует проверить надежность работы схемы при нестационарных режимах. Имеется опасность, что при больших углах опережения обратное напряжение будет возрастать до 150% номинального и вероятность обратных зажиганиях значительно увеличится, хотя сама величина тока при этом будет ниже. Не исследована работа схемы при переходе ртутно-выпрямительного агрегата в инверторный режим.

Решение задачи об использовании ртутно-преобразовательных установок для генерирования реактивной мощности имеет значение не только для транспортных установок, но и для установок в металлургической и химической промышленности, поэтому следует признать вполне правильным решение Междуведомственного экспертно-технического совета при Госинспекции по промэнергетике и энергонадзору МЭС о дальнейшем развитии этой работы в Киевском политехническом институте с привлечением к ней соответствующих министерств. Следует также пожелать, чтобы в этой работе принял необходимое участие ВЭИ им. Ленина.

Несмотря на большие научно-исследовательские работы в области рекуперации энергии на электрических железных дорогах, которые на протяжении ряда лет велись во Всесоюзном научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта, ни одна из разработанных схем не была доведена до широкого внедрения на тяговых подстанциях. Выдвигаемая институтом в качестве основной так называемая двухкатодная схема оказалась малоперспективной. Авторы схемы в последнее время отказались от нее и предложили перейти к экспериментированию новой схемы, предусматривающей компаундирование внешних характеристик ртутно-выпрямительных агрегатов. Эта схема привлекает простотой и тем, что электровозы при ней легко и надежно переходят в режим рекуперативного торможения, но вместе с тем она вызывает некоторые сомнения. Действительно, значительное компаундирование внешних характеристик выпрямителей, необходимое для обеспечения достаточных токов рекуперации, может существенно увеличить число обратных зажиганиях в момент спада нагрузок. Возможно также ожидать, что компаундирование выпрямителей еще больше увеличит чувствительность их к повышению напряжения. Чтобы всесторонне выяснить работоспособность и надежность вновь предложенной схемы, будет проведена ее опытная проверка.

В ближайшее же время на одной из тяговых подстанций Свердловской железной дороги будут проходить практические испытания схемы инвертирования с применением вольтодобавочного

трансформатора, причем сам ртутно-выпрямительный агрегат оборудуется дополнительными сетками. Эта схема предложена заводом «Уралэлектроаппарат». Необходимо в самый короткий срок завершить научно-исследовательские работы в области инвертирования с тем, чтобы уже с 1956 г. перейти к промышленному производству инверторных агрегатов, в которых так нуждаются электрифицированные железные дороги.

Говоря о рекуперации энергии на электрифицированных железных дорогах, нельзя упускать из виду больших практических возможностей, которые представляются при использовании схем с балластными сопротивлениями. На двухпутных электрифицированных участках с интенсивным движением, а при благоприятном профиле и на однопутных участках, весьма велика вероятность того, что вся или почти вся энергия рекуперирующих электровозов будет поглощаться электровозами, идущими на подъем. В этих условиях избытки рекуперированной энергии, сбрасываемые в балластные сопротивления, будут очень незначительны. В настоящее время на одном из электрифицированных участков Томской железной дороги начаты испытания безинерционной схемы с балластными сопротивлениями, разработанной Московским институтом инженеров транспорта. Близкая по замыслу схема, но с инерционным включением балластных сопротивлений подготавливается к испытаниям на одном из электрифицированных участков Закавказской железной дороги. Надо полагать, что схемы с балластными сопротивлениями найдут достаточно широкое применение для электрифицированных участков с горным профилем и интенсивным движением.

В ближайшие годы темпы электрификации железных дорог еще более возрастут. Ввод в действие крупнейших в мире гидроэлектростанций на Волге, Оби, Ангаре и др., а также реальные перспективы широкого использования атомной энергии для промышленных целей создают исключительно благоприятные условия для развития электрификации железных дорог.

Ускорению темпов электрификации в немалой мере должны способствовать: максимальная типизация и стандартизация всех элементов устройств энергоснабжения; внедрение комплектных расщепленных устройств, изготавливаемых заводским способом; применение сборно-блочных конструкций для тяговых подстанций и железобетонных опор для контактной сети, применение промышленных методов монтажа тяговых подстанций и поточных методов сооружения контактной сети. Большая часть строительно-монтажных работ должна вестись с поля, чтобы не занимать путей и не ограничивать движения поездов. Для этой цели должны быть созданы соответствующие механизмы. Сокращение удельных затрат материалов, труда и средств, с одновременным повышением надежности и экономичности всех устройств электрической тяги позволит в более короткие сроки выполнить большую программу электрификации железных дорог.

Можно не сомневаться в том, что на основе творческого содружества работников науки и производства все эти задачи будут успешно выполнены.

[23.5.1955]



## Теоретические проблемы современной электротехники

*Член-корр. Академии наук СССР, проф. Л. Р. НЕЙМАН*

*Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР,  
Ленинградский политехнический институт им. Калинина*

Электротехника принадлежит к тем областям современной техники, развитие которых в высокой мере обусловлено глубоким теоретическим и экспериментальным изучением физических явлений, широкой разработкой математических методов анализа этих явлений, а также разработкой сложных методов расчета. Вместе с тем все новые и новые практические достижения электротехники выдвигают перед теорией новые задачи, требующие еще более глубокого проникновения в сущность явлений, еще более широких обобщений, разработки существенно новых методов математического анализа и исключительно тонких методов экспериментального исследования.

Тесная связь теории с практикой характеризовала и характеризует все развитие электротехники. Еще великий русский ученый М. В. Ломоносов, положивший начало науки об электромагнитных явлениях в России, высказывал мысль, что опыты по электричеству являют собой опыты,

«великую надежду к благополучию человеческого рода».

В. В. Петров, Э. Х. Ленц, Б. С. Якоби, А. Г. Столетов, П. Н. Лебедев и многие другие выдающиеся отечественные ученые, внесшие своими трудами весьма ценный вклад в создание теоретических основ учения об электромагнитных явлениях, неизменно связывали свои открытия и исследования с практическими приложениями и намечали широкие горизонты, которые раскрывались в результате этих исследований для развития электротехники.

Тесной связью теории с практикой отмечен и путь крупнейших зарубежных физиков и теоретиков—Г. Ома, М. Фарадея, К. Максвелла, Г. Кирхгофа, Г. Герца и других, имена которых стали веками в истории создания учения об электромагнитных явлениях.

Глубочайшее проникновение электричества в жизнь современного человеческого общества обус-

ловлено замечательными свойствами, характеризующими электромагнитную форму движения материи — элементарных частиц, обладающих электрическим зарядом и связанным с ним электромагнитным полем, и электромагнитного поля в свободном состоянии.

Электромагнитное поле представляет собой вид материи, характеризующийся особыми электромагнитными свойствами — способностью воздействовать на электрически заряженные тела и частицы, весьма малой плотностью массы, высокой легкостью передачи с весьма большой скоростью на большие расстояния, высокой упорядоченностью своего внутреннего движения и, соответственно, легко поддающийся управлению, высокой способностью к дальнейшим превращениям.

Не случайно великий создатель нашего социалистического государства В. И. Ленин придавал огромное значение электрификации страны и видел в этом основной путь к созданию материальной базы коммунистического общества.

Электромагнитные явления представляют собой один из важнейших разделов физики. Они играют существенную роль в микрофизических процессах, они определяют собой природу химических связей, природу световых явлений, природу  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  излучений, они неизменно участвуют в ядерных превращениях. Понятно поэтому, что теоретические основы электротехники имеют органическую связь с важнейшими разделами физики.

Высокая упорядоченность электромагнитной формы движения материи находит отражение в стройной системе закономерностей, которым подчинены электромагнитные явления, в стройной системе математических уравнений, описывающих эти явления. Это обстоятельство привело к большому богатству плодотворных математических методов анализа и расчета электромагнитных процессов и обусловило тесную связь развития теоретических разделов электротехники с развитием математики.

Наконец, следует особо подчеркнуть значение правильных материалистических исходных позиций для формирования основных теоретических положений учения в области электромагнитных явлений. Именно глубоко материалистическое воззрение таких выдающихся ученых, как М. В. Ломоносов, М. Фарадей, К. Максвелл и ряда других, способствовало их замечательным открытиям. Тем большее значение это имеет в настоящее время, когда, как уже отмечалось, развитие электротехники во многих областях все теснее переплетается с решением основных проблем современной физики.

В краткой статье невозможно рассмотреть все многообразные теоретические вопросы, решение или дальнейшая разработка которых имеет в настоящее время важное значение для практических задач электротехники. Поэтому мы остановимся лишь на некоторых из них, имеющих наиболее существенное значение.

Известно, что при не слишком быстрых электромагнитных процессах, происходящих в тех или

иных устройствах, вполне оказывается возможным, абстрагируясь от некоторых второстепенных деталей, рассматривать эти процессы, пользуясь понятиями электрической и магнитной цепей. Электрические и магнитные цепи характеризуются их параметрами: электрическим сопротивлением, индуктивностью, емкостью, магнитным сопротивлением и т. д. Если можно допустить, что параметры цепи не зависят от интенсивности электромагнитных процессов, то эти процессы описываются линейными уравнениями и сами цепи называют при этом линейными. Теория линейных цепей получила к настоящему времени весьма полную математическую разработку. Естественно, в дальнейшем ряд разделов этой теории будет совершенствоваться. Так, например, получает все большую разработку и применение метод спектральных или частотных характеристик в приложении к изучению переходных процессов, особенно при импульсных напряжениях. Вместе с разработкой отдельных методов весьма существенным является широкое обобщение различных методов теории линейных цепей.

Значительно менее разработанной и вместе с тем приобретающей в настоящее время исключительно большое значение является теория нелинейных электрических и магнитных цепей, параметры которых резко зависят от интенсивности происходящих в них процессов. Если еще два-три десятка лет назад с нелинейными свойствами элементов цепей по большей части приходилось считаться как с нежелательным явлением, то в современной электротехнике эти свойства получают все более широкое использование. Соответственно, если ранее нелинейность учитывалась в теории цепей в основном как осложняющий фактор, то теперь по возможности полная разработка теории нелинейных цепей приобретает первостепенное значение.

Особые свойства нелинейных цепей широко используются в электроавтоматике, телемеханике, электроизмерительной технике, радиотехнике, электроэнергетике и в других областях современной электротехники. Используя нелинейные элементы, можно осуществить стабилизаторы напряжения и тока, высокочувствительные индикаторы каких-либо значений физических величин или физических состояний, регулирующие и защитные устройства, усилители мощности, модуляторы, детекторы, генераторы незатухающих колебаний высокой и звуковой частоты, генераторы медленных колебаний, выпрямители, инверторы, преобразователи частоты, устройства для формирования импульсов напряжения различной формы, спусковые устройства — так называемые триггеры, в которых используется неустойчивое состояние и при плавном изменении входного напряжения происходит скачок напряжения или тока на выходе, счетчики импульсов, счетно-решающие устройства и т. д. Все это открывает широкие возможности комплексной автоматизации производственных процессов в промышленных предприятиях, на электростанциях и в электроэнергетических системах, способствуя повышению производительности труда.

Наряду с широким сознательным введением нелинейных элементов в те или иные электротехнические устройства во многих случаях оказывается необходимым учитывать существенную нелинейность элементов цепи, хотя эта нелинейность и не создается специально для ее использования. Так, например, нелинейность кривой намагничивания сердечников реакторов, предназначенных для компенсации емкости линий передачи переменного тока большой протяженности, и насыщение сердечников трансформаторов напряжения могут при известных условиях вызвать в цепи нежелательные субгармонические колебания. С существенной нелинейностью мы имеем дело при рассмотрении вопросов качания и динамической устойчивости синхронных генераторов и т. д.

Методы математического анализа нелинейных колебаний и особенно методы нахождения периодических решений нелинейных дифференциальных уравнений разработаны в классических трудах А. М. Ляпунова и А. Пуанкаре. Метод решения задачи об устойчивости движения разработан А. М. Ляпуновым в его классическом сочинении «Общая задача об устойчивости движения». Большой вклад в развитие теории нелинейных систем сделан советскими учеными Л. И. Мандельштамом, Н. Д. Папалекси, А. А. Андроновым, Н. М. Крыловым, Н. Н. Боголюбовым. Многими советскими и зарубежными учеными разработаны методы анализа процессов в тех или иных конкретных нелинейных электрических и магнитных цепях. Вместе с тем можно без преувеличения сказать, что дальнейшая разработка методов анализа нелинейных систем является одной из важнейших теоретических задач современной электротехники.

Чтобы показать высокие требования к глубине и полноте физико-математического анализа электромагнитных явлений, выдвигаемые практикой, рассмотрим в качестве одного из наиболее ярких примеров некоторые основные научные вопросы, которые должны быть решены в области передачи электрической энергии постоянного тока высокого напряжения.

Практическое осуществление мощных передач постоянного тока имеет весьма большое значение для развития энергетики СССР, оно связано с нашим переходом электрификации страны на высшую ступень — с созданием единой высоковольтной сети сначала Европейской части СССР, а затем и всего Советского Союза. Объединение энергетических систем единой высоковольтной сетью повысит надежность электроснабжения, позволит наиболее полно и экономично использовать энергетические ресурсы страны, даст возможность наиболее правильно решить проблему энергетических резервов. Осуществление передач постоянного тока в системе единой высоковольтной сети позволит более экономично, чем при переменном токе, передавать энергию на большие расстояния. Кроме того, передачи постоянного тока обладают рядом важных технических преимуществ по сравнению с передачами переменного тока. Одним из наиболее существенных преимуществ является отсутствие требования синхрон-

ной работы генераторов, связываемых линией передачи постоянного тока, что делает целесообразным применение таких линий для связи крупных энергетических систем. Таким образом, пример, на котором мы хотим остановиться, относится к наиболее актуальным, наиболее крупным и находящимся еще в стадии разрешения задачам электротехники.

Преобразование переменного тока в постоянный в начале линии и обратное преобразование в конце линии осуществляются при помощи управляемых вентилей, обладающих нелинейными характеристиками. Соответственно нелинейными оказываются и характеристики преобразователей, рассматриваемых в целом. Для сглаживания пульсаций тока в линии и для ограничения величины аварийных токов на концах линии постоянного тока должны быть установлены реакторы. Эти реакторы должны обладать столь большой индуктивностью, что их осуществление возможно только со стальными сердечниками, так как и при этом их размеры оказываются того же порядка, как и размеры главных трансформаторов. Эти реакторы насыщаются при больших аварийных токах, что вносит существенную нелинейность в переходные процессы, развивающиеся при авариях в передаче.

Линии передач постоянного тока будут примыкать к энергосистемам переменного тока, содержащим несколько электростанций, объединенных линиями переменного тока. Поведение таких систем требует глубокого изучения. Так, если линия передачи постоянного тока снимает полностью сложный и труднейший вопрос об устойчивости совместной работы связываемых ею энергосистем, то она вносит новые элементы в вопрос об устойчивости генераторов электростанций, входящих в питаемое ею сложные энергетические системы. Это обусловлено весьма специфическими динамическими характеристиками передачи постоянного тока. В свою очередь аварийные процессы в энергосистемах переменного тока существенно влияют на устойчивость работы инверторов, т. е. преобразователей на приемном конце передачи постоянного тока. Теоретическое рассмотрение этих вопросов осложняется наличием автоматических регуляторов на преобразовательных подстанциях передачи постоянного тока, на первичных двигателях и на генераторах электростанций. Особенно осложняется теоретическое рассмотрение аварийных процессов, при которых нарушается симметрия токов и напряжений в трехфазной сети, так как метод симметричных составляющих в обычном его виде здесь мало применим ввиду сложного поведения инвертора при несимметрии напряжения.

Современная теория электрических цепей, несмотря на ее глубокую разработку, еще не в состоянии охватить, особенно при рассмотрении переходных процессов, всю систему в целом, состоящую из отправительной энергосистемы, выпрямительной подстанции, линии передачи постоянного тока, инверторной подстанции и сложной приемной энергосистемы. В этом направлении еще предстоит большая теоретическая работа.

Наличие мощных передач постоянного тока может оказать существенное влияние и на такие важные для эксплуатации энергетических систем переменного тока вопросы, как, например, регулирование частоты и распределения активной мощности. Теория автоматического регулирования в последние годы получила широкое развитие, однако жизнь выдвигает перед ней все новые задачи.

Рассмотренный пример показывает, сколь серьезные и трудные вопросы ставит практика перед теорией, в частности перед теорией электрических цепей. Столь же серьезные требования к теории предъявляют и другие разделы электротехники — электромашиностроение, электроавтоматика, электроизмерительная техника и др.

Наряду с разработкой методов анализа цепей выдвигается также новый раздел теории — синтез цепей, имеющий своей задачей определение структуры цепей по заданным их характеристикам.

Создание мощных передач постоянного и переменного тока весьма высокого напряжения и других электротехнических устройств выдвигает также ряд задач, требующих глубоких физических исследований. В области передачи постоянного тока к таковым относятся, например, задача создания мощного высоковольтного вентиля, изучение короны при постоянном напряжении на расщепленных проводах, исследование работы изоляции при воздействии одновременно постоянного и переменного напряжений, что очень важно для проектирования главных трансформаторов преобразовательных подстанций, разработка выключателя постоянного тока высокого напряжения. Заслуживают большого внимания наблюдавшиеся случаи аномального разряда при весьма высоких постоянных напряжениях порядка миллиона вольт и выше. Аномальный разряд перекрывает воздушные промежутки, значительно превышающие промежутки, нормально выдерживающие те же напряжения. При этом после того, как аномальный разряд завершается, электрическая прочность промежутка вновь восстанавливается. Физика этого явления еще не изучена. Практическое же значение такого изучения для сооружения подстанций и установок весьма высокого постоянного напряжения несомненно. В области передачи переменного тока большое значение имеет изучение вопросов гашения электрической дуги. Во всех этих вопросах, как и во многих других, теоретическая электротехника непосредственно примыкает к физическим исследованиям.

При проектировании современных электротехнических устройств стремятся достичь предельных параметров, что дает возможность осуществить устройства на весьма высокие напряжения, на весьма большие токи, на предельные скорости действия, с предельно малыми весами и габаритами и т. д. Решающее значение на этом пути имеют изыскание, разработка и применение новых изолирующих, проводящих и магнитных материалов с весьма высокими электрическими и магнитными свойствами. Теоретические и экспериментальные исследования в этой области, основанные на новейших достижениях физики, химии и метал-

лургии, во многом определяют дальнейший прогресс электротехники.

Создание новых материалов открывает новые возможности их применения в технике. Так, новые материалы — так называемые магнитодиэлектрики, обладающие диэлектрическими и ферромагнитными свойствами, получают применение в технике высокой частоты. Особенно широкие перспективы совершенно новых технических возможностей открываются в настоящее время на пути использования замечательных свойств полупроводников. Эти свойства установлены и в значительной мере изучены только в последние два десятилетия благодаря большому количеству проведенных физических исследований. Уже сейчас полупроводники получают весьма широкое применение в электротехнике.

Твердые выпрямители, в которых используется зависимость электрической проводимости контактного слоя между металлами и некоторыми полупроводниками, могут быть созданы как на слабые токи для использования в электроизмерительных приборах, так и на токи порядка тысячи ампер для использования в электрохимии, в электрометаллургии, в электротранспорте. Так, например, опытный выпрямительный элемент (El. Eng., январь 1954), содержащий пластинку из германия толщиной 0,36 мм, имеющую поверхность 3,5 см<sup>2</sup>, оказался способным при надлежащем водяном охлаждении пропускать в прямом направлении ток, имеющий максимальное значение 600 а и среднее за период значение 200 а, и выдерживать обратное напряжение порядка 100 в, причем падение напряжения в нем при прохождении указанного тока в прямом направлении составляло всего 0,8 в. Трехфазный выпрямитель, собранный из трех таких элементов, способен выпрямить ток мощностью 60 квт. Из этого примера видно, какие исключительные перспективы открываются в электроэнергетике, когда появится возможность широкого использования таких выпрямителей — весьма простых, не боящихся сотрясений, не требующих создания вакуума, не имеющих элементов накала, всегда готовых к действию.

Добавление третьего управляющего электрода к полупроводниковому элементу дало возможность создать полупроводниковые триоды — транзисторы и осуществить на их основе усилители и генераторы высокой частоты. Такие полупроводниковые триоды и выпрямители — диоды приобретают все большее значение в радиотехнике, в электроавтоматике, в счетно-решающей технике, заменяя собой электронно-вакуумные лампы.

Все более широкое использование получают и другие замечательные свойства полупроводников. Так, резкое возрастание электрической проводимости полупроводников при увеличении температуры дает возможность использовать их в качестве нелинейных элементов в устройствах для измерения и автоматического регулирования температуры. Высококочувствительные полупроводниковые фотосопротивления и фотоэлементы находят применение для световых измерений, сигнализации, автоматизации производственных процес-

сов. Большой интерес представляет возможность создания термоэлементов с полупроводниковыми парами, развивающих значительные э. д. с., что открывает перспективу непосредственного преобразования в больших количествах тепловой энергии в электромагнитную, а также для получения холода.

Происходящее на наших глазах быстрое развитие физики полупроводников и их технических применений свидетельствует о все большем сближении важнейших физических проблем с задачами электротехники. Оно является также яркой иллюстрацией высказанного выше положения, что прогресс электротехники в значительной мере определяется изучением, улучшением и использованием свойств материалов, применяемых в электротехнических устройствах. Это общее положение относится не только к полупроводниковым, но и к изолирующим, проводящим и магнитным материалам.

Другой крупной теоретической областью электротехники, всегда имевшей большое значение, является разработка методов расчета и исследования электромагнитных полей. Разработка методов расчета электромагнитных полей в вещественных средах примакает к только что рассмотренной задаче изучения физических свойств различных веществ. Теория здесь, как и в других вопросах, переходит к решению все более сложных задач. Такими задачами являются: разработка методов расчета полей в анизотропных средах, что важно, например, для сушки волокнистых веществ в электрическом поле высокой частоты; разработка методов расчета полей в средах с нелинейными свойствами, например в ферромагнитных и сегнетоэлектрических веществах, что важно для расчета потерь в ферромагнитных телах, определения влияния ферромагнитных сердечников на волновые процессы в трансформаторах, расчета экранирования и т. п.; разработка расчетов полей в гиротропных средах, вращающих плоскость поляризации, находящих применение в волноводах.

В электроэнергетике еще недостаточно разработан вопрос о расчете переменного электромагнитного поля около линии передачи с учетом влияния земли, в частности при возврате тока через землю. Особенно сложен этот вопрос, если принять во внимание неоднородность слоев земли. Вместе с тем этот вопрос имеет большое практическое значение в связи с намечаемым сооружением все более мощных и протяженных линий электропередачи. К расчету полей сводится и вычисление основных параметров электрических цепей: сопротивления с учетом поверхностного эффекта, индуктивности и емкости. Расчет полей необходим при проектировании электрических машин, трансформаторов, электромагнитов, изоляторов и многих других электротехнических устройств.

Расчеты электромагнитных полей в воздухе и в вакууме получили большое развитие в технике весьма коротких волн — они необходимы для проектирования волноводов, полых резонаторов,

специальных ламп, генерирующих колебания весьма высоких частот, для изучения распространения весьма коротких волн.

С задачей точного расчета электромагнитного поля в вакууме сопрягается важнейшая задача о движении в электромагнитном поле элементарных частиц, обладающих электрическими зарядами. Это обширная область, охватывающая многообразную современную электроизмерительную и электрофизическую аппаратуру — катодные осциллографы, электроннооптические приборы, телевизионные трубки, масс-спектрографы, ускорители элементарных частиц и т. д.

Сложность теоретических задач, выдвигаемых современной электротехникой, часто не дает возможности исследовать аналитическими методами весь комплекс интересующих нас явлений во всех их взаимосвязях. Примером служат рассмотренные выше сложные энергетические системы объединенные линиями передач постоянного и переменного тока, с их автоматическими устройствами. Для всестороннего изучения таких систем первостепенное значение имеет метод их электрического моделирования и экспериментальное исследование на моделях электромагнитных и электромеханических процессов в таких системах. Электрическое моделирование позволяет также исследовать электрическими методами явления в других физических, неэлектромагнитных системах. Например, при помощи электрической модели можно с успехом изучать нелинейные процессы в сложных теплофикационных сетях, при помощи электролитических ванн представляется возможным изучать поля вектора скорости в потоках жидкости и газов, обтекающих тела сложной формы, и т. д. Исключительное значение в последнее время приобретают электрические вычислительные машины, позволяющие быстро решать математические задачи весьма большой сложности. Эти машины высвобождают человека от огромной и неблагодарной вычислительной работы, предоставляя ему время для творческого, созидательного труда.

Электротехника проникает в самые разнообразные области науки и всей жизни человеческого общества. Соответственно и изучение теории электромагнитных явлений получает сопряжение с различными областями знаний — физиологией, биологией, медициной, гидроаэродинамикой, астрономией и т. д. В медицине широко применяются методы электродиагностики и электротерапии. В сельском хозяйстве воздействием ультрафиолетовых лучей достигается ускорение роста и предохранение от заболевания рахитом молодняка птиц и скота; при помощи электрического поля высокой частоты и инфракрасных лучей осуществляется сушка зерна, овощей, коконов шелкопряда; при помощи добавочного электрического освещения достигается ускорение роста растений в условиях полярной зимы. В строительстве для понижения уровня воды в грунте находит применение электроосмос. Электрическая очистка дымовых газов решает важную задачу оздоровления воздушных бассейнов социалистических городов. Радиоастрономия,



использующая радиотехнические методы, открывает новые возможности изучения вселенной.

Наука об электромагнитных явлениях достигла уже весьма больших результатов и принесла многие свои достижения на службу человеческому обществу. Но настойчивое и дерзновенное проникновение в тайны природы, несомненно, откроет и в этой области новые горизонты. Мы еще ничего не знаем о внутреннем движении электрона и других элементарных частиц, о внутреннем электромагнитном движении, характеризующем само электромагнитное поле, о последовательности и характере явлений, совершающихся в те ничтожные промежутки времени, в которые происходит излучение или поглощение атомом фотона или в которые совершается преобразование фотонов в пары позитрон—электрон или обратное преобразование. Эти вопросы относятся к следующей более высокой ступени познания. По отношению к ним в полной мере сохраняет свою силу предложение М. В. Ломоносова «сыскать подлинную электрической силы причину и составить точную ее теорию». К ним относятся и знаменитые слова В. И. Ленина: «Электрон так же неисчерпаем, как и атом...».

До открытия магнитного действия электрических токов магнитные действия магнитов объяснялись наличием на полюсах магнитов положительной и отрицательной магнитных масс. Открытие магнитных действий электрических токов, естественно, выдвинуло мысль, что одинаковые действия должны порождаться и родственными причинами. Руководствуясь этой мыслью, Ампер сформулировал гипотезу о существовании молекулярных токов в веществе магнита. Эти идеи, высказанные в то время, когда еще не была создана электромагнитная теория строения атома, получили конкретное выражение в современных представлениях, согласно которым магнитное поле

магнитов обусловлено элементарными электрическими токами в веществе магнитов — вращением электронов по орбитам в атомах и вращением электронов относительно своих осей.

В настоящее время нам известно, что магнитное поле возникает в случае движущихся заряженных частиц, а также в случае изменяющегося во времени электрического поля. Развивая ту же мысль, что одинаковые действия должны вызываться родственными явлениями, можно высказать предположение, что и в изменяющемся во времени электрическом поле совершается процесс, имеющий в какой-то мере нечто общее с процессом движения заряженных частиц, только здесь имеет место движение материи значительно более тонкой структуры. Раскрытию этого процесса может способствовать также рассмотрение процесса образования пары позитрон—электрон. Так же как гипотеза Ампера осуществляла скачок от макроскопических токов в проводниках к элементарным токам вещества, приведенные рассуждения или другие возможные и аналогичные им позволят осуществить следующий скачок от элементарных частиц к внутреннему строению поля и самих частиц. Многое на этом пути может быть достигнуто и смелым экспериментом, возможно, например, изучением поведения электронов при предельных скоростях, приближающихся к скоростям света.

Руководствуясь положением диалектического материализма о принципиальной познаваемости мира, глубоко изучая взаимосвязи между различными сторонами физических явлений, мы сумеем проникнуть еще глубже в тайны строения материи и, в частности, в сущность электромагнитной формы движения материи и направить новые достижения науки на благо человека в грядущем коммунистическом обществе.

[9.5.1955]



## Научные проблемы отечественного электромашиностроения

*Действительный член Академии наук Армянской ССР А. Г. ИОСИФЬЯН*

Непрерывное развитие электроэнергетической базы Советского Союза при одновременном интенсивном внедрении автоматизации и механизации во все отрасли народного хозяйства и в особенности тяжелой индустрии предъявляет все более и более повышенные требования к техническому и технологическому уровню электрических машин и низковольтной пуско-регулирующей аппаратуры, к улучшению их эксплуатационных и рабочих характеристик, к повышению надежности. Все это необходимо для обеспечения разнообразных требований технологии производства во всем его многообразии.

Научные проблемы в области электромашиностроения, определяющие пути развития конструкции и технологии машин, прямо или косвенно

связаны с внутренними, общими для всех типов машин закономерностями физических явлений.

Общность физических явлений для всех типов и размеров электрических машин не исключает, а облегчает более глубокий анализ специфических особенностей крупных, средних и малых машин различных типов. Непрерывный рост уровня электромашиностроения может быть обеспечен лишь при учете и использовании достижений смежных отраслей науки и техники: физики, химии, металлургии, техники изоляционных материалов, проводников и полупроводников, теплотехники, аэродинамики.

Технический и технологический уровень конструкций электрических машин и аппаратов должен непрерывно повышаться на основе достиже-

ний в области технологии массово-поточного производства. В этом смысле учет достижений технологии автомобильной, тракторной, авиационной, станкостроительной и других отраслей промышленности, занятых в основном выпуском малономенклатурных изделий, но в очень больших количествах, имеет чрезвычайно важное значение. Как известно, технология электромашиностроения и аппаратостроения имеет свои существенные трудности. Эти трудности заключаются в том, что машиностроение и аппаратостроение является многономенклатурной отраслью народного хозяйства, охватывающей мощности машин от долей ватта до 300 тыс. кВт в одной единице с весом машин от нескольких грамм до сотен тонн. Поэтому конструкция и технология электрических машин и аппаратов должна решаться в зависимости от масштабов производства, диктуемых перспективными планами развития народного хозяйства СССР. Это плановое начало социалистического хозяйства является мощным рычагом воздействующим на технику и технологию производства как в их принципиальных аспектах, так и по существу.

Повышение качественного уровня электромашиностроения связано с разрешением проблем нестационарных и несимметричных режимов работы электрических машин, с разрешением проблем регулирования электрических машин в зависимости от задач автоматизации технологических производственных процессов в различных отраслях народного хозяйства. Важнейшей задачей является стабилизация частоты и напряжения не только мощных турбо- и гидрогенераторов, но и специальных источников питания, обеспечивающих устойчивую работу электронных автоматизированных установок. Важное значение имеют проблемы, связанные с анализом влияния преобразовательных схем переменного-постоянного тока на рабочие характеристики и режимы машин.

Вопросы внутренней аэродинамики машин, связанные с методами охлаждения и отвода тепла, вопросы механической прочности, вибраций, шумов, коммутации коллекторных машин постоянного и переменного тока являются центральными проблемами современного электромашиностроения. Исключительное влияние оказывает на развитие машиностроения техника изоляционных и магнитных материалов. Коренными вопросами, связанными с производительностью труда и организацией массово-поточного производства, являются вопросы конструкции, технологии, технико-экономических показателей, в том числе себестоимости продукции.

**Переходные процессы. Параметры электрических машин.** Переходные процессы электрических машин являются областью сложных физических явлений, изучение которых составляет предмет важнейших теоретических и экспериментальных исследований. Переходные процессы как электромагнитного, так и электромеханического характера определяют пределы мощности, передаваемой на далекие расстояния от мощнейших в мире тепловых и гидроэлектрических станций Волги и Сибири, работающих параллельно на

общую нагрузку. Переходные процессы электрических машин и схем, в которых работают эти машины, определяют качественный уровень систем автоматического регулирования и управления производственно-технологическими процессами всех отраслей народного хозяйства.

Уровень работ в СССР в области электромагнитных и электромеханических переходных процессов является весьма высоким, и отечественная наука является пионером по разработке многих вопросов теории устойчивости, стабилизации, переходных режимов работы синхронных генераторов, нестационарных режимов машин постоянного тока, электромашинных усилителей, асинхронных двигателей. Однако новые задачи требуют более глубокого анализа явлений в этой области.

Как известно, теоретические основы исследования переходных процессов основываются на методах анализа поведения систем, требующих решения нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих нестационарные процессы в электрических цепях, и дифференциальных уравнений, описывающих процессы, связанные с движением инерционных масс. Для облегчения методов анализа обычно пренебрегают нелинейными параметрами цепей токов, исключают из рассмотрения явление насыщения, потери на вихревые токи и гистерезис, зависимость сопротивления от тока и диэлектрической постоянной от напряжения, а также исключают переменную скорость движущихся масс. Линеаризация уравнений является результатом чрезвычайных математических трудностей, возникающих при решении этих уравнений в общем виде. Между тем такие важные для практики величины, как время переходного режима, амплитуды колебаний, число предельных циклов колебаний, анализ потерь энергии при этих колебаниях, явления самораскачивания и автоколебаний, весьма сильно зависят от нелинейных параметров электрических цепей и от движущихся с ускорением механических масс.

Следовательно, основное внимание исследователей должно быть направлено на область анализа переходных процессов с учетом нелинейных параметров. В связи с этим важное значение имеет глубокое изучение реактивностей машин, являющихся функциями токов, учет потерь по продольным и поперечным осям машин, в особенности реактивностей машин связано с методами расчетов индуктивностей и взаимоиндуктивностей электрических цепей статора и ротора, т. е. с определением магнитных потокосцеплений электрических машин. Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре и в зубчатых слоях статора и ротора влияет на работу электрических машин, в частности в асинхронных режимах.

Как известно, существующие теории рассматривают влияние высших гармонических на характеристики машин без учета открытия пазов, насыщения зубцового слоя и влияния замыканий токов на поверхности ротора и особенно токов в короткозамкнутых клетках асинхронных двигателей. Между тем высшие гармоники поля в за-

зоре между статором и ротором создают дополнительные паразитные моменты, радиальные и тангенциальные силы, являющиеся источником шумов, вибраций, причиной искажения крутящих моментов, особенно в машинах малой мощности. Высшие гармоники иногда связаны с неудовлетворительной коммутацией высоконагруженных коллекторных машин постоянного и переменного тока.

Перемагничивание зубцов статора и ротора, особенно при больших насыщениях, со значительными частотами по отношению к частоте вращения якоря создает добавочные потери в зубцах как при холостом ходе, так и при нагрузке. Именно поэтому внимание исследователей необходимо привлечь к вопросам глубокого анализа влияния высших гармонических на рабочие характеристики машин и к разработке методов теоретического определения законов распределения индукции в зазоре и в зубцовом слое.

Исследование реактивности машин и более точный учет потерь во всех цепях имеет исключительно важное значение для теоретического анализа режимов работы весьма многообразных схем автоматического регулирования. Современные, весьма широко, к сожалению, распространенные теоретические методы изолированного анализа схем автоматического регулирования без учета внутренней закономерности процессов, происходящих в машинах, и одновременно с тем анализ процессов, происходящих в электрических машинах, без учета процессов, происходящих в схемах автоматического регулирования, совершенно не отражают реальных и физических процессов и не удовлетворяют требованиям практики. Это приводит к тому, что очень часто усложняются схемы автоматического регулирования, в то время как эти схемы можно было бы упростить, изменяя параметры машин. Компаундирование синхронных генераторов в схемах регулирования напряжения, изменение параметров электрических машинных усилителей, разработка специальных преобразователей постоянно-переменного тока с достаточно точным параметрическим регулированием напряжения отражают эту возможность. Вместе с тем очень часто к электрической машине предъявляются чрезмерные требования, которые приводят к ее усложнению, повышению ее стоимости, габаритов, веса, в то время как проблему регулирования можно было бы решать более просто и экономно с применением соответствующей аппаратуры и схем автоматики. В качестве примера можно указать на требования, предъявляемые к агрегатам возбуждения турбо- и гидрогенераторов с большим потолком по форсированию возбуждения, требования к синхронным компенсаторам, обладающим малой реактивностью. Известно, что эти вопросы могут быть более экономично решены при помощи выпрямительных устройств с сеточным регулированием, без излишнего усложнения машин. Отсюда следует, что разработка и создание новых электрических машин и схем автоматического регулирования могут быть решены только путем комплексного анализа параметров электрических машин, веса, габари-

тов этих машин и схем автоматического регулирования.

В связи с мощным развитием автоматизации производственных процессов и широким внедрением короткозамкнутых асинхронных двигателей важнейшей проблемой является широкое регулирование скорости вращения этих двигателей методом переключения полюсов, созданием дополнительных устройств в виде электрических, гидравлических, электромеханических муфт, допускающих широкое регулирование приводного вала при постоянстве скорости вращения ротора двигателя. Важное значение имеет анализ работы асинхронных двигателей в схемах регулирования скорости вращения при помощи циклического включения и выключения муфты сцепления.

Следует отметить, что назрела необходимость глубокого анализа моментных характеристик асинхронных двигателей, изменяющих нагрузку за период вращения (например, электромашинных вибраторов), требующих анализа рабочих характеристик с учетом изменения мгновенного значения угловой скорости вращения за период.

**Вентиляция, нагрев и охлаждение.** В последние годы предъявляются особые требования к надежности работы непрерывно включенных электрических машин в металлургической, горнодобывающей, химической, нефтяной и прочих отраслях промышленности. Задачи дальнейшего увеличения мощности турбо- и гидрогенераторов в одной единице, связанные с экономически более выгодным строительством станций и с повышением к. п. д., требуют от электромашиностроителей нового подхода к вопросам вентиляции и охлаждения электрических машин.

Необходимо отметить, что вопрос вентиляции и охлаждения электрических машин в мировой технике является наиболее отсталым участком. Между тем эксплуатация предъявляет все возрастающие требования к длительной непрерывной работе электрических машин, исчисляющейся сотнями и тысячами часов при ограничении веса и габаритов этих машин.

Вопросы вентиляции и охлаждения связаны с глубоким изучением внутренней аэродинамики электрических машин, с анализом поля скоростей воздуха в зазоре, в лобовых частях, в вентиляционных каналах статора и ротора и, наконец, для турбо- и гидрогенераторов, с изучением всего вентиляционного тракта как внутри машины, так и по контуру циркуляции воздуха или газа, включая и охладители. Подробные исследования некоторых гидрогенераторов различных конструкций как отечественных, так и иностранных показывают, что внутренняя аэродинамика машин изучена мало. Этим объясняется тот факт, что некоторые гидрогенераторы не дают расчетной мощности вследствие перегрузки обмоток статора, а некоторые турбогенераторы работают на пределе мощности вследствие тепловой перегрузки ротора. Отсталость в области вентиляции электрических машин объясняется тем, что изучение поля скоростей в областях с чрезвычайно малыми геометрическими размерами является весьма

сложным. Для точного определения поля скоростей в различных частях машин необходимы соответствующие малогабаритные прецизионные приборы, которые, не влияя на поле скоростей, давали бы достаточно точную величину скорости потока воздуха или газа в функции координат (рис. 1). Изучение сложных явлений турбулентного, вихревого движения воздуха или газа в проточных элементах электрических машин, имеющих свои специфические особенности, требует проведения тщательных экспериментов на специальных установках. Можно сказать, что экспериментальная внутренняя аэродинамика электромашин является отсталой областью и что методы аналитического исследования движения воздуха внутри машины далеко не исследованы. Отечественные ученые разработали приборы для детального изучения воздушных потоков машины, а экспериментальная аэродинамика имеет большие успехи в области изучения как ламинарных, так и вихревых движений воздуха или газа. Поэтому на современном этапе развития техники можно достаточно быстро развивать работу в области внутренней аэродинамики машин в целях установления наиболее выгодного распределения расходов воздуха как в аксиальном, так и в радиальном направлениях с тем, чтобы выбрать наиболее рациональные конструкции элементов воздушного тракта и вентиляторов, технологически простых, обеспечивающих высокий к. п. д. и достаточный теплосъем.

Исследования в области вентиляции должны включать моделирование отдельных узлов машин с обмотками и машин в целом с целью изучения коэффициентов теплопередачи для наиболее нагруженных в тепловом отношении участков. Продувка специальных моделей узлов электрических машин с эквивалентными токовыми нагрузками может дать важные практические коэффициенты для теплового расчета электрических машин.

Применение современных методов теории стационарных случайных процессов для изучения

турбулентных и вихревых движений воздуха может быть чрезвычайно полезным при анализе результатов экспериментальных исследований в области вентиляции и нагрева.

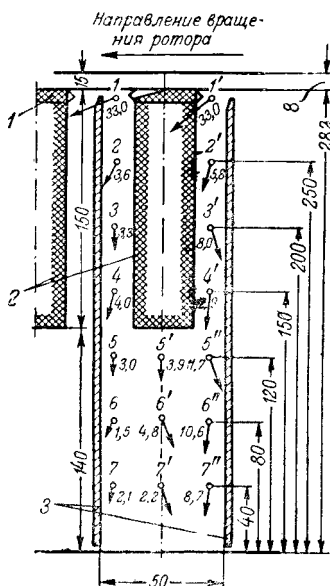


Рис. 1. Распределение скоростей охлаждающего воздуха внутри радиального вентиляционного канала статора гидрогенератора.

1 — пазовый клин; 2 — обмотка ротора; 3 — дистанционные распорки (ветриницы).

**Вопросы коммутации.** За последнее десятилетие научно-исследовательские работы в области коммутации электрических машин постоянного и переменного тока не находились в центре внимания научных работников. Объяснялось это тем, что широкое внедрение в промышленность асинхронных и синхронных двигателей временно отвлекло внимание и интерес к этой проблеме. Однако интенсивная автоматизация при одновременном повышении требований в области автоматического регулирования с применением электромашинных усилителей с двигателями постоянного тока; задачи создания новых тяговых двигателей на постоянном токе и мощных электрических машин для приводов металлургического оборудования; проблема создания электрической тяги на переменном токе в 50 гц с применением однофазных коллекторных двигателей и компенсированных трехфазных коллекторных альтернаторов, работающих на переменной частоте, — все это значительно оживило интерес к вопросам коммутации.

Основные работы в области коммутации в настоящее время направлены на глубокое изучение процессов искрообразования под щеткой. Влияние конструкции щеточного аппарата на процесс коммутации, влияние степени балансировки ротора и жесткости щитов и щеточной траверзы машин на явления искрообразования, учет влияния насыщения в зубцовом слое и в дополнительном полюсе на величину и форму реактивной и трансформаторной э. д. с., проблема искажения потенциальной кривой на коллекторе при точечных нагрузках являются теми вопросами, которые в настоящее время находятся в центре внимания электромашиностроителей.

Следует отметить, что до последнего времени уделялось очень мало внимания вопросам влияния материалов щеток на изменение переходных сопротивлений под щетками, т. е. изменение сопротивлений в поверхностном слое щеток различных марок при длительных нагрузках. Нелинейные характеристики щеточного контакта, вопросы возникновения тепловых перенапряжений в отдельных участках и зонах щеточного контакта играют чрезвычайно важную роль в вопросах коммутации.

Можно сказать, что проблемы высоконагруженных по коллектору машин постоянного тока и связанные с ними законы токораспределения на щеточной траверзе при большом количестве щеток являются далеко не решенными. Объясняется это тем, что методы исследования процессов коммутации не давали объективной оценки коммутационных явлений как в функции параметров щеток, так и в функции изменения электромагнитной энергии в зоне коммутации.

Современные достижения в области электронной техники, позволяющие осуществить точную регистрацию и фотографию процессов искро- и дугообразования на коллекторе, имеющих длительность порядка  $10^{-5} \dots 10^{-7}$  сек, позволяют более глубоко изучить явления коммутаций на коллекторе (рис. 2). Представляется возможным снять статические и динамические вольтамперные

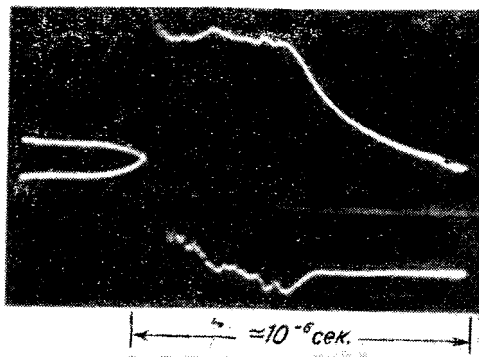


Рис. 2. Осциллограммы тока  $i$  и напряжения  $e$  последней фазы коммутации при искрении между щеткой и одной из пластин коллектора.

характеристики дугообразования и искрообразования. Очевидно, что в этом случае теоретическое решение проблем коммутации связано с анализом очень сложных нелинейных уравнений. Процессы коммутации при низких давлениях окружающего воздуха и работе коллектора в химически активных средах, вопросы охлаждения и вентиляции щеточного аппарата коллектора являются важнейшими задачами научного исследования.

#### Механическая прочность и вопросы вибрации.

Вопросы механической прочности и вибрации связаны с повышающимися требованиями народного хозяйства по экономии черных и цветных металлов. Для крупного машиностроения, турбо- и гидротурбиностроения вопросы механической прочности имеют исключительное важное значение для надежной работы этих машин.

Как известно, в мировой практике имели место случаи тяжелых аварий турбогенераторов, связанных с поломкой роторов, бандажных колец и других элементов механической конструкции машин. Основными причинами таких тяжелых аварий являются: низкая усталостная прочность материалов поковок роторов, бандажных колец, недостаточный анализ явлений вибраций и недостаточная изученность методов балансировки роторов машин. Небольшой объем экспериментальных исследований по механической прочности объяснялся отсутствием соответствующих тензометрических приборов и оборудования для изучения местных напряжений, механических деформаций роторов электрических машин в реальных условиях. В связи со значительным прогрессом, достигнутым сейчас в области создания специальной аппаратуры для исследования механической прочности, открылась возможность глубокого анализа механических деформаций и напряжений как во вращающихся, так и в неподвижных частях машин, как в статических, так и в переходных режимах. Исследования в области механической прочности должны быть направлены на изучение критических скоростей машин с учетом влияния фундаментов и опор на динамические режимы и механические перенапряжения в отдельных узлах и деталях машин. Результаты этих работ позволят не только создать высоко-

прочные в механическом отношении машины, но и ликвидировать излишние затраты материалов, в особенности конструкционных сталей, применяемых в электрических машинах.

Вопросам вибрации и шумов электрических машин было посвящено значительное количество работ, однако сложность этих явлений ограничивала глубину их теоретического и экспериментального изучения. Многие работы, имеющие сугубо теоретический характер, основываясь на весьма грубых допущениях, не отражают реальных процессов и не подтверждаются убедительной экспериментальной проверкой.

Исследование влияния величины магнитных сил в воздушном зазоре на частотный спектр вибрации, выбор правильных соотношений зубцов статора и ротора для снижения вибрационных шумов, анализ колебания отдельных участков статора, анализ распределения волн звуковых частот по поверхности статора, — все эти вопросы составляют комплекс важнейших задач, которые стоят перед исследователями вибрационных характеристик машин. В результате этих исследований должны быть установлены допустимые значения вибрации, а также единые нормы, определяющие качество вибрирующей машины. Глубокие статистические исследования процессов вибрации с применением новейшей аппаратуры для виброизмерения должны заложить основу техники малошумных машин, что имеет исключительно большое значение как для промышленности, так и для быта.

**О единых сериях электрических машин.** Важнейшей задачей, непосредственно связанной с технологией массово-поточного производства и с конструкциями электрических машин, является разработка основ проектирования единых серий машин переменного и постоянного тока, синхронных и асинхронных двигателей, микромашин для быта. Работы советских ученых в области проектирования единых серий, возникшие из потребностей планового социалистического государства, в котором обеспечена возможность изготовления и выпуска единых типов электрических машин на всех заводах страны, заложили основу для разработки научных методов проектирования таких единых серий. Научные основы проектирования единых серий связаны с установлением законов изменения основных параметров: линейных нагрузок, индукций и т. д., в зависимости от размеров машин и скоростей вращения, с учетом влияния эффекта применения новых изоляционных и магнитных материалов на использование электрических машин. Выбор оптимальных с точки зрения всего народного хозяйства энергетических показателей и коэффициентов нарастания мощности, установление принципов унификации мощностей и унификации деталей и, наконец, усовершенствование методов расчета электрических машин, предопределяющих рабочие характеристики, являются важнейшими вопросами, которые подлежат непрерывному изучению. Следует отметить, что проблема выбора шкалы наружных диаметров серии машин в зависимости от раскрытия стандартных листов при принятой системе соотно-

шения длин и диаметров отдельных участков серии, требует тщательного анализа. Серийное производство может по-новому поставить вопрос об унификации ядра выпускаемых машин и отыскании наиболее целесообразной в технико-экономическом отношении шкалы наружных диаметров, не связанных с так называемым безотходным раскромом стандартных листов, так как представляется возможным в перспективе при механизации процесса изготовления штампов переход на штамповку листов статора и ротора из рулонной электротехнической стали, ширина которой может быть выбрана в соответствии с диаметрами.

Представляет интерес рассмотреть вопрос о переводе единых серий асинхронных и синхронных двигателей с напряжением 220/380 в на напряжение 380/520 в, что даст возможность значительно сократить расход материалов в низковольтных сетях.

За последнее время были высказаны критические замечания по вопросу веса активных материалов асинхронных машин единой серии до 100 квт. Вопрос о весе активных материалов связан с длительностью работы машин в условиях эксплуатации. Известно, что стремление к экономии в весе активных материалов, приводящее к перегрузке машины в тепловом отношении, вызывает в дальнейшем затрату дополнительного количества меди и изоляционных материалов на ремонт или замену этих машин. Поэтому проектирование единых серий электрических машин приводов, для которых вес и габариты не играют существенной роли, должно проводиться с учетом народнохозяйственных интересов в целом — в масштабе государственных затрат материалов (в особенности цветных металлов и изоляционных материалов) на изготовление и ремонт машин. Разработка единых серий электрических машин требует параллельного глубокого технико-экономического исследования особенностей этой проблемы: с учетом расхода цветных и изоляционных материалов в низковольтных сетях.

Решение задач в области конструирования единых серий электрических машин должно проводиться также в тесной связи с разработкой технологии массового поточного производства. Если раньше процессы создания и внедрения новых машин были последовательными процессами труда инженера-конструктора и инженера-технолога, то теперь, на современном уровне развития производительных сил, когда изделия электромашинно-аппаратостроения являются массовыми, разработка конструкций, расчет этих машин и аппаратов должны сопровождаться параллельной разработкой технологии. Объясняется это тем, что создание автоматических поточных линий автоматических агрегатов станков, сложных комплексных механизированных установок для литья, пропитки, сушки, агрегатных и индивидуальных станков для намотки обмоток, требует соответствующих конструктивных форм узлов, деталей. Обеспечение всех необходимых электротехнических эксплуатационных параметров машины и создания простой конструкции, предопределяющей быстрый темп ее внедрения в серийно-массовое

производство, является, несомненно, сложным и трудным. Однако эта задача должна быть и будет решена объединенными коллективными усилиями инженеров-расчетчиков, конструкторов и технологов.

**Электротехнические материалы.** Прогресс в области электрических машин и низковольтных аппаратов во многом зависит от развития техники электротехнических материалов.

Отечественная наука и техника могут отметить весьма большие достижения по разработке новых изоляционных материалов, достигнутые в последние годы, и машиностроителям дана возможность ориентироваться на высокие перегревы при создании промышленных образцов. Уже в настоящее время мы имеем самые различные классы изоляции по нагревостойкости (рис. 3). Наша страна является родиной кремнийорганической изоляции, открытие которой ознаменовало собой новый этап в области развития электромашиностроения. Кремнийорганическая изоляция позволяет перейти на более высокую ступень использования материалов, повышает надежность в эксплуатации.

Техника совершенствования электрических машин непосредственно связана с изоляцией паза ротора и статора. Можно сказать, что паз электрической машины есть одно из центральных звеньев научного исследования, ибо все основные эксплуатационные свойства машин: геометрия, вес, надежность, срок службы, габариты, в сильной степени зависят от паза электрической машины, от градиента электрического поля в пазу, от стойкости паза к перенапряжениям, от теплопроводящих свойств изоляции паза, от механической прочности изоляции. Именно поэтому борьба за высококачественные изоляционные материалы, глубокое исследование процессов, происходящих в изоляции, во всей истории электромашиностроения было постоянной заботой электромашиностроителей.

Решающей проблемой является повышение надежности изоляции роторов крупных турбогенераторов особенно по линии механической прочности, износоустойчивости и нагревостойкости, и в этом отношении большие возможности открывает применение терморезистивных компаундов.

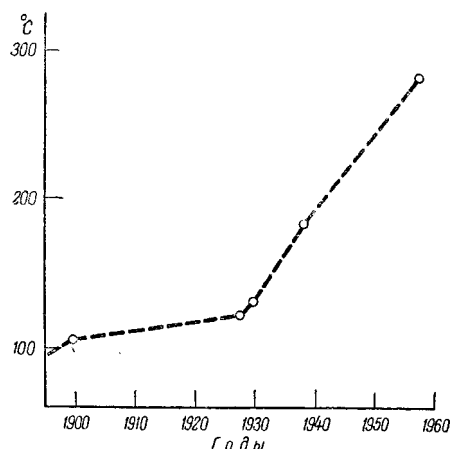


Рис. 3. Кривая допустимых температур для различных классов изоляции.

Существенным также является повышение коэффициента заполнения паза машин. Разработка и освоение обмоточных проводов с высокопрочной эмалью позволили в низковольтных машинах с изоляцией класса А поднять коэффициент заполнения паза и тем самым их облегчить, однако в этом направлении использованы далеко еще не все возможности. Огромное значение имеет снижение прибавок на изоляцию в высоковольтных машинах, что может быть осуществлено за счет применения более высокопрочных материалов в пазовой и в межвитковой изоляции.

Необходимо форсировать изучение градиентов пазовой изоляции, создать тонкослойную межвитковую изоляцию класса В, ибо это решает рациональную конструкцию изоляции закрытых машин. Следует внедрить литую прессизоляцию.

За последние годы имеются известные успехи и в области новых магнитных материалов как магнитно-мягких, так и магнитно-жестких. Электромашиностроители используют холоднокатаные текстурованные стали, обладающие пониженными потерями, применяют пермаллой, пермендюр и многие другие новые магнитные материалы для генераторов и двигателей различных типов. Однако их широкое применение тормозится высокой стоимостью указанных материалов.

Развитие научно-исследовательских работ в области магнитных и изоляционных материалов сопровождается необычным развитием техники создания и внедрения новых проводниковых и полупроводниковых материалов. Выявляется настоятельная потребность применения новых проводниковых материалов для роторов турбогенераторов с большой проводимостью, малым удельным весом, большой механической прочностью и вязкостью. Литые проводниковые материалы для короткозамкнутых обмоток роторов асинхронных двигателей, специальные контактные материалы с высокой износостойчивостью являются далеко еще не исследованной областью электроматериаловедения.

Достижения физики в области полупроводников: германия, кремния, интерметаллических соединений, открывает новую эпоху в технике выпрямления и преобразования электрической энергии, которая революционно воздействует на дальнейшее развитие схем автоматики и электропривода. Применение этих материалов в электромашиностроении может открыть новые перспективы в деле создания бесколлекторных машин постоянного тока.

**Электрические машины и низковольтная аппаратура.** Развитие техники электромашиностроения неразрывно связано с развитием автоматизированного электропривода. Автоматизированный электропривод ликвидирует обособленную роль электромашин с точки зрения режимов ее работы. Машины становятся органической частью комплексного устройства. Их конструкция и характеристики должны быть согласованы с конструкциями и характеристиками аппаратуры и с требованиями электропривода.

Намечается тенденция к слиянию машин и аппаратуры в единое устройство. В ряде случаев

машины выполняют функции аппаратуры регулирования за счет внутренних электромагнитных процессов электрических цепей машин с обратными связями. Аппаратура, коммутирующая ток путем замыкания и размыкания контактов, для повышения надежности заменяется магнитными усилителями, бесконтактными реле.

К аппаратуре предъявляется требование быстрого действия, надежности, малогабаритности. Это требование можно удовлетворить только на основе глубокого изучения исключительно сложных процессов взаимодействия электрических контактов.

Нестационарный режим работы аппаратов, являющийся их рабочим режимом, требует очень глубокого изучения электромагнитных, электростатических, электромеханических, газодинамических и термодинамических процессов, происходящих в области разрыва и включения цепи. Если срок службы низковольтной пусковой аппаратуры до последних лет исчислялся несколькими миллионами включений и выключений, то теперь промышленность требует аппаратуры с включением и выключениями в количестве, превышающем 10 или 20 млн.

Это требует очень глубокого изучения явлений дугообразований между контактами. Влияние дуги на износостойчивость поверхностей, пространственное распределение ствола дуги при различных методах его гашения (дутьем, магнитным полем, кинематикой механизмов), вопросы образования пленок на поверхности контактов, неравномерного распределения тока по поверхности контакта, неравномерного распределения энергии, поглощаемой и излучаемой на отдельных участках контакта, циклические температурные режимы, приводящие к свариваемости этих контактов, — все это далеко неисследованные проблемы.

Ударные механические процессы, приводящие к колебательным явлениям кинематических звеньев контактного устройства, требуют глубокого изучения конструктивных форм и методов создания аппаратуры, обладающей высокой коррозионной и эрозионной стойкостью, контакты которой не свариваются при толчкообразных токах.

Проблема создания новых тепло-дуго-влажностойких изоляционных материалов для применения в аппаратуре является важнейшей задачей аппаратостроения. Вопросы механической прочности, в том числе усталостной прочности отдельных деталей конструкции аппаратуры, должны быть предметом непрерывного изучения и исследований с целью выбора надлежащих высокопрочных материалов. Теоретические работы в области аппаратуры, связанные с нелинейностью их параметров, изменяющихся в очень малые промежутки времени, настоятельно требуют значительного развертывания фронта теоретической и научно-исследовательской работы в этой области.

Большие задачи стоят в области модернизации и разработки ряда серий аппаратов. К этим аппаратам относятся: новые серии универсальных автоматов до 6 кВ с малогабаритным приводом

постоянно-переменного тока, приспособленные для монтажа в современных распределительных устройствах; автоматы с большой разрывной способностью при малом выбросе дуги; новые серии автоматов гашения поля с гашением дуги в решетке, обеспечивающей резкое снижение времени гашения поля электрических машин при сохранении безопасного уровня перенапряжения; модернизированные установочные автоматы со встроенным электромеханическим приводом и расцепителем. Внедрение износоустойчивых контактов переменного тока, в частности высоковольтных на 3 и 6 кВ, улучшает аппаратуру для тепловой защиты двигателей.

Особое внимание необходимо уделить разработке аппаратуры для пуска и защиты микродвигателей, применяемых в бытовых приборах и в схемах автоматики. Практика требует создания новых быстроходных, износоустойчивых, малогабаритных командоконтроллерных аппаратов, реле управления переменного тока, реле контроля механических величин, моторных реле времени, компактных реостатов. Необходимо значительно развить производство рациональных конструкций гидравлических толкателей взамен тормозных магнитов переменного тока и разработать новые серии короткоходовых электромагнитов постоянного тока. Исключительно важные задачи стоят в области создания взрывобезопасной аппаратуры для химической и угольной промышленности.

Разработка новых серий электрических аппаратов требует, так же, как и в электромашиностроении, параллельных методов разработки конструкций и технологии массового поточного производства. Количественный выпуск аппаратов, необходимость значительного снижения их себестоимости требуют механизации и автоматизации процессов производства в более широких масштабах, чем это имеет место в электромашиностроении. Разработка передовых технологических методов по намотке катушек, креплению контактов, изготовлению оболочек, прессовке изоляционных деталей и полная автоматизация контроля геометрических размеров деталей при поточном производстве при помощи электронной аппаратуры являются важнейшими задачами в области технологии. Именно поэтому разработка конструкции электрических аппаратов также должна быть организована параллельно с разработкой технологии.

**О методах исследования электрических машин.** Мы указали, что прогресс электромашино- и аппаратостроения связан с глубокими исследова-

ниями в области физики электромагнитных и электромеханических явлений. Было отмечено, что математический анализ этих физических явлений связан с составлением и решением сложных дифференциальных уравнений, по существу нелинейных во всех процессах — как стационарных, так и нестационарных. Было указано, что во многих случаях исследователи для упрощения математической задачи весьма часто пренебрегают важными явлениями, так как современные математические методы решения задач связаны с большими сложными вычислениями, требующими большого труда.

Однако на современном этапе науки эти позиции необходимо пересмотреть. Создание и внедрение портативных электронных счетно-аналитических машин с огромной производительностью по проведению цифровых расчетов, создание и внедрение специальных электрических схем для анализа линейных дифференциальных уравнений в частных производных достаточно высоких порядков, дающих возможность найти решения в виде явных функций обобщенных координат физического процесса, открывают новые неограниченные возможности научного исследования, значительно приближают методы математического анализа к потребностям практики, упрощают во много раз труд исследователя. Широкое внедрение этих приборов и машин в практику лабораторий, расчетных и конструкторских бюро электромашиностроительных заводов и научных организаций для анализа влияния насыщения, вихревых потерь, гистерезиса и для учета нелинейных сопротивлений, — является важнейшим фактором, обеспечивающим широкий фронт развития техники электромашиностроения. Борьба с консерватизмом и недооценкой этого метода должна быть последовательной.

В заключение необходимо особо подчеркнуть, что без систематического изучения достижений физики, химии, математики, без изучения достижений смежных отраслей наук: механики, аэродинамики, теплотехники, электронной техники, в объемах, необходимых для применения этих достижений в электромашиностроении и аппаратостроении, не может быть дальнейшего прогресса науки и техники в этих областях. И только коллективная деятельность работников науки и техники различных специальностей является залогом успеха в работе по повышению уровня электромашиностроения в нашей стране.

[6.5.1955]

*Учитывать при проектировании машин и оборудования необходимость быстрого внедрения в производство новейших достижений науки и техники, передового опыта и рационализаторских предложений, обращая при этом особое внимание на повышение производительности, экономичности, эксплуатационной надежности и уменьшения веса машин, станков и оборудования, а также расхода металла в производстве.*

(Из постановления Пленума ЦК КПСС 11 июля 1955 г.)



# Задачи отечественного гидрогенераторостроения

Член-корр. Академии наук СССР, проф. А. Е. АЛЕКСЕЕВ, инж. А. С. ЕРЕМЕЕВ,  
доктор техн. наук Р. А. ЛЮТЕР

Завод «Электросила» им. Кирова

Советский Союз обладает огромными гидроэнергетическими ресурсами. В соответствии с постановлением XIX съезда Коммунистической партии Советского Союза удельный вес мощности гидроэлектрических станций в общей энергетике страны должен непрерывно повышаться.

Большинство гидростанций нашей страны — низконапорные и на них устанавливаются главным образом тихоходные гидроагрегаты большой мощности (табл. 1) и вертикального исполнения. Даже сравнительно маломощные гидрогенераторы имеют большие геометрические размеры. Особо крупными машинами являются тихоходные генераторы большой мощности. Проектирование и производство таких машин требует большого опыта и наличия в соответствующих цехах заводов крупных специальных станков и мощных по своей грузоподъемности мостовых кранов.

Завод «Электросила» им. Кирова еще в 1938 г. выпустил крупнейший в мире гидрогенератор для одной из гидростанций вблизи г. Щербакова на Волге. Мощность этого генератора (рис. 1) составляет 68 750 ква при скорости вращения 62,5 об/мин. По своему весу (около 1 200 т), по величине вращающего момента (1 070 тм), по геометрическим размерам (наружный диаметр станины достигает 14 м) и по грузоподъемности подпятника (2 100 т) этот генератор занимает первое место в мире.

В зарубежной практике гидрогенераторостроения лишь в последние годы стали строить тихоходные генераторы, близкие по своим данным к щербаковскому. Так, генератор № 6, (табл. 2) имеет при моменте 838 тм вес около 1 090 т, давление же на пяту составляет около 1 800 т. Ближайший по грузоподъемности подпятника генератор № 8, (табл. 2) имеет давление на пяту 1 550 т.

Таким образом, задачу постройки крупнобаритных машин, надежных и экономичных в эксплуатации, а также наибольших по грузоподъемности подпятников советское электромашиностроение решило еще в довоенные годы.

Однако дальнейшее развитие строительства крупных гидроэлектрических станций требует еще более мощных и более крупных гидрогенераторов. В связи с этими повышенными заданиями, а также в результате обобщения опыта эксплуатации крупных гидрогенераторов на наших гидростанциях выявлены те научно-технические задачи по генераторостроению, которые имеют основные значения для повышения надежности и экономичности работы гидрогенераторов.

К этим задачам относятся:

- 1) рационализация общей компоновки гидрогенераторов и дальнейшее технико-экономическое повышение использования активных и конструктивных материалов;
- 2) статическая и динамическая устойчивость при работе на длинные линии передачи;
- 3) обеспечение надежной работы гидрогенераторов в особых эксплуатационных режимах;
- 4) совершенствование различных конструктивных узлов машины, в частности подпятников, системы вентиляции, системы возбуждения и обмоток для обеспечения надежной работы гидрогенератора.

**Общая компоновка и использование активных материалов.** Скорости вращения современных гидрогенераторов лежат в пределах 60 ... 750 об/мин. В соответствии с природными условиями на советских крупных гидростанциях главным образом установлены тихоходные гидроагрегаты со скоростями вращения 62,5 ... 83,3 об/мин, мощностью до 123 500 ква (табл. 1). Более

Таблица 1

Ориентировочные данные по гидрогенераторам некоторых гидростанций СССР

Номер п/п.	Мощность, ква	Напряжение, кв	n/п, об/мин	Номинальный момент вращения, тм	GD <sup>2</sup> , тм <sup>2</sup>	Общий вес G, т	Производный вес	Исполнение
1	5 000	10,5	250/600	19,5	120	63	38,2	Подвесной
2	8 250	6,3	500/930	16,1	40	62,5	43,7	Подвесной
3	11 000	6,3	250/480	42,8	330	107	36,5	Подвесной
4	11 250	10,5	600/1000	18,1	60	76,5	49	Подвесной
5	16 300	10,5	107/290	148	2 800	265	34,9	Зонтичный
6	20 000	10,5	187/370	104	1 250	214	37,8	Подвесной
7	23 500	10,5	150/300	153	2 700	257	33,3	Зонтичный
8	26 250	10,5	125/280	204	3 700	265	27,9	Зонтичный
9	66 000	10,5	375/600	172	1 200	360	43	Подвесной
10	50 000	10,5	88,2/180	552	15 000	530	26,3	Зонтичный
11	90 000	13,8	83,3/167	1 060	39 000	986	30	Подвесной
12	123 500	13,8	68,2/140	1 760	123 000	1 650	34	Зонтичный

Таблица 2

## Ориентировочные данные по гидрогенераторам зарубежных гидростанций

Номер п/п.	Мощность, ква	Напряжение, кв	$n/n_y$ , об/мин	Номинальный момент вращения, тм	$GD^2$ , т м <sup>2</sup>	Общий вес, Г, т	Производный вес	Исполнение
1	29 400	$10 \pm 12\%$	214/500	133,2	1 450	235	33,8	Подвесной
2	50 000	$10,5 \pm 5\%$	107/280	455,0	15 000	588	33,7	Зонтичный
3	70 000	$15 \pm 5\%$	150/300	454,0	13 200	750	43	Подвесной
4	100 000	—	187,5	519,0	8 800	775	40,1	
5	105 000	16	167	612,0	21 300	797	36,7	
6	73 684	—	85,7	838,0	—	1 090	39,5	
7	90 000	$15 \pm 5\%$	150/300	583	11 700	700	32,8	Подвесной
8	49 500	11	100/345	482	15 000	—	—	Подвесной
9	70 000	10,25	500/933	136,5	530	325	45,6	Горизонтальный

быстроходных агрегатов со скоростями вращения 100 ... 375 об/мин выполнено значительно меньше.

Типовыми исполнениями вертикальных гидрогенераторов в настоящее время следует считать: 1) тихоходные гидрогенераторы подвесного типа (рис. 2); 2) тихоходные гидрогенераторы зонтичного типа (рис. 3); 3) быстроходные гидрогенераторы подвесного типа (рис. 4).

В гидрогенераторе подвесного типа подпятник располагается в верхней крестовине генератора, опирающейся своими лапами на статор генератора. С подпятником скомбинирован верхний направляющий подшипник генератора. Нижний направляющий подшипник генератора размещается в нижней крестовине, которая своими лапами опирается на плитки, закрепленные в бетоне турбинного колодца. В зонтичном генераторе, как показывает рис. 3, подпятник располагается в нижней крестовине, являющейся, таким образом, грузонесущей крестовиной, в ней же располагается и направляющий подшипник генератора, в большинстве случаев единственный в электрической части гидроагрегата. Вторым направляющим подшипником гидроагрегата является подшипник

турбины. Верхняя крестовина воспринимает вес возбuditелей.

Конструктивная схема ряда крупных гидроагрегатов советских гидростанций приводит к компоновке (рис. 5), являющейся некоторой разновидностью гидрогенераторов зонтичного типа. В частности, такую компоновку имеет генератор крупнейшего в мире гидроагрегата Куйбышевской станции. Мощность этого генератора равна 123 500 ква при 68,2 об/мин. У этого генератора подпятник расположен на крышке турбины. Единственный же направляющий подшипник генератора расположен в верхней крестовине генератора. Таким образом, и у этого генератора верхняя крестовина воспринимает вес таких же частей, как и в случае зонтичного генератора, с добавлением незначительного веса направляющего подшипника.

В 1954 г. были пущены в эксплуатацию гидрогенераторы зонтичного исполнения (№ 8, табл. 1) с подпятником в комбинированном исполнении с генераторным направляющим подшипником, установленными на крышке турбины. У этих генераторов (рис. 6) осуществлен вал, общий с тур-

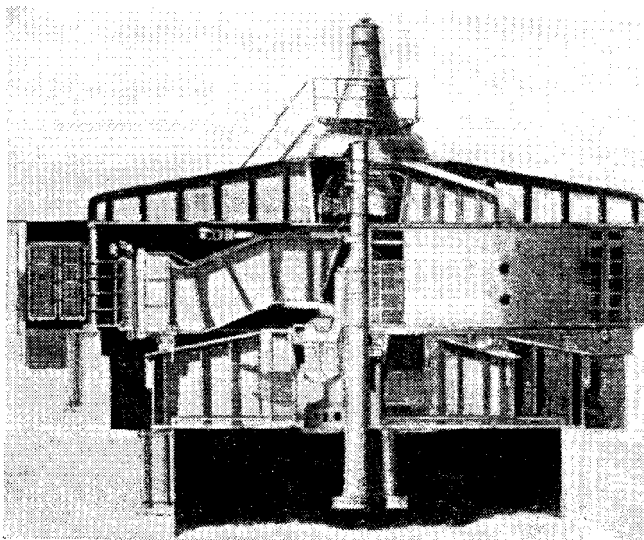


Рис. 1. Гидрогенератор Щербаковской, гЭС.

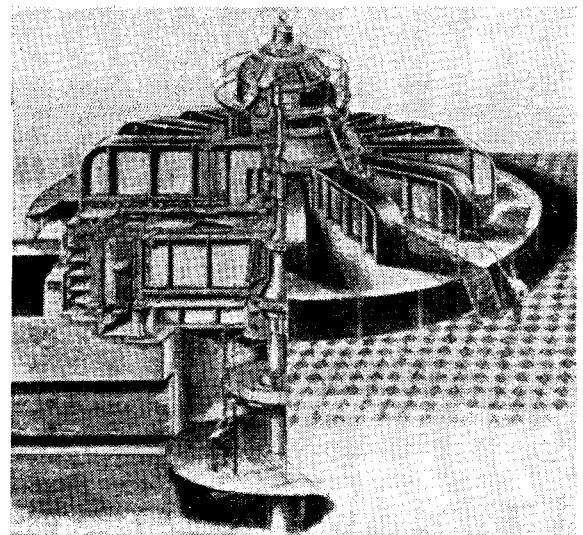


Рис. 2. Тихоходный гидрогенератор подвесного типа.

биной. Если не учитывать относительно небольшого утяжеления крышки турбины, воспринимающей вес вращающейся части гидроагрегата, то уменьшение веса генератора при этой конструктивной схеме против обычного зонтичного исполнения получается примерно на 15%.

Привод генератора от гидротурбины выдвигает два основных требования к проектировщику гидрогенератора:

1. В зависимости от типа турбины генератор должен быть рассчитан в отношении его механи-

ческой прочности на так называемую угонную скорость вращения.

Коэффициент угонной скорости  $k_v$  зависит от типа гидротурбины: для радиально-осевых турбин он обычно равен 1,8, а для осевых турбин с поворотными лопастями он может достигать значений до 2,5 и даже выше.

2. Ротор гидрогенератора должен иметь определенное значение махового момента. Значение махового момента ротора для быстроходных машин определяется обычно из условий допустимого повышения скорости вращения генератора при сбросе нагрузки с учетом времени закрытия направляющего аппарата турбины. Для тихоходных гидрогенераторов необходимо учитывать требования, определяемые условиями параллельной работы.

В ряде случаев задаются более высоким значением махового момента по сравнению с тем, который получается при оптимальных весовых показателях генератора, т. е. при наивыгоднейшем

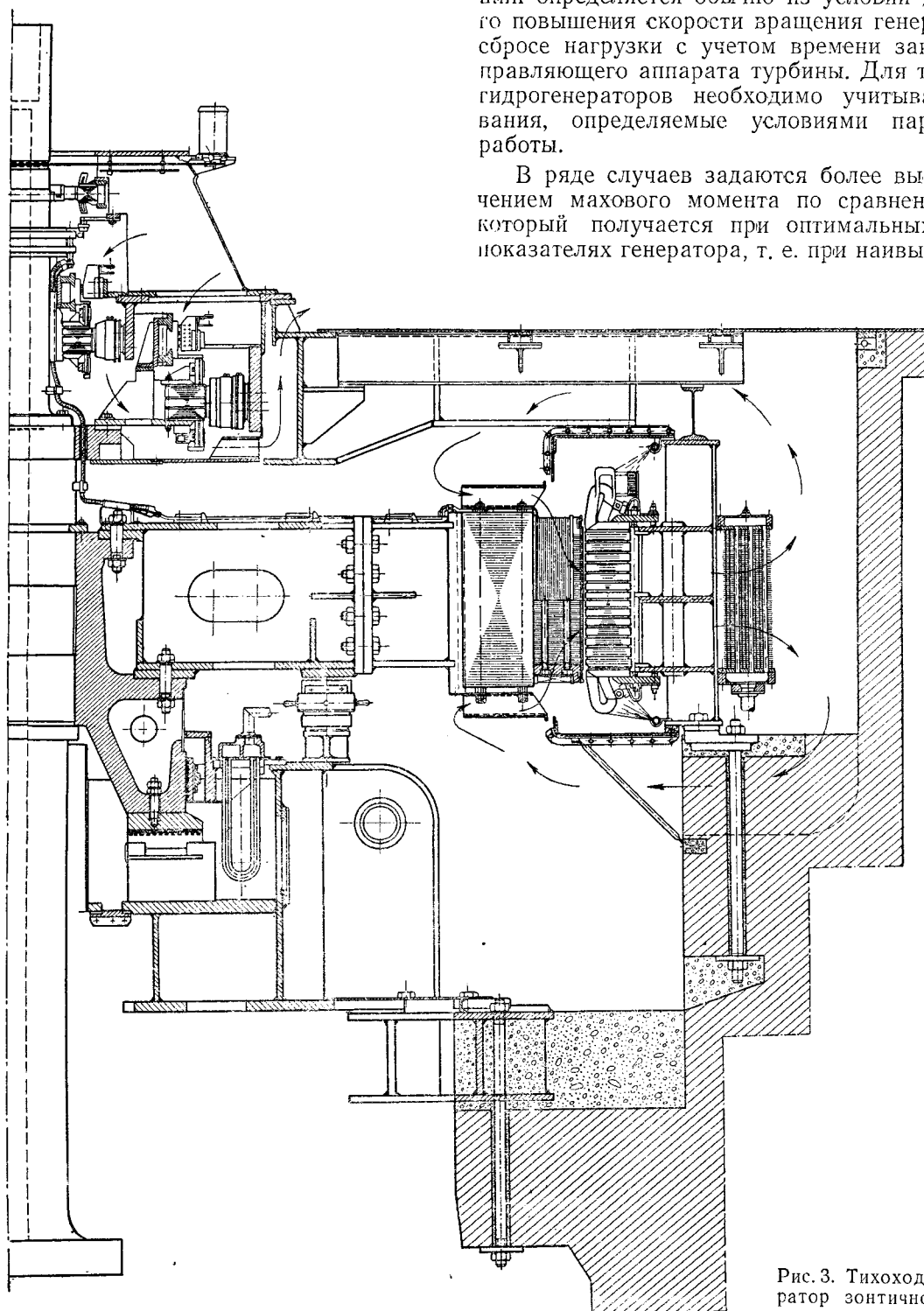


Рис. 3. Тихоходный генератор зонтичного типа.

отношении длины сердечника статора  $l$  к его полюсному делению  $\tau$ .

Существенным критерием рациональной компоновки гидрогенератора является размер, занимаемый им по высоте. Подвесной тип гидрогенератора в этом отношении наименее экономичен и его следует развивать лишь для машин крупной мощности, большой и средней быстроходности при  $n > 150$ . Для тихоходных гидрогенераторов наиболее целесообразен зонтичный тип с расположением подпятника на подставке на крышке турбины (рис. 6) и облегченными крестовинами для направляющих подшипников.

Использование активных материалов гидрогенератора в основном зависит от рационального выбора его окружной скорости. Верхний предел скорости вращения ограничен допустимой угонной скоростью  $v_u$ : для роторов с шихтованными ободами желательно, чтобы эта скорость была порядка  $v_u = 130 \dots 140$  м/сек; для роторов с коваными кольцевыми ободами ее можно повышать до  $v_u = 150 \dots 160$  м/сек.

Практически наивысшие окружные скорости используются для гидрогенераторов, начиная с

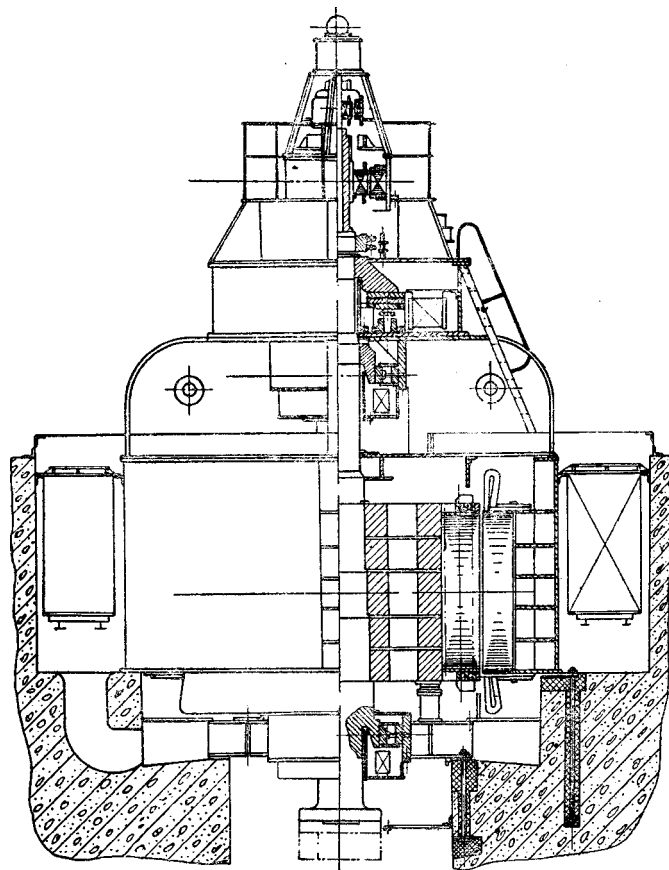


Рис. 4. Быстроходный гидрогенератор подвесного типа.

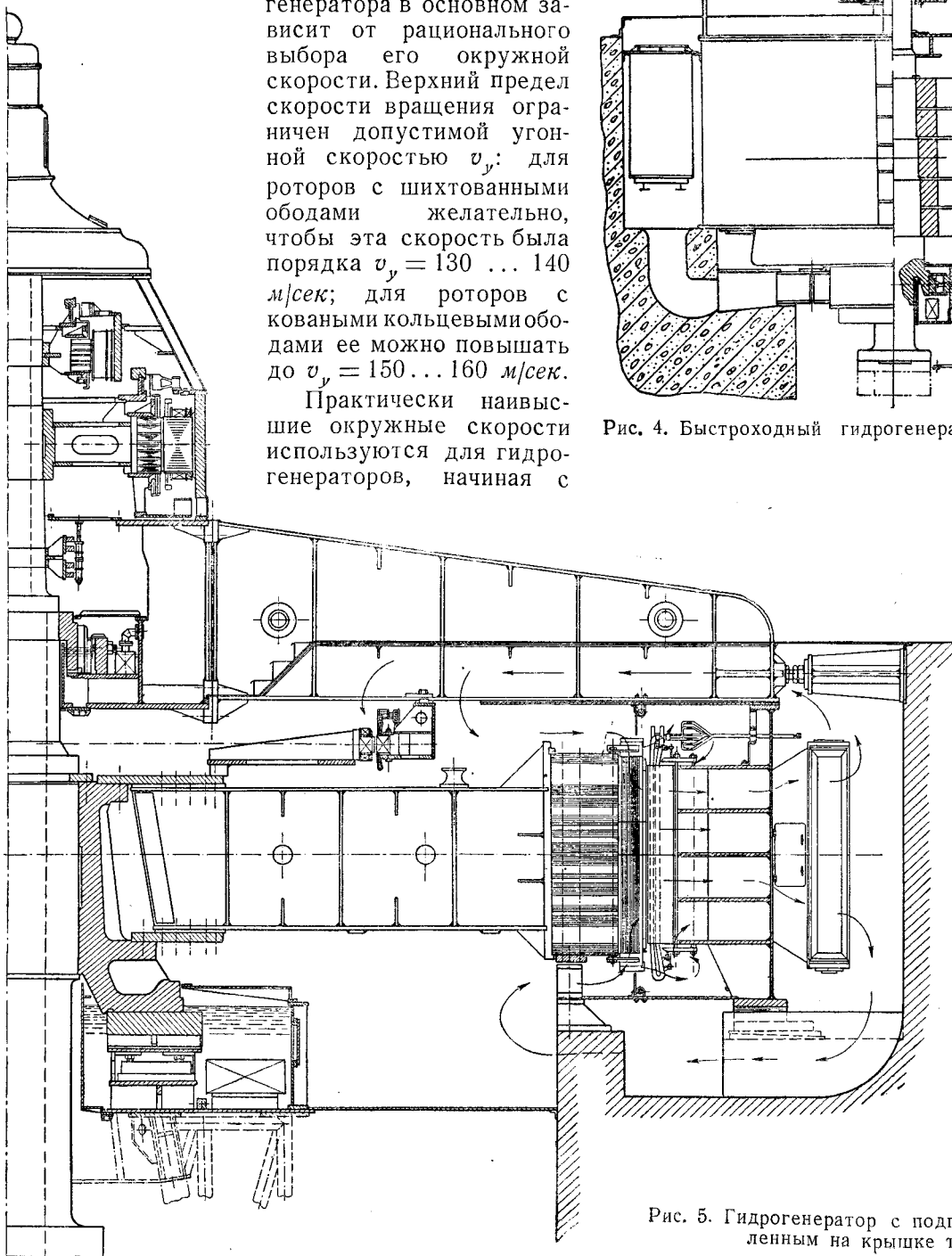


Рис. 5. Гидрогенератор с подпятником, установленным на крышке турбины.

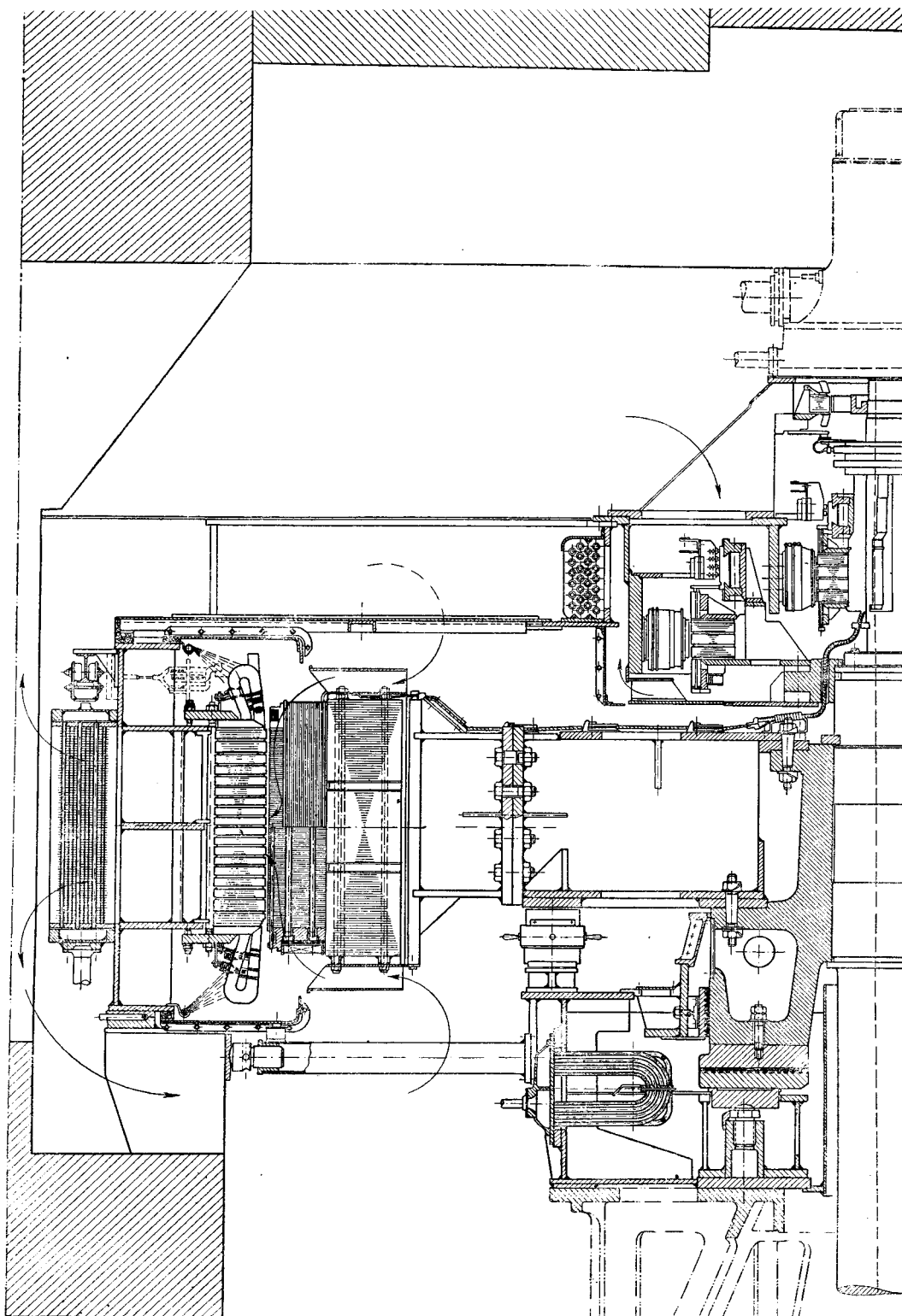


Рис. 6. Гидрогенератор с комбинированным подпятником, установленным на крышке турбины.

определенного отношения  $l/\tau$ . При малых отношениях  $l/\tau$  генераторы, спроектированные по предельной угонной скорости, будут иметь экономически невыгодную чрезмерно малую активную длину статора. При выборе значения  $\tau$  и отношения  $l/\tau$  следует учитывать требуемый маховой момент. При большом числе полюсов может,

однако, в этом случае получится чрезмерно большой диаметр ротора, который в современных гидрогенераторах обычно  $\leq 15$  м. Дальнейшее снижение полюсного деления вынужденно идет за счет повышения  $l/\tau$ . Длина  $l$  из-за транспортных условий ограничена значением около 3,5 м. Для гидрогенераторов со скоростью вра-

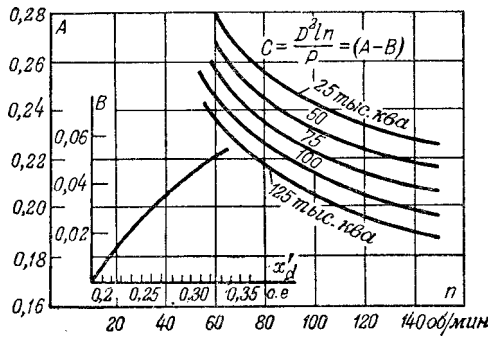


Рис. 7. Зависимость машинной постоянной  $C$  гидрогенератора от мощности, скорости вращения  $n$  и переходной реактивности  $x'_d$ .

щения 60...150 об/мин и мощностью 25...125 тыс. кВа на рис. 7 [Л. 2] показано влияние переходной реактивности  $x'_d$  на выбор машинной постоянной

$$C = \frac{D^2 \ln}{P_{\text{кВа}}}$$

где  $n$  — скорость вращения, об/мин, а диаметр расточки  $D$  и полная длина активной стали  $l$  выражены в метрах. На рис. 8 [Л. 2] дана зави-

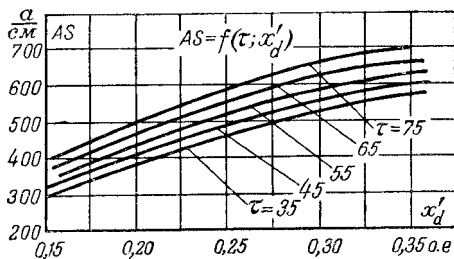


Рис. 8. Зависимость линейной нагрузки  $AS$  гидрогенератора от переходной реактивности  $x'_d$  при различных значениях полюсного деления  $\tau$ .

симость линейной нагрузки  $AS$  от переходной реактивности  $x'_d$  для гидрогенераторов с различными значениями полюсного деления  $\tau$  от 35 до 75 см.

Эти рисунки показывают, какое большое влияние на величину  $AS$  и, следовательно, на использование активных материалов гидрогенераторов оказывает переходная реактивность гидрогенератора, выбираемая по соображениям динамической устойчивости его работы (табл. 3).

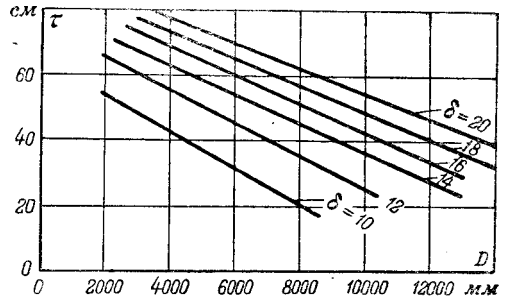


Рис. 9. Зависимость минимального зазора  $\delta$  от диаметра расточки статора и полюсного деления  $\tau$ .

Выбор воздушного зазора  $\delta$  для гидрогенераторов при принятых значениях линейной нагрузки  $AS$ , индукции в воздушном зазоре  $B_\delta$  и полюсного деления определяется значением синхронного реактивного сопротивления  $x_d$ , так как

$$\delta \approx 0,4 \frac{AS \cdot \tau}{x_d B_\delta}$$

Для заданного коэффициента мощности синхронная индуктивность  $x_d$  практически определяет статическую перегружаемость гидрогенератора. По соображениям механической надеж-

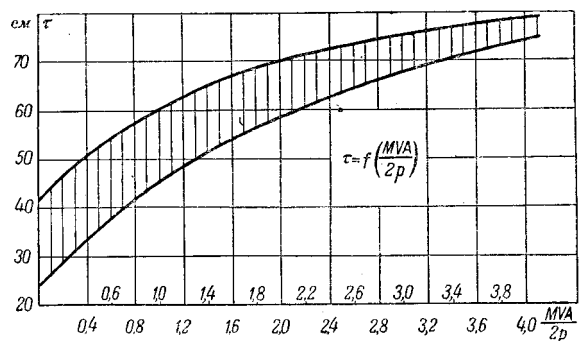


Рис. 10. Зависимость полюсного деления  $\tau$  гидрогенератора от мощности на полюс  $\frac{MVA}{2 \cdot p}$ .

ности работы агрегата значение воздушного зазора гидрогенератора при этом должно быть не менее указанного на рис. 9.

На рис. 10 и 11 даны  $\tau$  и машинная постоянная  $C$  в зависимости от мощности на полюс  $\left(\frac{MVA}{2 \cdot p}\right)$  для гидрогенераторов, выполненных за

Таблица 3

Реактивности гидрогенераторов и постоянная времени цепи возбуждения.

Мощность генератора, кВа	Скорость вращения, об/мин	$x_d$	$x_q$	$x'_d$	$x''_d$	$T'_{do}$
40 000...100 000	62,5...100	0,63...0,89	0,45...0,59	0,27...0,32	0,21...0,26	4,3...7,2
123 500	68,2	0,51	0,32	0,2	0,14	5,3
33 000	375	1,017	0,618	0,285	0,285	7,83
66 000	375	0,842	0,562	0,213	0,213	7,55

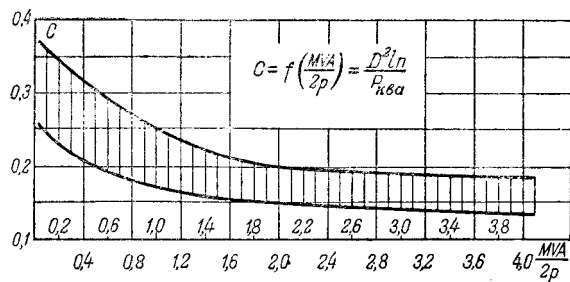


Рис. 11. Зависимость машинной постоянной  $C$  гидрогенератора от мощности на полюс  $\frac{MVA}{2p}$ .

30 лет на электромашиностроительных заводах Советского Союза.

В табл. 1 даны весовые показатели гидрогенераторов: общий вес  $G$  и производный вес  $G \cdot 10^3$

$$\left( 975 \frac{P_{kva}}{n} \right)^{0.14}$$

Максимальная мощность при использовании максимальной угонной скорости  $v_y$  [м/сек]

$$P_{max} = \frac{365}{Cn} l \left( \frac{v_y}{k_y} \right)^2 [kva].$$

Здесь активная длина сердечника статора  $l$  выражена в метрах.

**Статическая и динамическая устойчивость гидрогенератора.** Гидростанция обычно находится вдали от места потребления электрической энергии и связана с ним посредством линии передачи. Условия надежности работы генератора в электрической системе в основном сводятся к требованиям обеспечения устойчивой работы генератора в статических и динамических режимах при различных видах нагрузки. Проблема устойчивой работы генератора, работающего через длинную линию передачи, поставила перед строителями гидрогенераторов следующие задачи: 1) создание генератора с пониженными реактивными сопротивлениями (табл. 3); 2) разработку быстроотзывчивых систем возбуждения; 3) уточнение методов расчета генераторов при несимметричных нагрузках, асинхронных режимах, с процессах самосинхронизации и др.; 4) разработку методов моделирования работы гидрогенераторов в энергосистемах с учетом работы различных устройств регулирования возбуждения генераторов.

При работе на нагрузку  $P_2 = e_2 i_2$  через повысительные трансформаторы с реактивностью  $x_T$  и через воздушную линию передачи длиной  $l$  [км] с линейным углом  $\lambda = 0,06 l$  [град.] и реактивностью  $x_\lambda = \frac{1}{P_{естем} l P_N}$  [Л. 8] с условным  $U_2 = e_2 / \cos \lambda$  статические и динамические угловые характеристики (угол между  $E$  и  $e_2$ ) гидрогенератора [Л. 4] определяются реактивностями гидрогенератора ( $x_d, x'_d, x''_d, x_q, x'_q$  и т. д.), повышенными на внешнюю реактивность, ориентировочно равную  $x_T + x_\lambda \operatorname{tg} \lambda$ , если пренебречь активными сопротивлениями. Это добавочная внешняя реак-

тивность соответственно снижает предел статической и динамической устойчивости и приводит к требованию понижения исходных реактивностей гидрогенератора, правильного выбора рабочего коэффициента мощности и применению специальных быстродействующих систем автоматического регулирования возбуждения.

Достижение повышенной устойчивости при этом существенно как в условиях, предельных по устойчивости углов внутреннего сдвига, так и в условиях работы на емкость с недовозбуждением. Как показывают исследования на моделях, обычные потолки напряжения пристроенных на валу возбудителей с подвозбудителем (около 1,5 ... 1,6) и обычные скорости нарастания напряжения возбуждения (1 ... 2 в сек) при работах на сверхдальние линии передачи даже в условиях быстрого (около 0,15 сек) отключения коротких замыканий могут оказаться недостаточными.

Повышение потолка напряжения возбудительной системы до трех-четырёхкратного номинального напряжения возбуждения и повышение скорости нарастания возбуждения с таким расчетом, чтобы за первый полупериод качания был уже использован потолок регулирования напряжения в возбуждения (постоянная времени нарастания  $T'_e \approx 0,15$  сек), приводит к задаче создания новых систем возбуждения. При этом в дополнение к насаженным на валу гидрогенератора основным тихоходным возбудителям постоянного тока на  $1/2 \dots 1/3$  потолочного напряжения приходится предусматривать последовательно включенные быстроходные вольтодобавочные агрегаты (или вольтодобавочные ионные преобразовательные системы) с быстродействующими автоматическими регуляторами и соответственными усилителями. В связи с прогрессом в технике выпрямительных устройств возможен в будущем переход на возбудители переменного тока с ионным преобразованием в главной цепи возбуждения.

При работе в переходных режимах большое значение для динамической устойчивости наряду с переходной реактивностью и другими реактивностями, определяющими угловые динамические характеристики машины, имеют также и сопротивления  $r_1$  и  $r_2$  прямой и обратной последовательностей обмоток гидрогенераторов, вызывающие одновременно с демпферным моментом тормозной эффект, снижающий амплитуду колебаний угла внутреннего сдвига при аварийных сбросах мощности агрегата [Л. 5].

Рассчитывать на снижение ускоряющих моментов вращения за счет работы регулятора водяной турбины не приходится, так как период собственных колебаний механического регулятора турбины

$$T_p = 2\pi \sqrt{T_m T_s \gamma}$$

обычно значительно выше периода собственных колебаний гидрогенератора.

Здесь  $T_m$  — механическая постоянная времени агрегата;  $T_s$  — время полного закрытия направляющего аппарата;  $\gamma$  — установившееся значение

относительного повышения скорости вращения при сбросе полной нагрузки.

Наиболее эффективным при аварийных несимметричных коротких замыканиях оказывается повышение сопротивления  $r_2$  обратной последовательности. Для повышения  $r_2$  целесообразно применять для демферной обмотки в средней части полюсного башмака стержни со значительным коэффициентом вытеснения тока, например стержни бутылочного профиля.

Проверка необходимого махового момента гидроагрегата обычно производится по соображениям ограничения наибольшего повышения скорости вращения  $S$  гидрогенератора в долях нормальной при сбросе полной нагрузки и проводится, исходя из известного эффективного времени полного закрытия направляющего аппарата  $T_{сз}$ . При этом механическая постоянная времени агрегата  $T_m$ , пропорциональная маховому моменту агрегата и равная

$$T_m = \frac{27,4 \cdot GD^2 \cdot \left(\frac{n}{100}\right)^2}{P_{квв}} \text{ [сек]},$$

может быть, вместе с тем, определена из соотношения

$$T_m = \frac{T_{сз} \gamma}{(S - \gamma)^2 - \gamma^2},$$

где  $\gamma$  — установившееся значение относительного повышения скорости вращения агрегата при сбросе полной нагрузки.

Повышение махового момента агрегата благоприятно отражается как на замедлении повышения скорости вращения при сбросе, так и на повышении устойчивости, но соответственно удорожает гидрогенератор, так как нужно либо повышать диаметр ротора, либо увеличивать его вес, что особенно затруднительно для быстроходных гидрогенераторов.

**Особые эксплуатационные режимы гидрогенератора.** Для повышения надежности работы гидрогенераторов в ряде эксплуатационных режимов весьма существенным является выполнение их с замкнутой между полюсами полной успокоительной обмоткой. Задача надежного выполнения замкнутой успокоительной системы до наивысших периферических угонных скоростей должна быть успешно разрешена, так как гидрогенераторы, снабженные такими обмотками, обладают ниже следующими преимуществами:

1. Затухание колебаний при замкнутой между полюсами успокоительной системе во много раз интенсивнее, чем при успокоителях, замкнутых лишь на отдельных полюсах.

2. Замкнутая между полюсами успокоительная обмотка обеспечивает более надежную работу гидрогенераторов при несимметричных нагрузках, так что разности в линейных токах до 20% становятся допустимыми в длительной работе при условии, чтобы ток ни в одной из фаз не превышал номинального. В этом случае при аварийных несимметричных коротких замыканиях произведение из среднего квадрата тока обратной последова-

тельности  $I_2^2$  за время аварийного режима, выраженного в долях номинального тока, и времени аварии  $t$  может достигать до 40 без опасений за теплостойкость машины:

$$\int_0^t i_2^2 dt = I_2^2 t \leq 40.$$

3. Кроме того, замкнутая успокоительная система снижает перенапряжения на неповрежденной фазе при двухполюсных коротких замыканиях, что особенно существенно для гидрогенераторов, работающих на длинные линии передачи или кабели. Возможные кратности максимальных напряжений между поврежденными и неповрежденной фазами [Л. 4] могут достигать значений

$$k = 2 \frac{x_q''}{x_d} - 1.$$

Коэффициент демпфирования перенапряжений демферными токами в массивных конструктивных элементах машины снижает эти напряжения примерно до  $1 + (k - 1) \cdot 0,7$ .

4. Замкнутая успокоительная система облегчает условия самосинхронизации гидрогенераторов и исключает возможность самораскачивания при работе со слабым возбуждением через линии с большим сопротивлением на емкостную нагрузку.

Следует учитывать, что продольная компенсация линий, приводящая к повышению дальности линий передач, сравнительно увеличивает омические падения напряжения в линии и повышает опасность возникновения самораскачивания гидрогенераторов, если они не снабжены соответственной замкнутой успокоительной обмоткой.

Производить включение гидрогенераторов в сеть методом самосинхронизации допустимо при условии, что кратность симметричного тока при включении не будет превышать тройного против номинального значения. Принимая во внимание относительно высокое реактивное сопротивление повышающих трансформаторов, связывающих гидрогенератор с линией передачи, ограничение трехкратным симметричным током при включении практически получается даже при наличии замкнутой успокоительной системы и не препятствует применению самосинхронизации на большинстве гидроэлектростанций.

**Надежность работы конструктивных узлов.**

**Обмотки статора и ротора.** В целях повышения надежности работы статорной обмотки в крупных гидрогенераторах применяется в большинстве случаев стержневая обмотка. Стержни выполняются плетеными с полной транспозицией отдельных проводников. Заводом разработаны схемы разрезных волновых обмоток (с проскальзыванием в пределах  $60^\circ$  зон) для любых дробностей числа пазов на полюс и фазу [Л. 3]. В этих обмотках, практически совершенно исключая опасность появления витковых замыканий, требуются, однако, весьма тщательное выполнение и контроль паек. Чтобы при неизбежных неравномерностях зазора между статором и ротором односторонние



магнитные притяжения были бы, по возможности, ограничены, параллельные ветви обмотки не должны быть обтекающими всю окружность статора, а должны быть сосредоточены по частичным дугам окружности [Л. 8]. Существенным преимуществом стержневой обмотки перед катушечной является также возможность замены стержней без выема ротора при авариях с обмоткой. Выполняемая заводами Советского Союза компаундированная изоляция статорных обмоток высокого напряжения допускает перегрев по измерению термосопротивлениями  $70^{\circ}\text{C}$  над входящим воздухом  $35^{\circ}\text{C}$ . Для гидрогенераторов с дальнейшим повышением длины активной стали до 3 ... 3,5 м возникает проблема перехода на более совершенный пропитывающий состав микаленты, допускающий полное использование перегрева по нормам для изоляционных материалов класса В.

В роторных обмотках гидрогенераторов, выполненных из голы медь, наравне с надежностью работы изоляции обмотки от корпуса на пробивание весьма большую роль играет также надежность работы изоляции на перекрывание по поверхности. При заземлении в одной точке роторной обмотки работа гидрогенератора еще допустима. Однако заземление второй точки роторной обмотки должно приводить к немедленному аварийному отключению гидрогенератора вследствие опасности возникновения больших однофазных магнитных тяжений. Из сказанного следует, какое большое значение для надежной работы гидрогенератора имеет задача дальнейшего повышения надежности изоляции роторной обмотки.

Для универсальных электрических машин, могущих работать как в режиме гидрогенератора, так и в режиме двигателя гидронасоса, требуется выполнение с переключением полюсов с отношением, близким к 0,8. В этом случае как для статорной обмотки, так и для роторной предусматривается специальная схема.

*Система возбуждения.* Другим важнейшим условием развития мощных гидрогенераторов является создание надежной системы возбуждения с высокими параметрами. Применяемая в настоящее время нормальная система возбуждения гидрогенераторов состоит из возбудителя с подвозбудителем на одном валу с генератором. Эта система вполне обеспечивает надежное возбуждение генератора при обычных требованиях эксплуатации к величине потолка напряжения на кольцах (около 2) и к скорости его нарастания (около 1,5). Повышение требования к этим параметрам возбуждения для гидрогенераторов большой мощности, работающих на сверхдальние линии передачи (четырёхкратный потолок возбуждения при форсировке и большая скорость его нарастания), привели к созданию специальной электромашинной системы возбуждения с применением быстроходной вольтодобавочной машины, соединенной последовательно с основным возбудителем, сидящим на валу гидрогенератора, и возбуждаемой мощной ионной системой, управляемой автоматическим регулятором.

В настоящее время электропромышленностью Советского Союза разрабатывается новая система возбуждения с применением ионных приборов, обеспечивающих значительный потолок возбуждения и почти мгновенную его форсировку, а также облегчающих регулирование.

*Подпятники.* Проблема создания тихоходного подпятника большой грузоподъемности выдвинула следующие основные задачи:

- 1) уточнение и практическую проверку некоторых из основных положений гидродинамической теории смазки;
- 2) эксплуатационную проверку удельной грузоподъемности подпятника в зависимости от его устройства;
- 3) выяснение влияния температурных деформаций сегментов на толщину слоя смазки;
- 4) задачу эффективного охлаждения трущихся поверхностей;
- 5) обеспечение возможности проведения ряда немедленных повторных пусков и остановок агрегата;
- 6) повышение сопротивляемости ударным нагрузкам;
- 7) обеспечение долговременной работы при угонной скорости гидроагрегата;
- 8) обеспечение работы на выбеге без торможения.

Завершающим достижением отечественной техники является создание подпятника грузоподъемностью 3 500 т, что в 2 раза превосходит нагрузку на подпятники самых крупных зарубежных гидрогенераторов. В области создания подпятников большой грузоподъемности Советский Союз идет самостоятельным путем, разработав для мощных гидрогенераторов две новые принципиально различные конструкции подпятников.

Испытания опытных образцов обоих типов подпятников при повышенных в 2 раза удельных нагрузках против обычно применяемых ( $40 \text{ кг/см}^2$ ) показали вполне удовлетворительные результаты работы при всех возможных в эксплуатации условиях.

Таким образом, проблему создания подпятника на нагрузку до 3,5 тыс. т в допустимых для транспорта габаритах в основном можно считать решенной, что вполне обеспечивает создание сверхмощных гидрогенераторов для великих сибирских рек.

Новые системы подпятников показали полную возможность удовлетворения всех требований эксплуатации.

В отношении требования длительной работы гидрогенераторов при угонной скорости вращения можно сказать следующее: согласно нормам, допустимое время работы на угонную скорость вращения ограничивается 2 мин. При такой длительности в режиме угонной скорости был испытан ряд гидрогенераторов нормальной конструкции. Усиленная вибрация гидрогенераторов и их фундаментов, а также частичный выброс масла из масляной ванны подпятника, сопровождающий этот режим, не вызывают нарушения работы машины, если этот режим длится кратковременно (2 мин.). Однако эти явления вызывают серьез-

ные опасения за состояние машины при работе генератора в таких условиях длительное время (3 и более часов). Потребовалось бы разработать некоторые дополнительные мероприятия, повышающие надежность работы генераторов в столь тяжелых условиях, например: уменьшение механических напряжений в деталях и узлах генератора, проведение тщательной динамической балансировки ротора при угонной скорости вращения, усиление жесткости конструкции ротора, разработка мероприятий против выброса и пенообразования масла, установку дополнительных маслоохладителей. Проведение этих мероприятий возможно только при проектировании новых машин: оно повлечет за собой понижение использования материала в машине при нормальной работе и удорожит генератор. Навряд ли это является целесообразным, так как машина в таком режиме работает чрезвычайно редко.

Рациональное решение вопроса связано с необходимостью снижения угонной скорости вращения — вместо 2 ... 2,5 до полуторакратной по отношению к номинальной скорости. На это и должны быть направлены усилия конструкторов турбин и механизмов гЭС. Для решения этой же задачи должны быть разработаны и надежные электрические схемы торможения генераторов. Снижение угонной скорости вращения во многих случаях могло бы также облегчить ротор и тем самым снизить грузоподъемность кранового оборудования гидростанции, уменьшить нагрузку на подпятник и, в конечном счете, удешевить изготовление генератора.

**Вентиляция.** За последние 2 года (1952—1954) НИИ МЭП были проведены экспериментальные исследования вентиляции крупнейших действующих гидрогенераторов Днепрогэса, Щербаковской, Верхне-Свирской, Фархадской и Цимлянской гЭС. Исследования позволили уточнить физическую картину распределения потоков воздуха внутри машин и наметить основные пути улучшения вентиляции мощных гидрогенераторов, проектируемых для вновь строящихся гЭС.

В гидрогенераторах с двусторонней подачей воздуха расход через ротор составляет 30 ... 45% от общего расхода воздуха в машине. Поддача значительного количества воздуха от торцевых вентиляторов в междуполусные пространства и зазор машины в объеме 55 ... 70% общего расхода свидетельствуют о высоком напорном действии полюсов. Степень заполнения радиальных каналов статора охлаждающим воздухом в значительной мере зависит от условий входа воздуха в каналы, которые определяются расположением дистанционных распорок («ветрениц») внутри каналов. Обеспечение надежной герметичности при замкнутом цикле является необходимым условием эффективной и экономичной работы напорных элементов.

Основными требованиями к конструкции гидрогенератора при эксплуатации в замкнутом цикле являются:

1) полная изоляция воздухопровода машины от атмосферы, исключаяющая подсос воздуха в ге-

нератор из машинного зала и выход воздуха из генератора в машинный зал;

2) отсутствие рециркуляции воздуха внутри машины — воздух должен направляться по основному воздухопроводу, предусмотренному конструкцией, непосредственно на активные тепловыделяющие поверхности.

Для создания рациональной системы вентиляции, которая обеспечила бы интенсивный теплоотъем при минимальных затратах мощности на вентиляцию, можно наметить следующие основные направления:

1) улучшение конструкции напорных элементов гидрогенератора — ротора и вентиляторов;

2) снижение гидродинамического сопротивления воздухопровода машины;

3) распределение расхода воздуха по отдельным ветвям пропорционально выделяющимся потерям.

**Заключение.** В связи с освоением огромных водных энергетических ресурсов Сибири решение комплекса проблем, связанных с переходом в гидрогенераторостроении к машинам значительно более высоких мощностей, является одной из неотложных задач. Эта задача стоит перед конструкторами и технологами наших заводов, изготовляющих гидрогенераторы. Научно-исследовательские институты МЭП и МЭС, Институт автоматики и телемеханики Академии наук СССР и др. должны оказать помощь заводам в решении этого комплекса новых и сложных вопросов.

Нельзя попутно не отметить, что целесообразный выбор мощности гидроагрегата должен проводиться при учете возможностей наших заводов, изготовляющих трансформаторы и высоковольтную аппаратуру. В отношении механической части комплекса гидроэнергетического агрегата ряд вопросов должен решаться в тесном содружестве со строителями турбин, в особенности вопросы компоновки обеих машин. Не менее важную роль в решении комплекса выдвинутых проблем должен играть Гипропроект, на который возложена разработка основных узлов наших новых сверхмощных гидроцентральных.

Успешное разрешение задач по созданию подпятников на высокое давление, тяжелых поковок для валов, быстродействующих систем возбуждения с высокими потолками напряжения и усовершенствованной вентиляции гидрогенераторов с большой длиной активной стали открывает широкие возможности дальнейшего роста мощности и повышения технико-экономических показателей гидрогенераторов. Совместными усилиями конструкторов и технологов заводов-изготовителей гидроэнергетических агрегатов будет обеспечено выполнение в части гидрогенераторостроения задач, поставленных XIX съездом Коммунистической партии.

#### Литература

1. М. П. Костенко. Электрические машины. Специальная часть. Госэнергоиздат, 1949.
2. П. М. И п а т о в. а) Упрощенный способ составления схем трехфазных волновых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу. Сборник «Электросила», № 12. Госэнергоиздат, 1954.

# Вопросы сооружения турбогенераторов большой мощности

Кандидат техн. наук Е. Г. КОМАР

Ленинград

За последнее десятилетие понятие «турбогенератор большой мощности» претерпело значительные изменения. В начале 30-х годов считалось, что предельная мощность турбогенератора, имеющего скорость вращения 3 000 об/мин, равна 50 тыс. квт; в конце 30-х годов — 100 тыс. квт, а в настоящее время уже работают турбогенераторы мощностью 150 тыс. квт. Сейчас турбогенератором большой мощности следует считать турбогенератор 200 тыс. квт и более. В настоящее время сооружение такой машины вполне реально, и целый ряд заводов и фирм ведут работу по проектированию и изготовлению подобных машин.

Стремление к сооружению турбогенераторов возможно большей мощности вызывается не погоней за рекордами, а целым рядом серьезных экономических преимуществ крупных турбоагрегатов перед мелкими.

За последние годы энергетические системы настолько выросли, что турбогенератор мощностью 200 ... 300 тыс. квт не является слишком крупным, и его резервирование не сопряжено с какими-либо трудностями. Работы по применению быстроты сывчивого регулирования возбуждения с форсированием последнего дают возможность обеспечить устойчивую работу крупных агрегатов в системе.

Применение на электростанциях крупных агрегатов дает следующие основные преимущества: повышение к. п. д. электростанций; уменьшение на станциях числа агрегатов; сокращение на станциях численности обслуживающего персонала; сокращение объема строительных работ при сооружении электростанций; увеличение производственной мощности электромашиностроительных заводов, если исчислять ее в мощности выпущенных машин.

Несмотря на то, что к. п. д. отдельно взятого турбогенератора 300 тыс. квт на 0,5 ... 0,7% мень-

ше, чем турбогенератора 150 тыс. квт, агрегат с таким турбогенератором имеет более высокий к. п. д. Объясняется это более высоким к. п. д. турбины. Например, турбина мощностью 250 тыс. квт имеет к. п. д. на 1,5% выше турбины мощностью 150 тыс. квт.

Габариты турбоагрегата при увеличении его мощности от 150 до 300 тыс. квт практически не изменяются. Следовательно, остаются почти неизменными и размеры машинного зала станции, хотя ее мощность при том же числе агрегатов удваивается. Стоимость турбогенератора мощностью 300 тыс. квт лишь незначительно отличается от стоимости турбогенератора 150 тыс. квт.

Таким образом, стремление к сооружению турбогенераторов большой мощности следует признать прогрессивным направлением в современном турбогенераторостроении. На пути создания таких турбогенераторов возникает большое число задач, которые решаются путем научных исследований, проектирования и технологического освоения.

**О предельных размерах активных частей турбогенераторов.** Предельные размеры активных частей турбогенераторов определяются в основном соображениями механической прочности ротора. При вращении в материале ротора возникают большие механические напряжения, связанные с центробежными силами, и знакопеременные изгибающие напряжения. Поэтому ротор должен изготавливаться из специальной высококачественной магнитной стали, однородной по своему составу и механическим свойствам. С большими трудностями связано изготовление бандажей, удерживающих лобовые части обмотки ротора.

Предельные значения диаметра и длины активной части ротора определяются возможностями современной металлургии. В настоящее время на основании ряда соображений предель-

б) Совместно с Ф. М. Левчук и Г. М. Хуторечким. Методические указания по выбору основных размеров мощных гидрогенераторов. Сборник «Электросила», № 13. Госэнергоиздат, 1955.

3. В. Т. Касьянов. а) Сопоставление схем петлевых и волновых обмоток трехфазного тока. Сборник «Электросила», № 6. Госэнергоиздат, 1949.

б) Составление некоторых специальных схем трехфазных волновых обмоток. Сборник «Электросила», № 8. Госэнергоиздат, 1951.

4. Р. А. Лютер. а) Методика расчета токов короткого замыкания синхронных машин. Сборник «Электросила», № 4. Госэнергоиздат, 1947.

б) Расчет моментов вращения синхронных машин при коротких замыканиях. Сборник «Электросила», № 7. Госэнергоиздат, 1950.

в) Приближенный способ проверки устойчивости работы синхронной машины по угловым характеристикам. Сборник «Электросила», № 8. Госэнергоиздат, 1951.

г) Приближенный расчет режимов работы синхронной машины, включенной на цепь с емкостью. Сборник «Электросила», № 9. Госэнергоиздат, 1951.

д) Расчет параметров синхронной машины с учетом насыщения. Сборник «Электросила», № 10. Госэнергоиздат, 1951.

5. Е. Я. Казовский. а) Вращающие моменты синхронных машин при больших качаниях. Сборник «Электросила», № 1. Госэнергоиздат, 1945.

б) Исследование нелинейных синхронных машин при набросе нагрузки. Сборник «Электросила», № 7. Госэнергоиздат, 1950.

в) Влияние активного сопротивления в цепи статора синхронной машины на ее качания. Сборник «Электросила», № 13. Госэнергоиздат, 1955.

6. А. С. Еремеев. Обмотки статоров мощных гидрогенераторов с параллельными ветвями. Электричество, № 10, 1954.

7. Н. П. Иванов и Г. Н. Петров. Гидрогенераторы. Электричество, № 10, 1952.

8. Г. Р. Рюденберг. Электрическая передача больших мощностей на далекие расстояния. Госэнергоиздат, 1934.

[13. 4. 1955]



ную величину диаметра ротора следует считать равной примерно 110 см, а предельную длину ротора — 650 см. Приведем ряд соображений, обосновывающих эти величины.

Как известно, вдоль оси роторной поковки обычно просверливается центральное отверстие, через которое осуществляется контроль качества материала поковки во внутренних ее слоях. Механические напряжения от центробежных сил достигают наибольшего значения на поверхности центрального отверстия. Ротор конструируется таким образом, чтобы механические напряжения в наиболее тонкой части зубцов были меньше напряжений на поверхности центрального отверстия. Если напряжения в зубцах по желанию конструктора можно изменять в широких пределах, то напряжения на поверхности центрального отверстия зависят от наружного диаметра ротора. В табл. 1 приведены значения напряжений на поверхности центрального отверстия в зависимости от наружного диаметра ротора. Напряжения при разгонной испытательной скорости в 1,44 раза больше, чем при номинальной.

При современном состоянии металлургии невозможно получить однородную поковку весом 50 т с пределом пропорциональности материала выше 55 ... 60 кг/мм<sup>2</sup> и пределом прочности выше 70 ... 75 кг/мм<sup>2</sup>. Запас прочности по отношению к пределу пропорциональности для напряжений при разгонной испытательной скорости должен быть не менее 1,8 ... 2,0. Напряжения на поверхности центрального отверстия при таком запасе прочности не могут быть больше  $\frac{60}{1,8} = 33,4$  кг/мм<sup>2</sup>.

Из рис. 1, где приведены кривые, построенные по данным табл. 1, видно, что при значении напряжений 33,4 кг/мм<sup>2</sup> предельный диаметр ротора будет равен 107 см. Эта величина предельного диаметра может колебаться в зависимости от значения предела пропорциональности, выбранного

запаса прочности и метода расчета механических напряжений. Однако для нас важно то, что диаметр ротора порядка 110 см является предельным.

Столь же серьезный вопрос возникает при рассмотрении механической прочности бандажа.

Для скорости вращения 3 000 об/мин механические напряжения в бандаже ротора в кг/см могут быть приближенно подсчитаны по следующей формуле:

$$\sigma_k = 1,14 \cdot 10^{-3} D_2^3 + 0,215 D_2^2. \quad (1)$$

Напряжения для скорости вращения 3 600 об/мин в 1,44 раза больше полученных по формуле (1).

Первая составляющая напряжений пропорциональна кубу диаметра ротора, вторая — квадрату. Первая вызвана центробежными силами от веса лобовой части обмотки, вторая — центробежными силами от собственного веса бандажа. Кубическая зависимость первой составляющей связана с тем, что количество меди, размещаемое на роторе, пропорционально квадрату диаметра ротора, а центробежная сила растет пропорционально весу лобовых частей и радиусу их вращения.

Вычисленные по формуле (1) значения напряжений в бандаже ротора в зависимости от наружного диаметра ротора приведены в табл. 2. Из таблицы видно, что напряжения в бандаже значительно превосходят напряжение в остовах ротора.

При современном состоянии металлургии из немагнитной стали невозможно получить бандажные кольца весом более 0,5 т диаметром порядка 120 см, с пределом пропорциональности более 90 ... 100 кг/мм<sup>2</sup> и пределом прочности более 110 ... 120 кг/мм<sup>2</sup>. При запасе прочности 1,8 предельные напряжения при разгонном испытании не должны превышать  $\frac{100}{1,8} = 55,6$  кг/мм<sup>2</sup>. Из рис. 2, где приведены кривые, построенные по данным табл. 2, видно, что предельной величиной

Таблица 1

Наружный диаметр ротора, см		50	60	70	80	90	100	110	120
Напряжение на поверхности центрального отверстия, кг/см <sup>2</sup>	при номинальной скорости вращения 3 000 об/мин	565	780	1 050	1 350	1 680	2 060	2 490	2 950
	при разгонной испытательной скорости вращения 3 600 об/мин	813	1 110	1 510	1 940	2 420	2 960	3 580	4 250

Таблица 2

Наружный диаметр ротора, см		50	60	70	80	90	100	110	120
Напряжения в бандаже ротора, кг/см	при скорости вращения 3 000 об/мин	680	1 020	1 440	1 960	2 570	3 290	4 130	5 070
	при скорости вращения 3 600 об/мин	980	1 470	2 070	2 920	3 700	4 740	5 950	7 300

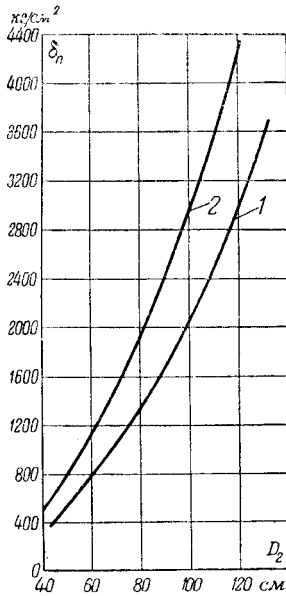


Рис. 1. Кривые зависимости напряжений на поверхности центрального отверстия роторной поковки от наружного диаметра ротора.  
1 — для номинальной скорости вращения 3 000 об/мин; 2 — для разгонной испытательной скорости 3 600 об/мин.

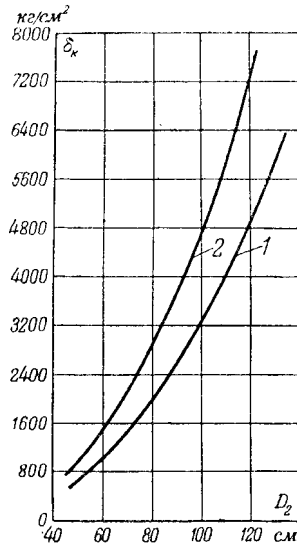


Рис. 2. Кривые зависимости напряжений в банде ротора от наружного диаметра ротора.  
1 — для скорости вращения 3 000 об/мин; 2 — для скорости вращения 3 600 об/мин.

диаметра ротора по условиям механической прочности роторного банджа является величиной того же порядка, т. е. 110 см.

Рассмотрим вопрос о предельной длине активного железа ротора турбогенератора.

Уже при длине активного железа, равной 650 см, общая длина ротора достигает почти 10 м. Прогиб ротора такой длины в покое составляет около 2,5 мм. Критические скорости оказываются весьма низкими, и прогиб ротора при переходе через них достигает весьма больших значений.

При дальнейшем увеличении длины активного железа ротора прогиб последнего растет пропорционально длине не менее чем в кубе. Изгибающие напряжения от собственного веса ротора в середине его бочки увеличиваются пропорционально длине активного железа более чем в первой степени. Например, при увеличении длины бочки ротора от 600 до 800 см, т. е. на 33%, изгибающие напряжения увеличиваются на 60%. Ниже мы более подробно рассмотрим значение этого вида напряжений.

С увеличением длины активного железа свыше 600 см возникают значительные затруднения также и в производстве.

Все эти соображения свидетельствуют о том, что увеличение мощности турбогенератора за счет дальнейшего увеличения длины активного железа невозможно и что предельной следует считать длину порядка 650 см. После установления этого значения следует подробно рассмотреть вопрос о поперечной прочности ротора большой длины.

Изгибающие напряжения  $\sigma_v$  от собственного веса в середине бочки ротора турбогенератора предельных размеров составляют сравнительно

небольшую величину, порядка 200 кг/см<sup>2</sup>. Сама по себе эта величина не опасна. В турбогенераторах мощностью порядка 25 тыс. квт она равна 75 кг/см<sup>2</sup>.

Однако, кроме указанных знакопеременных напряжений, в бочке ротора имеются напряжения, слагающиеся из трех групп постоянных напряжений:

$$\sigma_c = \sigma_p + \sigma_t + \sigma_k, \quad (2)$$

где  $\sigma_p$  — остаточное напряжение в поковке;  
 $\sigma_t$  — температурное напряжение;  
 $\sigma_k$  — напряжение, вызываемое влиянием клиньев.

Исследования крупных поковок показывают, что остаточное напряжение в поковке в отдельных случаях может достигать 600 кг/см<sup>2</sup>. Температурные напряжения, вызываемые разностью температур поверхностных и внутренних слоев ротора, при нормальной работе машины, когда все тепло устремляется от внутренних частей ротора к его поверхности, являются напряжениями растяжения и составляют величину порядка 400 ... 500 кг/см<sup>2</sup>. При режиме пуска из холодного состояния машины, когда тепло направляется от зубцовой зоны к холодному ядру ротора, эти напряжения на поверхности ротора оказываются напряжениями сжатия и составляют величину порядка 700 ... 750 кг/см<sup>2</sup>. Третий вид напряжений связан с тем, что клинья, закрывающие паз ротора, сжимают коронку каждого зуба в тангенциальном направлении. Напряжение сжатия, вызванное этим явлением, может быть принято равным 900 кг/см<sup>2</sup>. Подставив эти типичные для мощных машин величины напряжений в выражение (2), получим:

для номинального режима машины

$$\sigma_{cn} = 600 - 400 + 900 = 1100 \text{ кг/см}^2,$$

для пускового режима

$$\sigma_{co} = 600 + 720 + 900 = 2220 \text{ кг/см}^2.$$

При пуске в ход постоянные осевые напряжения сжатия в поверхностных слоях ротора в 2 раза больше, чем при установившемся режиме.

Принимая коэффициент концентрации напряжений, связанной с резким изменением сечения ротора вблизи поверхности,  $k_k = 3$ , получим:

для номинального режима

$$\sigma_{cn} = 3 \cdot 1100 = 3300 \text{ кг/см}^2;$$

для пускового режима

$$\sigma_{co} = 3 \cdot 2220 = 6660 \text{ кг/см}^2.$$

Таким образом, при пуске постоянные напряжения в местах концентраторов превосходят предел текучести — 5500 кг/см<sup>2</sup>.

Знакопеременные напряжения, разрушающие материал вследствие его усталости, определяются по известной формуле:

$$\sigma_{vj} = \sigma_{vs} \left( 1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_b} \right), \quad (3)$$

где  $\sigma_{vs}$  — предел усталости металла, обычно равный примерно  $3500 \text{ кг/см}^2$ ;

$\sigma_b$  — предел прочности металла, который принимаем равным  $7000 \text{ кг/см}^2$ .

Напряжения, разрушающие материал ротора,

$$\sigma_{vb0} = 3500 \left(1 - \frac{5500}{7000}\right) = 750 \text{ кг/см}^2.$$

Если принять коэффициент концентрации  $k_k = 3$ , то фактические знакопеременные напряжения на поверхности ротора

$$\sigma_{vk} = 3 \cdot 200 = 600 \text{ кг/см}^2.$$

Эта величина близка к значению разрушающих знакопеременных напряжений. Во всяком случае, запас прочности оказывается совершенно недостаточным. Следовательно, проблема поперечной прочности роторов турбогенераторов предельных мощностей еще должна быть решена. При ее решении следует идти по пути снижения остаточных напряжений в роторной поковке, повышения качества обработки и уменьшения концентраторов напряжения. Вместе с этим требуются соответствующие эксплуатационные рекомендации.

Учитывая, что роторы крупных турбогенераторов представляют собой гибкое тело, следует указать на необходимость их тщательной балансировки, так как при больших вибрациях могут появиться опасные знакопеременные напряжения в середине бочки ротора и в валу в местах перехода от бочки к валу. Эти напряжения могут привести к усталостному излому ротора.

Механическая прочность роторов турбогенераторов предельных размеров не может быть обеспечена выбором достаточного запаса прочности и конструктивными мероприятиями. Опыт эксплуатации крупных турбогенераторов показывает, что тяжелые аварии с полным разрушением машины возможны при достаточной прочности запаса прочности и надежной конструкции. Разрушение может наступить из-за дефектов металла, не обнаруживаемых обычными методами контроля. Поэтому металлургия должна самым тщательным образом изучить и решить проблемы, связанные с изготовлением достаточно прочных поволоков роторов и бандажей. Здесь, очевидно, следует добиваться снижения остаточных напряжений в поковках, повышения усталостной прочности металла и разработки методов их контроля. Дефекты в толще металла должны обнаруживаться точно и безошибочно. Следует также изучить поведение металла поволоков во времени в процессе эксплуатации турбогенератора.

Большое значение имеет проблема борьбы с вибрациями неподвижных частей машины — активного железа статора, корпуса, щитов, газоохладителей и т. п. Некоторые виды вибрации, например вибрация плохо спрессованного железа статора, должны устраняться главным образом усовершенствованием технологии. С другими видами вибрации, например с вибрацией того же активного железа вследствие деформации из-за магнитного тяжения, следует бороться при помо-

щи соответствующих конструктивных мероприятий.

**Внутреннее охлаждение меди обмотки ротора.** Принятые нами предельные значения активных размеров турбогенератора при обычной его конструкции способны обеспечить мощность не более 150 тыс. квт. Дальнейшее увеличение мощности при принятых предельных размерах возможно только за счет применения внутреннего охлаждения меди обмоток ротора и статора.

Как известно, при обычных конструкциях турбогенераторов температура обмотки ротора складывается из следующих температурных перепадов (°C):

в изоляционной гильзе ротора . . . . .	30
вдоль высоты зубца ротора . . . . .	20
от поверхности к газу в зазоре . . . . .	30
перегрев газа в зазоре . . . . .	20
температура входящего в машину газа	40

Всего . . . . . 140

Величины перепадов могут колебаться, однако порядок их типичен для современных крупных турбогенераторов.

При охлаждении меди обмотки ротора непосредственно газом (без промежуточных теплопередающих путей) перепады в изоляционной гильзе и вдоль высоты зубца, а также перегрев воздуха в зазоре исключаются полностью. Применением большой скорости охлаждающего газа в канале обмотки и высокого давления газа в корпусе можно сильно уменьшить перепад с поверхности меди к охлаждающему газу и добиться высокого теплосъема при сравнительно низкой температуре меди.

На рис. 3 схематически приведены три варианта конструкции вентиляционных каналов обмотки ротора из большого числа возможных. При первом варианте газ омывает боковые стенки проводников меди, во втором — каналы образуются в пространстве между медью и изоляционной гильзой для каждого витка отдельно и в третьем — каналы проходят через внутреннюю часть сечения меди. Второй вариант применяется фирмой Аллис-Чалмерс, а третий — фирмой Вестингауз. Предпочтение следует отдать третьему варианту, так как при нем не только осуществляется эффектив-

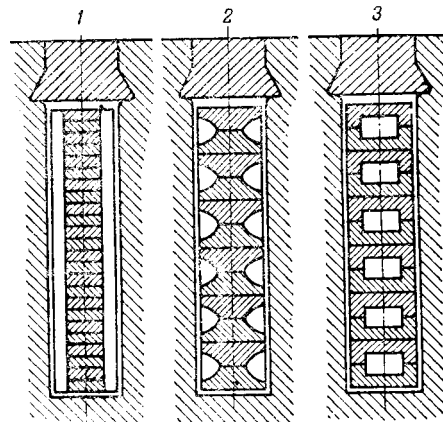


Рис. 3.

ный теплоотвод газа, но и сохраняется обычная система теплопередачи от меди через изоляционную гильзу к зубцу ротора. Оценим ориентировочно эффективность внутреннего охлаждения меди обмотки ротора.

В первом приближении с некоторым запасом будем считать, что все тепло, образующееся в обмотке ротора, отводится газом в канале. Пусть  $s_{2Cu0}$  — сечение меди в пазу ротора при заполнении медью всего сечения паза, т. е. при отсутствии каналов и  $s_{2Cu v}$  — сечение меди при наличии канала. Коэффициент заполнения сечения паза медью

$$k_{2s} = \frac{s_{2Cu v}}{s_{2Cu 0}}.$$

Если ток, протекающий через поперечное сечение паза, обозначить через  $I'_2$ , то потери на 1 см длины бочки ротора

$$P_2 = \frac{(I'_2)^2 \rho}{k_{2s} s_{2Cu 0}}.$$

Если общий периметр вентиляционных каналов в меди паза ротора обозначить через  $l_v$ , перепад средних температур между медью в пазу и газом в канале через  $\vartheta_{sv}$ , а коэффициент теплопередачи от меди к газу через  $\alpha_v$ , то те же потери на 1 см длины бочки ротора

$$P_2 = \alpha_v l_v \vartheta_{sv}.$$

Приравняв эти два выражения для  $P_2$  и решив уравнение относительно  $I'_2$ , получим:

$$I'_2 = \sqrt{\frac{1}{\rho} \alpha_v k_{2s} s_{2Cu 0} l_v \vartheta_{sv}}. \quad (4)$$

Для обмотки обычной конструкции, без внутреннего охлаждения меди, ток, протекающий через поперечное сечение паза

$$I_2 = j_2 s_{2Cu 0}, \quad (5)$$

где  $j_2$  — плотность тока в обмотке ротора.

Разделив выражение (4) на выражение (5), получим:

$$\frac{I'_2}{I_2} = \sqrt{\frac{k_{2s} \vartheta_{sv} l_v \alpha_v}{\rho j_2^2 s_{2Cu 0}}}. \quad (6)$$

Формула (6) показывает, во сколько раз система внутреннего охлаждения меди по сравнению с нормальной системой позволяет повысить н. с. ротора. Конструктивные особенности меди в формуле (6) характеризуются коэффициентом

$$k_v = \sqrt{\frac{l_v}{k_{2s} s_{2Cu 0}}}. \quad (7)$$

Для вариантов конструкций, представленных на рис. 3, коэффициент  $k_v$  может быть принят равным единице. Для численных расчетов примем:  $\rho = 2,5 \cdot 10^{-8}$ ,  $j_2 = 400$  а/см<sup>2</sup>,  $\vartheta_{sv} = 60^\circ$ . Температурный перепад выбран из следующих соображений: допустимая средняя температура меди 120°, температура входящего в машину газа 40° и перегрев охлаждающего газа в канале 80°.

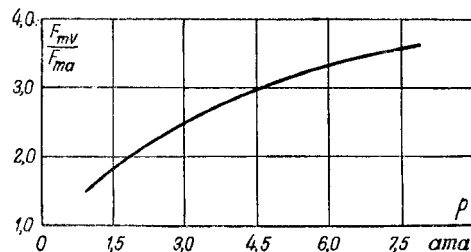


Рис. 4.

Для этих данных можно написать следующую приближенную зависимость:

$$\frac{I'_2}{I_2} = 12 \sqrt{\alpha_v}. \quad (8)$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_v$  для узких и длинных каналов может быть вычислен по следующей формуле:

$$\alpha_v = 0,0215 \left( \frac{v}{40} \right)^{0,8} p^{0,8}, \quad (9)$$

где  $v$  — скорость газа в канале, м/сек;  $p$  — абсолютное давление газа в корпусе машины. Коэффициент 0,0215 соответствует чистому водороду.

На рис. 4 приведена кривая зависимости н. с. ротора от давления в корпусе статора для скорости газа порядка 40 м/сек. За единицу н. с. принято ее значение при нормальной системе охлаждения. Как видно из рис. 4, путем применения внутреннего охлаждения можно сравнительно легко увеличить н. с. ротора в 2...3 раза. Дальнейшее увеличение н. с. возможно за счет увеличения скорости охлаждающего газа.

Легко показать, что при постоянстве отношения н. с. холостого хода к н. с. короткого замыкания, т. е. при постоянстве параметров устойчивости параллельной работы турбогенератора, его мощность пропорциональна н. с., развиваемой ротором. Численные подсчеты позволяют написать для предельной кажущейся мощности турбогенератора следующую приближенную формулу:

$$P_m = 200\,000 \frac{F_{mv}}{F_{m0}}, \quad (10)$$

где  $F_{mv}$  — н. с. ротора с внутренней вентиляцией;

$F_{m0}$  — н. с. ротора обычной конструкции.

Из формулы (10) видно, что при современных предельных размерах активных частей и обычной системе охлаждения ротора, т. е. при  $\frac{F_{mv}}{F_{m0}} = 1$ , предельная мощность турбогенератора

равна 200 тыс. ква. При двукратном увеличении отношения  $\frac{F_{mv}}{F_{m0}}$  за счет применения внутреннего

охлаждения предельная мощность турбогенератора  $P_m = 200\,000 \cdot 2 = 400$  тыс. ква.

Этот приближенный расчет показывает, насколько может быть увеличена мощность турбо-

генератора за счет внутреннего охлаждения меди ротора.

**Внутреннее охлаждение меди обмотки статора.** Внутренний диаметр статора, число его пазов, а следовательно, и ширина паза при нашем анализе остаются неизменными, поэтому увеличение мощности турбогенератора с нормальной системой охлаждения обмотки статора возможно лишь за счет увеличения высоты паза статора.

Высота стержня обмотки статора в обычных турбогенераторах с нормальным охлаждением обмотки может быть вычислена по следующей формуле:

$$h_s = I \sqrt{\frac{0,287 \rho}{\alpha_i k_s \vartheta_i \left( \frac{b_n}{b_i} - 1 \right)}}, \quad (11)$$

где  $\alpha_i$  — коэффициент теплопроводности изоляции, равный  $0,0016 \text{ вт/см}^\circ\text{С}$ ;

$k_s$  — коэффициент заполнения сечения стержня;

$b_n$  — ширина паза, см;

$b_i$  — двусторонняя толщина изоляции, см.

Для обычных значений величин, входящих в формулу (11), можно принять:

$$h_s = 4 \cdot 10^{-3} I. \quad (12)$$

Формулой (12) можно воспользоваться для ориентировочных расчетов высоты стержня. Она показывает, что высота стержня обмотки статора увеличивается пропорционально мощности турбогенератора. В турбогенераторах предельных мощностей увеличить высоту стержня практически невозможно, так как это привело бы к такому увеличению веса активного железа и наружных габаритов машины, что ее транспортировка обычными средствами оказалась бы невозможной. Кроме того, слишком высокий стержень непрочен в механическом и электрическом отношении и труден в изготовлении. Следовательно, остается один путь увеличения мощности турбогенератора — это применение наряду с внутренним охлаждением меди обмотки ротора внутреннего охлаждения меди обмотки статора.

Если при переходе от обычного охлаждения к внутреннему сохранить ширину паза неизменной, то высота стержня с внутренним охлаждением может быть определена при помощи следующей формулы:

$$h'_s = I \sqrt{\frac{0,575 \rho}{\alpha_v k_s \vartheta_{sv} (b_n - b_i - \delta_s)}}, \quad (13)$$

где  $\alpha_v$  — коэффициент теплоотдачи от меди обмотки к газу в канале;

$\vartheta_{sv}$  — температурный перепад между медью и газом;

$\delta_s$  — зазор между двумя рядами меди, образующей канал.

На рис. 5 схематически показано сечение стержня обмотки статора с внутренним охлаждением,

Вентиляционный канал целесообразно выполнить в виде узкой щели в середине стержня вдоль всей его высоты. Конструктивно осуществить такой канал можно по-разному. Например, можно установить специальные трубки прямоугольного сечения, выполненные из материала с высоким удельным сопротивлением, или специальные продольные распорки, благодаря которым между двумя рядами меди образовалась бы щель. Окончательно выбрать конструкцию канала возможно только в результате ряда опытов и изготовления первых турбогенераторов с внутренним охлаждением.

Если в формулу (13) подставить  $\vartheta_{sv} = 35^\circ$ ,  $\delta_s = 0,7 \text{ см}$  и коэффициент теплопередачи, соответствующий  $v = 40 \text{ м/сек}$  и  $p = 1 \text{ ата}$ , то

$$h'_s = 2 \cdot 10^{-3} I.$$

Таким образом, внутреннее охлаждение при сравнительно небольшом его форсировании и сохранении высоты стержня позволяет увеличить мощность турбогенератора в 2 раза.

Фирма «Дженераль Электрик» решает задачу создания турбогенераторов большой мощности путем применения внутренней вентиляции обмотки ротора и многофазной обмотки статора, охлаждаемой внутри.

В конструкции этой фирмы охлаждающий роторную обмотку газ засасывается из междужелезного пространства по радиальным каналам, отверстия которых расположены в сторону вращения ротора. Затем газ проходит сравнительно короткий участок вдоль длины ротора и выбрасывается обратно в междужелезное пространство.

Такая система охлаждения не требует компрессоров высокого давления для продувания газа через ротор, но она малоэффективна вследствие низких скоростей газа в каналах. Очевидно, эта система может позволить поднять намагничивающую силу ротора не более чем на 50...70%.

Повышение мощности статора эта фирма осуществляет за счет применения многофазных обмоток и жестко связанных с ними специальных трансформаторов. По данным фирмы, если мощность обычного трехфазного турбогенератора при двух параллельных ветвях статорной обмотки и напряжении 20 кВ принята за 100%, то при 6 фазах напряжение окажется равно 15 кВ и мощность 129%, при 9 фазах — напряжение — 12 кВ и мощность 154%. При таком решении увеличение мощности достигается за счет уменьшения толщины изоляции обмотки статора. Больше девяти фаз применять нецелесообразно, так как с ростом их числа сильно увеличивается расход меди на соединения между генератором и транс-

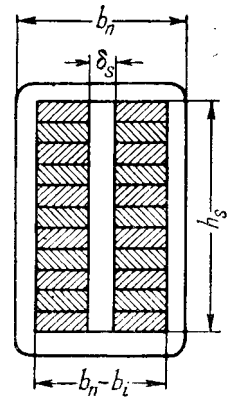


Рис. 5.



форматором и повышается реактивность этих соединений.

Система фирмы «Дженераль Электрик» может быть применена для генераторов мощностью порядка 200 тыс. квт, и вряд ли ее можно применять для дальнейшего повышения мощности в одной единице.

**О параметрах охлаждающего газа.** Рассмотрим зависимость между параметрами охлаждающего газа и предельной мощностью турбогенератора при постоянных размерах его активных частей.

Как уже говорилось выше, при обычной системе охлаждения предельная мощность турбогенератора составляет порядка 150 тыс. квт. При отсутствии форсирования охлаждения температурный перепад в изоляции

$$\vartheta_i = \frac{Q_{Cu} b_i}{8z_1 h_s l_{s1} \alpha_i}, \quad (14)$$

- где  $Q_{Cu}$  — потери в обмотке;
- $z_1$  — число пазов статора;
- $h_s$  — высота стержня статора;
- $l_{s1}$  — длина стержня;
- $\alpha_i$  — коэффициент теплопроводности изоляции;
- $b_i$  — двусторонняя толщина изоляции.

При форсировании охлаждения и токе  $I'$  потери, отводимые через изоляцию,

$$Q'_{Cu1} = Q'_{Cu} - Q'_{Cu2} = Q_{Cu} \left(\frac{I'}{I}\right)^2 - 4z_1 h_s l_{s1} \alpha_v \vartheta_{sv},$$

- где  $Q'_{Cu2}$  — потери, отводимые газом в канале;
- $\alpha_v$  — коэффициент теплоотдачи с поверхности канала;
- $\vartheta_{sv}$  — температурный перепад от поверхности канала к газу.

При форсировании охлаждения температурный перепад в изоляции

$$\vartheta_i = \frac{Q'_{Cu1} b_i}{8z_1 h_s l_{s1} \alpha_i} = \frac{Q_{Cu} \left(\frac{I'}{I}\right)^2 b_i}{8z_1 h_s l_{s1} \alpha_i} - \frac{b_i \alpha_v}{2 \alpha_i} \vartheta_{sv}. \quad (15)$$

Из выражения (14) найдем потери  $Q_{Cu}$  и подставим их значение в выражение (15). Тогда, решив уравнение (15) относительно  $\vartheta_{sv}$ , получим:

$$\vartheta_{sv} = \frac{2}{b_i} \cdot \frac{\alpha_i}{\alpha_v} \left[ \left(\frac{I'}{I}\right)^2 - 1 \right] \vartheta_i. \quad (16)$$

Сумма температурного перепада  $\vartheta_{sv}$  и перегрева воздуха в канале должна быть постоянной при любом форсировании охлаждения. Эта сумма

$$\vartheta_{sv} + \vartheta_{s,} = \frac{2}{b_i} \cdot \frac{\alpha_i}{\alpha_v} \left[ \left(\frac{I'}{I}\right)^2 - 1 \right] \vartheta_i + \frac{Q_{Cu} 10^4}{2 \cdot 2z_1 h_s \delta_s v p} \left[ \left(\frac{I'}{I}\right)^2 - 1 \right]. \quad (17)$$

Если указанную сумму принять равной 65° и подставить в выражение (17) обычные для турбогенераторов предельных размеров данные, то в результате решения уравнения относительно  $\frac{I'}{I}$  получим:

$$\frac{I'}{I} = \sqrt{\frac{65}{\frac{71}{(pv)^{0,8}} + \frac{1600}{pv}}} + 1. \quad (18)$$

Полученные в результате расчетов численные значения произведения  $pv$  и соответствующие им значения отношения  $\frac{I'}{I}$  приведены в табл. 3.

Таблица 3

$pv$	40	80	100	150	200	250	300	400
$p, \text{ ата}$	1	2	2,5	3,75	5	5	5	5
$v, \text{ м/сек}$	40	40	40	40	40	50	60	80
$\frac{I'}{I}$	1,57	1,98	2,15	2,55	2,86	3,15	3,42	3,88

До значения  $pv = 200$  скорость газа в канале принималась постоянной и равной  $v = 40$  м/сек, а давление постепенно повышалось от 1 до 5 ата. Дальнейшее повышение давления нецелесообразно, так как оно приводит к трудностям в отношении обеспечения механической прочности корпуса и создания уплотнений. Дальнейшее форсирование охлаждения осуществляется за счет повышения скорости газа в канале. Кривые зависимости  $p$ ,  $v$  и  $pv$  от  $\frac{I'}{I}$ , построенные по данным табл. 3, представлены на рис. 6.

Потери, связанные вентиляцией каналов ротора и статора, а также потери, зависящие от

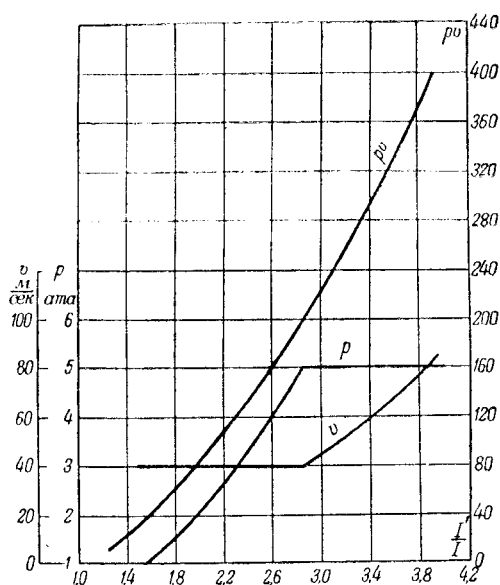


Рис. 6.

давления газа в корпусе, могут быть подсчитаны по следующей формуле:

$$Q_v = 85 p + 2,23 \cdot 10^{-3} v^3 p, \quad (19)$$

которая применима к турбогенераторам предельных габаритов.

Так как для данной степени форсирования охлаждения

$$pv = C,$$

где  $C$  — некоторая постоянная, то, заменив в выражении (19)  $p$  на  $\frac{C}{v}$ , получим:

$$Q_v = \frac{85C}{v} + 2,23 \cdot 10^{-3} v^3 p. \quad (20)$$

В результате дифференцирования выражения (20) по  $v$  и приравнивания производной нулю получим оптимальное значение скорости  $v$ , которое равно 26,7 м/сек.

В табл. 4 приведены относительные значения вентиляционных потерь в зависимости от скорости газа в канале.

Таблица 4

$v, \text{ м/сек}$	10	30	40	50	80	100
$\frac{Q_v}{C}$	8,73	4,84	5,7	7,3	15,3	23,2

При расчете потерь на преодоление сопротивления движению газа в вентиляционных каналах принято, что расход газа в каналах ротора равен расходу газа в каналах статора и скорости газа в этих каналах одинаковы. Это предположение справедливо для ориентировочных расчетов, хотя потери в роторе обычно больше, чем в статоре.

**Потери возбуждения в турбогенераторах при форсировании их охлаждения.** Отношение потерь в турбогенераторе с форсированием охлаждения к потерям в турбогенераторе без форсирования охлаждения

$$\frac{Q'_e}{Q_e} = \frac{\left(\frac{I'}{I} + \frac{F_0}{F_a} f_{\omega 2} \sin \psi'\right)^2 + \left(\frac{F_0}{F_a}\right)^2 f_{\omega 2}^2 \cos^2 \psi'}{\left(1 + \frac{F_0}{F_a} f_{\omega 2} \sin \psi\right)^2 + \left(\frac{F_0}{F_a}\right)^2 f_{\omega 2}^2 \cos^2 \psi}, \quad (21)$$

где  $F_0$  — отношение н. с. холостого хода к н. с. реакции якоря;

$f_{\omega 2}$  — обмоточный коэффициент обмотки ротора;

$$\sin \psi' = \frac{\sin \varphi + \frac{I'}{I} x_p}{\sqrt{\left(\sin \varphi + \frac{I'}{I}\right)^2 + \cos^2 \varphi}},$$

$$\cos \psi' = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{\left(\sin \varphi + \frac{I'}{I} x_p\right)^2 + \cos^2 \varphi}};$$

$$\sin \psi = \frac{\sin \varphi + x_p}{\sqrt{(\sin \varphi + x_p)^2 + \cos^2 \varphi}},$$

$$\cos \psi = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{(\sin \varphi + x_p)^2 + \cos^2 \varphi}}.$$

Для расчетов по формуле (21) примем:

$$\frac{F_0}{F_a} = 0,975, \quad f_{\omega 2} = 0,767, \quad x_p = 0,12, \quad \cos \varphi = 0,85.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 5, из которой видно, что потери возбуждения растут медленнее, чем потери в обмотке статора.

Таблица 5

$\frac{I'}{I}$	1,57	1,98	2,15	2,55	2,86	3,15	3,42	3,88
$\frac{Q'_e}{Q_e}$	1,76	2,57	2,94	3,94	4,8	5,67	6,6	8,25

**Коэффициент полезного действия турбогенераторов при форсировании их охлаждения.** Сумма потерь турбогенератора

$$\sum Q = Q_c + Q_k \left(\frac{I'}{I}\right)^2 + (Q_r + Q_{v1}) p + 2,23 v^3 p \cdot 10^{-3} + Q_e \frac{Q'_e}{Q_e}, \quad (22)$$

где  $Q_c$  — потери, не зависящие от степени форсирования и являющиеся постоянными при любом форсировании;

$Q_k \left(\frac{I'}{I}\right)^2$  — потери, зависящие от квадрата тока статора;

$Q_r p$  — потери от трения ротора о газ, пропорциональные давлению газа в корпусе;

$Q_{v1} p$  — составляющая вентиляционных потерь, связанных с охлаждением всех активных частей машины, кроме обмоток ротора и статора;

$Q'_e$  — потери возбуждения, значения которых приведены в табл. 5.

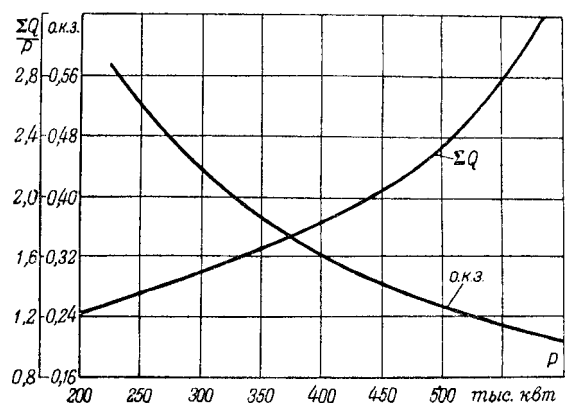


Рис. 7.

Таблица 6

$\frac{I'}{I}$	1,57	1,98	2,15	2,55	2,86	3,15	3,42	3,88
$p, \text{ квт} \dots$	235 500	297 000	322 000	382 000	428 000	473 000	513 000	582 000
$\Sigma Q, \text{ квт} \dots$	3 100	4 435	5 070	6 760	8 275	10 225	12 560	18 320
$\Sigma Q, \% \dots$	1,31	1,49	1,58	1,77	1,93	2,17	2,45	3,13
о. к. з. . . . .	0,56	0,445	0,41	0,345	0,31	0,279	0,257	0,227

Для турбогенераторов предельных габаритов при отсутствии форсирования охлаждения могут быть приняты следующие потери:

$$Q_v = 50 \text{ квт}, \quad Q_c = 800 \text{ квт}, \quad Q_k = 450 \text{ квт}, \\ Q_r = 50 \text{ квт}, \quad Q_e = 550 \text{ квт}, \quad \Sigma Q = 1\,800 \text{ квт}, \\ Q_{v1} = 35 \text{ квт}.$$

Результаты расчета потерь для различных степеней форсирования охлаждения приведены в табл. 6; там же даны значения отношения короткого замыкания (о. к. з.).

Кривые зависимости  $\Sigma Q$  и о. к. з. от мощности турбогенератора, построенные по данным табл. 6, приведены на рис. 7.

Табл. 6 и рис. 7 показывают, что к. п. д. турбогенератора при форсировании охлаждения падает. При такой степени форсирования охлаждения, когда мощность турбогенератора повышается до 450 тыс. квт, к. п. д. падает примерно на 0,8%; о. к. з. турбогенератора при этом оказывается равным 0,3.

**Заключение.** Приведенные соображения показывают, что при сохранении параметров устойчи-

вости турбогенератора путем применения внутреннего охлаждения меди и форсирования этого охлаждения можно увеличить мощность турбогенератора вдвое. Дальнейшее увеличение мощности машины предельных габаритов возможно за счет снижения о. к. з.

Проблема устойчивой работы турбогенератора в мощной энергетической системе при низких значениях о. к. з. должна составить предмет специального исследования. Повидимому, не во всех случаях возможна устойчивая работа турбогенератора при о. к. з. порядка 0,3...0,4.

Если взять турбогенератор сам по себе, то применение внутреннего охлаждения обмоток статора и ротора позволяет сооружать машины весьма большой мощности. Однако создание таких машин возможно при условии решения большого числа сложных задач. Здесь мы остановились лишь на некоторых из них и наметили лишь некоторые возможные пути решения этих вопросов. Перед турбогенераторостроительной промышленностью стоит большая и серьезная задача создания сверхмощных турбогенераторов.

[4.4.1955]



## Перспективы развития и основные задачи в области выключателестроения

Доктор техн. наук, проф. Г. В. БУТКЕВИЧ  
Всесоюзный электротехнический институт им. Ленина

Инж. Л. К. ГРЕЙНЕР  
Завод «Электроаппарат»

Выпускаемые в настоящее время электротехнической промышленностью высоковольтные выключатели в некоторых случаях не удовлетворяют по своим характеристикам всем требованиям, предъявляемым различными отраслями народного хозяйства и в первую очередь быстро развивающейся энергетикой нашей страны.

Строительство крупных гидростанций, рост мощностей, передаваемых на большие расстояния, развитие и объединение энергосистем Советского Союза заставляют повышать мощности отключения и номинальные токи выключателей, требовать наличия быстродействующего трехфазного и пофазного АПВ, надежной работы при низких температурах и пр.

Можно считать уже не очень отдаленной зада-

чей освоение в производстве выключателей в классе 35 кв с мощностью отключения до  $2 \cdot 10^6 \dots 2,5 \cdot 10^6$  ква, в классе 110 кв — до  $5 \cdot 10^6 \dots 6 \cdot 10^6$  ква, в классе 220 кв — до  $8 \cdot 10^6 \dots 10 \cdot 10^6$  ква и в классе 400 кв — до  $15 \cdot 10^6 \dots 25 \cdot 10^6$  ква. Для генераторных цепей нужны будут выключатели до  $3,5 \cdot 10^6 \dots 4 \cdot 10^6$  ква с номинальными токами 8 000...10 000 а. Не исключено, что в ближайшие годы может возникнуть потребность в дальнейшем повышении рабочих напряжений линий передачи и создание выключателей переменного тока на напряжение 600...700 кв.

В связи с намечаемым применением постоянного тока высокого напряжения для сверхдальних электропередач могут потребоваться выключатели постоянного тока на напряжение 400...800 кв

для установки на ответвлениях от магистральных линий.

В самое ближайшее время необходимо решить вопрос относительно типа выключателя для электропечных установок на 35 и 10 кв, к которому предъявляются требования высокой механической устойчивости и обеспечения большого числа отключений без смены контактов.

В связи с развитием электроснабжения сельского хозяйства возникает потребность в простых и надежных коммутационных аппаратах, таких как выключатели нагрузки с предохранителями, автоматические столбовые выключатели с грузовым или пружинным приводом, легкие комбинированные разъединители с предохранителями и пр. Все эти аппараты требуются на напряжениях 10, 20 и 35 кв.

В номенклатуре электропромышленности Советского Союза имеется в настоящее время довольно большое разнообразие типов выключателей, основанных на различных принципах действия и в большинстве своем не образующих унифицированных серий, что снижает их рентабельность в производстве и создает ряд неудобств для эксплуатации. Одной из ближайших задач электропромышленности, несомненно, должно быть устранение пестроты типов и конструктивных разновидностей выключателей и сведение их к единым сериям.

Учитывая разнообразие условий эксплуатации высоковольтного оборудования в Советском Союзе, следует считать вполне допустимым и рациональным развитие в нашей электропромышленности в настоящее время одновременно трех основных видов высоковольтных выключателей, а именно: 1) масляных баковых, 2) масляных малообъемных (маломасляных) и 3) воздушных выключателей. Необходимость освоения выключателей всех трех конструктивных направлений диктуется разнообразием климатических условий Советского Союза — от арктических до субтропических, — особенностями энергоснабжения различных промышленных предприятий, железнодорожного транспорта и сельского хозяйства и не всегда имеющейся возможностью обслуживать в эксплуатации технически совершенные, но более сложные конструкции.

*Масляные баковые выключатели*, повидимому, должны применяться только для наружных установок. Масляные выключатели надежны в работе, хорошо себя зарекомендовали в течение длительной эксплуатации в энергосистемах, не требуют для своего обслуживания высококвалифицированного персонала, совмещают в себе втулочные трансформаторы тока и емкостные трансформаторы напряжения и являются достаточно приспособленными для суровых климатических условий.

*Малообъемные масляные выключатели* имеют перед баковыми то преимущество, что они требуют значительно меньше материалов для своего изготовления и эксплуатации (сталь, масло), менее трудоемки в изготовлении и вследствие этого их внедрение в производство и эксплуатацию может дать значительный экономический эффект и обеспечит удобства в обслуживании.

Представляются вполне возможными и целесообразными разработка и освоение в производстве малообъемных масляных выключателей на все классы напряжений как для внутренних, так и наружных установок. Накопление опыта производства и эксплуатации по малообъемным выключателям позволит в дальнейшем решить вопрос об относительном удельном весе этих аппаратов в общем выпуске.

*Воздушные выключатели* — наиболее дорогие и сложные. Экономически их применение наиболее рационально там, где имеются крупные распределительные устройства и где, следовательно, используется большое число выключателей. В этих условиях достаточно оправданно сооружение мощных компрессорных установок и воздушной питающей сети на подстанциях и станциях. Сжатый воздух позволяет целесообразно решать ряд вопросов конструирования выключателей: быстродействие, автоматическое повторное включение, привод, управление рабочими контактами, изоляция и пр., и нет сомнений, что в этих направлениях еще скрыты большие возможности новых достижений.

Номенклатура высоковольтных выключателей переменного тока, выпускаемых в настоящее время союзной электротехнической промышленностью содержит 21 тип. В этой номенклатуре представлены как масляные, так и безмасляные выключатели (табл. 1)

Таблица 1

Конструкция	Число типов	Диапазон освоенных параметров		
		Номинальное напряжение, кв	Номинальный ток, а	Мощность отключения, тыс. кв
Масляные баковые . . . . .	6	3 . . . 10 35 . . . 220	200 . . . 1 000 600 . . . 1 000	15 . . . 100 400 . . . 3 500
Масляные, малообъемные . . . . .	7	3 . . . 20 35 . . . 110	600 . . . 6 000 600	100 . . . 2 500 500 . . . 2 500
Воздушные . . . . .	5	35 . . . 400	600 . . . 2 000	1 000 . . . 10 000
Автогазовые . . . . .	2	6 . . . 10	200 . . . 400	200 . . . 300
Электромагнитные (с магнитным гашением дуги) . . . . .	1	6 . . . 10	600	150 . . . 200

Таким образом, можно считать (табл. 1), что в Советском Союзе изготавливаются выключатели всех наиболее распространенных в мировой технике конструкций, хотя отдельные виды выключателей, как, например, воздушные и малообъемные, еще не представлены на всех ступенях стандартных напряжений, токов и мощностей отключения.

Многообразие конструктивных типов в отечественной номенклатуре и отсутствие вместе с тем сквозных единых серий являются результатом относительно короткого периода исторического развития советского высоковольтного аппаратостроения — молодой отрасли электротехнической промышленности, насыщающей всего 30 лет своего существования. Однако, несмотря на обилие различных типов и исполнений, в номенклатуре выключателей имеются и пробелы, как это видно из табл. 2.

Табл. 2 отражает и перспективную потребность народного хозяйства в выключателях общего назначения, предназначенных для применения в энергосистемах и в промышленных электроустановках. Удовлетворение этой потребности отмечено штриховкой соответствующих граф, причем понимается, что в ряде случаев отдельные типы выключателей могут использоваться — с надлежащим изменением их характеристик при токах короткого замыкания — и в смежных интервалах по напряжению и мощности отключения, если это оправдано технически и экономически.

Вряд ли и в дальнейшем будет целесообразно иметь на каждую ступень напряжения, тока и мощности отключения (конечно, если разрыв между отдельными ступенями не слишком велик) отдельный конструктивный тип или исполнение, так как организация крупносерийного выпуска малого числа унифицированных типов, но в больших количествах, как правило, более рентабельна, чем дробление выпуска на большое число промежуточных типов.

Наличие в номенклатуре заводов ряда дублирующих типов баковых масляных, малообъемных масляных и воздушных выключателей оправдано тем, что при постоянном совершенствовании всех выпускаемых конструкций и непрерывном улучше-

нии технологии их изготовления между различными типами выключателей в самых разнообразных эксплуатационных условиях происходит своего рода здоровое «соревнование» и, наряду с этим, нецелесообразное накопление опыта, что со временем позволит отобрать лучшие образцы и отказаться от менее выгодных и менее совершенных.

Такое параллельное развитие различных типов выключателей в Советском Союзе облегчается еще и тем, что, в отличие от капиталистических стран, у нас отсутствует конкуренция между отдельными фирмами, отсутствуют какие-либо патентные преграды и конъюнктурные коммерческие соображения не играют роли.

**Масляные баковые выключатели.** Масляный выключатель — это старейший тип выключателя, который путем непрерывного улучшения конструкции в течение нескольких десятков лет доведен к настоящему времени до довольно высокой степени совершенства.

Наибольшая величина мощности отключения<sup>1</sup> в  $25 \cdot 10^6$  ква получена в США именно при помощи бакового масляного выключателя на напряжении 330 кВ.

Выпускаемые нашей электропромышленностью масляные баковые выключатели серии МКП по своим характеристикам в настоящее время не удовлетворяют запросам энергетики. Мощность отключения в  $3,5 \cdot 10^6$  ква в цикле АПВ при 110 и 220 кВ является совершенно недостаточной. Выключатели для своего изготовления требуют большого количества масла и металла. Реконструкция выключателей МКП на 110 и 220 кВ, проведенная заводом «Уралэлектрораппарат» за последние годы, привела к относительно незначительному повышению мощности отключения (с  $2,5 \cdot 10^6$  до  $3,5 \cdot 10^6$  ква при АПВ) и незначительному снижению веса масла и стали, потребных для изготовления этих аппаратов (экономия 3,5 т масла и 2,5 т стали у МКП-110 и 3 т масла и 5 т стали у МКП-220). Таким образом, вес масла в баках выключателя на 220 кВ снизился с 51 т до 48 т. В то же время известно из зарубежной практики, что в выключателях 220 кВ при таком же первоначальном весе масла в 1940 г. 50 т вес масла был снижен к 1954 г. приблизительно до 15 т на три полюса с одновременным повышением мощности отключения выключателя в 4 раза (с  $2,5 \cdot 10^6$  ква до  $10 \cdot 10^6$  ква). Следует иметь в виду, что мощность в  $10 \cdot 10^6$  ква дана только для однократного отключения. При работе этого выключателя в цикле АПВ его мощность снижается примерно до  $5 \cdot 10^6$  ква.

Значительное сокращение объема баков и содержания масла достигается, в основном, за счет придания бакам рациональных форм (овальных и чечевичных), обеспечивающих более или менее равновеликие изоляционные рас-

Таблица 2

Напряжение, кВ	15	100	150	200	300-350	400	500	750	1000	1500	2000-2500	3500-4000	5000	7000	10000	15000	
6	ВМЗ-6	ВМЗ-10	ВМЗ-15	ВМЗ-20	ВМЗ-30	ВМЗ-40	ВМЗ-50	ВМЗ-75	ВМЗ-100	ВМЗ-150	ВМЗ-200	ВМЗ-300	ВМЗ-400				
10	ВМЗ-10	ВМЗ-15	ВМЗ-20	ВМЗ-30	ВМЗ-40	ВМЗ-50	ВМЗ-75	ВМЗ-100	ВМЗ-150	ВМЗ-200	ВМЗ-300	ВМЗ-400					
20																	
35																	
110																	
154																	
220																	
400																	

- Выпускаемые выключатели  
 - Потребность покрывается выпускаемыми выключателями  
 + - Подлежит разработке

<sup>1</sup> Мощность отключения дана для цикла О — однократное отключение.

стояния под маслом. Однако, приводимые габариты относятся к выключателям, у которых испытательное напряжение выбрано из условия заземленной нейтрали, и оно на 20...26% ниже, принятого в нашем стандарте.

В результате такой конструктивной модернизации общий габарит трехполюсного комплекта выключателя на 220 кВ получился таким, что баки всех трех его полюсов оказалось возможным смонтировать на общей раме и транспортировать в собранном виде на одной железнодорожной платформе.

Попутно необходимо отметить, что вводы, применяемые у выключателей серии МКП, громоздки, диаметр их существенно больше (в 1,5...1,7 раза), чем у соответствующих вводов американских и шведских фирм. Большие габаритные размеры вводов на 220 и 400 кВ ограничивают возможности дальнейшей рационализации масляных выключателей.

Таким образом, в области баковых масляных выключателей необходимо срочно решить следующие вопросы:

1. Разработать малогабаритные вводы для выключателей 110; 220 и 400 кВ с бумажно-конденсаторной изоляцией.

2. Пересмотреть формы баков выключателей с тем, чтобы уменьшить максимально вес масла и стали.

3. Решить вопрос в части АПВ с тем, чтобы гарантийная предельная мощность отключения не снижалась вследствие АПВ.

4. Разработать серию баковых выключателей на следующие номинальные параметры:

Напряжение, кВ	Ток, кА	Отключаемая мощность, 10 <sup>6</sup> кВА
35	1,5 . . . 2	2 . . . 2,5
110	1,5 . . . 2	5 . . . 6
220	1 . . . 2	5 . . . 7
400	2	10 . . . 15

5. Провести всесторонние испытания выключателей в лабораториях и в сетях.

6. Разработать приводы к выключателям, обеспечивающие быстродействующее АПВ.

7. Разработать специальный столбовой масляный выключатель для сельского хозяйства с грузовым или пружинным приводом.

#### Масляные малообъемные выключатели.

В области малообъемных масляных выключателей также наблюдается непрерывный прогресс. Этот тип выключателя продолжает развиваться как в направлении повышения предельных мощностей отключения, так и в направлении охвата более высоких номинальных напряжений и больших токов.

Опыт эксплуатации малообъемных выключателей показывает, что в их работе достигнута значительная надежность.

Основное распространение малообъемные масляные выключатели получили в Западной Европе — Франция, Швейцария, Германия, Италия, Венгрия и др. В Советском Союзе наибольшее распространение малообъемные выключатели

получили на относительно низких напряжениях 6, 10 и 20 кВ для внутренней установки. Это горшковые выключатели в металлических бачках, изолированные от земли при помощи фарфоровых изоляторов (ВМГ-133; МГГ-10; МГГ-229; МГГ-20).

Разработка конструкций и испытание различных образцов малообъемных масляных выключателей с автодутьем на более высокие напряжения — 35 и 110 кВ — велась на заводе «Электроаппарат» еще в довоенное время, но в силу ряда причин эти разработки до 1941 г. не были доведены до внедрения. Только в IV пятилетке работы по маломасляным выключателям были возобновлены на заводе «Электроаппарат» и в ВЭИ. В результате этих работ был создан ряд новых, отечественных конструкций малообъемных выключателей — ВМО-10 (ВЭИ), МГ-35 и МГ-110 (завод «Электроаппарат»). На базе сдвоенного выключателя МГ-110 завод разработал выключатель на 220 кВ (опытный образец).

Выключатель МГ-35 на 35 кВ, 600 А, 500 тыс. кВА является единственным известным типом малообъемного выключателя наружной установки, выпускаемым со встроенными трансформаторами тока втулочного типа. Выключателю были присущи крупные недостатки в части его изоляции, которые заводом устранялись, однако еще трудно сказать, удалось ли этот вопрос разрешить полностью. Не особенно удачными в выключателе МГ-35 являются компоновка всего аппарата и расположение выводов.

Существенной особенностью выключателя МГ-110 на 110 кВ, 600 А, 2,5 · 10<sup>6</sup> кВА (рис. 1) является применение в нем обратной, в сопоставлении с общепринятой, последовательностью образования генерирующей и гасимой дуги. Каж-

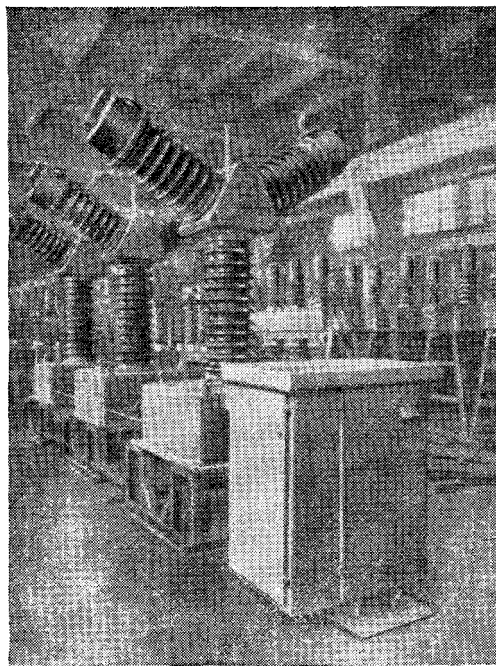


Рис. 1. Малообъемный масляный выключатель МГ-110 завода «Электроаппарат» на 110 кВ, 2,5 · 10<sup>6</sup> кВА.

дый полюс имеет два дугогасящих устройства. Выключатель подвергался испытаниям в сети на мощностях до  $2,5 \cdot 10^6$  кВА с АПВ, однако количество опытов было недостаточным и их необходимо увеличить. Вообще следует отметить, что мощность отключения в  $2,5 \cdot 10^6$  кВА недостаточна и необходимо вести дальнейшие работы по усилению дугогасительной камеры.

В ВЭИ разработка малообъемного выключателя ведется в другом направлении: выключатели имеют по одному разрыву на полюс при напряжениях 35 ... 220 кВ и оформлены в виде колонны. На рис. 2 показан фотоснимок одного полюса опытного образца малообъемного выключателя на 220 кВ,  $5 \cdot 10^6$  ...  $6 \cdot 10^6$  кВА с одним разрывом на фазу.

По сложности конструкции и основным эксплуатационным показателям малообъемные выключатели занимают промежуточное положение между воздушными и баковыми масляными выключателями. Их главными преимуществами являются:

1) более простая конструкция, чем у воздушных выключателей, и в связи с этим меньшая сложность и стоимость производства, простота обслуживания;

2) сравнительно небольшое количество масла, что уменьшает их пожаро- и взрывоопасность, облегчает возможность ревизии выключателей и позволяет значительно уменьшить вес по сравнению с баковыми выключателями;

3) надежность изоляции по отношению к земле (например, заполнение опорных колонок маслом).

К недостаткам малообъемных выключателей по сравнению с воздушными можно отнести: несколько большее время АПВ и необходимость некоторого усложнения гасительного устройства для обеспечения быстродействующего АПВ; отсутствие полной пожаробезопасности ввиду наличия масла; более низкий уровень достигнутых мощностей отключения.

Серия малообъемных масляных выключателей должна будет распространиться на все классы напряжений для внутренней (6 ... 35 кВ) и наружной установок (35 ... 400 кВ).

Следует отметить, что выключатели внутренней установки питающих линий на 6 ... 10 кВ, а может быть и на 35 кВ, можно было существенно улучшить по своим габаритным показателям, если бы вместо металлических применялись бы бакки из изоляционных материалов. Опыт зарубежной практики вполне подтверждает целесообразность использования изолирующих бачков. Особенно существенный эффект был бы достигнут в случае применения выключателей с бакками из изолирующих материалов для комплектных распределительных устройств.

Трудности создания серии мощных малообъемных, а также и баковых масляных выключателей возникают главным образом вследствие недостаточности экспериментальной базы. Основная часть экспериментов проводится в действующих сетях, что чрезвычайно задерживает и затрудняет развитие новых типов выключателей.

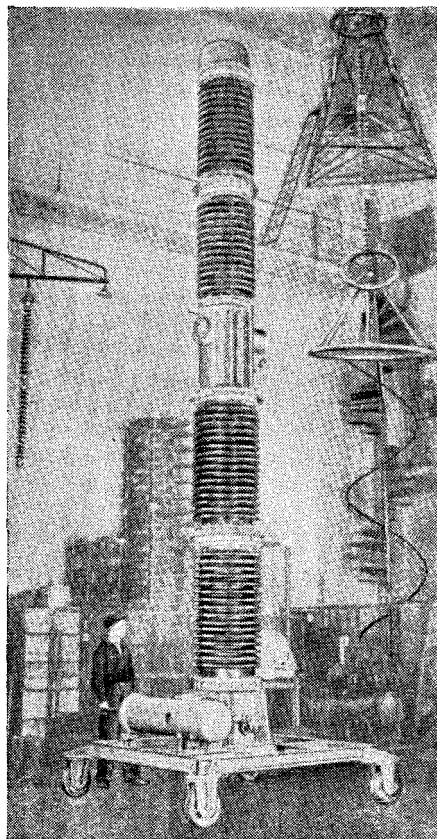


Рис. 2. Опытный образец малообъемного масляного выключателя ВЭИ на 220 кВ. Дугогасительная камера имеет один разрыв.

Таким образом, в области малообъемных масляных выключателей возникают следующие первоочередные задачи, решение которых должно быть осуществлено в ближайшие годы:

1. Развить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки в области малообъемных выключателей, прежде всего — в части изыскания мощного дугогасительного устройства.

2. Разработать и внедрить в производство серию малообъемных выключателей на 35 ... 400 кВ наружной установки.

3. Разработать серию малообъемных выключателей с бакками из органической или керамической изоляции на напряжение 6 ... 10 (35) кВ для внутренней установки.

**Воздушные выключатели.** В области воздушных выключателей за последние годы в Советском Союзе и в ряде европейских стран достигнуты заметные успехи как в направлении повышения мощностей отключения, так и в части повышения рабочих напряжений и токов.

Успешное развитие и применение воздушных выключателей объясняется тем, что использование сжатого воздуха позволяет весьма гибко решать задачи быстродействия отключения и включения, гашения мощной дуги при малом ходе контактов, мгновенного АПВ, пофазного и трехфазного управления и др. Однако следует иметь в виду, что стоимость воздушных выключателей

продолжает оставаться выше, чем масляных и маломасляных.

Опыт разработки, производства и эксплуатации воздушных выключателей на различных классах напряжений 35; 110; 154; 220 и 400 кВ в Советском Союзе показывает, что у отечественной электропромышленности имеются достижения в этой области, однако необходимы еще дальнейшие усилия в направлении повышения надежности работы аппаратов в эксплуатации при всех предписанных им циклах; необходимо дальнейшее удешевление воздушных выключателей как путем лучшей отработки технологии производства, так и путем повышения технологичности самих конструкций.

В частности, довольно значительной составляющей стоимости высоковольтных аппаратов, в том числе и выключателей, является керамическая изоляция (фарфор). Стоимость фарфора всех изоляторов сильно растет с увеличением размеров изделий и составляет в выпускаемых конструкциях до 20% от стоимости всего выключателя. Необходимо в дальнейшем всемерно избегать конструкций, требующих крупногабаритного фарфора. Именно такая тенденция чувствуется и у ряда ведущих европейских фирм (BBC, ASEA и др.), как это можно видеть из рис. 3.

Другой важной тенденцией является стремление применить в воздушных выключателях со многими разрывами симметричное (параллельное) дутье, вследствие чего все разрывы ставятся в одинаковые условия работы. Это можно видеть из того же рис. 3, где каждая пара разрывов имеет свою собственную дутьевую систему.

На стр. 25 (рис. 1) показан фотоснимок одного полюса опытного образца воздушного выключателя на 400 кВ,  $10 \cdot 10^6$  кВА (ВЭИ), где применен фарфор большого диаметра и последовательное питание сжатым воздухом дугогасительных камер.

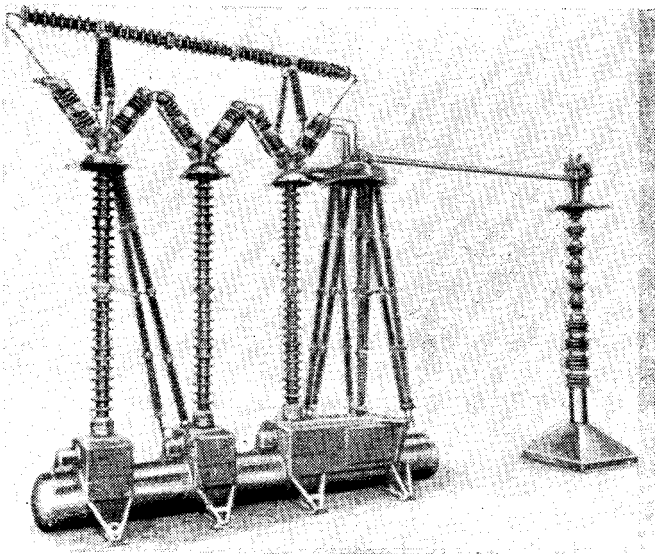


Рис. 3. Воздушный выключатель фирмы ASEA на 380 кВ с фарфором малого диаметра и симметричным питанием разрывов сжатым воздухом.

При помощи сжатого воздуха также весьма успешно решаются задачи создания генераторных выключателей на очень большие номинальные токи и мощности отключения. Характерно, что даже американская практика, которая еще с известным предубеждением относится вообще к воздушным выключателям, пошла по пути применения воздушных выключателей на генераторном напряжении. Особенно успешно применяются для очень больших мощностей отключения на генераторном напряжении ( $2 \cdot 10^6 \dots 2,5 \cdot 10^6$  кВА) воздушные выключатели с поперечным дутьем. Но генераторное напряжение имеет тенденцию роста вместе с ростом мощности в одной единице, и поэтому задачей ближайшего будущего явится создание таких аппаратов на напряжение 20 кВ и выше.

В конструировании воздушных выключателей высокого напряжения (110 кВ и выше) наметились за последние годы два основных направления: 1) выключатели с контактами, остающимися разомкнутыми после срабатывания (воздухонаполненные); 2) выключатели, у которых контакты расходятся на короткое время и снова сходятся. К моменту смыкания нож отделителя размыкается и образует изоляционный промежуток. Оба направления имеют свои достоинства и недостатки.

В первом в качестве недостатков следует отметить, что фарфор подвергается длительному воздействию давления воздуха изнутри, каждый разрыв должен иметь свой надежный клапан, преграждающий выход воздуха наружу при полностью разведенных контактах, а также, что в воздухонаполненном выключателе не исключена возможность самопроизвольного смыкания контактов при внезапной потере давления. К преимуществам воздухонаполненных выключателей следует отнести относительную простоту их схемы управления и отсутствие внешнего изолирующего ножа (отделителя).

Во втором необходим внешний изолирующий промежуток, снимающий напряжение с дугогасительной камеры. Наличие отделителя требует более сложной схемы управления. Однако сжатый воздух здесь длительно содержится только в металлических баках, несравненно более надежных в механическом отношении, чем фарфор.

Промежуточным решением в данном случае может явиться применение отделителя закрытого типа — с камерой, заполненной сжатым воздухом. Какое из этих направлений окажется более рациональным — покажут дальнейшие исследования и опытно-конструкторские разработки.

Выпускаемые в настоящее время заводами воздушные выключатели в диапазоне напряжений 35...400 кВ не образуют собой единой полностью унифицированной серии, хотя и имеют много общих конструктивных черт и одинаковых деталей. Накопленный производственный и эксплуатационный опыт по воздушным выключателям позволяет уже теперь приступить к разработке единой серии воздушных выключателей на 110...400 кВ, в которой



должны быть учтены все последние достижения в этой области.

Разработка такой серии воздушных выключателей в настоящее время находится в несколько более благоприятных условиях по сравнению с масляными баковыми выключателями, так как имеющиеся экспериментальные базы более всего приспособлены именно для конструкций этого типа (колебательный контур, синтетические схемы).

Необходимо также приступить к разработке серий воздушных выключателей внутренней установки на 6—10—15—20—35 кВ для распределительных устройств крупных станций и подстанций. Эти серии должны охватывать и генераторные выключатели с большой мощностью отключения (более  $3 \cdot 10^6$  кВА) и на очень большие номинальные токи (8 000 ... 10 000 А). Задача весьма сложна, особенно в связи с трудностями обеспечения испытаний таких аппаратов.

Из всех типов выключателей воздушный выключатель, особенно с продольным дутьем и двойными металлическими соплами, является наиболее устойчивым в отношении износа его контактов под действием дуги. По этой причине проблема обеспечения печных установок выключателями должна решаться как для 10, так и для 35 кВ преимущественно на базе конструкций с сжатым воздухом. Экономия на стоимости выключателей в данном случае была бы совершенно неуместна, так как воздушный выключатель способен обеспечить продолжительную работу без необходимости в смене контактов и других частей.

Таким образом, в области воздушных выключателей предстоит в ближайшее время решить следующие задачи:

1. Устранить причины неполадок в работе и добиться полноценного использования характеристик и особенностей воздушных выключателей, выпускаемых электротехнической промышленностью.

2. На основе накопленного опыта разработать технические условия на новую серию воздушных выключателей на все классы напряжений и приступить к ее разработке примерно в соответствии с такой шкалой мощности:

Напряжение, кВ	Отключаемая мощность $10^6$ кВА
10	0,5 . . . 1
15 (20)	2 и 3,5 . . . 4
35	1 и 2
110	4 и 6
220	5 и 8 (10)
400	15 (20)

3. Создать специальные типы воздушных выключателей для печных установок на напряжение 10 и 35 кВ.

**Причины отставания и пути их устранения.** Основной, с нашей точки зрения, причиной отставания в развитии выключателестроения это отсутствие необходимых для разработки новых типов выключателей мощных лабораторных баз и прежде всего лабораторий разрывных мощностей, оснащенных надлежащим образом. Появление за последние годы в системе электропромыш-

ленности колебательного контура по схеме А. А. Горева, синтетических схем, лабораторий разрывных мощностей с генераторами ТИ-75 и ТИ-12 не обеспечивают, к сожалению, всех испытаний, а только часть их. Использование некоторых возможностей испытания опытных выключателей в действующих сетях также не обеспечивает получения необходимых данных для конструирования выключателей. Необходимо иметь в виду, что создание надежного и экономичного выключателя не решается расчетным путем, как это имеет место в электромашиностроении, трансформаторостроении, а в значительной степени опирается на эксперимент.

Другим важным обстоятельством является отсутствие достаточного количества конструкторских и исследовательских кадров, работающих в этой области. В целях лучшего использования имеющихся кадров следует все ведущиеся и предстоящие разработки подчинить единому плану действия, сосредоточивая на решающих участках главные силы.

Следующей причиной, затрудняющей развитие нашего высоковольтного аппаратостроения, является нередко имеющее место излишество в требованиях, предъявляемых к аппаратам, и, в частности, к выключателям со стороны проектных организаций и потребителей в отношении уровней изоляции, механических воздействий, гололеда и др. Отсутствие критического отношения к этим требованиям приводит часто к совершенно необоснованным излишествам, а иногда и к ошибочным решениям.

Как правило, вся наша аппаратура и трансформаторы на 400 кВ оказались сравнительно тяжелыми. Можно полагать, что, например, уровни испытательных напряжений для изоляции трансформаторов тока и масляных выключателей на 400 кВ можно было бы принять ниже на 10 ... 15%. Можно было бы вполне снизить в несколько раз расчетные нагрузки на изоляторы разъединителя, скажем, с 1 500 кг до 200 ... 300 кг. Очевидно, можно было бы спуски проводов к аппаратам выполнить так, чтобы опорные и проходные изоляторы и колонки аппаратов не подвергались значительным усилиям, что позволило бы выполнить их более легкими.

Таким образом, в целях ликвидации разрыва, который возник между потребностями и возможностями в области выключателестроения, необходимо:

1. Принять надлежащие меры для рационального использования тех экспериментальных баз, которые имеются в системе электропромышленности, освободив эти базы от мелких испытаний, не требующих таких больших установок.

2. Срочно закончить проектирование и начать строительство в системе Министерства электротехнической промышленности новой мощной лаборатории с двумя генераторами ТИ-100, с которых может быть снята ударная мощность, по данному заводу «Электросила» до  $5 \cdot 10^6$  кВА. В такой лаборатории, вероятно, удалось бы испытывать выключатели на мощность до  $10 \cdot 10^6$  кВА при 220 кВ и до  $15 \cdot 10^6$  ...  $20 \cdot 10^6$  кВА при 400 кВ

# Автоматизированный электропривод в черной металлургии

Инж. Н. А. ТИЩЕНКО

Государственный союзный трест «Электропривод»

Современное металлургическое производство отличается большим масштабом и разнообразием производственных процессов. В настоящее время производительность некоторых металлургических агрегатов составляет 3,0 млн. т в год, а производительность наиболее крупных металлургических заводов достигает 10...15 млн. т чугуна, стали и проката в год.

Силовой основой металлургического производства, как и всей промышленности, является автоматизированный электропривод. В его развитии скрыты неограниченные возможности роста производительности труда, увеличения размеров и экономичности производственных процессов, автоматизации и облегчения условий труда.

Развитие автоматизированного электропривода во многом определило принципы конструкции металлургических установок, агрегатов и машин, увеличение их производительности и рабочей скорости, а также улучшение качества продукции. Так, например, индивидуальный и многодвигательный приводы предопределили современную конструкцию непрерывных и полунепрерывных прокатных станов, масштабы их производства и характер непрерывной поточной прокатки металла. Развитие электропривода и автоматики холоднопрокатных станов за последние 20 лет позволило повысить в 20 раз рабочие скорости прокатки листового металла. Увеличение полезного объема доменных печей приблизительно в 3 раза и их производительности в 5 раз, имевшие место за последние 40 лет, были основаны на непрерывном повышении уровня механизации и электросиловой автоматизации производственных процессов в доменных цехах.

Многие вопросы теории и практики электропривода (его элементов — электрических машин и аппаратов, систем электросиловой автоматизации, а также автоматических регуляторов), буду-

чи впервые разработаны для металлургической промышленности и применены в ней, находили затем всеобщее применение. С другой стороны, усовершенствования электропривода в других отраслях народного хозяйства находят широкое применение в металлургии. Поэтому металлургический электропривод отражает в себе историю развития, современный уровень и перспективы развития всего автоматизированного электропривода.

В развитии металлургического электропривода в нашей стране можно выделить три периода: дореволюционный, предвоенный и послевоенный.

Силовой основой металлургического производства в начале XX в. были паровой и электрический приводы. Находили применение газовые поршневые двигатели внутреннего сгорания, а также гидравлические и пневматические приводы. Паровой привод применялся преимущественно для мощных машин и установок, в том числе и всех приводов мощностью свыше 3 500 л. с. Значительное количество главных приводов прокатных станов в России было электрифицировано (Мариупольский завод «Русский Провиданс», Макеевский, Юзовский, Днепровский и Московский заводы). Электропривод в основном применялся для механизмов малой и средней мощности: на мостовых, посадочных, завалочных, литейных, уборочных кранах, для вентиляторов, компрессоров и других механизмов. При этом преимущественное распространение имел электропривод постоянного тока при напряжениях 220 (250) и 440 (500) в. Для питания потребителей постоянным током была широко распространена трехпроводная система с заземленным нулем. Мощные прокатные и другие двигатели питались от «крайних» проводов при напряжении 440 (500) в, менее мощные двигатели, а также цеховые и коммунальные осветительные сети питались от «край-

при разумном подходе к конструкции выключателя (секционирование дугогасительных камер, независимость действия отдельных частей и пр.).

3. Решительно пересмотреть подход к составлению технических требований к аппаратам высокого напряжения, исключив тенденцию завышения этих требований без действительной необходимости. Прежде всего необходимо пересмотреть подход к установлению уровней испытательных напряжений, которые в основном определяют габариты, веса и стоимости выключателей.

Также критически следует подойти и к установлению требований в отношении мощностей отключения и механических характеристик.

4. Разработать и согласовать между Министерством электротехнической промышленности и Министерством электростанций сетку основных технических параметров выключателей на все

ступени напряжений, исходя из потребностей народного хозяйства на ближайшие 5...10 лет и с учетом особенностей различных выключателей и приводов к ним.

5. Ввести, как правило, не «поштучную», а серийную разработку и выпуск выключателей. Только такой метод подхода может привести к ликвидации пестроты, которая имеет место в настоящее время в производстве выключателей.

6. Всемерно расширить объем исследований, направленных на изучение процессов гашения дуги, в целях изыскания новых рациональных принципов построения выключателей.

7. Учитывая ограниченность сил, перестроить организацию всех новых разработок в области выключателей, подчинив их единому плану и сосредоточив основные силы на решающих участках.

[4.5.1955]



него» и «нулевого» проводов при напряжении 220 (250) в. Питание асинхронных прокатных двигателей на московском металлургическом заводе осуществлялось от сети трехфазного переменного тока при напряжении 2 000 в. Большинство вспомогательных операций в прокатных, доменных и других цехах металлургических заводов не было механизировано, вследствие чего широко применялся ручной труд. Отдельные вспомогательные механизмы прокатных станков: ножицы, рольганги, нажимные устройства крупных прокатных станков, имели электрические или паровые приводы. Еще задолго до первой мировой войны в некоторых доменных цехах был внедрен электропривод. Однако преимущественное распространение в них имел паровой привод. В это время в России появились первые электрифицированные доменные подъемники: вертикальные, скиповые и бадьевые. Бадьевые доменные подъемники системы русского инженера Гогоцкого, установленные на Брянском (Екатеринослав) и Краматорском металлургических заводах были электрифицированы по системе генератор — двигатель. На некоторых доменных печах, построенных известным русским доменщиком М. К. Курако, был установлен автоматический электропривод вращающегося распределителя. Впервые в России появились элементы программной релейно-контакторной автоматизации в доменных цехах, а элементы электромашинной автоматики — в главных приводах прокатных станков.

Значительная часть электрооборудования металлургических заводов дореволюционной России и почти все мощные прокатные двигатели были изготовлены на русских заводах Сименс-Гальске (Петербург), АЕГ (Рига), Вестингауз (Москва) и Вольта (Ревель).

Рижским заводом для блуминга Брянского металлургического завода в 1913 г. был изготовлен наибольший реверсивный прокатный двигатель постоянного тока мощностью 3 400 л. с., 60/120 об/мин и к нему маховиковый преобразовательный агрегат. Этот первый в России реверсивный электропривод блуминга был введен в действие в 1920—1921 гг.

Электрические машины и аппараты изготавливались на электромеханических заводах России по чертежам иностранных фирм. Электрические щетки и более сложные детали и полуфабрикаты ввозились из-за границы. По существу электромеханические заводы в дореволюционной России являлись сборочными мастерскими, без конструкторских бюро и лабораторий.

После Великой Октябрьской социалистической революции и окончания гражданской войны на основе плана ГОЭЛРО и довоенных пятилетних планов началось планомерное развитие отечественной металлургической и электротехнической промышленности, реконструкция старых металлургических и электротехнических заводов, преобразование их в передовые предприятия и строительство новых современных заводов. На электромеханических заводах создавались крупные конструкторские бюро и лаборатории, при этом определялась собственная техническая политика

электромеханических заводов. В ведущих втузах нашей страны были организованы кафедры электропривода, под руководством которых получили высшее образование сотни советских специалистов-электроприводчиков. Все это создало материальную базу для развития отечественной науки по электроприводу.

В 30-х годах в нашей периодической печати было опубликовано значительное число статей по теории и практике электропривода; вышли в свет капитальные индивидуальные и коллективные труды по электроприводу. В 1938 г. вышел в свет труд проф. С. А. Ринкевича «Основы электропривода», представлявший собой первое учебное пособие по электроприводу. В этом становлении науки по электроприводу, как самостоятельной дисциплины прикладной электротехники, ведущее значение имела разработка вопросов теории и практики металлургического электропривода.

В США и Германии развитие автоматизированного электропривода происходило односторонне и ограничено. В США развитие электропривода шло главным образом по пути применения средств автоматизации для регламентации управления и работы электрических машин, а в Германии — по пути применения электрических машин в различных областях экономики. Поэтому ни в США, ни в Германии не была создана современная наука об электроприводе. В настоящее время в США развитие металлургического электропривода происходит в основном по пути усовершенствования и разработки новых видов средств автоматизации, а в Западной Германии — по пути усовершенствования электросиловых преобразователей, т. е. электрических машин, ионных преобразователей, их каскадов и пр.

В развитии металлургического электропривода, как и электропривода в целом, в предвоенные годы важное значение имели следующие события:

1. На заводе ХЭМЗ им. Сталина были организованы лаборатория пуско-регулирующей аппаратуры (1930 г.), отдел электропривода (1931 г.) и лаборатория электропривода (1935 г.). Были разработаны и внедрены релейно-контакторная аппаратура и реле автоматики (1930—1932 гг.), крупные прокатные двигатели и генераторы постоянного тока серии ПБК (1933—1935 гг.), крупные асинхронные и синхронные двигатели серий АТ и СТ (1932—1934 гг.). Были созданы первенец отечественной комплексной автоматики — автоматическая загрузочная система доменных печей (1931—1933 гг.), система управления главным приводом блуминга (1931 г.), первые отечественные системы генератор — двигатель для главного подъемника доменных печей и основных механизмов блумингов (1935 г.), автоматизированный электропривод для холоднопрокатных и других станков (1936 г.). В период 1931—1934 гг. были разработаны инженерные методы расчета неустановившихся процессов в электроприводах с графоаналитическим решением дифференциальных уравнений высокого порядка с переменными коэффициентами и др.

2. На заводе «Электросила» им. Кирова были созданы комплекты электрических машин для

блуминга (1931 г.) и слябинга с индивидуальным приводом валков (1935 г.). Были разработаны и внедрены: крупные прокатные двигатели и генераторы постоянного тока серии МП (1930—1935 гг.), крупные асинхронные и синхронные двигатели серий АМ и СМ (1932—1934 гг.), рольганговые двигатели, серии АЗР (1932—1934 гг.), ртутные выпрямители серии РВ (1930—1933 гг.) и др.

3. На заводе «Динамо» им. Кирова были разработаны и внедрены релейно-контакторная аппаратура для кранового электропривода (1931—1933 гг.), краново-металлургические двигатели серий КП и КТ (1930—1932 гг.).

4. В «Электропроме» (ныне «Тяжпромэлектропроект») были разработаны проекты электрооборудования Кузнецкого и Магнитогорского металлургических комбинатов им. Сталина (1930—1934 гг.), новых прокатных цехов Макеевского металлургического завода им. Кирова и завода им. Дзержинского (1930—1934 гг.), завода «Запорожсталь» им. Орджоникидзе (1933—1935 гг.) и др.

5. В ВЭИ им. Ленина в 1932 г. была организована лаборатория электропривода. Были разработаны проекты крупных асинхронных и синхронных двигателей серий АТ и СТ (1930—1932 гг.), созданы первоначальные системы следящего и ионного электроприводов для металлургических установок (1936—1938 гг.). В период 1936—1941 гг. были разработаны начала теории автоматического регулирования.

6. Первая конференция, посвященная металлургическому электроприводу, была проведена в 1930 г. (Харьков). В 1937 г. на заводе ХЭМЗ им. Сталина было проведено Всесоюзное совещание электриков-доменщиков; в 1938 г. в Харькове была проведена Всесоюзная конференция по электрооборудованию металлургических заводов.

В предвоенный период развития металлургического электропривода в электропромышленности СССР была не только освоена на современном для того времени уровне вся номенклатура систем автоматизированного электропривода и его элементов (электрических машин и аппаратов), но и заложены основы дальнейшего развития.

На заводе ХЭМЗ им. Сталина были созданы опытные образцы электромашинных усилителей с поперечным полем (1939—1941 гг.) и магнитных усилителей (1938—1939 гг.), системы комплексной автоматизации блумингов (1935—1936 гг.), системы следящего электропривода для нажимного устройства блуминга (1939—1940 гг.). В ВЭИ им. Ленина были созданы системы следящего электропривода для нажимного устройства блумингов (1936—1940 гг.) и ионного регулируемого электропривода для прокатных станов. В 1941 г. на заводе ХЭМЗ им. Сталина было проведено специальное совещание для рассмотрения вопросов комплексной автоматизации вагон-весов доменного цеха.

В послевоенный период развитие металлургического электропривода происходило по следующим основным направлениям:

1. Развитие частей электропривода: электро-

силовых преобразователей, передаточных механизмов и средств автоматизации.

2. Создание новых систем электропривода как части металлургических машинных устройств.

3. Создание новых систем комплексной автоматизации металлургических производственных процессов.

4. Модернизация и автоматизация на базе электропривода действующих металлургических установок, агрегатов и машин.

5. Унификация и типизация металлургического электрооборудования.

Современный автоматизированный электропривод представляется как часть машинного устройства и в свою очередь расчленяется на три существенно различные части:

а) электросиловые преобразователи электрической энергии в механическую;

б) передаточные механизмы, служащие для передачи движущих сил от двигателей к исполнительным органам рабочей машины, преобразования величины и изменения направления действия этих сил (современным видом передаточного устройства являются механические и гидравлические редукторы, электромагнитные муфты и пр.);

в) средства автоматизации как электропривода, так и производственного процесса.

Развитие электропривода как целого и частей электропривода (электрических машин и аппаратов) взаимосвязано и взаимообусловлено. Поэтому правильно лишь такое развитие частей электропривода, которое обеспечивает совершенствование его в целом. Улучшение отдельных показателей электрических машин и аппаратов, например удельных весовых показателей, уменьшение расхода материалов, удобство производства, не должно производиться за счет ухудшения технических характеристик электропривода. Во многих случаях эти показатели во имя общих интересов народного хозяйства должны быть принесены в жертву для большего совершенства электропривода в целом.

Основными направлениями в послевоенном развитии металлургического электропривода, вытекающими из развития электросиловых преобразователей, были следующие:

1. Широкое внедрение электроприводов переменного тока.

2. Усовершенствование мощных электроприводов прокатных станов на базе усовершенствования крупных машин постоянного тока.

3. Внедрение безмаховых преобразовательных агрегатов с синхронным двигателем взамен маховых с асинхронным двигателем.

4. Внедрение ионного электропривода для прокатных станов.

Внедрение электроприводов переменного тока основано как на усовершенствовании асинхронных двигателей переменного тока, так и релейно-контакторной автоматики и, главное, их защиты. Заводом «Динамо» им. Кирова были усовершенствованы асинхронные двигатели серий МТ и МТК. Шире стали применяться закрытые двигатели серии АО, КО и МА-140. Были разработаны новые серии двигателей типов МАР и АР с полым

валом. Для защиты двигателей вместо плавких предохранителей стали широко применяться установочные автоматы. Была разработана и внедрена единая серия магнитных станций для управления и защиты асинхронных двигателей, в которых были применены малогабаритные двухполюсные контакторы с катушками постоянного тока и специальная система защиты при помощи реле с высоким коэффициентом возврата типа РЭ-70Т. Такая система электропривода переменного тока целиком себя оправдала и была широко внедрена в металлургию. Если до войны в доменных и прокатных цехах и для большинства грузоподъемных кранов применялся главным образом электропривод постоянного тока, то в настоящее время во всех новых металлургических цехах преобладает электропривод переменного тока.

В настоящее время электропривод постоянного тока применяется для металлургических кранов с наиболее тяжелым режимом работы, главных приводов прокатных станков и некоторых более мощных приводов, с высокой частотой включений или широким диапазоном регулирования.

В доменных цехах лишь лебедка конусов, вагон-весы, коксовый и рудный электровозы имеют электропривод постоянного тока с контакторно-реостатным управлением. Эти электроприводы в ближайшее время будут переведены на безреостатное управление или заменены электроприводами переменного тока.

В прокатных цехах применяется так называемая смешанная система питания двигателей основных механизмов, к которым относят все вспомогательные механизмы, непосредственно участвующие в поточном прокатном производстве. При этой системе преимущественно устанавливаются электроприводы переменного тока, применяемые при частоте включений до 700 в час и при мощности двигателей до 120 квт и более. При более высокой частоте включений и необходимости получения широкого диапазона регулирования и высокой точности управления применяются электроприводы постоянного тока с безреостатным индивидуальным или групповым управлением по системе генератор — двигатель.

Широкое изменение предела регулирования

скорости двигателей индивидуального привода роликов рольгангов осуществляется при помощи изменения частоты и напряжения асинхронных короткозамкнутых двигателей.

В табл. 1 представлено для нескольких прокатных станков характерное для смешанной системы соотношение суммарной мощности и числа исполнительных двигателей постоянного и переменного тока.

Для успешного применения асинхронных короткозамкнутых двигателей для повторно-кратковременном режиме работы необходимо учитывать их следующие особенности:

а) практически мгновенное возникновение вращающего момента, вследствие чего в механизмах возникают механические удары и увеличивается износ;

б) высокую плотность тока при пуске и сравнительно малое значение пускового момента. Асинхронный двигатель легко выходит из строя при двухфазном питании и при технологических перегрузках.

При пуске динамические усилия в механизмах и износ их снижаются при применении для двигателей с фазным ротором предварительных пусковых ступеней. При торможении интенсивность нарастания вращающего момента асинхронных двигателей существенно уменьшается, если обмотка статора питается от низкого напряжения постоянного тока.

У двигателей с полым валом статор связывается с механизмом через пружины, которые амортизируют удары, возникающие при пусках и остановках двигателей. Благодаря упругой связи двигателя с механизмом момент на валу механизма возникает и изменяется постепенно.

Недостатки пусковых характеристик асинхронных короткозамкнутых двигателей и опасность выхода их из строя при двухфазном питании и технологических перегрузках практически устраняются, если двигатели проектируются с небольшой сравнительно плотностью пускового тока, если применяется теплостойкая изоляция обмотки статора и при наличии соответствующей защиты, отключающей двигатель при двухфазном питании или при технологической перегрузке.

Таблица 1

Соотношение суммарной мощности и числа исполнительных двигателей переменного и постоянного тока, применяемых для привода основных механизмов прокатных станков

Наименование механизма	Двигатели переменного тока								Двигатели постоянного тока							
	Всего				В том числе для индивидуального привода рольгангов				Всего				В том числе с безреостатным управлением			
	Количество		Мощность		Количество		Мощность		Количество		Мощность		Количество		Мощность	
	шт.	%	квт	%	шт.	%	квт	%	шт.	%	квт	%	шт.	%	квт	%
Блуминг 1 150 . . . . .	28	50,0	1 195	21,3	0	0	0	0	28	50	4 403	78,7	23	41	4 210	75
Блуминг 1 000 . . . . .	38	54,3	910	33,8	0	0	0	0	32	45,7	1 774,5	66,2	28	40	1 680	62,7
Трубозаготовочный стан	422	94,6	6 050	81,9	370	83,0	2 750	37,3	24	5,4	1 328	18,1	15	3,4	1 150	15,7
Непрерывный заготовочный стан 800/700/500	329	97,6	3 790	67,8	238	71,0	714	12,8	8	2,4	1 778,5	32,2	4	1,2	1 672	30,3
Трубопрокатный агрегат 400 . . . . .	610	95,6	2 604,5	80,6	160	25,2	480	14,6	28	4,4	625	19,4	28	4,4	14	2,2

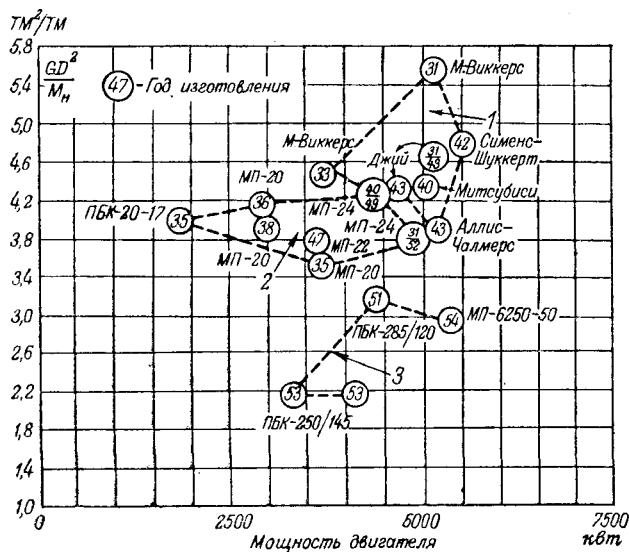


Рис. 1. Сравнительные динамические показатели двигателей реверсивных прокатных станов типа блуминга.

1 — прокатные двигатели, изготовленные иносфирмами в 1931—1943 гг. и установленные на блумингах СССР; 2 — отечественные прокатные двигатели с обычной обмоткой якоря, изготовленные в 1931—1947 гг.; 3 — отечественные прокатные двигатели новой конструкции с двухходовой обмоткой якоря, изготовленные в 1951—1954 гг.

Существенно усовершенствованы главные и мощные электроприводы прокатных станов на базе усовершенствования крупных машин постоянного тока путем применения многократных обмоток якоря. Применение многократных обмоток якоря резко увеличило предельную мощность машины постоянного тока при данном радиусе якоря и снизило относительную величину коэффициента самоиндукции якоря. Применение многократных обмоток якоря, по существу, сняло все известные пределы, ограничивавшие проектирование машин постоянного тока, и позволило непрерывно совершенствовать их в требуемых для развития электропривода направлениях. Значительно улучшен основной показатель для реверсивных прокатных двигателей: отношение махового момента якоря ( $тм^2$ ) к номинальному вращающему моменту ( $тм$ ). Если до войны это отношение для отечественных и зарубежных двигателей блумингов, установленных в СССР, составляло 3,85... 5,5, то для двигателей, изготавливаемых отечественной промышленностью в послевоенные годы, оно не превосходит 2,0... 3,0, хотя мощность одноякорных прокатных двигателей блумингов возросла с 7 тыс. до 10 тыс. л. с. (рис. 1).

В США в послевоенные годы для снижения указанного показателя для блумингов и других реверсивных прокатных станов стали широко применяться двухъякорные прокатные двигатели. Отечественная электропромышленность оснащает блуминги более экономичными и более удобными в эксплуатации одноякорными двигателями, у которых динамические показатели выше, чем у двухъякорных, изготавливаемых в США.

Одноякорный прокатный двигатель завода ХЭМЗ им. Сталина, устанавливаемый для типовых блумингов 1150 мм с индивидуальным

приводом валков при мощности 6250 л. с., 70/120 об/мин, имеет маховой момент якоря всего около 135  $тм^2$  (рис. 2). Для нажимного устройства и других основных механизмов блумингов изготавливается двигатель длительной мощностью 300 квт, 750 об/мин с маховым моментом якоря, равным 95  $кгм^2$  (рис. 3).

Основным показателем технического уровня генераторов, питающих двигатели прокатных станов, является произведение мощности (квт) на скорость вращения (об/мин). Этот показатель в послевоенные годы увеличен с  $1,3 \cdot 10^6$  до  $2,5 \cdot 10^6$ . В СССР работают генераторы постоянного тока мощностью 5 тыс. квт при 500 об/мин. На рис. 4 показана кривая роста предельной мощности отечественных генераторов постоянного тока в одной единице в послевоенные годы. Этот показатель для генераторов постоянного тока, изготавливаемых в Германии, не превосходит  $2,0 \cdot 10^6$ , а в США  $1,3 \cdot 10^6$ .

Основным показателем технического уровня неререверсивных прокатных двигателей является произведение мощности (квт), на максимальную скорость вращения (об/мин) и на отношение максимальной скорости вращения к основной. Предельная величина этого показателя для двигателей, изготовленных в СССР до войны, составляла  $2,36 \cdot 10^6$ . В послевоенные годы этот показатель был увеличен до  $3,5 \cdot 10^6$ . В Германии наиболее высокое его значение равно  $3,2 \cdot 10^6$ , а в США — не свыше  $2,5 \cdot 10^6$ .

Из приведенных выше показателей технического уровня отечественных крупных машин постоянного тока вытекают более высокие, чем в США и в Германии, основные технические показатели электроприводов прокатных станов: малые удельные веса генераторов — до 6... 7 кг на 1 квт, высокие к. п. д. — до 0,96, малое ударное падение скорости и весьма быстрое реверсирование блумингов — до 110 об/мин в 1 сек (в США — не свыше 100 об/мин в 1 сек).

Безмаховиковые преобразовательные агрегаты в настоящее время полностью вытеснили маховиковые агрегаты, что на 8... 10% увеличило

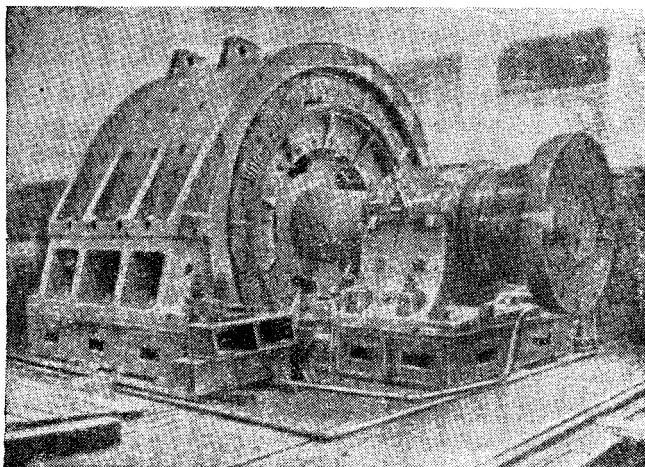


Рис. 2. Реверсивный прокатный двигатель ПБК-250/145, 6250 л. с., 70/120 об/мин с двукратной обмоткой якоря.

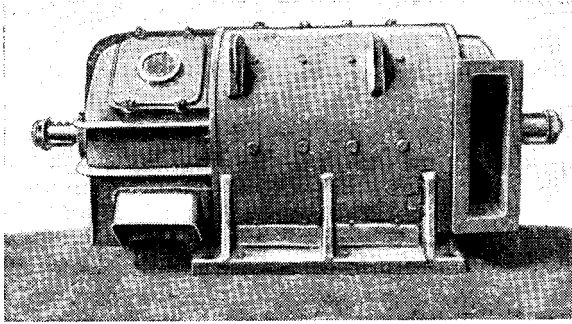


Рис. 3. Двигатель постоянного тока МП-42,3/73, 300 квт, 750 об/мин с особо малым маховым моментом якоря.

к. п. д. преобразовательных агрегатов, снизило их вес и стоимость и повысило надежность установок. На рис. 5 показан мотор-генератор с приводным синхронным двигателем 10 тыс. л. с., 500 об/мин, от которого питаются реверсивные электроприводы рельсо-балочного стана.

Важное значение имеет внедрение ионных преобразователей для привода прокатных станов. Применение их снижает первоначальные и эксплуатационные затраты, увеличивает надежность установок, позволяет применять весьма гибкое и в то же время экономичное в эксплуатации индивидуальное питание и регулирование прокатных двигателей многодвигательных прокатных станов. В настоящее время ионные преобразователи применяются в СССР для питания и управления двигателями непрерывных горячепрокатных и холоднопрокатных станов, непрерывных групп полунепрерывных горячепрокатных и трубoproкатных станов и для регулирования скорости асинхронных прокатных двигателей. Установленная в СССР мощность ионных прокатных электроприводов достигает 100,0 тыс. квт и в ближайшие годы значительно возрастет. В США установленная к исходу 1953 г. мощность ионных прокатных приводов составляла около 100,0 тыс. квт.

Развитие передаточных механизмов в металлургическом машиностроении идет главным образом в направлении применения индивидуального привода валков прокатных станов и безредукторного привода. Применение безредукторного привода снижает кинетическую энергию вращающихся частей привода. Уменьшение кинетической энергии вращающихся частей привода увеличивает надежность работы машин, так как при этом снижается износ и уменьшается возможность поломки механической части привода.

Развитие средств автоматизации в послевоенный период шло по следующим основным направлениям:

- а) усовершенствования релейно-контакторной автоматики;
- б) разработки, широкого внедрения и усовершенствования электромашинной автоматики;
- в) разработки и внедрения электроники, ионной и магнитной автоматики и реле-первичных датчиков, необходимых для комплексной автома-

тизации металлургических производственных процессов.

Релейно-контакторная автоматика является основным и наиболее распространенным видом средств автоматизации. Поэтому ее развитию в послевоенные годы было уделено внимание как в части реле и контакторов, так и систем управления.

Из числа важных или принципиально новых конструкций контакторов и реле следует выделить двухполюсные контакторы постоянного тока и реле с магнитным «залипанием», которые широко внедрены в послевоенные годы в металлургическую промышленность. Внедрение этих аппаратов существенно усовершенствовало релейно-контакторную автоматику в прокатных и доменных цехах. Вместе с тем следует указать, что в целом технический уровень низковольтной контакторной аппаратуры, изготовляемой электротехнической промышленностью, не соответствует современным требованиям и современному техническому уровню.

В послевоенные годы широкое распространение получила электромашинная автоматика, под которой следует понимать сочетание электромашинных вращающихся усилителей и твердых полупроводников, используемых для непрерывного малоконтактного управления электроприводами. В настоящее время электромашинная автоматика, применяемая в черной металлургии, достигла высокого совершенства. Однако еще более совершенным видом автоматики электроприводов является сочетание ионной и магнитной автоматики или ионно-магнитная автоматика, которая, будучи статической и, следовательно, более надежной и малоинерционной, обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с электромашинной автоматикой.

В послевоенные годы значительное распространение в черной металлургии получила электроника в виде фотореле с электронными усилителями, электронных реле времени, электронных потенциометров, специальных промежуточных электронных усилителей и других электронных аппаратов. Опыт довольно

широкого применения электроники в электроприводе черной металлургии СССР дал хорошие результаты. Поэтому электронная автоматика как совершенный безинерционный вид автоматики электропривода будет находить все более широкое применение в промышленности особенно в связи с применением счетно-решающих устройств. Самостоятельное значение получает и полупроводниковая автоматика как новый этап в развитии электроники

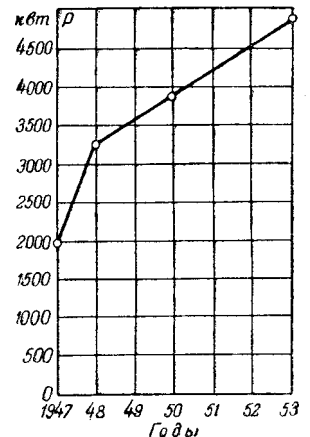


Рис. 4. Кривая роста мощности генераторов постоянного тока ( $n = 500$  об/мин) в одной единице в послевоенные годы.

Таблица 2

## Основные технические данные электроприводов некоторых прокатных станов СССР

Наименование электроприводов	Основные технические характеристики
<p>Главные электроприводы реверсивных обжимных горячепрокатных станов: блумингов, слябингов, толстолистовых, среднелистовых, рельсо-балочных, крупносортовых и других реверсивных прокатных станов</p>	<p>Безредукторный электропривод. Групповой привод при диаметре валков до 1 000 мм включительно.</p> <p>Индивидуальный привод при диаметре валков свыше 1 000 мм. Номинальная мощность прокатных двигателей постоянного тока:</p> <p>для блумингов 1 000 мм—7 000 л.с. при 50/120 об/мин и 7 500 л.с. при 60/120 об/мин; для блумингов 1 150 мм—2 по 4 500 л.с. при 50/120 об/мин и 2 по 6 250 л.с. при 70/120 об/мин.</p> <p>Одноякорное исполнение прокатных двигателей. Максимальная номинальная мощность прокатных двигателей в одной единице до 10 000 л.с. при 60/90 об/мин. Питание прокатных двигателей от генераторов постоянного тока при мощности генераторов до 5 000 квт в одной единице при номинальном напряжении до 1 000 в. Применение безмаховиковых преобразовательных агрегатов с синхронными двигателями мощностью до 17 000 квт. Электромашинная система управления: кубичная для управления напряжением генератора и квадратичная для управления потоком двигателя.</p> <p>Комплексная автоматизация главных приводов реверсивных прокатных станов. Минимальное время реверсирования (50... 50 об/мин) составляет менее 1 сек.</p>
<p>Главные приводы мощных неревверсивных многодвигательных горячепрокатных станов: непрерывных тонколистовых, чистовых групп полунепрерывных листовых, непрерывных заготовочных, трубопрокатных</p>	<p>Применение индивидуального привода клетей. Безредукторный привод для мощных или быстроходных клетей, для которых произведение мощности (квт) на скорость вращения (об/мин) превосходит <math>200 \cdot 10^3</math>. Редукторный привод для остальных клетей. Применение синхронных двигателей для клетей, не требующих регулирования скорости валков, и для клетей, при прохождении через которые металл не находится одновременно в других клетях. Одноякорное исполнение двигателей. Применение двигателей мощностью до 4 200 квт, 825 в при произведении мощности (квт) на скорость вращения (об/мин) и на диапазон регулирования потоком—до <math>3,5 \cdot 10^6</math>.</p> <p>Питание прокатных двигателей от индивидуальных управляемых разборных ртутных выпрямителей с постоянно горячей дугой возбуждения. Сеточное управление ртутными выпрямителями от статических фазовращателей и магнитных усилителей. Комплексная автоматизация процесса прокатки.</p>
<p>Мощные непрерывные холоднопрокатные станы</p>	<p>Индивидуальный безредукторный привод для первых клетей. Индивидуальный безредукторный привод валков клетей со скоростью валков около 10 м/сек.</p> <p>Индивидуальный привод с редукторами, повышающими скорость вращения валков при скорости их свыше 15 м/сек.</p> <p>Двухдвигательный привод моталок с суммарной мощностью электропривода до 1 000 квт, с диапазоном регулирования двигателей до 1:3,75. Двигатели в экономичном одноякорном исполнении с произведением мощности (квт) на скорость вращения (об/мин) и на диапазон регулирования потоком—до <math>3,0 \cdot 10^6</math>. Питание двигателей от индивидуальных для каждой клетки генераторов с мощностью в единице до 4 500 квт при 500 об/мин, а также питание их от управляемых ртутных выпрямителей. Электромашинная автоматика для поддержания соответствия скорости клетей, регулирования натяжения моталок, управления станом при ускорении и замедлении.</p> <p>Время ускорения валков до максимальной скорости не свыше 8... 10 сек. Летучие фотоэлектронные и лучевые микрометры с возможностью автоматического управления от них. Месдозы и индуктивные датчики для измерения давления на валки. Тензометры для измерения натяжения полосы между клетями.</p>
<p>Двухклетевые дрессировочные станы</p>	<p>Индивидуальный двухдвигательный привод валков прокатных клетей с суммарной мощностью четырех двигателей постоянного тока 720 квт при 750/1 000 об/мин.</p> <p>Индивидуальный привод валков натяжных устройств от таких же двигателей. Привод моталки от двигателя мощностью до 500 квт, с диапазоном регулирования потоком до 1:3,75. Регулирование скорости двигателей при помощи якорных бустеров. Электромашинная автоматика для управления пуском и остановкой стана, регулирования соответствия скорости клетей и натяжных устройств, а также регулирования натяжения моталки.</p> <p>Фотоэлектронные и индуктивные датчики для регулирования натяжения между соседними клетями стана.</p>
<p>Мощные реверсивные холоднопрокатные станы</p>	<p>Безредукторный привод для мощных и редукторный для менее мощных станов. Прокатные двигатели мощностью до 4 000 квт в одноякорном исполнении. Двухдвигательный привод моталок с суммарной мощностью двигателей до 1 000 квт, с диапазоном регулирования потоком до 1:3,75. Электромашинная автоматика для управления пуском и остановкой стана и регулирования натяжения моталок. Полная автоматизация процессов пуска и остановки станом.</p>

с перспективой значительного увеличения мощности электронных устройств. Вместе с тем нельзя не отметить, что во внедрении электроники и счетно-решающих устройств, а также полупроводниковой автоматики у нас пока еще имеет место

некоторое отставание от современного уровня и потребностей металлургической промышленности.

Значительная работа была выполнена в СССР в послевоенные годы по созданию и внедрению новых типов реле — первичных датчиков, являю-



щихся важными элементами комплексной автоматизации производственных процессов. Созданы образцы фотореле с фотоэлементами, фотоспротивлениями, электронными и магнитными усилителями. Хорошо зарекомендовали себя индуктивные датчики, которые самостоятельно или в сочетании с промежуточными магнитными усилителями находят все большее распространение в черной металлургии. Большой опыт получен по применению флажковых механических выключателей, для которых практикой эксплуатации установлена максимальная допустимая рабочая скорость около 1 м/сек. Оригинальная конструкция флажковых выключателей, разработанная на Кузнецком металлургическом комбинате имени Сталина, удовлетворительно работает при скорости механизмов до 3 м/сек. Для комплексной автоматизации трубопрокатных агрегатов внедряются многоконтактные электромагнитные датчики, обеспечивающие надежную работу при воздействии на них при значительной скорости ферромагнитных тел, при нагреве их до 400° С и зазоре между датчиком и телом до 60 мм.

Значительная работа выполнена советскими электроприводчиками по созданию новых систем металлургических электроприводов.

В настоящее время автоматизированный электропривод является настолько большой и важной составной частью современного металлургического машинного устройства, что развитие последнего все более и более становится следствием развития электропривода. В этом постепенном перевоплощении электропривода из вспомогательной части машинного устройства в ведущую его часть и заключается основная особенность послевоенного развития отечественного металлургического электропривода.

Для представления о современном техническом уровне отечественных металлургических электроприводов в табл. 2 приведены основные данные наиболее сложных главных электроприводов наиболее мощных и производительных прокатных станов.

Комплексная автоматизация производственных процессов, осуществляемая в металлургической промышленности в соответствии с директивами XIX съезда КПСС, является, как известно, наиболее перспективным направлением технического прогресса. Поэтому в послевоенные годы большое внимание уделяется комплексной автоматизации новых и действующих агрегатов черной металлургии.

Для большинства проектируемых и сооружаемых новых металлургических цехов, прокатных станов и доменных печей предусматривается высокий уровень автоматизации производственного процесса, а в ряде случаев осуществляется комплексная автоматизация всего производственного процесса.

Существенное развитие в послевоенные годы получила комплексная автоматика загрузочной системы доменных печей, в которой автоматизированы новые, разработанные советскими доменщиками приемы регулирования хода доменной

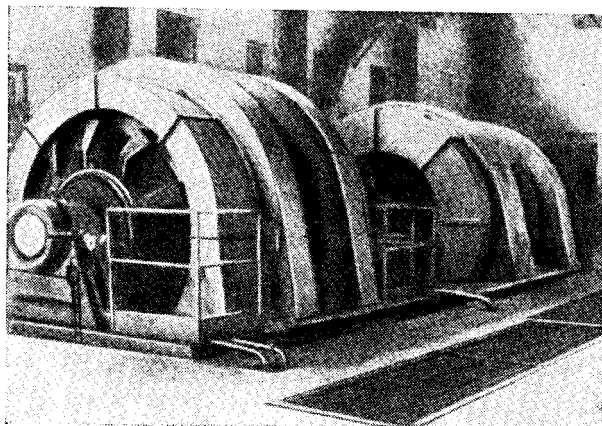


Рис. 5. Преобразовательный агрегат с приводным синхронным двигателем 10 тыс. л. с.

печи «сверху», т. е. путем соответствующих автоматизированных изменений порядка и характера действия механизмов загрузочной системы и надлежащего автоматического чередования загрузки шихтовых материалов.

В табл. 3 представлено развитие параметров автоматизации загрузочной системы<sup>1</sup>.

Однако уровень автоматизации на других участках доменных цехов: воздухонагревательного хозяйства, взвешивания и доставки к загрузочной системе рудно-флюсовой части шихты, разливки чугуна, все еще недостаточен. Основной причиной указанного является недостаточный уровень механизации этих участков доменного производства.

Значительны достижения в комплексной автоматизации реверсивных обжимных прокатных станов, сортопрокатных, трубопрокатных и трубосварочных прокатных станов, реверсивных станов холодной прокатки и др.

В СССР в настоящее время работает полностью автоматизированный мощный блуминг; автоматические сортопрокатные, трубопрокатные прошивные станы; автоматический реверсивный стан холодной прокатки; трубосварочный стан и много других металлургических агрегатов. Уровень комплексной автоматизации и производительность их значительно выше, чем уровень автоматизации и производительность соответствующих наиболее совершенных зарубежных прокатных станов. Однако положительный опыт и достижения в автоматизации отдельных прокатных станов еще пока весьма слабо распространяются в системе черной металлургии. Поэтому для значительного количества действующих в черной металлургии прокатных станов еще характерны низкий уровень механизации и автоматизации.

При автоматизации некоторых действующих прокатных станов допускаются серьезные ошибки. Вместо того чтобы производить автоматизацию

<sup>1</sup> Расчетная производительность загрузочной системы, приведенная в табл. 3, учитывает задержки в работе вагон-весов и составляет 0,85 производительности собственно загрузочной системы.

Таблица 3

## Развитие параметров отечественной автоматической загрузочной системы

Наименование параметра	1933 г.	1935 г.	1936 г.	1941 г.	1944 г.	1952 — 1953 гг.
Максимальный полезный объем доменной печи, м <sup>3</sup> . . . . .	930	1 146	1 300	1 300	1 380	Свыше 1 330
Длина пути скипов, м . . . . .	64	74	74	74	74	84
Геометрическая емкость скипа, м <sup>3</sup> . . . . .	5,5	6,0	6,5	6,5	6,5	10,5
Скорость лебедки главного подъема, м/сек . . . . .	1,82	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0
Гарантированное время подъема скипов, сек . . . . .	50	44	40	38	38	36
Среднее время пауз за один подъем скипа, связанное с работой других механизмов загрузочной системы, сек . . . . .	25	20	20	18	15	16
Максимальная грузоподъемность главного подъема, т . . . . .	13	13	15	16	16	23
То же, при работе одного двигателя лебедки главного подъема, т . . . . .	6	8	11	13	13	15
Расчетная производительность загрузочной системы (по чугуну) (т/час) при расходе кокса на 1 т чугуна (т/час) при пятискиповой подаче (2Р+3К) . . . . .	75	97	111	119	126	172
То же, при работе одного двигателя при четырехскиповой подаче (2Р+2К) . . . . .	—	—	—	—	—	144

на основе повышения уровня механизации и модернизации электроприводов прокатных станов, она часто осуществляется на существующей основе и недостаточно комплексно. Естественно, что при такой автоматизации производительность прокатных станов не только не повышается, но иногда оказывается ниже достигнутой ранее до их автоматизации.

**Выводы.** 1. Наиболее перспективным направлением технического прогресса в металлургической промышленности является комплексная автоматизация производственных процессов.

2. Поскольку силовой основой промышленности является автоматизированный электропривод, то его развитие и качества определяют технический уровень и производительность автоматизированных машинных устройств.

3. Развитие автоматизированного электропривода, наука о котором создана в СССР, должно происходить как целое и являться синтезом развития автоматизируемой технологии производства и существенно различных частей электропривода: электросиловых преобразователей, передаточных механизмов и средств электросиловой автоматизации.

4. Развитие электросиловых преобразователей, в которых непосредственно происходит преобразование электрической энергии в механическую, является важнейшим средством для усовершенствования электроприводов. Необходимо, исходя из целей автоматизации производственных процессов и усовершенствования автоматизированного электропривода, изыскивать коренные усовершенствования электросиловых преобразователей.

5. В развитии передаточных механизмов, создании новых видов индивидуального, одиночного и многодвигательного электропривода, органически слитого с исполнительными органами рабочих машин, скрыты возможности создания новых, более производительных машинных устройств, принципиально отличающихся от современных. Необходимо изыскивать новые виды передаточных механизмов машинных устройств, причем особое внимание должно быть уделено разработке электрифицированных передаточных механизмов.

6. Развитие средств автоматизации является важнейшей предпосылкой комплексной автоматизации производственных процессов, а в перспективе — основой для создания автоматических цехов, фабрик и заводов. Для создания новых средств автоматизации должны использоваться новейшие открытия физики.

[9.5.1955]



# Объединение энергосистем на параллельную работу

*Доктор техн. наук, проф. И. А. СЫРОМЯТНИКОВ*

*Зам. начальника Технического управления—главный электрик Министерства электростанций*

Практика эксплуатации показала высокую эффективность параллельной работы электростанций. В Советском Союзе имеется несколько десятков энергосистем, в некоторых из них совместно работают по 10 и больше электростанций. Кроме того, имеется несколько объединений энергосистем, наиболее крупные из них — это объединения Центра, Юга и Урала. В ближайшие годы эти объединения, а также ряд отдельных энергосистем будут связаны линиями электропередачи. В результате будет образовано мощное объединение энергосистем Европейской части СССР. В дальнейшем будут созданы объединения энергосистем Сибири, Дальнего Востока и других районов Советского Союза.

Наиболее сложным при объединении энергосистем является обеспечение устойчивости их параллельной работы и такого ведения режимов, при которых достигалась бы наибольшая экономичность совместной параллельной работы большого числа электростанций (с учетом потерь электроэнергии в электросетях).

**Преимущества совместной работы энергосистем.** Только при параллельной работе энергосистем можно наиболее рационально использовать энергетические ресурсы, особенно учитывая громадную территорию Советского Союза. В объединении энергосистем имеется возможность большую часть времени использовать наиболее экономичные электростанции и лишь в периоды недостатка мощности менее экономичные электростанции.

В объединении энергосистем потребуется резерв, намного меньший суммы резервов этих же энергосистем при их раздельной работе. За счет несовпадения максимумов нагрузки удаленных друг от друга отдельных энергосистем снижается суммарный максимум нагрузки объединения.

Уменьшается зависимость работы энергосистем от гидрологических и климатических условий в силу несовпадения маловодных и многоводных периодов для гидроэлектростанций, находящихся на разных реках. Полностью используется мощность гидроэлектростанций в полноводные годы.

Появляется возможность сооружения мощных тепловых электростанций с крупными агрегатами высокого давления вместо большого числа мелких и средних электростанций в районах, не имеющих межсистемных связей.

Для удовлетворения растущей нагрузки вместо сооружения одновременно в разных промышленных районах электростанций малой и средней мощности и отдельных небольших агрегатов становится возможным поочередный ввод только мощных электростанций и крупных агрегатов. Последние требуют относительно более низких капитальных затрат и последующих эксплуатационных расходов вследствие меньшей численности обслуживающего персонала на установленный киловатт и значительно меньшего расхода топлива на выработанный киловаттчас. Опыт строительства и практика эксплуатации у нас и

за границей полностью подтверждают это положение.

Для того чтобы не строить множество мелких и средних электростанций (промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных), необходимо значительно расширить строительство электрических сетей. Только при этом условии возможно осуществить широкую электрификацию страны с наименьшей затратой средств и наиболее рационально разместить промышленные предприятия, исходя из местонахождения источников сырья, условий транспорта и пр.

Электрификация районов должна охватывать всех потребителей независимо от их ведомственной принадлежности. При выборе напряжения электрической сети необходимо учитывать перспективу развития данного района на 10—20 лет вперед. Строительство электрических сетей должно проводиться с применением наиболее простых схем соединения подстанций, в том числе без выключателей.

Существующая шкала номинальных напряжений не удовлетворяет требованиям развития электрических сетей. Необходимо ввести промежуточные напряжения между 10 и 35 кВ порядка 20 кВ; между 35 и 110 кВ — порядка 60 кВ; между 110 и 220 кВ — порядка 154 кВ и между 220 и 400 кВ — порядка 300 кВ. Расширение шкалы позволит применять напряжение, наиболее экономичное для данных конкретных условий. Зарубежный опыт также подтверждает необходимость введения новых напряжений. Во многих странах имеются напряжения порядка 50—70, 130—150 и 275—330 кВ наряду с напряжениями 35, 110, 220 и 380 кВ. В частности, напряжение 20 кВ безусловно найдет широкое применение для электрических сетей городов и особенно для сельскохозяйственных районов.

Для того чтобы реализовать преимущества объединения энергосистем, межсистемные транзитные линии электропередачи должны обладать достаточной пропускной способностью. Это необходимо потому, что в различные периоды времени в силу ряда причин рабочая мощность отдельных энергосистем значительно меняется. В энергосистемах, имеющих гидроэлектростанции в зависимости от водного режима, может иметь место как избыток, так и недостаток мощности. Временный избыток мощности в энергосистеме может появиться также после ввода в эксплуатацию новой крупной электростанции. В других энергосистемах в это же время может оказаться недостаток мощности, например, вследствие задержки ввода новых мощностей, аварий или ремонтов крупных агрегатов, быстрого роста нагрузки и других причин. Только наличие межсистемных линий с достаточной пропускной способностью дает возможность полноценно маневрировать резервами объединения, обеспечивать надежное питание потребителей и полностью использовать все технико-экономические преимущества параллельной работы энергосистем.

Есть все основания предполагать, что изоляция многих существующих линий электропередачи 110—220 кВ имеет значительные запасы. Поэтому следует практиковать перевод таких линий на более высокое напряжение: линий 110 на 154 кВ и линий 220 на 300 кВ. Применение автотрансформаторов позволяет и быстро и с небольшими затратами осуществить такое повышение напряжения на действующих линиях. Наиболее просто автотрансформаторы включать по концам линии электропередачи. Если при этом отказаться от выключателей на стороне высшего напряжения и тем самым снизить величину коммутационных перенапряжений, то можно осуществить еще большее повышение напряжения.

Несмотря на совершенно очевидные преимущества объединения электростанций и энергосистем на параллельную работу, этому не уделяется достаточного внимания. Проектные организации зачастую недооценивают значение межсистемных связей. Укоренилось мнение, что, как правило, значительных передач мощности из одной энергосистемы в другую не должно быть, так как рабочая мощность каждой энергосистемы должна точно соответствовать нагрузке потребителей своего района с необходимым резервом. В результате допускаются весьма серьезные ошибки. Ряд промышленных и коммунальных электростанций не присоединяется к сетям энергосистем и работает самостоятельно, что понижает и надежность и экономичность. Есть нетерпимые случаи, когда в одном районе сооружается несколько отдельных электростанций, в то время как одна из них вполне обеспечила бы энергоснабжение всего района наиболее экономичным образом. Из-за отсутствия межсистемных связей имеют место крупные ограничения потребителей в отдельных энергосистемах при наличии в других, близко расположенных энергосистемах избытка мощности. Отмечены факты, когда из-за недостаточного напряжения и пропускной способности межсистемных связей приходится в некоторых условиях для сохранения электроснабжения идти на передачу мощности с громадными потерями (до 30%).

**Использование электроэнергии мощных гидроэлектростанций.** В настоящее время строятся и проектируются гидроэлектростанции с установленной мощностью 2 млн. кВт и более. Некоторые из них будут сооружаться в местах, удаленных от промышленных районов на расстояние порядка 2 000 км. До появления энергоемких предприятий вблизи этих гидроэлектростанций необходимо передавать большие мощности на дальние расстояния. Наиболее перспективным для таких электропередач является постоянный ток высокого напряжения. Однако основным препятствием в деле сооружения таких передач является отсутствие надежного выпрямителя большой мощности и выключателя постоянного тока. Отсутствие выключателей постоянного тока делает невозможным осуществление отборов мощности на промежуточных подстанциях и связи с местными энергосистемами.

В настоящее время технически более разработанными являются передачи переменным током

высокого напряжения. Опыт применения напряжения порядка 400 кВ в Швеции показал высокую надежность таких электропередач. Технически вполне возможно пойти дальше и применить напряжение порядка 600—700 кВ. Использование расщепления проводов и в случае необходимости продольной компенсации безусловно позволит передавать мощность порядка 2 млн. кВт на расстояние до 2 000 км.

Вопрос о рациональных схемах передачи электроэнергии переменным током от мощных электростанций имеет весьма важное народнохозяйственное значение. Возможны два принципиально различных решения. Первое заключается в том, что передача электроэнергии осуществляется по весьма протяженным линиям электропередачи без промежуточных отборов мощности и без связи с местными энергосистемами или электростанциями. Примером такой передачи может служить линия 400 кВ Куйбышевская ГЭС — Москва. Особенностью таких электропередач является то, что по длине линии сооружаются лишь переключательные пункты. Поскольку стоимость линий является высокой, стремятся выполнить возможно меньшее число цепей, в результате чего предел передаваемой мощности получается относительно небольшим. Для повышения предела передаваемой мощности до экономически приемлемых пределов применяют различного рода искусственные меры, как, например, установка генераторов с улучшенными параметрами и весьма высокими потолками возбуждения (что вызывает их удорожание), осуществление продольной компенсации весьма большой мощности и расщепления проводов, выполнение силовых трансформаторов с пониженными реактивностями. При этом для обеспечения устойчивости требуются сложные автоматические регуляторы возбуждения с воздействием не только по отклонению, но и по производным отклонения контролируемых величин, сверхбыстродействующие выключатели и релейные защиты, шунтирующие реакторы, электрическое и механическое торможение агрегатов, переключения в установке продольной компенсации и т. п.

Все эти меры не только удорожают передачу, но и усложняют ее эксплуатацию, что неизбежно ведет к понижению надежности работы. Некоторые из них в свою очередь вызывают ряд нежелательных и вредных последствий, для предотвращения которых появляются еще новые специальные аппараты и устройства. Так, например, применение генераторов с пониженными значениями синхронной и переходной реактивностей и систем возбуждения с повышенными потолками форсировки приводит к весьма большим кратностям тока короткого замыкания, что ставит под опасность обмотки генераторов и приводит к необходимости применения специальных мер защиты, которые раньше не были необходимы. Применение на линиях 400 кВ продольной компенсации большой мощности приводит к появлению значительных перенапряжений и других переходных явлений, из-за которых необходимо применять спе-

циальные меры защиты высоковольтной аппаратуры. Более того, наслоение этих искусственных мер может дать довольно неожиданные результаты. Так, например, стремление «полностью использовать» продольную компенсацию приводит к применению переключения конденсаторов при отключении одного из участков линии. Это вызывает необходимость установки дополнительных выключателей с соответствующей достаточно сложной автоматикой, что в свою очередь осложняет работу релейной защиты и безусловно понижает надежность работы передачи. В результате первоначально намеченное полезное мероприятие становится затем по существу вредным. Конечно, эти трудности могут быть преодолены, но не правильнее ли использовать все возможности, чтобы эти трудности и не возникали?

Рассмотрим другую, по нашему мнению, более рациональную схему передачи энергии на дальние расстояния. На линии электропередачи сооружаются промежуточные подстанции с установленными на них понижающими трансформаторами для питания близлежащих районов и там, где необходимо, — синхронными компенсаторами для регулирования напряжения и повышения устойчивости. К промежуточным подстанциям присоединяются также имеющиеся в данном районе тепловые и гидроэлектрические станции. Такие дальние передачи коренным образом отличаются от передач типа Куйбышев — Москва. Они обеспечивают питание потребителей районов, лежащих по пути электропередачи. Наличие промежуточных подстанций позволяет полезно использовать реактивную опережающую мощность линии высокого напряжения, для компенсации которой при отсутствии промежуточных подстанций приходится устанавливать шунтирующие реакторы. Таким образом, то, что является вредным в дальних линиях типа Куйбышев — Москва, оказывается полезным в электропередачах с промежуточными подстанциями.

Применение промежуточных подстанций устраняет многие затруднения и позволяет при сравнительно небольших затратах обеспечить надежную и устойчивую работу объединенных энергосистем. Поэтому от сооружения дальних электропередач без промежуточных подстанций для питания потребителей и для связи с энергосистемами и электростанциями близлежащих районов следует отказаться. Такие передачи могут осуществляться только как исключение и лишь временно, до создания новых промышленных районов.

**Вопросы диспетчерского управления.** В связи с объединением энергосистем большое значение приобретает организация диспетчерского управления. Неправильна практика, когда диспетчерское управление и оборудование диспетчерского пункта объединенных энергосистем повторяют то, что применяется в каждой из энергосистем. Она неизбежно ведет к чрезмерному увеличению и усложнению как самого диспетчерского пункта, так и аппарата диспетчерского управления. Выполненные в последнее время проектные разработки новых диспетчерских пунктов ОДУ Центра

и ОДУ Урала особенно наглядно подтверждают сказанное. Стоимость диспетчерского пункта ОДУ составляет по проектам, даже без каналов связи, миллионы рублей; штат — несколько десятков человек. На диспетчерскую схему выводится большое число электростанций и внутрисистемных линий электропередачи, что влечет за собой множество телеизмерений и непомерное количество теле-сигналов. Затем для оправдания затраченных средств и деятельности многочисленных работников начинается ненужный мелочный контроль работы энергосистем и даже отдельных предприятий со стороны диспетчерского аппарата ОДУ. Такую тенденцию излишней централизации следует оценить как неправильную, что подтверждается также и зарубежным опытом.

Основными задачами диспетчерского управления объединения энергосистем следует считать: установление экономического режима распределения нагрузки по энергосистемам, регулирование частоты, установление режима передач по межсистемным линиям и решение некоторых других вопросов, в том числе и перспективных, касающихся работы энергосистем в объединении. Однако подменять подчиненных диспетчеров, связывать их деятельность в пределах своих энергосистем диспетчеры ОДУ не должны. Если диспетчерская служба в энергосистеме занимается электростанциями, то диспетчерское управление объединенными энергосистемами должно заниматься энергосистемами. Поэтому оборудование такого диспетчерского пункта должно быть не только не сложнее, а даже значительно проще, чем оборудование диспетчерских пунктов отдельных крупных энергосистем. Основной задачей диспетчерского управления объединения энергосистем является решение режимных вопросов, а не оперативные функции, которые должны быть сведены к минимуму.

**Обеспечение устойчивости параллельной работы объединенных энергосистем.** При объединении электростанций на параллельную работу возникали трудности с обеспечением устойчивости их параллельной работы. Ранее неоднократно имели место нарушения устойчивости параллельной работы. Такие аварии являются наиболее тяжелыми по своим последствиям, так как сопровождаются прекращением электропитания большого числа потребителей, а восстановление параллельной работы и электроснабжения занимает много времени. Советские энергетики разработали и внедрили ряд новых мероприятий, в результате которых устойчивость параллельной работы энергосистем резко возросла и аварии с нарушением устойчивости практически прекратились. Одним из наиболее эффективных мероприятий, повышающих устойчивость параллельной работы, является автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин с использованием потолочного напряжения возбудителей.

Большое значение для повышения устойчивости параллельной работы имеет быстрое отключение коротких замыканий. В настоящее время практически все энергосистемы Советского Союза оснащены быстродействующими защитами.

Указанное относится к отдельным энергосистемам, имеющим жесткие связи между электростанциями. Для таких энергосистем вопрос о статической и динамической устойчивости может быть снят. В таких энергосистемах, даже если и произойдет нарушение динамической устойчивости, то после устранения причины, вызвавшей это нарушение, электростанция или часть энергосистемы, выпавшая из синхронизма, втянется в синхронизм.

При объединении энергосистем на параллельную работу возникает ряд дополнительных трудностей в тех случаях, когда пропускная способность межсистемных связей невелика по сравнению с мощностью соединяемых энергосистем. При этом вероятность нарушения устойчивости параллельной работы между объединяемыми энергосистемами повышается. Асинхронный ход может возникнуть при превышении мощностью, передаваемой по межсистемной связи, допустимого предела или в результате медленного отключения короткого замыкания, если по связи передавалась мощность, близкая к пределу статической устойчивости.

Чрезвычайно важным обстоятельством является то, что при асинхронном ходе в обеих энергосистемах не происходит каких-либо нарушений работы потребителей. Это объясняется тем, что теперь благодаря наличию автоматического регулирования возбуждения синхронных машин напряжение поддерживается на достаточном уровне.

Асинхронный ход из-за чрезмерного увеличения передачи мощности можно предотвратить либо путем отключения части потребителей в энергосистеме, принимающей мощность, или отключения части генераторов в энергосистеме, передающей мощность, либо воздействием на регуляторы турбин. Последний способ является принципиально более правильным. Работы в этом направлении ведутся в ряде научно-исследовательских институтов.

Весьма важным является вопрос о повышении устойчивости мощных гидроэлектростанций типа Куйбышевской гэс, передающих мощность на относительно дальнее расстояние. Для таких условий наиболее перспективными следует считать автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин с производными; механическое торможение гидрогенераторов во время короткого замыкания; применение продольной компенсации; установку синхронных компенсаторов на промежуточных подстанциях и др.

В тех же случаях, когда произойдет нарушение устойчивости, которое приведет к асинхронному ходу, следует применять автоматическую ресинхронизацию или автоматическое повторное включение с самосинхронизацией. Ресинхронизация заключается в обеспечении возможно более быстрого втягивания в синхронизм электростанции при ее асинхронном ходе без отключения генераторов или линий. Следует иметь в виду, что и без применения специальной автоматики гидроэлектростанция, выпавшая из синхронизма, втянется в синхронизм после того, как регуляторы турбин

снижат скорость, но этот процесс будет сопровождаться значительными колебаниями тока, что является нежелательным. Кроме того, процесс синхронизации при наличии возбуждения затягивается.

Сравнивая эти два способа, следует отдать предпочтение автоматической ресинхронизации, так как при этом не требуется отключения и обратного включения линии, и время втягивания в синхронизм получается меньше за счет более быстрого снижения скорости вследствие влияния асинхронного момента. Кроме того, не имеет места повышение напряжения на отключенной линии электропередачи. В связи с этим необходимо разработать автоматическое устройство для выявления асинхронного хода и осуществления ресинхронизации.

При разрыве связи между частями энергосистемы или энергосистемами весьма важно быстрое восстановление этой связи, так как в противном случае при передаче значительной мощности возможно снижение частоты в имеющей дефицит мощности энергосистеме, что затруднит синхронизацию и приведет к обесточению части потребителей. В этом случае для быстрого восстановления связи в ряде случаев целесообразно применение автоматического повторного включения без проверки синхронизма. Опыт эксплуатации и испытания, произведенные в ряде энергосистем, показали, что при этом в ряде случаев обеспечивается быстрое втягивание в синхронизм. Применение несинхронного включения ограничивается только тогда, когда имеет место чрезмерная величина толчка тока генераторов в момент включения при большом расхождении векторов э. д. с. Есть все основания предполагать, что область применения АПВ без проверки синхронизма станет достаточно широкой.

В связи с этим совершенно по-новому должен быть поставлен вопрос о динамической устойчивости. В ряде случаев после устранения причины, вызвавшей выход из синхронизма из-за нарушения динамической устойчивости, происходит восстановление синхронизма без применения каких-либо дополнительных автоматических устройств. Этому в значительной степени способствует широкое внедрение автоматического регулирования возбуждения.

Для повышения надежности энергоснабжения потребителей следует применять автоматический пуск резервных гидрогенераторов при снижении частоты и перевод гидрогенераторов из режима синхронного компенсатора в генераторный режим.

**Выводы.** Дальнейшая электрификация Советского Союза должна осуществляться на базе сооружения мощных электростанций с крупными агрегатами. Широкое строительство электрических сетей позволит объединить на параллельную работу электростанции и энергосистемы и тем самым рационально и полностью использовать наиболее экономичные тепловые электростанции, а также водные ресурсы.

# Электропередача постоянного тока высокого напряжения

Кандидат техн. наук В. П. ПИМЕНОВ и инж. М. Р. СОНИН

Научно-исследовательский институт постоянного тока

Электропередача постоянного тока была сооружена для проведения экспериментальных исследований, проверки инженерных решений и получения необходимого опыта. Она явилась основной экспериментальной базой Научно-исследовательского института постоянного тока, в задачу которого входит проведение исследований и разработок, связанных с практическим осуществлением дальней передачи энергии постоянным током.

**Схема и параметры электропередачи.** Напряжение между полюсами электропередачи 200 кВ, ток в линии 150 а, передаваемая мощность 30 тыс. кВт.

Электропередача имеет две преобразовательные подстанции — выпрямительную и инверторную, которые связаны между собой кабельной линией протяженностью 112 км. Выпрямительная подстанция получает питание с шин 110 кВ электростанции, а инверторная — выдает энергию в сеть переменного тока 110 кВ кольца. Каждая подстанция состоит из одинаковых элементов: главных и вспомогательных трансформаторов, ртутных вентилях и линейных реакторов.

Принципиальная схема электропередачи приведена на рис. 1.

Преобразователи выполнены по трехфазной мостовой схеме. В каждое плечо мостовой схемы включено последовательно по три вентиля. На каждой подстанции, имеющей по одному мосту, включено 18 ртутных вентилях.

Главный трансформатор представляет собой группу однофазных трехобмоточных трансформаторов общей мощностью 36 тыс. кВа. Номинальные напряжения двух основных обмоток 110 и

170 кВ. Третья обмотка, имеющая напряжение 6...10 кВ, маломощная и предназначена для питания собственных нужд. Регулирование напряжения трансформаторов осуществляется ступенями в пределах  $\pm 4 \times 2,5\%$  путем переключения (без нагрузки) ответвлений.

Для сглаживания пульсаций выпрямленного тока и ограничения токов при переходных и аварийных процессах, связанных с разрядом емкости кабельной линии, на преобразовательных подстанциях в каждый полюс линии включены линейные реакторы. Индуктивность каждого реактора при номинальном токе — порядка 5 мГн. Реактор рассчитан на напряжение постоянного тока 200 кВ по отношению к земле.

Чтобы напряжение между тремя последовательно включенными вентилями распределялось равномерно, параллельно каждому вентилю включены делители напряжения, состоящие из последовательно включенных активного сопротивления и емкости. Делители частично демпфируют колебания звуковой частоты в напряжении на вентилях в момент их погасания.

Последовательное включение в каждое плечо моста трех вентилях имеет целью повышение электрической прочности преобразователя. При пробое одного вентиля два оставшихся в плече выдерживают полное анодное напряжение.

Включение электропередачи в сеть переменного тока и отключение от нее осуществляются на каждой подстанции при помощи выключателей 110 кВ. Снятие нагрузки и напряжения с линии, а также регулирование передаваемой мощности производится воздействием на сеточное управление вентилях. Устройства сеточного управления, регулирования, защиты и измерений питаются

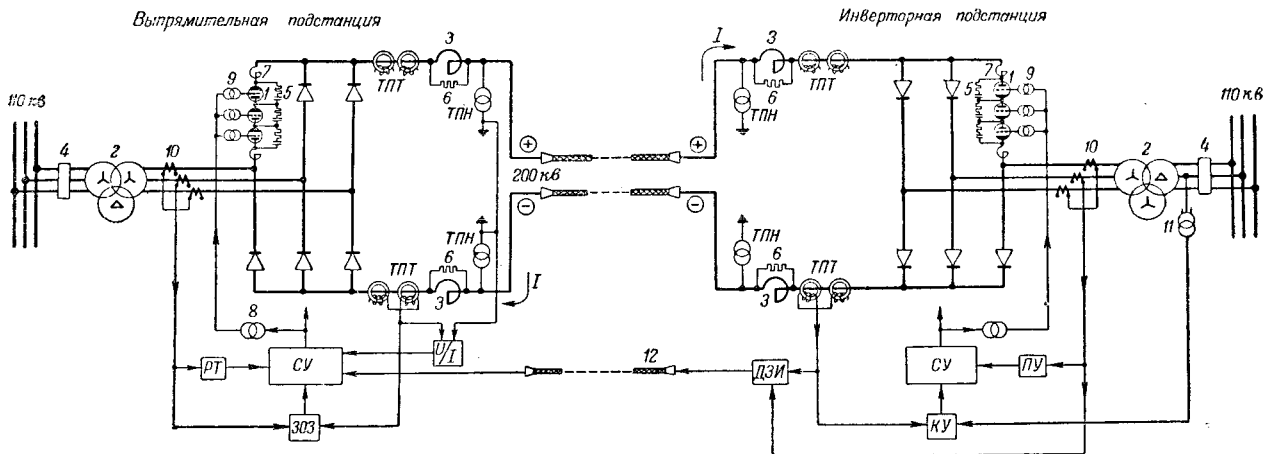


Рис. 1. Принципиальная схема передачи и скелетная схема сеточного управления, регулирования и сеточной защиты. 1 — вентиль; 2 — главный трансформатор; 3 — линейный реактор; 4 — выключатель; 5 — делитель напряжения; 6 — активное сопротивление для демпфирования колебаний звуковой частоты; 7 — реактор, демпфирующий высокочастотные колебания при зажигании вентилях; 8 — групповой изолирующий трансформатор; 9 — индивидуальный изолирующий трансформатор; 10 — трансформатор тока; 11 — трансформатор напряжения; 12 — кабель связи; СУ — устройство сеточного управления; РТ — регулятор тока; КУ — компаундирующее устройство; ТПТ — трансформатор постоянного тока; ТПН — трансформатор постоянного напряжения; ЗОЗ — защита от обратных зажигания; U/I — защита от короткого замыкания в линии постоянного тока; ПУ — подхватывающее устройство; ДЗИ — дифференциальная защита инвертора.

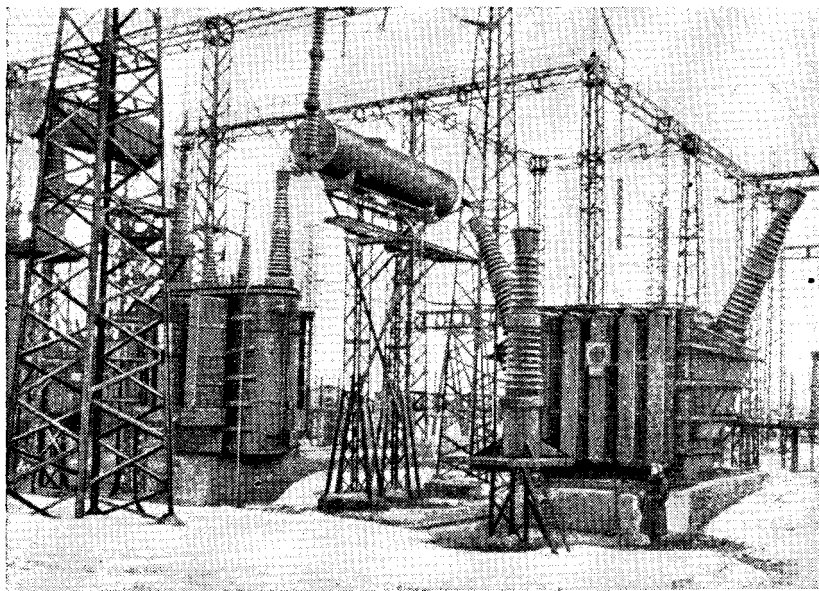


Рис. 2. Открытая часть инверторной подстанции. Вид на фазу главного трансформатора (слева) и на линейный реактор (справа). Впереди трансформатор тока.

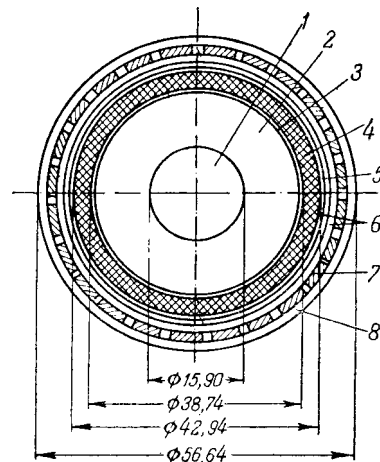


Рис. 3. Разрез кабеля 220 кВ постоянного тока.

1 — токоведущая алюминиевая жила; 2 — изоляция толщиной 11,3 мм, пропитанная маслоканифольевым компаундом; 3 — экран из металлизированной бумаги; 4 — свинцовая оболочка; 5 — хлорвиниловая лента; 6 — прорезиненная тканевая лента; 7 — броня из стальной проволоки; 8 — слой кабельной пряжи.

как от трансформаторов тока и напряжения, присоединенных на стороне трехфазного тока, так и от трансформаторов постоянного тока и напряжения, присоединенных на стороне постоянного тока.

Для защиты от коммутационных перенапряжений, связанных с переходными процессами в электропередаче, на главных трансформаторах и линейных реакторах установлены вилитовые разрядники переменного тока. На отдельных элементах оборудования установлены защитные промежутки.

Питание собственных нужд выпрямительной подстанции нормально осуществляется от трансформатора, присоединенного к шинам 3 кВ электростанции, а инверторной — от трансформаторов, присоединенных к шинам распределительного устройства 10 кВ, связанного с приемной подстанцией энергосистемы.

Питание собственных нужд как на выпрямительной, так и на инверторной подстанции может также осуществляться от обмоток 6...10 кВ главных трансформаторов.

Предусмотрена возможность работы электропередачи по симметричной схеме при напряжении между полюсами 200 кВ, по схеме с заземлением одного из полюсов и по схеме, при которой обратным проводом является земля. В двух последних случаях напряжение между жилой и оболочкой кабеля незаземленного полюса составляет 200 кВ. Предусмотрена также возможность изменения полярности кабеля.

Электротрансформация может осуществляться не по кабельной, а по воздушной линии, для чего на преобразовательные подстанции заведена воздушная линия трехфазного тока 110 кВ. При рабочем напряжении постоянного тока 200 кВ используются два или один провод линии трехфазного тока.

Преобразовательные трансформаторы, линейные реакторы, измерительные трансформаторы тока и напряжения, а также коммутационная аппаратура, накладки для осуществления различных режимов работы электропередачи и выводы кабельной линии размещены на открытой подстанции. На рис. 2 показан вид на фазу трансформатора и линейного реактора.

**Кабельная линия.** Линия выполнена одножильным кабелем постоянного тока 200 кВ. Кабель имеет свинцовую оболочку, алюминиевую токоведущую жилу сечением 150 мм<sup>2</sup>, бумажную изоляцию с вязкой пропиткой толщиной 11...12 мм. На линии проложен кабель четырех типов конструктивного исполнения. Поперечный разрез кабеля одного из этих типов представлен на рис. 3.

Кабели обоих полюсов линии электропередачи и кабель линии связи проложены в общей земляной траншее глубиной 1,2 м и шириной 0,8 м.

Профилактические испытания кабеля производятся выпрямленным напряжением 350 кВ в течение 10 мин. Стационарная кенотронная установка, при помощи которой осуществляются испытания, размещена на инверторной подстанции.

На расстоянии 45 км от инверторной подстанции имеется переключательный пункт, на котором можно осуществлять перекрещивание кабеля и отключение любого участка кабеля от переключательного пункта до подстанции в случае, если на этом участке произойдет повреждение.

На выпрямительной подстанции и переключательном пункте имеются выносные заземления, рассчитанные на протекание рабочего тока линии. При помощи этих заземлений можно осуществлять режим работы электропередачи, при котором на участке протяженностью 67 км от выпрямительной подстанции до переключательного пункта в качестве обратного провода используется земля.



**Ртутные вентили.** В преобразователях применены разборные одноанодные ртутные вентили с постоянной откачкой при помощи ртутного насоса, создающего вакуум до  $10^{-5}$  мм рт. ст. и с предварительным разрядом при помощи периодически включаемого масляного насоса.

Вентили имеют принудительное охлаждение циркулирующим трансформаторным маслом. Электрические параметры вентиля примерно одинаковы: ток 150 а, напряжение 120...130 кв (максимальных). В отношении же конструктивного исполнения вентили различны. Схематический чертеж одного из типов вентиля приведен на рис. 4.

Ртутные вентили со своим вспомогательным оборудованием размещены в закрытом помещении. Вывод из зала преобразователей на открытую часть подстанции осуществлен через проходные изоляторы 200 кв.

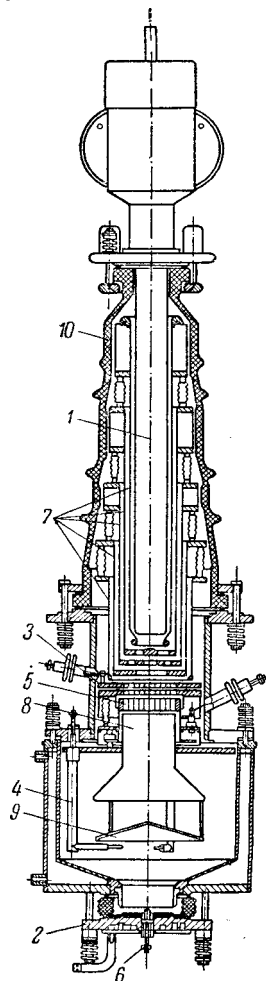


Рис. 4. Схематический чертеж ртутного вентиля.

1 — анод; 2 — катод; 3 — сетки; 4 — аноды дежурной дуги; 5 — фильтр — анод верхнего возбуждения; 6 — зажигатель; 7 — экраны; 8 — зонг; 9 — катодный колпак; 10 — анодный изолятор.

Общий вид на преобразователь одной из подстанций приведен на рис. 5.

Изоляция вентиля от земли рассчитана на 200 кв. Изоляция имеет две ступени. На первой ступени, рассчитанной на 100 кв, установлена общая для всех вентиля платформ, соединенная с нейтралью схемных обмоток трансформатора. Изоляция каждого вентиля от платформы промежуточного потенциала рассчитана также на 100 кв. Питание собственных нужд каждого вентиля (ртутный и масляный насосы, дежурная дуга и другие устройства) осуществляется от вспомогательного шкафа вентиля, установленного на общей раме с вентилем. Питание шкафов осуществляется через индивидуальные изолирующие трансформаторы мощностью 10 кВа с изоляцией, рассчитанной на 100 кв. Каждый из этих трансформаторов имеет три силовых обмотки 380 в и по одной обмотке для сетевого управления. Индивидуальные изолирующие трансформаторы установлены на платформе промежуточного потенциала рядом с вентилями.

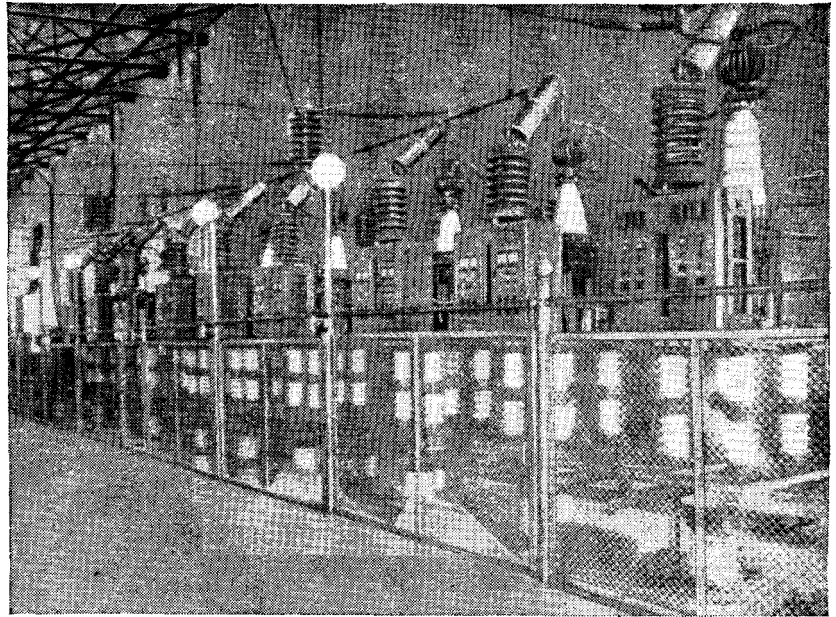


Рис. 5. Общий вид зала ртутных вентилялей.

Общий вид вентиля и его вспомогательных устройств виден на рис. 6.

Силовые обмотки индивидуальных трансформаторов питаются от группового изолирующего трансформатора мощностью 200 кВа с изоляцией,

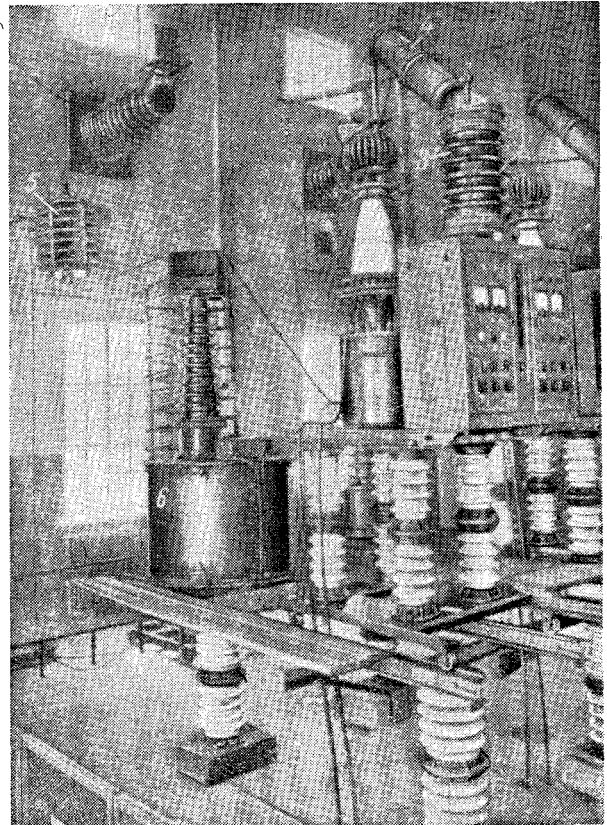


Рис. 6. Вид на вентиль и вспомогательные устройства. 1 — вентиль; 2 — шкаф питания; 3 — конденсатор делителя напряжения; 4 — активное сопротивление делителя напряжения; 5 — реактор демпфирования высокочастотных колебаний; 6 — индивидуальный изолирующий трансформатор.

рассчитанной на 100 кв. Групповой изолирующий трансформатор установлен таким образом, что его потенциал равен потенциалу земли. Импульсы сеточного управления подаются от шкафа управления на обмотки индивидуальных изолирующих трансформаторов через групповые импульсные изолирующие трансформаторы, которые установлены так, что их потенциал равен потенциалу земли.

#### Сеточное управление, регулирование и защита.

Для осуществления преобразования тока вентили, установленные на выпрямительной и инверторной подстанциях, должны вступать в работу (зажигаться) в определенной последовательности. Каждый ventиль зажигается 1 раз в период в тот момент, когда на его сетку подается импульс положительного напряжения. Изменение фазного положения сеточных импульсов приводит к соответствующему изменению напряжения постоянного тока на шинах преобразовательной подстанции, а следовательно, и тока электропередачи. Прекращение подачи сеточных импульсов на все вентили выпрямительной подстанции вызывает быстрое снижение тока до нуля, что равносильно отключению электропередачи. Эти возможности сеточного управления широко используются для автоматического регулирования и быстродействующей защиты.

Взаимодействие устройств сеточного управления, регулирования и сеточной защиты показано на рис. 1.

Устройство сеточного управления СУ, генерирующее сеточные импульсы, включает в себя маломощные пиковые трансформаторы и безинерционный тиратронный усилитель. От импульса напряжения пикового трансформатора отпирается сетка тиратрона, в результате чего тиратрон зажигается и замыкается колебательный контур LC. Получающиеся таким образом импульсы достаточно большой мощности передаются через каскадно включенные изолирующие трансформаторы к сеткам вентиляей. На каждый ventиль поступает импульс с амплитудой 350 в. Мощность, потребляемая тиратронным усилителем одной подстанции, составляет 12 квт.

Автоматическое регулирование электропередачи осуществляется регулятором тока РТ и компаундирующим устройством КУ, которые установлены соответственно на выпрямительной и инверторной подстанциях. Регулятор тока поддерживает заданное значение тока в линии электропередачи при колебаниях напряжения переменного тока на приемной и передающей подстанциях. Компаундирующее устройство поддерживает заданное значение угла погасания вентиляей и этим обеспечивает устойчивую работу инвертора при минимальном потреблении реактивной мощности из приемной сети. При угле погасания, равном 15 эл. град., инвертор потребляет 0,5 ква реактивной мощности на каждый киловатт выдаваемой в сеть активной мощности.

Совместное действие регулятора тока РТ и компаундирующего устройства значительно облегчает протекание переходных процессов при преходящих нарушениях работы вентиляей инвертор-

ной подстанции (пропуски зажигания и пробои) и способствует быстрому восстановлению нормального режима.

К основным сеточным защитным устройствам относятся: защита от обратных зажиганий ЗОЗ на выпрямителе, дифференциальная защита инвертора ДЗИ и защита от коротких замыканий в линии постоянного тока УИ. Все эти защиты действуют на устройство сеточного управления выпрямительной подстанции; они прекращают подачу сеточных импульсов и этим запирают выпрямитель. Защита ЗОЗ, являясь защитой мгновенного действия, прекращает процесс обратного зажигания в течение одного полупериода. Защиты УИ и ДЗИ действуют с небольшой выдержкой времени. После отключения электропередачи от какой-либо защиты через 0,06 ... 0,5 сек выпрямителем автоматически отпираются, т. е. происходит автоматическое повторное включение электропередачи. Кроме специфических сеточных защит, имеются обычные защитные устройства, действующие на отключение выключателей 4 на стороне переменного тока.

Особым автоматическим устройством, действующим на сеточное управление инвертора, является подхватывающее устройство ПУ. Оно определяет, в какой группе вентиляей произошел пропуск зажигания, и сразу же отпирает другую группу вентиляей, предотвращая этим опрокидывание инвертора.

**Наладка и основные виды нарушений нормальной работы электропередачи.** Наладка электропередачи была начата в декабре 1950 г. Перед ее пуском ртутные вентили прошли некоторую подготовку путем высоковольтной формовки на стенде, расположенном на инверторной подстанции. В начале электропередача была включена на пониженное напряжение 100 кв и первое время работала очень неустойчиво. Длительность ее непрерывной работы исчислялась несколькими часами. Часто сразу же после включения электропередача отключалась. Наблюдались частые погасания дежурной дуги и пропуски зажигания вентиляей, перекрытия анодных изоляторов вентиляей, а также изоляции аппаратуры и цепей вторичной коммутации вспомогательных шкафов. Во время работы электропередачи появлялись сильные радиопомехи.

После проведения некоторых мероприятий, в частности по улучшению состояния изоляции цепей вспомогательных шкафов и их защиты, электропередача проработав некоторое время при напряжении 100 кв, с середины 1951 г. была переведена на работу при полном рабочем напряжении 200 кв. После этого был замечен ряд дополнительных явлений, которые при работе на напряжении 100 кв проявлялись настолько незначительно, что не были или почти не были замечены.

К этим явлениям относятся: обратные зажигания на выпрямителях; пробои в прямом направлении вентиляей инвертора; большие перенапряжения, вызывающие перекрытия защитных промежутков изоляторов вентиляей и другого оборудования; усиление радиопомех.

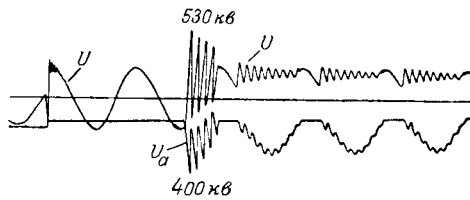


Рис. 7. Осциллограмма включения электропередачи на перезаряженную кабельную линию.

$U$  — напряжение на зажимах преобразователя (между полюсами);  $U_a$  — напряжение анод-катод на группе вентилей в одном плече.

Осциллографическая запись переходных процессов при нарушениях нормального режима и включениях электропередачи, фиксирующая токи и напряжения в различных точках схемы подстанции, позволила выявить наличие колебаний напряжения, имеющих звуковую частоту. Эти колебания создавали большие перенапряжения на отдельных элементах электропередачи, в том числе и на вентилях. Например, на трех последовательно включенных вентилях было зафиксировано перенапряжение выше 400 кВ, а между полюсами электропередачи — выше 500 кВ.

Из осциллограммы напряжений на зажимах преобразователя и на группе вентилей при включении электропередачи на перезаряженную линию (рис. 7) отчетливо видны перенапряжения, создаваемые колебаниями звуковой частоты. Осциллограмма относится к тому периоду работы электропередачи, когда на линейных реакторах еще не было установлено демпфирование.

Наиболее характерными и важными нарушениями нормальной работы электропередачи явились: обратные зажигания в вентилях выпрямителя, погасания дежурной дуги и пропуски зажигания вентилей на обеих подстанциях, сквозные пробой в прямом направлении вентилей инвертора, перекрытие защитных промежутков и анодных изоляторов вентилей.

Обратные зажигания в трех последовательно включенных вентилях выпрямителя являются результатом пробоя вентилей при непроводящей полувольте и сопровождаются коротким замыканием схемной обмотки трансформатора через вентили выпрямителя. Наличие сеточной защиты, мгновенно действующей при обратных зажиганиях, позволяет запереть выпрямитель и предупредить следующие коммутации тока. В результате протекание аварийного тока ограничивается одной полувольтной длительностью порядка полупериода промышленной частоты. Благодаря быстрдействию сеточной защиты трансформатор, претерпевший за 3,5 года эксплуатации влияние множества обратных зажигания, после вскрытия оказался в хорошем состоянии. На рис. 8 приведена типичная осциллограмма тока в обмотках трансформатора выпрямителя при обратном зажигании и последующем запирании выпрямителя сеточной защитой.

Амплитуда аварийного тока зависит от момента появления обратного зажигания. При наличии быстрдействующей сеточной защиты предельное значение этого тока не превышает значения тока обычного короткого замыкания за трансформато-

ром в переходном процессе. В рассматриваемой электропередаче оно достигает примерно десятикратного значения номинального тока трансформатора.

Обратные зажигания, как правило, приводят к отключению электропередачи. Но в процессе эксплуатации было установлено, что если открытие сеток вентилей произойдет спустя доли секунды после запираания, то будет обеспечено успешное автоматическое повторное включение электропередачи в работу.

Пропуски зажигания или кратковременные погасания дежурной дуги отдельных вентилей выпрямителя сопровождаются снижением напряжения на зажимах выпрямителя и в зависимости от длительности этого нарушения вызывают толчкообразное снижение тока электропередачи. Длительные пропуски зажигания или погасания дежурной дуги в вентиле сопровождаются снижением тока электропередачи до нуля или появлением прерывистых токов. До проведения мероприятий по демпфированию это приводило к большим перенапряжениям на элементах схемы преобразования и, в частности, на вентилях.

К значительно худшим последствиям приводят пропуски зажигания и погасания дежурной дуги на вентилях инвертора, которые в случае принятия специальных мер, как правило, сопровождаются нарушением нормальной коммутации тока в инверторе, что вызывает опрокидывание последнего. В зависимости от характера нарушения имеются два вида опрокидывания инвертора: однофазное и двухфазное. При первом происходит замыкание линии через последовательно включенные вентили обеих половин моста одной фазы, а при другом замыкание линии через вентили и схемные обмотки двух фаз трансформатора. На рис. 9 приведена осциллограмма процессов в электропередаче при однофазном опрокидывании инвертора.

Как видно из осциллограммы, при опрокидывании инвертора в линии и в вентилях протекает аварийный ток с амплитудой, превышающей трехкратный номинальный ток. Колебательный характер тока и напряжения в линии определяется емкостью кабельной линии и индуктивностью линейных реакторов.

При сквозных пробоях трех последовательно включенных вентилей инвертора процесс протекает так же, как и при опрокидывании инвертора.

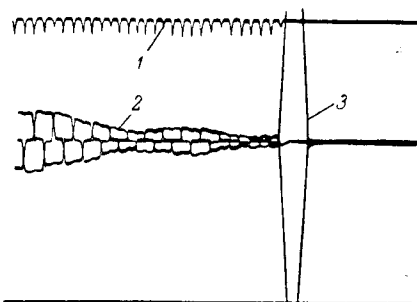


Рис. 8. Осциллограмма сквозного обратного зажигания с сеточным запираением выпрямителя.

1 — управляющие импульсы; 2 — токи в фазах схемной обмотки трансформатора; 3 — то же, что и 2 при обратном зажигании.

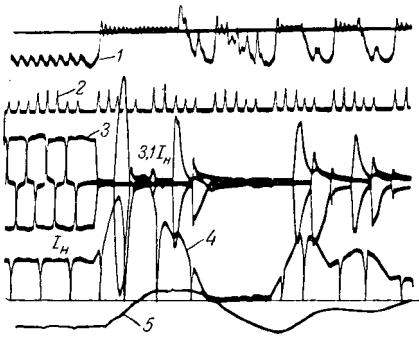


Рис. 9. Осциллограмма однофазного опрокидывания инвертора при длительном пропуске зажигания группы вентилях.

1 — напряжение на зажимах инвертора; 2 — управляющие импульсы; 3 — токи в фазах схемной обмотки трансформатора; 4 — инвертируемый ток (провалы в кривой тока определяются режимом работы трансформатора постоянного тока); 5 — напряжение на кабельной линии.

Наличие специальных устройств регулирования и защиты в большинстве случаев кратковременных нарушений позволяет предупредить опрокидывание инвертора или восстановить нормальную коммутацию инвертора после опрокидывания. На рис. 10 представлена осциллограмма процессов в электропередаче при однофазном опрокидывании инвертора, вызванном пропуском зажигания одной группы вентилях, и быстром восстановлении нормальной коммутации в инверторе. В тех случаях, когда нормальная коммутация в инверторе не восстанавливается, электропередача отключается посредством сеточного управления.

Перекрытие анодных изоляторов или защитных промежутков последовательно включенных вентилях приводит в случае инвертора к тем же процессам, что и пробой вентилях в плече моста, а в случае выпрямителя — к процессам, подобным обратному зажиганию.

Анализ причин нарушений нормальной работы преобразователей проводился на основе рассмотрения данных эксплуатационных наблюдений и автоматической осциллографической записи, а также материалов исследований в лабораториях и на самой электропередаче. Этот анализ показал, что основной причиной перечисленных выше нарушений являются дефекты вакуумно-технологической и электрической подготовки вентилях и некоторые их конструктивные недостатки. На первых этапах

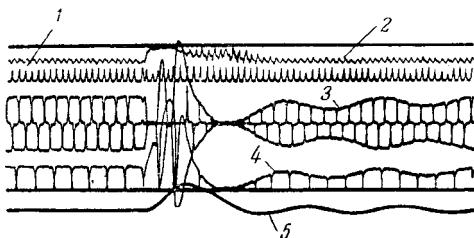


Рис. 10. Осциллограмма однофазного опрокидывания инвертора с быстрым восстановлением нормальной коммутации.

1 — управляющие импульсы; 2 — напряжение на зажимах инвертора; 3 — токи в фазах схемной обмотки трансформатора; 4 — инвертируемый ток (провалы в кривой тока определяются режимом работы трансформатора тока); 5 — напряжение на кабельной линии.

работы электропередачи, до того как были приняты необходимые меры, положение усугублялось тем, что на указанные нарушения в вентилях накладывались явления перенапряжений, вызываемые колебательными процессами в схеме, которые часто служили причиной перекрытий и пробоев.

**Мероприятия по повышению эксплуатационной надежности электропередачи и их результаты.** Для устранения радиопомех в каждую группу вентилях со стороны анода и катода были включены запирающие воздушные реакторы (рис. 1), которые, помимо этого, облегчают условия работы вентилях в моменты их зажигания.

С целью избежать перенапряжений, вызываемых колебаниями повышенной частоты, параллельно обмоткам линейных реакторов были установлены активные сопротивления, которые демпфировали указанные колебания и этим устраняли перенапряжения. Была усовершенствована схема защиты от перенапряжений.

Для предупреждения опрокидываний инвертора при кратковременных пропусках зажигания и погасаниях дежурной дуги вентилях было разработано и включено в работу подхватывающее устройство.

При отключениях электропередачи, связанных с нарушениями нормальной работы инвертора и обратными зажиганиями на выпрямителе, оказалось эффективным автоматическое повторное включение.

Перед пуском электропередачи существовало мнение о необходимости 20-секундного перерыва в работе вентилях, после того как через них прошел аварийный ток, превышающий по величине двукратный номинальный. Однако это мнение не оправдалось. В эксплуатации имело место множество случаев, когда вентилях, пропустив через себя ток, равный трех-четырекратному номинальному, продолжали нормально коммутировать номинальный ток. Было также множество успешных автоматических повторных включений спустя доли секунды после прохождения аварийного тока указанной величины.

Однако основным мероприятием по повышению надежности электропередачи явилось улучшение характеристик вентилях, усовершенствование технологии и улучшение качества их ремонта и подготовки. Разработана и внедрена система контрольных испытаний и проверок вентилях перед их установкой. Разработан и внедрен ряд устройств для фиксации нарушений и наблюдения за работой вентилях. Для устранения нарушений, связанных с конструктивными недостатками вентилях, были разработаны и опробованы способы усовершенствования отдельных элементов, давшие положительные результаты. При ремонтах вентилях проводится их частичная модернизация.

Были значительно усовершенствованы вспомогательные устройства вентилях. Шкафы питания собственных нужд вентилях заменены новыми, более совершенными. В этих шкафах установлена защита от перенапряжений. Модернизированы ртутные насосы. Сложные устройства регулирования электронного типа заменены более совершенными и надежными в эксплуатации безламповы-

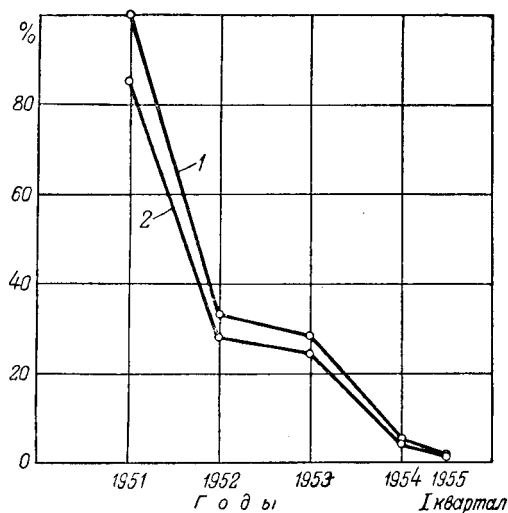


Рис. 11. График автоматических и вынужденных отключений электропередачи по годам эксплуатации. Число отключений в 1951 г. взято за 100 %.

1 — общее число отключений; 2 — отключения из-за вентиля и их вспомогательных устройств.

ми устройствами. Внедрен способ включения электропередачи, обеспечивающий более легкие пусковые условия для вентиля выпрямителя по напряжению.

В результате проведения перечисленных мероприятий и общего улучшения эксплуатации электропередачи показатели ее работы непрерывно улучшались. В последнее время электропередача работает устойчиво. Повышение надежности электропередачи характеризуется графиками вынужденных и автоматических отключений ее по годам, приведенными на рис. 11.

Следует отметить, что проведение большого числа исследований и опытов, при которых вентилям приходилось зачастую работать в тяжелых режимах, естественно сказывалось на показателях работы электропередачи и ограничивало возможности проведения мероприятий по повышению ее эксплуатационной надежности.

**Проведенные на электропередаче исследования и их результаты.** Наряду с проверкой эксплуатационной надежности отдельных звеньев электропередачи и освоением ее эксплуатации проводились экспериментальные исследования по широкому кругу вопросов. Цель этих исследований — изучить процессы в электропередаче и условия работы оборудования с тем, чтобы на основе этого изучения разработать мероприятия по повышению надежности работы и получить необходимые данные для проектирования дальнейшей электропередачи и разработки оборудования для нее.

Подробно исследованы переходные процессы при различных аварийных режимах, колебательные процессы и перенапряжения в схеме преобразования и на линии. Проведена экспериментальная проверка теоретических исследований института. Получено подтверждение правильности моделирования процессов в электропередаче, включая колебательные процессы звуковых частот, что

позволяет в дальнейшем широко использовать лабораторные модели для исследований различных процессов в мощных дальних электропередачах.

Исследования работы линии электропередачи, обратным проводом которой является земля, а также опыты с воздушной линией позволили получить ряд ценных данных для проектирования электропередачи постоянного тока. Проведено исследование работы электропередачи при схеме преобразователей с одним вентилем в плече, при которой напряжение на линии было 80 ... 85 кВ; передача при этом работала устойчиво. Проводится исследование работы передачи по этой схеме с повышенным анодным напряжением на вентилях до 108 ... 118 кВ, а на линии до 100 ... 108 кВ.

Намечено продолжить исследование параллельно-последовательного включения вентиля в группу, а также при схеме с двумя последовательно включенными мостами, имеющими по одному вентилю в плече, на инверторной подстанции. Предполагается испытание образцов мощных вентилях, разрабатываемых для дальнейшей электропередачи.

В экспериментальных исследованиях на электропередаче, помимо лабораторий института постоянного тока, принимали участие: Всесоюзный электротехнический институт, Энергетический институт Академии наук СССР, Научно-исследовательский институт связи, Центральная научно-исследовательская лаборатория МЭС и др.

**Выводы.** Рассматриваемая электропередача постоянного тока по своим параметрам и дальности превосходит известные в мировой практике передачи энергии постоянным током. Опыт ее наладки и работы подтверждают практическую возможность осуществления дальнейшей электропередачи постоянного тока.

Результаты эксплуатационной проверки ртутных вентилях различной конструкции также свидетельствуют о возможности разработки и создания более мощных вентилях для дальнейшей электропередачи.

Установленные на рассматриваемой электропередаче главные трансформаторы, линейные реакторы и другое оборудование в течение ряда лет работали без всяких нарушений, это дает основание полагать, что может быть создано более мощное оборудование для дальнейшей электропередачи.

Основные принципы разработанных и испытанных устройств сеточного управления, регулирования и защиты могут быть перенесены на дальнюю электропередачу.

Полученный опыт эксплуатации электропередачи, освоение технологии ремонта вентилях и проведенные исследования и разработки позволяют провести проектирование и сооружение мощной дальней электропередачи и организовать надежную ее эксплуатацию.

[15.4.1955]



# Важнейшие вопросы автоматизации гидроэлектростанций

Инж. Н. М. ЧУПРАКОВ

Главный инженер-энергетик Министерства электростанций СССР

Бурное развитие энергетики в Советском Союзе привело к росту числа и мощности энергетических систем, часть которых входит в состав объединений энергосистем центрального и южного районов Европейской части СССР и Урала.

Ввод в действие Куйбышевской гидроэлектростанции и линий электропередачи 400 кВ, связывающих эту станцию с Москвой и Уралом, позволит осуществить параллельную работу Центрального и Уральского объединений энергосистем, а ввод в эксплуатацию Сталинградской ГЭС с линиями электропередачи 400 кВ, связывающими эту станцию с Москвой и Донбассом, завершит электрическое соединение Центрального, Южного и Уральского объединений энергосистем в единое энергетическое объединение Европейской части СССР.

Образование на огромной территории столь мощного энергетического объединения требует решения ряда проблем в области автоматизации и телемеханизации диспетчерского управления. Важнейшей из этих проблем является автоматизация регулирования частоты и мощности в крупных энергообъединениях с целью повышения надежности и экономичности их эксплуатации, а также бесперебойного и качественного энергообеспечения потребителей.

Известно, что гидроэлектростанции по сравнению с тепловыми более мобильны в оперативном отношении, поэтому их участие в автоматическом регулировании частоты, мощности и телемеханизации диспетчерского управления энергосистем имеет решающее значение. Известно также, что в настоящее время мощность гидроэлектростанций составляет около  $\frac{1}{5}$  мощности всех районных электростанций; в дальнейшем в соответствии с директивами XIX съезда КПСС удельный вес гидроэлектростанций будет увеличиваться.

Следует отметить, что почти круглый год, за исключением 2—3 мес. паводкового периода, регулирующая способность многих гидроэлектростанций весьма высока и определяется величиной их установленной мощности. Например, Днепровская ГЭС в разное время года за счет своего водохранилища имеет свободную для участия в суточном регулировании мощность, которая в 2—4 раза превышает обеспеченную водотоком среднюю мощность. Аналогичное положение будет иметь место на Куйбышевской, Сталинградской, Каховской и других гидроэлектростанциях после ввода их в эксплуатацию. Кроме этого, гидроэлектростанции обладают большой регулирующей реактивной мощностью за счет незагруженных по водотoku гидроагрегатов.

Указанные особенности гидроэлектростанций позволяют эффективно использовать их в целях автоматизации регулирования частоты и мощности, а также создания надежного и автоматического действующего резерва в объединениях энергосистем. В связи с этим уместно коротко остановиться на вопросе о выборе установленной мощности гидроэлектростанций с точки зрения участия их

в регулировании мощности и в покрытии пиков нагрузок объединений энергосистем.

В интересах использования указанных особенностей гидроэлектростанций при выборе их установленной мощности следует исходить не из выработки электроэнергии и числа часов использования каждого дополнительного гидроагрегата ГЭС, а из диспетчерского значения этого агрегата как аварийного и ремонтного резерва, из его роли в покрытии пиков нагрузок энергетической системы.

Выбор мощности ГЭС должен основываться на технико-экономическом сравнении вариантов регулирования мощности при помощи гидроагрегатов и агрегатов тепловых электростанций. Сказанное особенно относится к крупным гидроэлектростанциям, которые должны обеспечивать регулирование частоты и мощности в объединениях энергосистем.

Расчеты, выполненные при проектировании Сталинградской ГЭС, показали, что стоимость электроэнергии, вырабатываемой 22-м гидроагрегатом этой станции, число часов использования мощности которого составляет всего лишь 620 в год, соизмерима со стоимостью киловаттчаса наиболее экономичной тепловой электростанции, а дополнительные затраты на установку этого гидроагрегата не превышают 1% стоимости всей гидроэлектростанции. Из этих цифр видно, что при определении установленной мощности и числа агрегатов таких гидроэлектростанций, как Сталинградская, следует исходить из величины регулирующей мощности, которая необходима для энергетического объединения, охватывающего Европейскую часть СССР, с учетом его дальнейшего развития. Поэтому целесообразно в проектах крупных гидроэлектростанций с большими водохранилищами многолетнего и сезонного регулирования предусматривать возможность установки в будущем дополнительных гидроагрегатов, которые при увеличении мощности энергетического объединения за счет ввода крупных тепловых электростанций будут покрывать возрастающие пики нагрузок.

В странах Западной Европы и Америки (Германии, Чехословакии и др.) существует практика покрывать пики нагрузок объединений энергосистем при помощи крупных гидроаккумулирующих электростанций, к. п. д. которых близок к 50%. Очевидно, что дополнительные резервные гидроагрегаты на наших ГЭС будут более рентабельными, чем гидроаккумулирующие электростанции.

Рассмотрим современное состояние и ближайшие перспективы автоматизации и телемеханизации гидроэлектростанций в СССР.

Первые шаги по пути автоматизации гидроагрегатов были сделаны еще до войны. Однако широкие масштабы работы по автоматизации и телемеханизации гидроэлектростанций получили в послевоенный период. В 1952 г. была завершена автоматизация гидроагрегатов на всех гидро-

электростанциях Министерства электростанций. В 1948 г. несколько автоматизированных гидроэлектростанций в Узбекской энергосистеме были переведены на телеуправление с соседних базисных гЭС и закрыты на замок. На этих гидроэлектростанциях было организовано дежурство инженеров на дому, что позволило уменьшить численность дежурного персонала в 4—5 раз. В то же время Угличская, Щербаковская и Фархадская гидроэлектростанции были переведены на телеуправление с центральных диспетчерских пунктов своих энергосистем. Управление этими гидроэлектростанциями стало осуществляться на расстоянии сотен километров по проводам линий электропередачи 110 и 220 кВ при помощи каналов высокой частоты.

На автоматизированных и телеуправляемых гидроэлектростанциях, которые были закрыты на замок и стали эксплуатироваться без постоянного дежурного персонала, наряду с гидроагрегатами были автоматизированы гидротехнические затворы холостых сбросов, насосные агрегаты откачки дренажных вод, охлаждающие устройства трансформаторов, зарядка аккумуляторных батарей и другие производственные процессы.

Однако следует отметить, что до 1954 г. автоматизация гидроагрегатов выполнялась по схемам индивидуального управления. Впервые задача комплексной автоматизации гидроэлектростанции в целом была решена на Цимлянской гЭС лишь в конце прошлого года. На этой гидроэлектростанции было применено автоматическое групповое регулирование активной и реактивной мощности всех гидроагрегатов при помощи автооператоров, работающих от регуляторов частоты и напряжения и распределяющих нагрузки между агрегатами таким образом, чтобы к. п. д. станции был оптимальным. Эти же автооператоры могут работать от других датчиков режима, например от регуляторов водотока, и поддерживать постоянным уровень воды в верхнем или нижнем бьефе гидроэлектростанции, от шаблона заданного гЭС графика нагрузки и осуществлять передачу мощности по отходящим от гЭС или транзитным линиям в соответствии с заданным графиком.

Переходить от одного датчика режима к другому и изменять уставки регуляторов можно телемеханически с главного диспетчерского пункта энергосистемы. В необходимых случаях с диспетчерского пункта системы таким же путем, вручную, при помощи кнопок «прибавить» и «убавить» можно регулировать мощность всей гидроэлектростанции.

Эксплуатационный персонал, стремясь к совершенствованию автоматики гидроэлектростанций, провел многочисленные эксперименты и исследовательские работы на действующем оборудовании и сооружениях гЭС. В результате ранее применявшиеся схемы и конструкции аппаратуры автоматики, в том числе и иностранных фирм, были значительно улучшены и стали много проще и надежнее. Например, число реле в схемах автоматики одной крупной гЭС уменьшилось более чем вдвое.

Совершенствование схем автоматики гидро-

агрегатов достигнуто путем внедрения простых и надежных конструкций и схем автоматической синхронизации гидрогенераторов, схем автоматического повторного включения отдельных гидрогенераторов и шин гидроэлектростанции методом автоматической самосинхронизации. В последнее время были успешно проведены опыты по немедленному обратному включению отключившихся под нагрузкой гидрогенераторов путем их автоматической самосинхронизации при отрицательном скольжении.

На многих гЭС осуществлен переход от схем принудительной смазки и охлаждения к самосмазке и прямоточному охлаждению подшипников генераторов и турбин, что позволило сильно упростить и сделать более надежной автоматику этих узлов гидроагрегата.

Весьма существенные упрощения внесены в схему автоматики торможения после того, как удалось отказаться от прерывистого торможения, рекомендованного заводами-изготовителями, и перейти к глухому, непрерывному торможению гидроагрегатов. Опыты, проведенные в 1954 г. на ряде гидроэлектростанций, показали, что и такое торможение гидроагрегатов необходимо применять лишь в случаях их экстренной остановки, вызываемой наличием повреждений в агрегате. При нормальных же остановках гидроагрегатов, как правило, следует ограничиваться самоторможением, т. е. остановку гидроагрегатов осуществлять так же, как осуществляется остановка турбоагрегатов.

На Днепровской, Цимлянской и других гидроэлектростанциях проведены весьма полезные работы по модернизации и упрощению конструкций регуляторов гидротурбин, без ухудшения характеристик регулирования. Из схем автоматического пуска и остановки гидроагрегатов исключены стопор турбины, контроль торможения агрегата, индивидуальные струйные реле контроля смазки и охлаждения и другие элементы, загромождающие цепи автоматики и делающие автоматику сложной, дорогой, а самое главное мало надежной.

Из приведенных примеров видно, что эксплуатационными коллективами гидроэлектростанций, работавшими совместно с Энергетическим институтом Академии наук СССР, ОАТН Гидроэнергопроекта, ОРГРЭС, ЦНИЭЛ, трестом «Электропривод» и другими организациями, проделана большая работа по улучшению автоматизации и телемеханизации гЭС. Эта работа должна продолжаться и в дальнейшем на основе широкой постановки смелых экспериментов и исследований на действующих гидроэлектростанциях.

В свою очередь проектные организации и заводы-изготовители гидротурбин и гидрогенераторов должны тщательно изучать богатейший эксплуатационный опыт, накопленный за 30-летний период существования советской гидроэнергетики, и творчески учитывать его в проектах гЭС и новых конструкциях машин и механизмов с тем, чтобы быстрее внедрять комплексную автоматизацию на вновь сооружаемых гидроэлектростанциях.

Перед работниками электростанций стоит задача осуществить в ближайшие годы комплексную автоматизацию с применением телемеханизации на всех эксплуатируемых крупных и средних гидроэлектростанциях.

В объем комплексной автоматизации должны входить: автоматизация группового управления и регулирования всеми агрегатами гидроэлектростанции аналогично тому, как это сделано на Цимлянской гэс; автоматизация ввода в работу резервных или находящихся в компенсаторном режиме гидрогенераторов при снижении частоты в сети ниже 49,3 гц, что уже на многих гэс осуществлено; автоматизация охлаждения трансформаторов; автоматизация затворов холостых сбросов на деривационных гидроэлектростанциях, работающих в каскадах; автоматизация тушения пожара в генераторах водой; автоматическое повторное включение отключившихся, но не имеющих повреждений гидрогенераторов методом самосинхронизации при отрицательных и положительных скольжениях; автоматическое повторное включение шин гэс или секций шин с автоматической самосинхронизацией гидрогенераторов; автоматизация откачки дренажных вод; автоматизация ввода резерва ответственных механизмов и трансформаторов собственных нужд; автоматизация включения и отключения электрообогрева решеток турбин; автоматическая охранная и пожарная сигнализация и другие необходимые виды автоматики, вытекающие из особенностей каждой гидроэлектростанции.

Комплексная автоматизация должна включать в себя также максимальную механизацию всех видов ремонтных и профилактических работ и испытаний, проводимых на оборудовании и сооружениях гидроэлектростанции.

В объем телемеханизации гидроэлектростанций, имеющих комплексную автоматизацию,

должны входить телеизмерения и телесигнализация для контроля за режимом работы гэс с диспетчерского пункта объединения энергосистем (для крупных гэс) и диспетчерского пункта энергосистемы. В него должно входить также изменение режима работы датчиков автооператоров: частоты, мощности, водотока и др. Телемеханика должна позволять вести регулирование мощности всей станции при помощи группового автооператора путем подачи двух команд «прибавить» и «убавить» с диспетчерского пункта энергосистемы. Число телеуправляемых выключателей на гидроэлектростанциях определяется объемом телемеханизации диспетчерского управления энергосистемы. При помощи телемеханики должны осуществляться также контроль и наблюдение за режимом сработки и наполнения водохранилищ, бассейнов и каналов суточного регулирования путем передачи телеизмерений уровней воды на диспетчерский пункт. Объем телемеханизации средних и малых гидроэлектростанций, работающих без дежурного персонала, определяется необходимостью управлять ими с пультов других станций, или с диспетчерского пункта.

Следует иметь в виду, что чем полнее комплексная автоматизация гидроэлектростанций, тем меньше объем телемеханизации и выше технико-экономический эффект последней. Полноценная комплексная автоматизация гидроэлектростанций с телемеханическим контролем и телеуправлением ими с диспетчерских пунктов даст возможность получить наивысшую производительность труда, сократить до минимума численность эксплуатационного персонала на гидроэлектростанциях и сделать значительный шаг вперед по пути создания образцовых социалистических предприятий в нашей стране.

[16.4.1955]



## Физические предпосылки технического использования полупроводников

Член-корр. Академии наук СССР Б. М. ВУЛ

Исходные экспериментальные исследования, результаты которых в гениальных обобщениях Максвелла стали принципиальной основой электротехники, были выполнены в конце XVIII и первых десятилетиях XIX столетия. Выдающиеся ученые того времени, открывшие основные законы электромагнитных явлений, располагали весьма скромными экспериментальными возможностями и пользовались в своих работах преимущественно материалами, либо очень хорошо, либо очень плохо проводящими электрический ток. Электрические свойства такого хорошего проводника, как медь, магнитные свойства железа, электроизолирующие свойства янтаря и серы непосредственно обнаруживались в любом образце. Разные образцы этих материалов мало отлича-

лись по своим характерным свойствам, что позволяло получать при измерениях воспроизводимые результаты, так как техника измерений не была еще столь совершенной, чтобы можно было обнаружить влияние незначительных примесей на основные свойства. В этих условиях только материалы с резко выраженными, вполне определенными и практически нечувствительными к малым примесям свойствами могли стать объектами научного исследования; такими были хорошие проводники и изоляторы, не не могли быть полупроводники. Первые были легко доступны: медь, железо, слюда, сера, янтарь давно вошли в технический обиход; полупроводники также имелись в виде разнообразных окислов, но их свойства были неопределенными, изменяясь от образца к образцу.



Позднее, по мере развития электротехники и особенно после возникновения радиотехники, номенклатура подручных материалов, заимствованных из других сравнительно рано развившихся областей материальной культуры, оказалась недостаточной и весьма бедной и ограниченной по своим свойствам. Пришлось изыскивать способы улучшения известных материалов или создавать новые материалы с учетом специальных требований, предъявляемых электро- и радиотехникой. Например, были разработаны высоковольтный фарфор, конденсаторная бумага, электроизоляционные лаки, высокочастотный электроизоляционный материал — полиэтилен, термостойкий тетрафторэтилен, специальные магнитные сплавы, керамические материалы и т. п.

Освоение этих новых материалов стало возможным в результате общего прогресса всех областей техники, ведущая роль здесь принадлежала электротехнике, достигшей весьма высокого уровня. Однако все же на развитие электротехники накладывает отпечаток ограниченность лежащих в ее основе принципов, выработанных в начале XIX в., когда использовались только проводники и диэлектрики.

**Электронный и дырочный полупроводник.** Современная технология позволила обогатить номенклатуру электротехнических материалов и добавить к диэлектрикам и проводникам (электрическим и магнитным) промежуточный класс — полупроводники. Одновременно успехи, достигнутые в физике твердого тела на основе квантовой механики, позволили более полно раскрыть закономерности движения электронов в полупроводниках и указать возможности управления свойствами этих материалов.

Полупроводник отличается от диэлектрика лишь тем, что энергетический барьер между двумя состояниями вещества — диэлектрическим и проводящим — у первого значительно меньше, чем у второго. Поэтому уже сравнительно малые внешние воздействия заметно влияют на электрические свойства полупроводников.

Очищая исходный полупроводниковый материал от случайных примесей и вводя в процессе производства определенные примеси, можно задавать тип и регулировать величину электропроводности полупроводника. Например, если в чистый германий, являющийся четырехвалентным, добавить незначительное количество пентавалентной сурьмы, то, внедряясь в кристаллическую решетку германия, атомы сурьмы легко ионизируются, так как их связи с окружающими атомами германия включают только четыре электрона. Каждый атом примеси в этом случае освобождает по одному электрону, движение которых под воздействием внешнего электрического поля будет проявляться как электрический ток. Совершенно иные создаются условия, когда в полупроводник вводится примесь с валентностью, меньшей, чем у основного материала. Например, если в германий ввести трехвалентный индий, то атом индия захватывает один электрон, связываясь своими тремя и четвертым захваченным электро-

ном с окружающими атомами германия. Атом индия при этом становится отрицательным ионом, довольно прочно удерживающим свой лишний электрон, уход которого от какого-либо атома германия нарушает валентные связи этого атома с другими и превращает его в положительный ион. Однако благодаря квантово-механическому движению всего коллектива валентных электронов нарушенные валентные связи не остаются фиксированными в определенных местах. Восстановление нарушенных валентных связей в одних местах решетки происходит одновременно с возникновением такого же числа нарушений в других местах, так как общее число нарушенных связей вследствие прилипания валентных электронов к атомам примеси остается неизменным. Места, в которых имеется недостача валентных электронов, называют дырками, а полупроводник, в котором электропроводность обусловлена упорядоченным перемещением валентных электронов при наличии дырок, называют дырочным. Если валентные связи нигде не нарушены или, иначе говоря, нет дырок, то взаимоперемещения валентных электронов внешне себя не проявляют.

**Электронно-дырочные переходы.** Важнейшим звеном в полупроводниковых приборах являются электронно-дырочные переходы. Они образуются в тех случаях, когда электропроводность в одних частях полупроводника дырочная, а в других — электронная. Изменение вида электропроводности достигается введением различного рода примесей. Так как в электронной части полупроводника имеются свободные электроны, а в дырочной части не все валентные связи заполнены электронами, то происходит диффузия электронов в дырочную часть и дырок в электронную. Вследствие этого электронная часть полупроводника заряжается положительно, а дырочная — отрицательно, и внутри полупроводника возникает некоторая область, одна часть которой заполнена объемным положительным зарядом, а другая — равным ему отрицательным. Эту область объемного заряда называют электронно-дырочным (э-д) или  $n - p$  переходом. Она представляет своеобразный конденсатор с изолирующей прослойкой из основного материала полупроводника, в которой вкраплены ионы примесей, в одной части — положительные, а в другой — отрицательные. Внутри э-д перехода существует электрическое поле, напряжение которого при отсутствии внешних электрических воздействий достигает такой величины, чтобы компенсировать диффузионные потоки электронов и дырок вследствие пространственного изменения концентрации примесей. Для определения контактной разности потенциалов на э-д переходе рассмотрим, например, движение дырок. При совместном действии диффузии и электрического поля дырочный ток

$$I_p = -qD \operatorname{grad} p + \mu q p E,$$

где  $q$  — заряд электрона;

$D$  — коэффициент диффузии;

$\mu$  — подвижность дырок;

$p$  — концентрация дырок;

$E$  — напряженность электрического поля.

При отсутствии внешней разности потенциалов  $I_p = 0$ . Считая, что  $p$  и  $E$  зависят только от координаты  $x$ , имеем:

$$qD \frac{dp}{dx} = \mu q p E = -\mu q p \frac{d\varphi}{dx},$$

так как  $E = -\frac{d\varphi}{dx}$ , где  $\varphi$  — потенциал.

Учитывая соотношение Эйнштейна

$$\frac{\mu}{D} = \frac{q}{kT},$$

где  $k$  — постоянная Больцмана;  $T$  — абсолютная температура, находим:

$$\int_a^b \frac{dp}{p} = - \int_a^b d\varphi,$$

где  $a$  и  $b$  — столь большие расстояния от перехода, что за этими точками имеется однородная концентрация дырок, в дырочной части  $p_p$  и в электронной  $p_n$ .

Контактная разность потенциалов между электронной и дырочной частью

$$U_k = \varphi_b - \varphi_a = \frac{kT}{q} \lg \frac{p_p}{p_n}.$$

В таком полупроводнике, как германий, можно считать, что при комнатной температуре примеси полностью ионизованы, так как для ионизации требуется энергия порядка 0,01 эв. Таким образом, концентрация дырок в резко выраженном дырочном полупроводнике можно практически считать равной концентрации  $N_A$  — акцепторных примесей в нем. Концентрацию дырок в резко выраженном электронном полупроводнике можно подсчитать, исходя из того, что в термодинамически равновесных условиях  $g$  — количество пар (электронов и дырок), возникающих в единицу времени благодаря тепловому движению, равно число рекомбинируемых:

$$g = A p n,$$

где  $A$  — коэффициент рекомбинации;  $p$  и  $n$  — концентрация дырок и электронов. Приведенное соотношение справедливо при любой концентрации примесей и, следовательно, имеет силу также и в том случае, когда в полупроводнике совершенно нет примесей. Существующие в нем тогда в равном количестве свободные электроны и дырки обязаны своим происхождением термической ионизации атомов основной решетки.

Таким образом,

$$\frac{g}{A} = p_i n_i,$$

где  $p_i$  и  $n_i$  — концентрации дырок и электронов в чистом полупроводнике, а так как  $p_i = n_i$ , то

$$n_i p_i = \frac{g}{A} = n_i^2.$$

В резко выраженном электронном полупроводнике концентрация электронов равна концен-

трации  $N_D$  — донорных примесей в нем, поэтому в электронном полупроводнике концентрация дырок

$$p_n = \frac{p_i n_i}{n_n} = \frac{n_i^2}{N_D}.$$

Используя это, находим, что контактная разность потенциалов на электронно-дырочном переходе

$$U_k = \frac{kT}{q} \lg \frac{N_A N_D}{n_i^2}.$$

При комнатной температуре  $\frac{kT}{q} = 0,025$  в. Для германия при  $t^\circ = 20^\circ \text{C}$ ,  $n_i^2 = 2,53 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{см}^6}$ .

Создавая электронно-дырочные переходы в полупроводниках, можно практически использовать их в качестве выпрямителей, усилителей, а также для преобразования различных видов энергии в электрическую.

**Выпрямители (диоды).** Переходный слой между частями полупроводника с электронной и дырочной проводимостью содержит объемный электрический заряд — положительный в электронной части и отрицательный — в дырочной; вне переходного слоя проводник остается электрически нейтральным. Поэтому, если к образцу с э-д переходом приложена известная разность потенциалов, то практически почти все падение напряжения будет сосредоточено на переходе.

Пусть распределение потенциала на переходе при отсутствии внешнего напряжения имеет вид, изображенный на рис. 1. Контактная разность потенциалов устанавливается такой величины, что ток через переход равен нулю. Это относится и к составляющим тока — дырочной и электронной.

Рассмотрим потоки дырок. Поток  $P_1$ , движущийся справа налево, приходит из электронного германия, в котором концентрация дырок очень мала, но зато, достигнув границы, полностью ее пересекает, так как электрическое поле в переходе втягивает дырки. Поток  $P_2$ , движущийся слева направо, приходит из дырочного германия, в котором концентрация дырок весьма высока, но зато, достигнув границы,

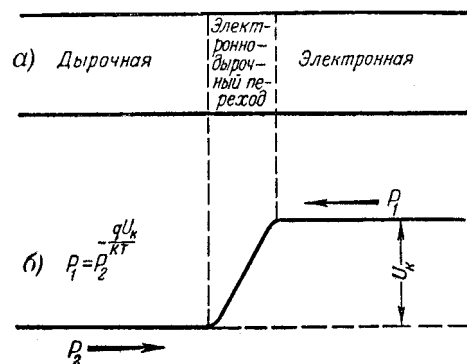


Рис. 1. Полупроводник с электронно-дырочным переходом. а — характер электропроводности; б — контактная разность потенциалов.

тормозится электрическим полем в переходе, и та часть потока, которая может преодолеть потенциальный барьер, равна  $P_2 e^{-\frac{qU_\kappa}{kT}}$ , где  $U_\kappa$  — высота потенциального барьера.

Если извне приложена разность потенциалов  $U$  таким образом, что плюс приключен к дырочной, а минус к электронной части диода, то высота потенциального барьера станет  $U_\kappa - U$ . Тогда поток, преодолевающий барьер слева

направо, будет  $P_2 e^{-\frac{q(U_\kappa - U)}{kT}}$ , в то время как поток, движущийся справа налево, не изменится потому, что он весь скатывается с потенциального барьера независимо от его высоты. В результате воздействия внешнего напряжения общий поток дырок

$$P = P_2 e^{-\frac{q(U_\kappa - U)}{kT}} - P_1.$$

Так как

$$P_1 = P_2 e^{-\frac{qU_\kappa}{kT}},$$

то  $P = P_1 (e^{\frac{qU}{kT}} - 1)$ .

Аналогичная зависимость получается и для потока электронов. Зависимость тока от напряжения на диоде имеет вид:

$$I = I_\kappa (e^{\frac{qU}{kT}} - 1),$$

где  $I_\kappa$  — ток насыщения.

При обратном включении напряжения величину  $U$  надо брать со знаком минус. Приведенное выражение для вольтамперной характеристики диода экспериментально оправдывается при  $U \leq \frac{kT}{q}$ .

В германиевых плоскостных диодах ток насыщения при комнатной температуре составляет несколько микроампер на квадратный миллиметр. Практически при увеличении обратных напряжений ток несколько возрастает и достигает нескольких десятков микроампер при напряжениях, приближающихся к пробивным. В зависимости от свойств материала и условий работы, пробивные напряжения э-д переходов составляют от нескольких десятков до нескольких сотен вольт.

**Усилители (триоды).** Полупроводниковый триод представляет совокупность двух связанных между собой э-д переходов. Оба перехода расположены весьма близко друг от друга в одном куске полупроводника. Триоды могут быть двух типов: в одном крайние слои электронные, а промежуточный — дырочный, в другом — наоборот. Первый тип называют э-д-э или *n-p-n*, второй д-э-д или *p-n-p*. Принцип действия триода одинаков для обоих типов.

Схема включения триода типа *p-n-p* приведена на рис. 2а. К одному из переходов, названному эмиттером, напряжение подводится в прямом — пропускающем направлении, к другому, названному коллектором, — в обратном или за-

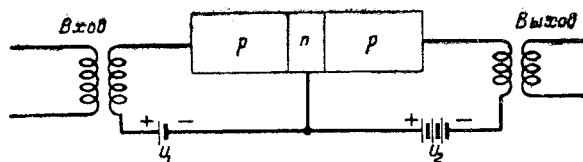


Рис. 2а. Одна из возможных схем включения триода.

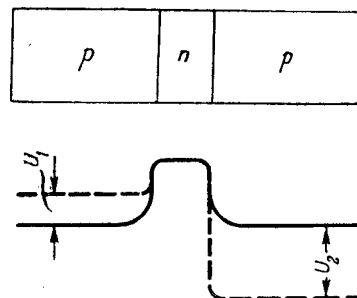


Рис. 2б. Распределение потенциала в триоде до включения источников постоянного тока (сплошная кривая) и после включения (пунктир).

пирающем. Распределение потенциала в триоде до и после включения внешних источников напряжения показано на рис. 2б. Носители зарядов, в данном случае дырки, легко проходят из эмиттера в средний слой, названный базой. В этом слое напряженность поля ничтожно мала, и заряды распространяются в промежуточном слое преимущественно благодаря диффузии. Дырки, достигающие коллекторного перехода, увлекаются электрическим полем, напряженность которого в самом переходе между базой и коллектором весьма значительна, так как практически все внешнее напряжение приложено к переходу, толщина которого составляет порядка десятка микрон. Таким образом, концентрация дырок у края базы на границе с коллектором очень мала, в то время как на границе с эмиттером концентрация значительно выше нормальной благодаря поступлению дырок из эмиттера. Практически триоды изготовляют таким образом, что рекомбинация зарядов в промежуточном слое ничтожно мала и поэтому почти весь поток зарядов, поступающий через эмиттер в базу, проникает в цепь коллектор — база. Так как внутреннее сопротивление цепи эмиттер — база очень мало, то уже незначительные изменения напряжения в этой цепи приводят к заметным изменениям тока. Но так как ток эмиттера почти целиком замыкается через коллектор, то эти же изменения тока происходят и в цепи коллектор — база, но уже при разности потенциалов, могущей во много раз превышать изменения напряжения в цепи эмиттер — база. Практически удается получить в полупроводниковых германиевых триодах коэффициенты усиления по напряжению и соответственно по мощности, достигающие нескольких тысяч. Коэффициент усиления по току при схеме включения триода с заземленной базой (рис. 2а) всегда меньше единицы, так как некоторая незначительная часть тока, могущая при определенных конструкциях и режимах работы не превышать 1%, замыкается через средний элек-

трод. При другой схеме включения, например с заземленным эмиттером, можно получать большие усиления по току при значительно меньших усилениях по напряжению.

При теоретическом рассмотрении процессов выпрямления и усиления можно в первом приближении считать, что приложенные извне напряжения сосредоточены на э-д переходе и что движение зарядов в других частях полупроводника происходит только благодаря диффузии. При этом допущении, которое справедливо при сравнительно небольших нарушениях равновесных концентраций свободных зарядов в полупроводнике, движение зарядов, например дырок, описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{p_0 - p}{\tau} + D \frac{\partial^2 p}{\partial x^2},$$

где  $p$  — концентрация неосновных носителей зарядов;

$p_0$  — равновесная концентрация;

$D$  — коэффициент диффузии дырок;

$\tau$  — время их существования.

Это уравнение является количественной записью утверждения, что изменение концентрации происходит вследствие рекомбинации зарядов и убыли их благодаря диффузии. Для крайних условий задается связь между концентрацией зарядов и разностью потенциалов на переходах в виде:

$$p = p_0 e^{\frac{qU}{kT}},$$

где  $U$  — напряжение на переходе. Для постоянного напряжения полагают  $\frac{\partial p}{\partial t} = 0$ , а для переменных напряжений обычно решают задачу для одной определенной частоты. В последнее время рассмотрены также задачи прохождения импульсов.

Замечательные попытки использования полупроводников для усиления высокочастотных колебаний были сделаны еще в 1922 г. советским физиком Олегом Владимировичем Лосевым. Однако в те годы еще не была разработана технология получения полупроводниковых материалов, которая обеспечивала бы возможности широкого практического их использования. Промышленным способом эти материалы были получены только через 20 с лишним лет, сперва в США, а затем в других странах.

**Фотоэлементы.** В полупроводниках энергия, достаточная для возникновения внутреннего фотоэффекта, иначе говоря, для ионизации атомов внутри вещества, сравнительно мала. Так, для германия эта величина составляет около 0,8 эв, для кремния 1,1 эв. Поэтому облучение светом с достаточно короткой длиной волны (для германия меньше 1,5 мкн) вызывает ионизацию внутри полупроводника и увеличение в нем концентрации свободных электронов и дырок. Если в полупроводнике имеется э-д переход, то благодаря облучению изменится контактная разность потенциалов на нем. Когда

переход разомкнут, ток через него (как дырочная, так и электронная его составляющие) равен нулю. Рассмотрим компенсирующие друг друга потоки дырок через переход, как это показано на рис. 1. Пусть справа и слева благодаря облучению потоки дырок возрастают на некоторую величину  $P'$ . Тогда поток, пересекающий справа, равен  $P_1 + P'$ , а поток слева

$(P_2 + P')e^{-\frac{qU'_k}{kT}}$ , где  $U'_k$  — контактная разность потенциалов при облучении.

Изменение контактной разности потенциалов при облучении  $E = U_k - U'_k$  можно использовать как э. д. с. фотоэлемента. Если замкнуть фотоэлемент накоротко, то контактная разность потенциалов на э-д переходе практически не изменится при облучении, но по замкнутой цепи будет проходить ток короткого замыкания, так как термодинамическое равновесие нарушено облучением. Из сравнения потоков зарядов, пересекающих э-д переход, следует, что, например, поток дырок, идущий справа налево (рис. 1, б), увеличится на величину  $P'$ , пропорциональную интенсивности облучения, так как весь поток дырок скатывается с потенциального барьера, а поток, идущий слева направо, воз-

растает лишь на величину  $P'e^{-\frac{qU_k}{kT}}$ , которая очень мала по сравнению с  $P'$ . При комнатной температуре  $\frac{kT}{q} = 0,025$  эв, а  $U_k$  — порядка нескольких десятых вольта. Если замкнуть цепь облучаемого фотоэлемента на внешнее сопротивление  $R$ , то падение напряжения на нем  $U$  и ток короткого замыкания  $I_g$  связан соотношением

$$\frac{kT}{q} \frac{R}{R_0} [e^{\frac{qU}{kT}} - 1] + U = I_g R,$$

где  $R_0$  — дифференциальное сопротивление э-д перехода при  $U = 0$ .

Избыточный поток дырок  $P'$  и равный ему избыточный поток электронов создается только за счет ионизации светом внутри самого э-д перехода и областей полупроводника, непосредственно близких к нему. Облучение областей, далеких от перехода, не приводит к изменению потоков через э-д переход, так как дырки и электроны рекомбинируют в пути, не достигая перехода. Средняя длина диффузии неравновесных носителей зарядов

$$L = \sqrt{D\tau},$$

где  $D$  — коэффициент диффузии зарядов, а  $\tau$  — среднее время их существования. Для дырок в германии  $D = 44$  см<sup>2</sup>/сек, для электронов  $D = 93$  см<sup>2</sup>/сек. Время существования неравновесных носителей зарядов зависит от степени совершенства кристаллической решетки и в лучших образцах достигает нескольких миллисекунд.

Непосредственная рекомбинация электрона с дыркой маловероятна вследствие трудности непосредственной передачи энергии рекомбинирующих зарядов решетке. Более вероятным является процесс, в ходе которого сначала происходит на нерегулярностях кристаллической решетки захват заряженной частицы одного знака, а затем уже рекомбинация путем захвата заряженной частицы другого знака. Чем совершеннее кристаллическая решетка полупроводника, тем меньше центров рекомбинации в ней, тем больше длина диффузии и, следовательно, область, облучение которой сказывается на величину фототока. Крупные успехи, достигнутые в последнее время в деле преобразования лучистой энергии в электрическую при помощи полупроводников, стали возможными главным образом благодаря тому, что научились изготовлять полупроводники с весьма совершенной кристаллической решеткой. Это позволяет в настоящее время реально ставить вопрос о разработке фотоэлементов для непосредственного превращения энергии солнечного излучения в электрическую энергию. Из известных в настоящее время полупроводников наиболее подходящим для этой цели является кремний.

**Термоэлементы.** Пробразом полупроводникового термоэлемента является обычная термопара из двух разных проводников, пригодная из-за низкого к. п. д. только для измерения температуры. В металлах кинетическая энергия свободных электронов столь велика, что нагрев на несколько сот градусов мало влияет на движение электронов и поэтому различие между нагретыми и холодными спаями, в том числе и разность потенциалов между ними, незначительна — термо-э. д. с. достигают величины порядка  $10^{-5}$  в/град. Кроме того, вследствие хорошей теплопроводности металлов большая часть тепла в термопарах бесполезно теряется, переходя непосредственно от нагретых слоев к холодным. Гораздо более благоприятные условия можно создать, используя полупроводники. В них кинетическая энергия электронов мала и изменяется, так же как и энергия молекул в газе, прямо пропорционально абсолютной температуре. Поэтому различие состояния электронов у нагретых и холодных спаев весьма чувствительно к окружающей температуре и термо-э. д. с. в полупроводниковых термоэлементах достигает величины порядка  $10^{-3}$  в/град. Наряду с этим, можно выбрать полупроводниковые материалы, которые обладают по сравнению с металлами очень малой теплопроводностью и поэтому к. п. д. полупроводниковых термоэлементов гораздо выше, чем у металлических термопар. Исследование процессов превращения тепловой энергии в электрическую при помощи полупроводников и разработка термоэлементов значительно продвинуты вперед благодаря работам А. Ф. Иоффе и руководимого им коллектива Института полупроводников Академии наук СССР. Как известно, полупроводниковые термоэлементы уже в настоящее время дают к. п. д. около 7%, что далеко не является их верхним пределом.

**О перспективах технического использования полупроводников.** В наши дни полупроводники — германий, а за ним кремний — все более широко проникают в радиотехнику. Полупроводниковые диоды и триоды на своем еще начальном этапе развития обладают многими преимуществами по сравнению с электронными вакуумными лампами — меньшими габаритами, большей механической прочностью, большей долговечностью, меньшим расходом энергии для поддержания устройства в рабочем состоянии, отсутствием накаливаемого катода и поэтому практически мгновенной готовностью к действию. Естественно, что полупроводниковые приборы уступают по многим показателям вакуумным приборам — по высокочастотному пределу, мощности и т. п., но во многих случаях уже в настоящее время они могут заменить вакуумные лампы, а в ряде случаев их можно использовать для создания устройств, неосуществимых на электронных вакуумных лампах.

Как ни велика роль, которую полупроводники будут играть в радиотехнике и ее многочисленных применениях, но еще более существенное значение они приобретут в энергетике. Ближайшая перспектива — широкое применение полупроводниковых приборов как выпрямителей и преобразователей переменного тока в силовых установках, в частности в приводе и, весьма вероятно, в его разновидности — в электрической тяге. Можно ожидать, что наряду с современной основной высокоцентрализованной системой электроснабжения появятся многочисленные, независимые, небольшой мощности силовые установки с термоэлектрическими и фотоэлектрическими генераторами. Термоэлектрические генераторы широко используют территориально рассеянное местное низкосортное топливо, представляя весьма простые устройства для выработки электроэнергии. Фотоэлектрические генераторы будут непосредственно превращать энергию солнечного излучения в электрическую энергию. Можно надеяться, что в номере «Электричество», посвященном 100-летию юбилею журнала, будущие авторы дадут всестороннее освещение многолетнего опыта работы полупроводниковых силовых установок.

#### Литература

1. А. Ф. Иоффе. Полупроводники в современной физике. Изд. АН СССР, 1954.
2. А. Ф. Иоффе. Полупроводники. Изд. АН СССР. Научно-популярная серия, 1955.
3. В. Шокли. Теория электронных полупроводников. Изд. Иностранной литературы, 1953.
4. Н. А. Пенин. Физические основы действия кристаллических диодов и триодов. Радио, № 8 и 9, 1954.
5. W. G. Pfann and W. van Roosbroeck. Radioactive and Photoelectric p-n Junction Power Sources. Journ. of Appl. Phys., т. 25, стр. 1422, 1954.
6. С. М. Рывкин. К вопросу о механизме действия германиевых фотодиодов. ЖТФ, т. 25, стр. 21, 1955.
7. Ж. И. Алферов, Б. М. Коваленко, С. М. Рывкин, В. М. Тучкевич и И. А. Уваров. Плоскостные германиевые фотодиоды. ЖТФ, т. 25, стр. 11, 1955.
8. Б. М. Вул. О диэлектрических свойствах переходных слоев в полупроводниках. ЖТФ, т. 25, стр. 3, 1955.

# Синтетические полимеры в электрической изоляции

Член-корр. Академии наук СССР К. А. АНДРИАНОВ

Москва

В начальный период развития электротехники для производства электротехнических изоляционных материалов использовалось почти исключительно естественное сырье. Рост напряжений и мощностей электроэнергетических установок и появление высокочастотной техники выдвинули ряд многообразных и во многих случаях жестких требований к электроизолирующим материалам, которые нельзя было удовлетворить на такой узкой сырьевой базе. Это способствовало развитию синтеза новых диэлектриков и интенсивному изучению их свойств, что привело к созданию синтетических полимеров с ценными техническими свойствами.

Одновременно с этим интенсивное внедрение электрической энергии в различные области промышленности, в транспорт и сельское хозяйство вызвало развитие массового производства электротехнического оборудования самого разнообразного назначения. В связи с этим вопросы надежности электрооборудования, сроков их жизни, расхода активных материалов приобрели исключительное значение и положительное их решение вынуждает повышать требования к электрической изоляции, главным образом в части: 1) увеличения ее теплостойкости, 2) повышения механической прочности и 3) повышения влаго- и водостойкости. Эти свойства электрической изоляции должны быть стабильны и сохраняться максимально большое время в процессе эксплуатации оборудования.

Изложенные требования нельзя удовлетворить в полной мере только путем облагораживания и модернизации «традиционных» электроизолирующих материалов на основе целлюлозных материалов, растительных масел, битумов и т. д. Необходимо шире и смелее внедрять новые синтетические высокомолекулярные соединения, которые в комплексе со стеклянным волокном, слюдяными материалами и асбестом позволяют создать высококачественные изоляционные материалы.

В разрезе изложенных задач в статье сделана попытка дать краткую характеристику важнейших полимеров и определить их значение для электрической изоляции.

**Кремнийорганические полимеры.** Стеклянное волокно должно стать необходимой составной частью электрической изоляции машин и аппаратов. Применение стекловолокна и стекловолокнистой изоляции не следует ограничивать электрическими машинами с изоляцией классов Б и СБ и рабочей температурой  $180^{\circ}\text{C}$ . Эти виды изоляции следует шире использовать в машинах и аппаратах с изоляцией класса А. Использование в машинах и аппаратах с изоляцией класса А стекловолокнистых материалов вследствие их высокой влагостойкости, стойкости к тепловому старению и действию химических реагентов и благодаря их высокой механической прочности повысит надежность и увеличит сроки службы электротехнического оборудования.

Электротехническую промышленность следует полностью обеспечить тонкими стеклянными тканями и особенно стеклянными бумагами, что откроет еще более широкие перспективы для применения стекловолокнистой изоляции в электротехнике.

Большое и ответственное значение приобретают синтетические полимеры, которые используются в виде лаков для производства различных электроизолирующих материалов на основе стекла, слюды и асбеста, а также для пропитки изоляции, склеивания отдельных частей конструкции изоляции и для отделки поверхности как изоляции, так и металла. Они должны обеспечить максимальное использование свойств стекла и слюды.

Важное значение кремнийорганических полимеров для электрической изоляции сейчас является бесспорным. Выпускаемые на кремнийорганических полимерах теплостойкие диэлектрики с использованием стекловолокнистых материалов и слюды получили признание и нашли широкое применение в электротехнической промышленности [Л. 1]. Однако еще далеко не использованы большие возможности, предоставляемые этими полимерами.

Сочетание у кремнийорганических полимеров высокой теплостойкости, влагостойкости и малое их старение иллюстрируют рис. 1 и 2. На рис. 1 показана зависимость удельного объемного сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь от температуры для полифенилдиметилсилоксановой смолы, нанесенной в виде пленки  $0,15\text{ мм}$  на стеклянную ткань толщиной  $0,04\text{ мм}$ .

На рис. 2 показана зависимость электрической прочности  $E$  полифенилдиметилсилоксановой смолы, нанесенной на стеклянную ткань, от времени старения при последующем испытании образцов в сухом состоянии (кривая 1), после суток выдержки в воде (кривая 2) и после выдержки в воде в течение 5 суток (кривая 3). Электриче-

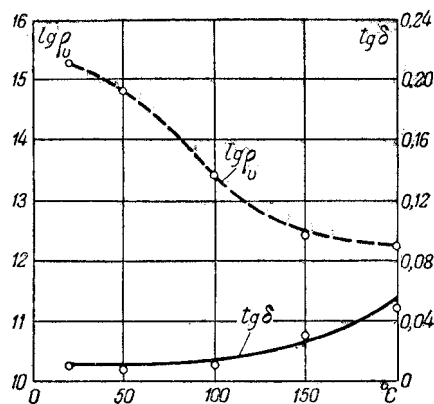


Рис. 1. Удельное объемное сопротивление и тангенс угла потерь в зависимости от температуры полифенилдиметилсилоксановой смолы в виде пленки  $0,15\text{ мм}$ , нанесенной на стеклянную ткань толщиной  $0,04\text{ мм}$ .

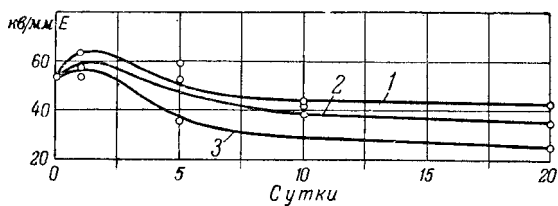


Рис. 2. Электрическая прочность полифенилдиметилсилоксановой смолы, нанесенной на стеклянную ткань, в зависимости от времени старения при температуре 200° С. 1—испытание образцов производилось в сухом состоянии; 2—после суток выдержки в воде; 3 — после 5 суток выдержки в воде.

ская прочность  $E$ , тангенс угла диэлектрических потерь и удельное объемное сопротивление полифенилдиметилсилоксановой смолы в зависимости от времени пребывания в воде показаны на рис. 3.

Из приведенных данных видно, что полифенилдиметилсилоксановая смола обладает комплексом высоких качеств, необходимых для диэлектрика, работающего в электротехнических устройствах. Следует указать, что высокие электрические свойства этого полимера сохраняются на высоком уровне не только после действия воды, но и при попеременном действии высокой температуры и воды.

Особый интерес приобретают кремнийорганические каучуки, которые имеют высокую электрическую прочность, высокое удельное объемное сопротивление, малые диэлектрические потери. Эти свойства каучуков также мало изменяются с температурой. Обладая высокой эластичностью и упругостью, кремнийорганические каучуки легко выдерживают деформации, связанные с растяжением и сокращением материала в процессе эксплуатации. Исключительная их теплостойкость и стойкость к действию короны и скользящих электрических разрядов позволяют их широко использовать не только для изоляции проводов и кабелей, но и для получения электроизолирующих материалов, которые можно использовать в качестве основной изоляции в крупном электромашиностроении.

На рис. 4 сопоставлены зависимости от температуры тангенса угла диэлектрических потерь при

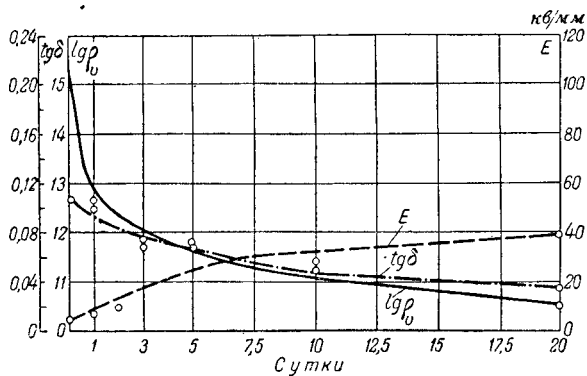


Рис. 3. Электрическая прочность  $E$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  и логарифм удельного объемного сопротивления  $lg\rho_v$  в зависимости от времени пребывания в воде.

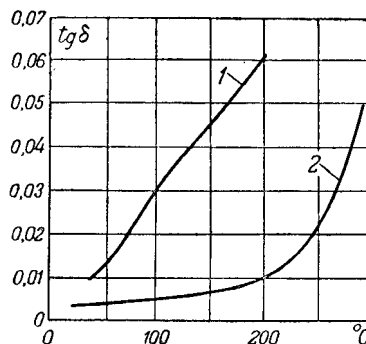


Рис. 4. Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 800 гц натурального каучука (1) и полидиметилсилоксанового (2) в зависимости от температуры.

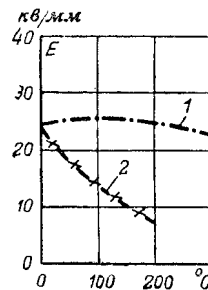


Рис. 5. Электрическая прочность полидиметилсилоксанового (с  $SiO_2$ , кривая 1) и теплостойкого органического синтетического каучука (2) в зависимости от температуры.

800 гц кремнийорганического и натурального каучуков, а на рис. 5 даны аналогичные зависимости для электрической прочности. Как видно, электрическая прочность и тангенс угла диэлектрических потерь кремнийорганического каучука мало изменяются с температурой; до 200° С электрическая прочность кремнийорганического каучука практически вовсе не изменяется (кривая 2, рис. 4), в то время как у органического каучука она падает примерно в 2 раза уже при 100° С. Тангенс угла диэлектрических потерь кремнийорганического каучука достигает 30% при 260° С, а натурального каучука уже при 100° С.

Эластомерная изоляция из кремнийорганического каучука, применяемая для изоляции проводов, обладает высокой тепловой устойчивостью, что можно иллюстрировать экспериментальными данными о старении изоляции провода (рис. 6). После старения в течение 300 суток при 180° С снижения электрической прочности этой изоляции не наблюдается, что показывает на отсутствие разрушения изоляции или образование в ней трещин, которые немедленно сказались бы на электрической прочности, так как испытания проводов проводились в воде. Только старение при 220° С (кривая 3, рис. 6) после 300 суток приводит к незначительному снижению электрической прочности. На рис. 7 показано изменение сопротивления эластомерной изоляции проводов в зависимости от времени старения при различных температурах. Из рисунка видно, что после старения изоляции в течение 300 суток как при 180° С, так и при 220° С не наблюдается изменения сопротивления изоляции провода.

Большое революционизирующее влияние теплостойкие кремнийорганические полимеры (смолы и каучуки) оказали на развитие слюдяной изоляции. Совсем недавно большинство разновидностей слюдяной изоляции (миканитов), применяемых в электротехнической промышленности, выполнялось из пластинок слюды, связанных между собой смолой. В этой изоляции, даже после полного старения связующего, пластины слюды, находясь в зажатом состоянии, обеспечивали работу машины. Использование мелких чешуек слюды для

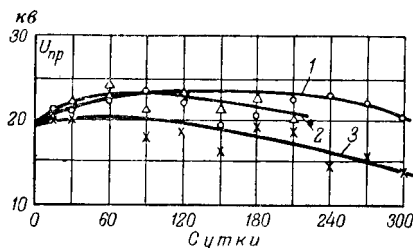


Рис. 6. Пробивное напряжение эластомеровой изоляции проводов в зависимости от времени старения при различных температурах (пробивное напряжение определялось в момент погружения изоляции в воду).

1 — старение при 180° С; 2 — при 200° С и 3 — при 220° С.

получения новой высококачественной изоляции, заменяющей миканиты из пластин слюды, увеличило ответственность связующих веществ. В новой изоляции связующее заполняет воздушное пространство между мелкими чешуйками слюды, цементирует их, увеличивая при этом прочность материала, и создает «непрерывный» — монолитный материал. Любое нарушение непрерывности материала вследствие старения или улетучивания какой-либо из его составляющих может привести к резкому изменению свойств, особенно электрических, после воздействия на материал влаги. В материалах, содержащих стекло, слюду, полимеры всегда являются более чувствительными к старению и разрушению, поэтому при использовании микрочешуек слюды для изолирующих материалов полимеры следует выбирать тщательно. В последнее пятилетие ВЭИ, ЦНИИБ и ЦНИИ-Асбоцемент совместно разработали изолирующие материалы для изоляции машин и аппаратов из мелких чешуек слюды, стекловолоконистых материалов и теплостойких связующих под названием слюдиниты.

Укажем на основные свойства некоторых из этих материалов.

Коллекторный слюдинит отличается равномерностью по толщине, однородной структурой и плотностью. При длительном воздействии температуры 200 и 250° С потери в весе составляют 2...3% от веса связующего состава, входящего в состав слюдинита, и механическая прочность материала сохраняется. Коллекторный миканит из пластин слюды при таких испытаниях (связующее — шеллак или глифталь) рассыпается.

Водопоглощаемость за 24 часа в исходном состоянии составляет до 10%, влагопоглощаемость

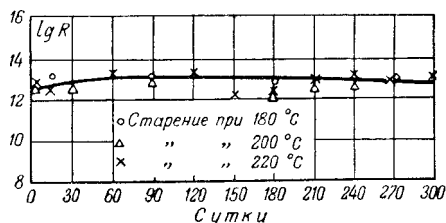


Рис. 7. Сопротивление эластомеровой изоляции проводов в зависимости от времени старения при различных температурах (сопротивление изоляции измерялось в момент погружения в воду).

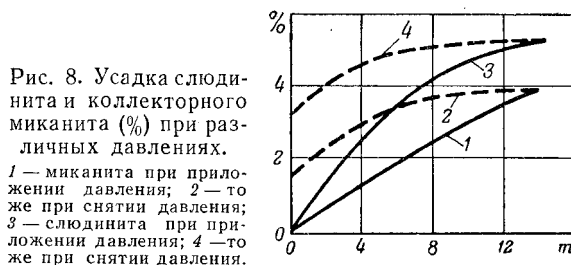


Рис. 8. Усадка слюдинита и коллекторного миканита (%) при различных давлениях.

1 — миканита при приложении давления; 2 — то же при снятии давления; 3 — слюдинита при приложении давления; 4 — то же при снятии давления.

после воздействия температуры 250° С в течение 960 час — 0,3%, водопоглощаемость за 24 и 120 час составляет соответственно 0,5 и 0,7%. Коллекторный и прокладочный миканит при этих условиях испытания распадаются на отдельные кристаллы слюды. Усадка слюдинита и миканита показана на рис. 8.

Формовочный стеклослюдинит при нагреве отличается хорошей формруемостью и позволяет изготавливать изделия сложной формы, большой однородности и равномерных по толщине. Зависимость электрической прочности формовочного стеклослюдинита от температуры показана на рис. 9, а удельного объемного сопротивления после старения и увлажнения — на рис. 10.

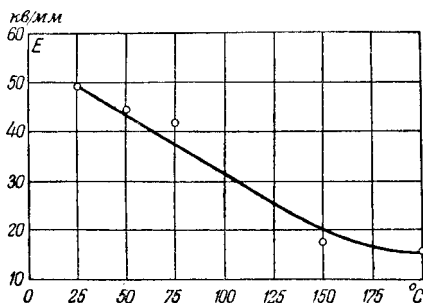


Рис. 9. Электрическая прочность формовочного стеклослюдинита в зависимости от температуры.

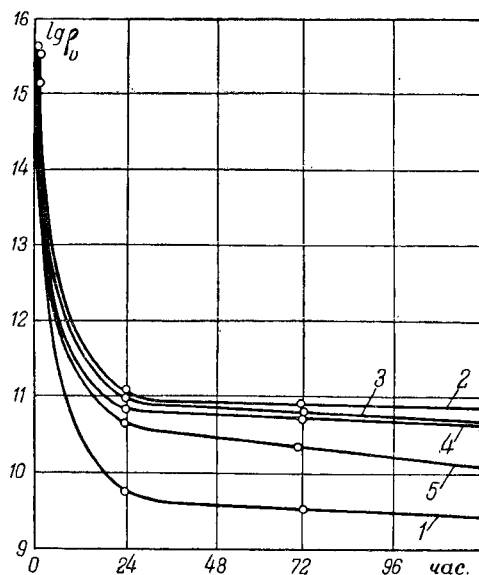


Рис. 10. Удельное объемное сопротивление формовочного стеклослюдинита после старения (при 200° С) и увлажнения ( $\rho_v$  в Ом·см). 1 — исходное состояние; 2 — 24 часа старения; 3 — 72; 4 — 120 и 5 — 240 час старения.



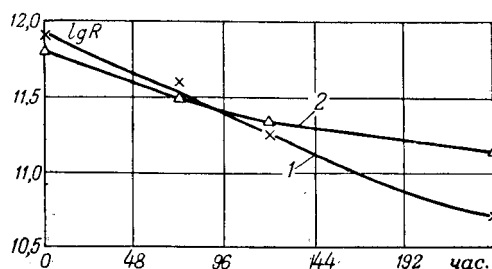


Рис. 11. Сопротивление изоляции стержней, выполненной на кремнийорганическом связующем, в зависимости от времени увлажнения ( $R$  в омах).

1 — стеклослюдаинитовая лента; 2 — стеклошпономикалента.

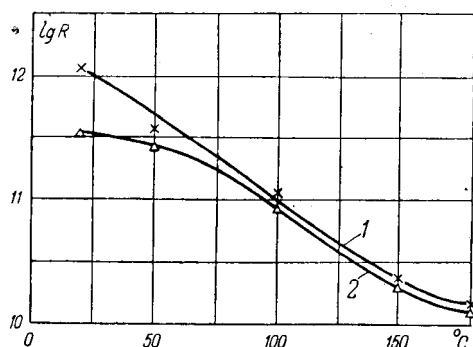


Рис. 12. Сопротивление изоляции стержней, выполненной на кремнийорганическом связующем, в зависимости от температуры.

1 — стеклослюдаинитовая лента; 2 — стеклошпономикалента ( $R$  в омах).

Стеглослюдаинитовая лента отличается равномерностью по толщине и высокой эластичностью. По своей электрической прочности она значительно превосходит стекломикаленту. Стеглослюдаинитовая лента обладает высокой нагревостойкостью. Зависимость от температуры и увлажнения сопротивления стержней, изолированных стеклослюдаинитовой лентой и стеклошпономикалентой из пластин слюды, приведена на рис. 11 и 12. Изменение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции стержней от температуры показано на рис. 13.

Приведенные данные показывают, что стеклослюдаиниты являются перспективными материалами, особенно для изоляции электрических машин и аппаратов. Эти материалы должны занять важное место как высококачественные полноценные заменители миканитовой изоляции во многих машинах.

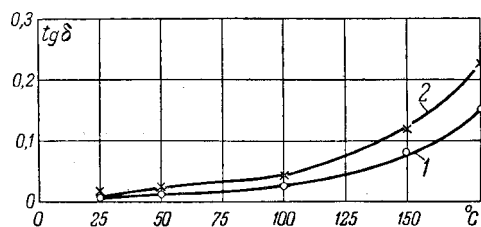


Рис. 13. Тангенс угла диэлектрических потерь стеклослюдаинитовой ленты (1) и стеклошпономикаленты (2) на кремнийорганическом связующем в зависимости от температуры.

Для усиления межвитковой изоляции электрических машин и аппаратов следует шире использовать теплостойкие кремнийорганические полимеры для подклейки и пропитки стеклянного волокна в производстве обмоточных проводов марок ПСДК и ПЭТКСО.

**Синтетические органические полимеры.** Усовершенствование физических и электрических свойств органических смол и особенно синтез новых органических полимерных веществ может обеспечить большой прогресс в изоляции многих важнейших типов машин и аппаратов. Многие органические синтетические полимеры используются в виде пластических масс, пленок (триацетатцеллюлоза), эмальяков (поливинилацетали) и т. д. Однако следует более широко использовать их в качестве диэлектриков в электротехнике.

Разработанные поливинилацеталиевые смолы применяются для получения проводов с эмалевой изоляцией. Эмали обладают высокой механической прочностью. Провода, известные под марками ПЭВ-2 и ПЭМ-2, можно применять, не опасаясь механических повреждений в процессе закладки обмотки в пазы сердечников электрических машин. Преимущество механических свойств эмалированных проводов на синтетической поливинилацеталиевой основе по сравнению с изоляцией на масляных лаках иллюстрируют их основные характеристики, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Марка провода	Диаметр провода, мм	Удлинение, %, после прогрева при:		Прочность на истирание		Прочность на истирание после пребывания провода 7 суток в воде
		125° С (7 суток)	150° С (3 суток)	без прогрева	после прогрева при 125° С (4 суток)	
ПЭЛ	0,5	5	3	5	10	4
	0,67	4	2	14	28	8
ПЭВ-2	0,35	50	50	20	92	27
	0,69	33	50	58	80	34

По своей теплостойкости провода относятся к классу изоляции А, хотя они могут успешно применяться в специальных случаях в качестве обмоточных проводов для машин, рассчитанных на изоляцию класса Б. Поливинилацеталиевые эмали способны длительно выдерживать температуру 120° С. Электрические свойства эмальпроводов на поливинилацеталиевых эмалях также высокие. Характерной особенностью эмалей из поливинилацеталиевых полимеров — это стабильность их свойств во времени. Важное значение для эмальпроводов должны получить кремнийорганические полимеры и эпоксидные смолы. Они должны обеспечить работу эмальпроводов при более высоких температурах — 150 и 180° С.

Синтезированы новые полиэфирные смолы, среди них большого внимания заслуживают полимеры на основе парафталевой кислоты и гликолей. Эти полимеры, разработанные в Академии наук СССР и известные под названием «лавсан». Пленки из этих полимеров имеют высокие элек-

Таблица 2

Свойства пленок из синтетических полимеров толщиной 0,05 . . . 0,025 мм

Характеристика	Из полиэтилен-терефталата «лавсан»	Ацетилцеллюлозная	Полиэтиленовая
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	3,0 . . . 3,4	3,5 . . . 6,5	2,25
Электрическая прочность, <i>кв/мм</i> . . . . .	80 . . . 120	60 . . . 100	50 . . . 80
Удельное объемное сопротивление, <i>ом·см</i> . . . . .	$10^{15}$ . . . $10^{19}$	$10^{12}$ . . . $10^{15}$	$10^{12}$ . . . $10^{16}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 50 <i>гц</i> . . . . .	0,002 . . . 0,006	0,04 . . . 0,08	0,0001 . . . 0,0005
Прочность на разрыв при 25°, <i>кг/см<sup>2</sup></i> . . . . .	1'200 . . . 2'000	—	—

трические свойства и обладают большой прочностью на разрыв и устойчивы к надрыву. Некоторые свойства пленок из различных синтетических полимеров приведены в табл. 2.

Полиэтилентерефталат относится к классу изоляции А, однако в сочетании со стеклом и слюдой его можно использовать для класса изоляции В. Эти пленки можно широко применить для пазовой изоляции машин, где они позволяют уменьшить толщину изоляции [Л. 2]. Такие пленки можно применять для обмотки катушек двигателей постоянного тока и т. д.

Полиэфирные смолы на основе непредельных кислот позволяют получать различные сополимеры с непредельными соединениями. В такие непредельные полимеры вводятся непредельные соединения, и полиэфир растворяется в них. Такой раствор (компаунд) используют для пропитки тканей, изоляции обмоток трансформаторов и машин. После нагревания компаунды полимеризуются в обмотке, образуя монолитные системы, так как непредельное соединение, являясь растворителем полиэфира, одновременно вступает в реакцию с полиэфиром, образуя сополимер. Применение таких компаундов обеспечивает получение монолитной обмотки, так как компаунд переходит в неплавкое и нерастворимое состояние. Такие полиэфирные компаунды при использовании их для пропитки изоляции крупных машин позво-

ляют повысить температуру размягчения, электрические свойства обмотки при рабочих температурах и, таким образом, увеличить надежность работы машины.

На рис. 14 показана зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры статорной обмотки на 6 *кв*, выполненной из микалентной компаундированной битумом изоляции и стекломикалентной изоляции на терморективном полиэфирном и кремнийорганическом связующих.

Наряду с полиэфирными смолами как диэлектрики заслуживают большого внимания также эпоксидные полимеры, получаемые конденсацией диоксифенилпропана и эпихлоргидрина. Эти полимеры начинают приобретать большое значение для получения клеев и поверхностных покрытий, но они представляют большой интерес и для электрической изоляции [Л. 3]. Эпоксидные полимеры можно получать в виде низкомолекулярных продуктов, содержащих активные эпоксидные группы, которые при нагревании или введении различных соединений, содержащих подвижный водород (амины, кислоты), легко переходят в неплавкое и нерастворимое состояние. В отличие от фенольноформальдегидных смол, где переход в твердое состояние связан с выделением летучих низкомолекулярных продуктов, у эпоксидных смол этот химический процесс протекает без выделения летучих, а следовательно, можно осуществить переход без давления и получать монолитные, не содержащие пор и газообразных включений материалы.

Следует отметить еще одно важное свойство эпоксидных смол: при переходе в твердое состояние они дают очень небольшую усадку материала, что позволяет их широко использовать для получения заливочных компаундов для изоляции трансформаторов тока и напряжения, где изоляция одновременно может служить и корпусом трансформаторов. Электрические свойства эпоксидных смол высокие (табл. 3), поэтому их можно использовать для заливочных компаундов и для изоляции трансформаторов на высокие напряжения.

Эпоксидные смолы, так же как и полиэфирные, представляют большой интерес для получения слоистых диэлектриков таких, как стеклотекстолиты, при меньших давлениях прессования, чем этого требуют применяемые для этих целей фенольноформальдегидные смолы.

Стеклотекстолит и намоточные изделия из стеклянной ткани, цилиндры и трубки представ-

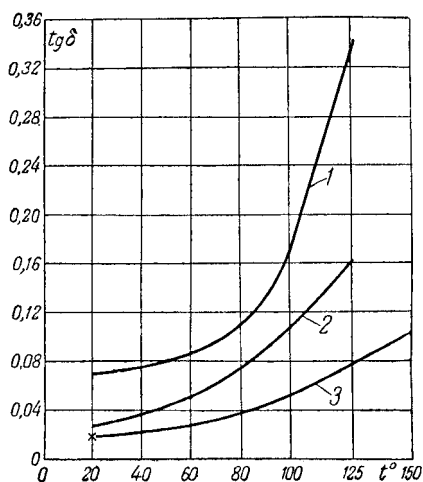


Рис. 14. Тангенс угла диэлектрических потерь в зависимости от температуры статорной обмотки на 6 *кв*, выполненной на различных подложках и связующих.

1 — изоляция на микаленте, компаундированная битумом; 2 — изоляция на стекломикаленте, компаундированная битумом; 3 — изоляция на стекломикаленте с кремнийорганическим терморективным связующим.

Таблица 3

Характеристика	Значение
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте $10^2 \dots 10^4$ гц . . . . .	0,001 . . . 0,002
То же при $10^5 \dots 10^8$ гц . . . . .	Около 0,025
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	3,5 . . . 3,8
Удельное объемное сопротивление, ом · см, при температуре, °С:	
25 . . . . .	$8 \cdot 10^{14}$
100 . . . . .	$1 \cdot 10^{12}$
125 . . . . .	$2 \cdot 10^{10}$

полимеров со структурой молекул, обеспечивающей этим синтетикам большие перспективы в качестве диэлектриков для работы при высоких и сверхвысоких частотах. Кроме широко известного полистирола, среди этих полимеров стали приобретать большое значение полиэтилен, политетрафторэтилен (фторопласт-4) и политрифторхлорэтилен (фторопласт-3) [Л. 5]. Свойства их приведены в табл. 5. Наряду с высокочастотной керамикой, эти полимеры должны играть большую роль при решении вопросов изоляции радиоаппаратуры.

Таблица 4

Механические и электрические свойства стеклотекстолитов на различных связующих

Техническая характеристика	См о л а			
	фенольноформальдегидная	полиэфирная	эпоксидная	кремнийорганическая
Прочность на разрыв, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	1 400 . . . 1 750	1 900 . . . 2 050	1 870	1 000 . . . 1 100
Прочность на сжатие, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	3 150 . . . 3 500	3 650 . . . 3 800	3 240	2 450 . . . 2 800
Прочность на изгиб, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	1 400 . . . 1 750	2 200 . . . 2 750	2 100	1 050 . . . 1 750
Электрическая прочность при 20°С, кв/мм . . . . .	6,0 . . . 8,0	9 . . . 12	9 . . . 13	10,0 . . . 12,0
Водопоглощение за 24 часа (%) при толщине, мм:				
3,2 . . . . .	0,3 . . . 0,5	1,75	0,9	0,5 . . . 0,7
12,5 . . . . .	—	—	0,6	0,3 . . . 0,4

Таблица 5

Свойства диэлектриков	Полистирол	Полиэтилен	Политетрафторэтилен (фторопласт-4)	Политрифторхлорэтилен (фторопласт-3)
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	400 . . . 450	200 . . . 250	140 . . . 200	350 . . . 400
Удельное объемное расширение, ом · см . . . . .	$10^{15}$ . . . $10^{16}$	$10^{15}$ . . . $10^{17}$	$1,9 \cdot 10^{16}$	$1,2 \cdot 10^{18}$
Электрическая прочность образцов 4 мм толщины, кв/мм . . . . .	25 . . . 40	25 . . . 35	25 . . . 27	13
Тангенс угла диэлектрических потерь при:				
50 гц . . . . .	0,0002 . . . 0,0005	0,0001 . . . 0,0002	0,0002 . . . 0,0003	0,015
10 <sup>6</sup> гц . . . . .	0,0002 . . . 0,0005	0,0001 . . . 0,0004	0,0002 . . . 0,0003	0,010
Предельная рабочая температура, °С . . . . .	85	100	250	150

ляют большой интерес для производства сухих трансформаторов и аппаратуры. Качество стеклотекстолита зависит от связующего. В табл. 4 показано влияние синтетических полимеров на свойства стеклотекстолита [Л. 4].

Многие из рассмотренных выше синтетических полимеров можно использовать как диэлектрики не только в полях технической частоты, но и в полях высоких частот. К ним относятся кремнийорганические полимеры, эпоксидные смолы и др. В последние годы появился ряд синтетических

Литература

1. К. А. Андрианов и В. И. Калистьянский. Применение кремнийорганической изоляции в электрических машинах. Электричество, № 4, 1955.
2. D. W. Flierl. Ind. Eng. Chem., стр. 2290, октябрь 1953.
3. E. S. Parracott. British Plastics, стр. 34, 1951; E. Javitz. Electr. Manufact., декабрь 1951.
4. English Electric Journ., т. XII, стр. 160, 1953.
5. Фторопласты. Под редакцией М. И. Гарбера. Госхимиздат, Ленинград, 1954.

[20. 4. 1955]



# Развитие отечественного конденсаторостроения

Доктор техн. наук В. Т. РЕННЕ

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

Электрический конденсатор впервые появился в середине XVIII в., более 200 лет назад. Первые сведения о применении конденсаторов в России относятся к 1752 г.: М. В. Ломоносов и Г. И. Рихтер применили стеклянные конденсаторы в опытах по изучению атмосферного электричества. Тогда же Ф. У. Эпинус первый дал правильное объяснение действию конденсатора и изготовил первый конденсатор с иным диэлектриком, чем стекло, — воздушный конденсатор.

Конденсатор был предложен значительно раньше, чем электричество получило широкое применение в технике, и в течение 100 лет он служил лишь физическим прибором лабораторного типа. Только в середине XIX в., когда начала складываться электротехника, появилась потребность в конденсаторах как электротехническом устройстве. В 1877 г. П. Н. Яблочков получает первый патент на применение конденсаторов в схемах электрического освещения. В патенте, наряду со стеклянными конденсаторами, предлагается использовать и бумажные, с диэлектриком из парафинированной бумаги.

Изобретение радио А. С. Поповым (1895) резко расширило область применения конденсаторов и уже в первом десятилетии XX в. за рубежом создаются специализированные предприятия по конденсаторостроению. Относительно производства конденсаторов в дореволюционной России имеются лишь сведения, относящиеся к 1911 г., в Радиодепе Морского ведомства было налажено полукустарное производство конденсаторов, в том числе и слюдяных. Однако изучение свойств конденсаторов рано привлекало внимание русских ученых. В 1887 г. И. И. Боргман опубликовал работу по исследованию стеклянных конденсаторов, В. Ф. Миткевич (1902) описал один из первых электролитических конденсаторов.

Потребность в организации производства конденсаторов в Советском Союзе, в целях обеспечения ими аппаратуры связи, практически возникла сразу же после Октябрьской революции. В подсобных конденсаторных мастерских заводов «Красная заря», им. Козицкого и им. Орджоникидзе стали выпускать бумажные, слюдяные и воздушные конденсаторы.

Размеры производства сначала были ограничены потребностями того завода, при котором работала конденсаторная мастерская. Конденсаторы в основном изготавливались из импортного сырья, технология была отработана грубо, эмпирически и часто была очень примитивной.

В 30-х годах были проведены первые исследования по улучшению технологии и созданию методов расчета конденсаторов (М. А. Жилинский, В. Т. Ренне). Производство было переведено с импортного сырья на отечественное и тем самым открылась возможность его интенсивного развития. Были разработаны первые образцы бумажно-масляных конденсаторов силового типа (А. М. Кугушев, М. М. Морозов) и поставлено

их производство в Киевском политехническом институте и, несколько позднее, на Московском трансформаторном заводе. Появляются первые образцы керамических конденсаторов (Н. П. Богородицкий) и сухих электролитических конденсаторов, которые осваивались на заводе «Электросигнал» (В. Т. Ренне, Л. Н. Закгейм, С. С. Гутин, А. А. Петровский, И. И. Морозов). А. А. Горев ставит в Ленинградском политехническом институте производство высоковольтных бумажных конденсаторов для генераторов импульсов.

К началу Отечественной войны все известные в то время типы конденсаторов выпускались в СССР. Однако производство было распылено: конденсаторы изготавливали в подсобных цехах различных заводов электропромышленности или в мастерских при вузах. Но уже в годы войны были созданы два специализированных завода для массового производства силовых (завод «Конденсатор») и радиоконденсаторов. В годы послевоенных пятилеток специализированное промышленное конденсаторостроение получило большое развитие.

Перед советским конденсаторостроением сейчас стоит задача максимального внедрения механизации и автоматизации в производство в целях повышения производительности труда и увеличения съема продукции с единицы площади цехов. Одновременно следует также добиваться дальнейшего повышения качества продукции. Необходимо изыскать возможности резкого повышения удельных значений реактивной мощности и запаса энергии для силовых и высоковольтных конденсаторов. В области радиоконденсаторов важнейшими являются задачи повышения удельной емкости и верхнего предела рабочей температуры. Актуальной является также задача о повышении надежности в работе и удлинении сроков хранения всех типов конденсаторов. Рассмотрим успехи, достигнутые в направлении решения этих задач, и перспективы дальнейшего улучшения характеристик конденсаторов с различным типом диэлектрика.

В современной электротехнике главным образом применяются конденсаторы постоянной емкости с твердым диэлектриком. Стекло, использовавшееся ранее в конденсаторах монополюсно, уже в начале этого века было вытеснено из области высоких частот слюдой, а в диапазоне низких частот — пропитанной бумагой, что было обусловлено сравнительно низкой удельной реактивной мощностью стеклянных конденсаторов.

Как об этом можно судить на рис. 1, попытки применить для конденсаторов дорогостоящее специальное стекло «Минос» с пониженным углом потерь все же не дали такого улучшения характеристик конденсаторов этого типа, которое могло бы им удержаться в технике. Недавно была открыта новая возможность в использовании стекла в виде стекломали для изготовления высокочастотных низковольтных конденсаторов

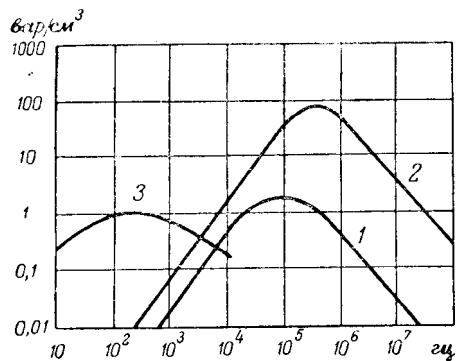


Рис. 1. Удельная реактивная мощность в зависимости от частоты для стеклянных (1), слюдяных (2) и бумажно-масляных конденсаторов (3) (в области низких частот преимущества на стороне бумажного конденсатора, а в области высоких частот — слюдяного).

небольшой емкости для радиоприемной аппаратуры. Характеристики стеклоэмалевых конденсаторов даны в табл. 1, а на рис. 2 они сопоставлены с характеристиками слюдяных и керамических конденсаторов. Стекло могло бы найти применение в производстве высоковольтных конденсаторов при условии разработки метода изготовления тонкого ленточного стекла, на возможность чего имеются указания в зарубежной литературе.

Слюда долгое время являлась основным диэлектриком в производстве всех типов высокочастотных конденсаторов. Значительное улучшение температурного коэффициента емкости слюдяных конденсаторов и повышение их стабильности во времени было достигнуто путем внедрения методов непосредственного серебрения слюды вместо применения обкладок из фольги. Это позволило также уменьшить габариты слюдяных конденсаторов за счет упрощения обжимок. Одно время можно было думать, что слюдяные фольговые конденсаторы полностью отомрут, уступив место серебряным конденсаторам. Однако позже было открыто отрицательное свойство серебряных электродов: возможность появления эффекта «мерцания», характеризующегося небольшими самопроизвольными колебаниями емкости при использовании конденсаторов в высокочастотных контурах. Кроме того, серебряные конденсаторы оказались малопригодными для применения при высоких напряжениях. Поэтому и сейчас в ряде случаев приходится использовать слюдяные конденсаторы с фольговыми обкладками, применяя для повышения их стабильности специальные методы.

В послевоенное время был освоен массовый выпуск стандартных слюдяных конденсаторов: опрессованных типа КСО и герметизированных типов КСГ и СГМ. Характеристики этих конденсаторов, резко улучшенные по сравнению с довоенными конструкциями, приведены в табл. 1.

Достижением последних лет явилась разработка слюдяных образцовых конденсаторов (Е. И. Михайлова), приближающихся по качеству к воздушным образцовым конденсаторам, но выгодно отличающихся малым объемом (табл. 2). Современный набор образцов емкости будет состоять из воздушных конденсаторов с емкостью

от 10 до 4 000  $\text{пф}$  и из слюдяных с емкостью от 4 000  $\text{пф}$  до 0,4  $\text{мкф}$ . От громоздких воздушных образцов емкостью от 10 000 до 200 000  $\text{пф}$  можно будет теперь отказаться.

Существенными недостатками слюды как диэлектрика для массового производства конденсаторов являются ее дороговизна и дефицитность. Поэтому остро стоит вопрос о внедрении в конденсаторостроение ее заменителей. С этой точки зрения большой интерес представляет вопрос о разработке методов получения синтетической слюды. Первые попытки решить эту задачу были направлены по линии применения пленок из бентонитовой глины. Эти пленки были забракованы по причине значительно увеличенных потерь. Однако в зарубежной литературе есть данные о применении одной из фирм таких пленок в конденсаторах постоянного напряжения. Большой интерес представляют сообщения о получении расщепляющихся кристаллов при охлаждении расплава в сильном поперечном магнитном поле, которые обладают диэлектрическими свойствами, в частности углом потерь, близким к слюде. Возможность применения таких материалов в конденсаторном производстве будет также зависеть и от экономических факторов.

Стандартные типы слюдяных конденсаторов рассчитаны на применение при температуре до  $70^\circ\text{C}$ . Слюда как диэлектрик может работать при значительно более высоких температурах. Поэтому в порядке дня стоит задача разработки такого конструктивного оформления слюдяных конденсаторов, которое позволило бы повысить их рабочую температуру до  $100 \dots 150^\circ\text{C}$ .

Массовое производство керамических конденсаторов было освоено только в послевоенный период (Н. П. Богородицкий, И. Д. Фридберг, Г. И. Сканави, Х. С. Валеев и др.). Керамика

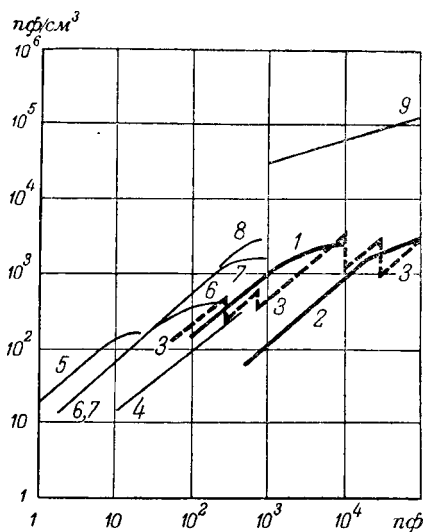


Рис. 2. Удельная емкость радиоcondensаторов на рабочем напряжении 250...500 в в зависимости от их номинальной емкости.

Слюдяные конденсаторы: 1 — типа СГМ; 2 — КСГ; 3 — КСО; 4 — стеклоэмалевые конденсаторы типа КС. Керамические конденсаторы из термокомпенсированной керамики: 5 — дисковые типа КДК; 6 — трубчатые типа КТК; 7 — трубчатые типа КЭТ из тиконда Т80; 8 — трубчатые типа КЭТ из титаната кальция Т150; 9 — типа Т7500 из сегнетозлектрической керамики, низкочастотные.

Таблица 1

Тип конденсатора	Рабочее напряжение (постоянный ток), в	Номинальная емкость, пф	Температурный коэффициент емкости ( $\times 10^6$ ), $\frac{1}{^\circ\text{C}}$	Нормальные условия		После увлажнения		Максимальная рабочая температура, $^\circ\text{C}$
				$\text{tg } \delta \times 10^4$	$R_{\text{из}}, \text{ мг/ом}$	$\text{tg } \delta \times 10^4$	$R_{\text{из}}, \text{ мг/ом}$	
Стеклоэмалевый КС . . . . .	500	10...510	+ 70	15	$2 \cdot 10^4$	25	$5 \cdot 10^3$	100
Слюдяной КСО . . . . .	250...500	$51 \dots 50 \cdot 10^3$	$\pm 50$	10	$7,5 \cdot 10^3$	20	$2,5 \cdot 10^3$	70
Слюдяной КСО . . . . .	1 000...3 000	$47 \dots 25 \cdot 10^3$	$\pm 100$ $\pm 200$					
Слюдяной КСО <sup>1</sup> . . . . .	3 000...7 000	10...5 900	—	10	$7,5 \cdot 10^3$	20	$2,5 \cdot 10^3$	70
Слюдяной СГМ . . . . .	250...1 500	100...10 000	$\pm 50$	10	$7,5 \cdot 10^3$	20	$2,5 \cdot 10^3$	70
Слюдяной КСГ . . . . .	500...1 000	$470 \dots 100 \cdot 10^3$	$\pm 50$	10	$7,5 \cdot 10^3$	20	$2,5 \cdot 10^3$	70
Керамический КДК . . . . .	500	2...100	-570	12	$10^4$	25	500	80
		1...20	-50					
		1...15	+30					
		1...10	+110					
Керамический КТК . . . . .	500	2...1 000	-730	12	$10^4$	25	500	80
		2... 240	-50					
		2... 120	+30					
		2... 100	+110					
Керамический КЭД . . . . .	250	30... 360	-1 500	12	$10^4$	25	1 000	80
Сегнетовый КЭДС . . . . .	250	1 000...6 800	—	400	$10^4$	500	1 000	60

<sup>1</sup> Конденсаторы с обкладками из фольги; температурный коэффициент емкости не нормируется.

Таблица 2

Тип конденсатора	Номинальная емкость, пф	Допускаемая погрешность по емкости, %	Температурный коэффициент емкости ( $\times 10^6$ ), $\frac{1}{^\circ\text{C}}$	$\text{tg } \delta \times 10^4$	Стабильность емкости, %	Размеры, мм
Воздушный образцовый:						
КВМ . . . . .	50...400	0,1	100	1	0,01	$\varnothing 210 \times 80$
КВС . . . . .	1 000...4 000	0,1	100	1	0,01	$\varnothing 290 \times 155$
Слюдяной образцовый:						
1-й класс . . . . .	4 000...400 000	0,05	50	5	0,02	$\varnothing 135 \times 60$
2-й класс . . . . .	1 000...100 000	0,25	50	5	0,05	$110 \times 58 \times 45$
2-й класс . . . . .	200 000...400 000	0,25	50	5	0,05	$130 \times 78 \times 55$

представляет большой интерес для конденсаторного производства как стабильный высокочастотный диэлектрик, позволяющий получить широкую гамму значений диэлектрической проницаемости при температурном коэффициенте емкости как положительном, так и отрицательном, а также близком к нулю.

Конденсаторные керамические материалы —

интенсивно развивающаяся область электроматериаловедения, которая таит в себе еще много новых возможностей для конденсаторостроения. Керамические конденсаторы могут изготавливаться в различных конструктивных формах как для низкого, так и для высокого напряжения (рис. 3). В отличие от слюдяных, керамические высоковольтные конденсаторы можно изготавливать, не

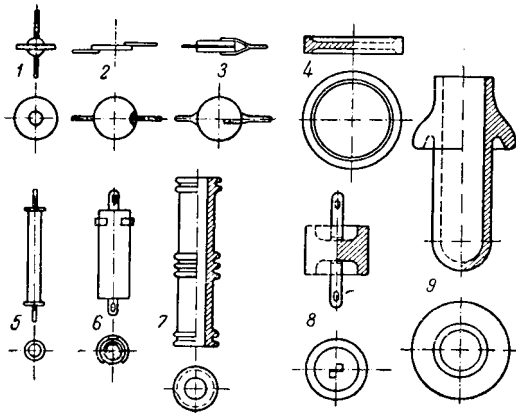


Рис. 3. Конструкции современных керамических конденсаторов.

1, 2 — дисковые конденсаторы низкого напряжения; 3 — блок из двух дисков; 4 — дисковый на высокое напряжение; 5 — трубчатые конденсаторы на низкое напряжение; 6 — на среднее и 7 — на высокое напряжение; 8 — боеночный и 9 — горшковый конденсаторы для высокого напряжения.

прибегая к последовательному соединению многих секций, а за счет изменения толщины материала у края обкладок, что приводит к выравниванию краевого поля и повышению напряжения начала короны. В частности, конденсаторы горшкового типа изготавливаются на испытательное напряжение до 50 кв.

Обычные типы конденсаторной высокочастотной керамики имеют диэлектрическую проницаемость до 150, что много выше, чем у слюды. Однако получение больших значений удельной емкости для керамических конденсаторов ограничено возможно достижимыми в массовом производстве минимальными толщинами материала (для керамики — до 0,3 ... 0,5 мм, для слюды — до 0,02 ... 0,025 мм). Кроме того, у обычной конструктивной формы керамического конденсатора трубки имеется паразитный объем внутреннего отверстия, не участвующий в создании емкости. Поэтому удельные емкости керамических конденсаторов выше слюдяных только при относительно малых емкостях (рис. 2).

Равноценную замену слюдяного низковольтного конденсатора (по электрическим характеристикам) керамическим конденсатором можно осуществить только в случае термокомпенсированной керамики (табл. 1). Такая керамика имеет  $\epsilon = 20 \dots 30$  и позволяет получать емкости только до нескольких сотен пикофард. Тикондовая керамика дает емкость до 1 000 пф, но она уступает слюде по значению температурного коэффициента емкости, хотя угол потерь и стабильность того же порядка, что и у слюдяных конденсаторов. Таким образом, в настоящее время вопрос о возможности замены слюдяных низковольтных конденсаторов керамическими при емкостях порядка тысяч и десятков тысяч пикофард остался еще нерешенным. Стеклоэмалевые конденсаторы, которые по данным табл. 1 близки к слюдяным по своим характеристикам, тоже могут заменять слюдяные лишь при небольших значениях емкости.

Слюдяные конденсаторы повышенной мощности, применявшиеся в контурах высокочастотных

установок для нагрева металла, где от конденсатора не требуется очень малого температурного коэффициента, были с успехом заменены керамическими горшковыми конденсаторами с водяным охлаждением (Х. С. Валеев). Преимущества водяного охлаждения как средства повышения удельной реактивной мощности конденсаторов демонстрирует рис. 4, на котором сопоставлены батареи германских дисковых конденсаторов с воздушным охлаждением мощностью 400 квар и батарея отечественных горшковых конденсаторов с водяным охлаждением мощностью 1 200 квар

Обычные керамические конденсаторы стандартного типа рассчитаны на работу при температуре до 80° С. В настоящее время актуальным является вопрос о повышении их рабочей температуры до 100 ... 150° С. Казалось бы, что керамика, которая проходит обжиг при температуре порядка 1 300 ... 1 400° С, должна легко выдерживать такое небольшое повышение температуры. Однако есть основание полагать, что не все керамические материалы могут успешно и длительно работать при указанных значениях температуры при одновременном воздействии электрического поля, а потому этот вопрос требует дополнительной разработки.

Как отмечено выше, для обычной керамики в лучшем случае  $\epsilon = 150$  (титанат кальция). В 1945 г. было показано, что может быть получен керамический материал с гораздо более высоким значением  $\epsilon$ , превышающем 1 000, за счет наличия в такой керамике явления спонтанной поляризации (Б. М. Вул и Г. И. Сканиви).

Этот материал — титанат бария — известен под названием «Тибар». В настоящее время получен ряд материалов этого типа, объединяемых общим названием сегнетоэлектриков, по сходству с сегнетовой солью — первым материалом, для которого была обнаружена спонтанная поляризация. В промышленность внедряется подобный материал, имеющий казавшееся ранее невероятным значение  $\epsilon$  до 7 500. Можно было предполагать, что применение материалов с таки-

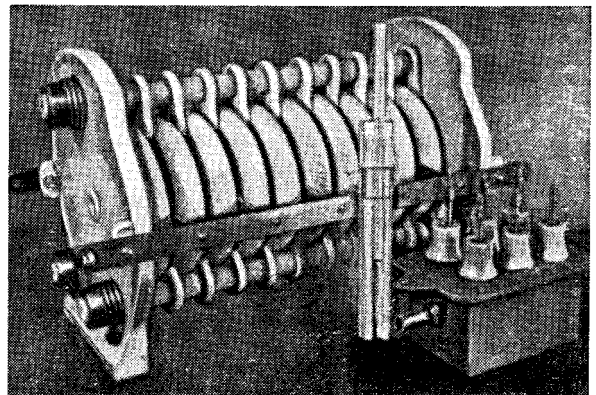


Рис. 4. Снижение удельного объема мощных высокочастотных конденсаторов при помощи водяного охлаждения. Слева батарея германских дисковых конденсаторов с естественным воздушным охлаждением на 400 квар; справа батарея отечественных горшковых конденсаторов с водяным охлаждением на 1 200 квар.

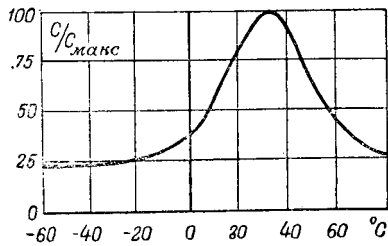


Рис. 5. Емкость сегнетокерамического конденсатора из массы Т7500 в зависимости от температуры.

ми сверхвысокими значениями диэлектрической проницаемости приведет к перевороту в конденсаторостроении. Однако до последнего времени конденсаторы из такого материала в форме обычных керамических трубочек изготавливались с емкостью всего лишь до 0,1 мкф. Параллельное соединение трубочек в виде «сот» для получения более высоких значений емкости не особенно выгодно, так как кроме неиспользуемого объема внутри трубочек еще появляется неиспользуемый объем между трубочками. В результате удельная емкость таких конденсаторов оказывается того же порядка, что и бумажных. Увеличение удельной емкости конденсаторов из сегнетокерамики может быть получено за счет применения тонких дисков, собранных в виде стопки и соединенных параллельно. Опытные образцы такого типа, изготовленные Д. М. Казарновским, позволили получить удельную емкость порядка 0,33 мкф/см<sup>3</sup>, в то время как металлобумажный конденсатор типа МБГ дает значение 0,22 мкф/см<sup>3</sup>. Максимальное значение емкости для таких конденсаторов было получено до 5 мкф. Следует, однако, отметить, что по электрическим характеристикам сегнетоэлектрические конденсаторы уступают бумажным: при небольших напряжениях их тангенс угла потерь составляет 0,01...0,02, но при повышении напряжения он достигает 0,1...0,2; емкость сильно зависит от температуры (рис. 5) — при крайних значениях рабочей температуры емкость может снизиться до 25% от максимального значения; также возможно постепенное снижение емкости на 15...20% со временем. Таким образом, по стабильности такие конденсаторы уступают даже электролитическим, с которыми они не могут также конкурировать по значению удельной емкости. Поэтому в настоящее время изготовление сегнетокерамических конденсаторов большой емкости является малоцелесообразным. Технический интерес представляет изготовление из такого материала конденсаторов сравнительно небольшой емкости, но очень малых размеров, в частности, для использования в качестве «навесных» конденсаторов в радиоаппаратуре, изготавливаемой методом печатных схем. Так, дисковый конденсатор диаметром 4 мм может быть изготовлен с емкостью 1000 пф, тогда как при старых типах керамики и диаметре диска 8 мм удавалось получать емкость только до 20 пф.

Прогресс в деле разработки керамики со сверхвысокой диэлектрической проницаемостью может изменить положение с применением по-

добных материалов в конденсаторостроении. В частности, можно ожидать определенных успехов по снижению температурной зависимости емкости, улучшения стабильности и других электрических характеристик. Все же маловероятно, чтобы керамика подобного типа смогла выдержать конкуренцию при изготовлении конденсаторов большой емкости не только с электролитическими конденсаторами, но и с конденсаторами намотанного типа с диэлектриком из бумаги или синтетических пленок.

Особый интерес представляет свойственная сегнетокерамике зависимость диэлектрической проницаемости от напряженности поля, придающая конденсаторам нелинейные свойства. Это свойство обеспечивает конденсаторам этого типа в будущем широкое применение в схемах диэлектрических усилителей, умножителей частоты, стабилизаторов напряжения и в ряде других подобных устройств. Внедрение «нелинейных» конденсаторов, специально предназначенных для работы в устройствах, подобных перечисленным, составляет одну из важных задач отечественного производства керамических конденсаторов.

Как уже отмечалось, пропитанная бумага по времени ее применения в конденсаторостроении является одним из самых старых диэлектриков. Бумагу уже использовали в конденсаторах в конце прошлого века. Этот диэлектрик до сих пор имеет в конденсаторном производстве очень большое значение. В производстве силовых конденсаторов для работы при технической частоте пропитанная бумага сохраняет практически монопольное положение. Бумага является также основным диэлектриком для импульсных конденсаторов высокого напряжения и широко применяется в ряде типов радиоконденсаторов, работающих в цепях низкой частоты или постоянного напряжения. Широкое применение конденсаторной бумаги обусловлено удачным сочетанием ряда ее свойств, прежде всего высокой электрической и механической прочностью при малых значениях толщины (до 5...6 мкм). Прочность конденсаторной бумаги при продольном разрыве составляет до 1000 кг/см<sup>2</sup>; при пропитке жидким диэлектриком кратковременная электрическая прочность на постоянном токе, даже при большой площади обкладок, доходит до 300...350 кВ/мм.

Рабочая напряженность поля при частоте 50 гц в бумажных силовых конденсаторах составляет 12...13 кВ/мм, что намного превышает допустимую рабочую напряженность для керамических конденсаторов. При длительном воздействии постоянного напряжения допускается напряженность поля до 30...35 кВ/мм, а в производстве высоковольтных конденсаторов для генераторов импульсов (ГИИ) — до 50...55 кВ/мм. Объем конденсатора в первом приближении обратно пропорционален квадрату напряженности поля в диэлектрике и, следовательно, эти цифры свидетельствуют о возможности получения высоких значений удельной энергии в бумажных высоковольтных конденсаторах. Действительно, в импульсных конденсаторах удается получать удельную энергию до 20 Дж/дм<sup>3</sup>. В одном типе конденсатора,



рассчитанном на сокращенный срок службы, была получена рекордная цифра удельной энергии: около  $60 \text{ Дж/дм}^3$ .

Первые типы силовых бумажно-масляных конденсаторов, появившиеся в 30-х годах, изготовлялись путем ручной сборки из листовой бумаги и фольги и в них были допущены завышенные значения рабочей напряженности поля — до  $18 \dots 20 \text{ кв/мм}$ , что приводило к их пониженной надежности в работе. Позднее была выполнена большая работа (М. М. Морозов, С. К. Медведев, В. П. Прокурнин) по переводу производства на машинную намотку стандартных секций и улучшению конструкции и технологии изготовления применительно к массовому производству этих конденсаторов на специализированном заводе. Рационализация конструкции позволила при одновременном снижении напряженности поля до  $12 \dots 13 \text{ кв/мм}$  с целью увеличения надежности конденсаторов сохранить прежние значения удельных показателей ( $0,8 \text{ квар/дм}^3$  и  $0,5 \text{ квар/кг}$ ) для высоковольтной серии конденсаторов.

Выпуск конденсаторов был резко увеличен. Сейчас годовая программа завода «Конденсатор» превышает весь выпуск силовых конденсаторов за все довоенные годы в целом. Однако резкое возрастание выработки электроэнергии в нашей стране настоятельно диктует дальнейшее расширение выпуска силовых конденсаторов, прежде всего для целей улучшения коэффициента мощности, что, очевидно, потребует создания нового специализированного завода большой мощности.

Большой задачей для советского силового конденсаторостроения явилась разработка нового типа конденсатора для продольной компенсации линий электропередач в связи с решением об установке батарей емкостной компенсации на линии Куйбышев — Москва при общей мощности батареи порядка 500 тыс. квар. Окончательный вариант конденсатора мощностью 50 квар разработан заводом «Конденсатор». Конденсатор имеет емкость  $442 \text{ мкф}$  и собран из большого числа параллельно соединенных секций; для повышения надежности в работе каждая секция включена через индивидуальный плавкий предохранитель, отключающий отдельные случайно пробившиеся секции без нарушения нормальной работы конденсатора. Удельные характеристики конденсатора ( $0,6 \text{ квар/дм}^3$  и  $0,33 \text{ квар/кг}$ ) несколько ниже, чем у обычных силовых конденсаторов, что обусловлено стремлением обеспечить особо высокую надежность в работе.

За последние годы завод «Конденсатор» разработал ряд новых типов бумажных конденсаторов: для конденсаторных шахтных электродвигателей, для электроискровых установок, для емкостного отбора энергии и т. д. Большая работа была проведена по модернизации бумажно-масляного конденсатора повышенной частоты для установок нагрева металла с машинными генераторами. Введение для этих конденсаторов водяного охлаждения позволило повысить реактивную мощность почти в 10 раз по сравнению с ранее применявшимися значениями и получить резко

улучшенные удельные характеристики — до  $10 \text{ квар/дм}^3$  и  $5 \text{ квар/кг}$ .

Основным типом пропиточной массы для силовых конденсаторов является маловязкое нефтяное масло. Исследования последних лет (В. М. Файницкий, Г. С. Кучинский) показали, что этому типу пропиточной массы свойственна неприятная особенность: ионизирующее напряжение конденсаторов, пропитанных маслом, оказывается недостаточно устойчивым и может, в частности, при воздействии кратковременных перенапряжений снижаться от начального значения, лежащего значительно выше рабочего напряжения, до конечного значения, которое может оказаться ниже рабочего (рис. 6). Вероятно, это обстоятельство является одной из причин отдельных случаев преждевременных пробоев силовых конденсаторов, которые иногда наблюдаются в эксплуатации.

В связи с этим фактом для силового конденсаторостроения представляет интерес расширение применения полярной пропиточной массы — совола, который начал внедряться в производство еще до войны, но до сих пор не получил еще широкого применения. Кроме повышенной устойчивости ионизирующего напряжения вследствие малой склонности совола к газовыделению при воздействии поля, совол (пентахлордифенил) обладает также повышенной диэлектрической проницаемостью, позволяющей увеличить емкость и реактивную мощность конденсаторов на 50%. Недостатком совола является его высокая температура замерзания, чем обусловлена опасность снижения кратковременной прочности конденсаторов при низких температурах. Этот недостаток можно преодолеть путем снижения вязкости совола специальными добавками, в частности полихлорэтилбензолом. Разработка такой пропиточной массы является насущной задачей, разрешенная которой надо требовать от химической промышленности. Другим путем повышения надежности силового конденсатора является приме-

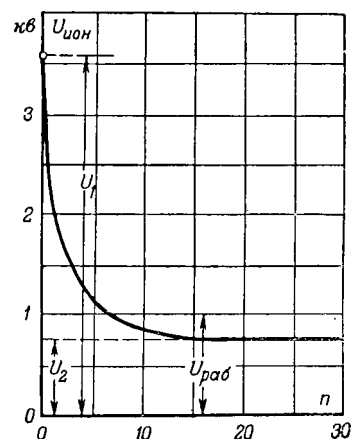


Рис. 6. Зависимость ионизирующего напряжения  $U_{ион}$  бумажно-масляного конденсатора с толщиной диэлектрика  $80 \text{ мкн}$  от числа воздействия  $n$  пятикратным напряжением ( $U = 5 \cdot U_{рад}$ ). Продолжительность каждого воздействия  $0,2 \text{ сек}$ , перерыв между воздействиями по  $30 \text{ сек}$ .

Таблица 3

Тип конденсатора	Рабочее напряжение, в	Емкость, мкф	Размеры, мм	Удельный объем, см <sup>3</sup> /мкф	Норма	
					tg δ	РС, мг/см <sup>3</sup> × мкф
Бумажный, парафиновый 1938 г.	200	2	40×40×60	48	0,015	200
Бумажный вазелиновый КБГ-МП	200	10	68×38×110	28,4	0,010	2 000
Металлобумажный МБГ . . . . .	160	50	115×45×65	4,5	0,015	200
Электролитический КЭГ-ОМ . .	150	30	∅26×60	1,6	0,100	10

нение масла под давлением для повышения нижнего предела порога ионизации.

В области бумажных радиоконденсаторов после войны была проделана большая работа по разработке новой стандартной серии типа КБГ (И. Н. Ращектаев, Л. Н. Закгейм). Введение герметизации позволило резко улучшить влагостойкость конденсаторов и перейти от твердой пропитки к полужидкой (вазелин), что открыло возможность повышения рабочей напряженности и привело к снижению габаритов (табл. 3). Попытки применить хлорированную полярную пропитку (галовакс, совол) для дальнейшего повышения удельной емкости конденсаторов этого типа не дали положительных результатов ввиду склонности хлорированных масс к разложению при воздействии постоянного напряжения, которую не удалось полностью преодолеть даже при использовании специальных стабилизаторов

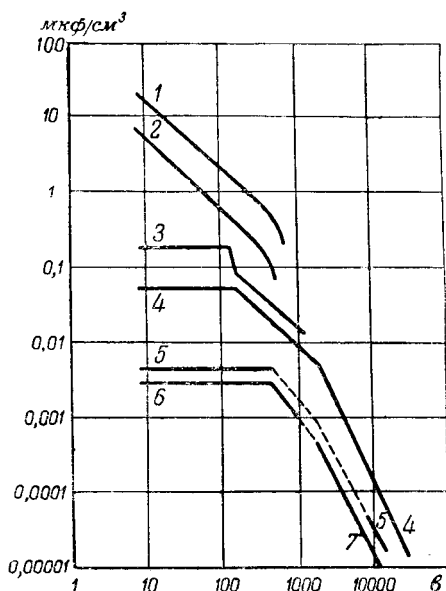


Рис. 7. Удельная емкость различных типов конденсаторов в зависимости от номинального рабочего напряжения постоянного тока.

1 — электролитические конденсаторы типа КЭГ—группа М (травленные); 2 — электролитические конденсаторы типа КЭГ—группа ОМ (нетравленные); 3 — металлобумажные типа МБГ; 4 — бумажные типа КБГ-МП и КБГ-П; 5 — полистирольные; 6 — слюдяные типа КСГ; 7 — слюдяные конденсаторы типа КБ (блокировочные).

(типа антрахинона). Однако для данного типа конденсаторов осталась неиспользованной возможность дополнительного повышения удельной емкости на 40% при переходе на пропитку другим типом полярной жидкости, устойчивым при постоянном напряжении, — касторовым маслом. Успехи, достигнутые в разработке методики очистки этого масла в целях повышения его удельного сопротивления, позволяют надеяться на возможность внедрения этого типа пропитки для ряда типов бумажных конденсаторов постоянного напряжения.

Нормальная серия конденсаторов КБГ рассчитана на максимальную рабочую температуру 70° С. Важной задачей является повышение рабочей температуры бумажных радиоконденсаторов до 100 ... 125° С. Проведенные исследования показывают, что бумага может длительно работать при таких температурах, а потому решение этой задачи будет предопределяться правильным выбором типа пропиточной массы и конструктивного оформления конденсатора, поскольку было установлено, что система герметизации, принятая для серии КБГ и использующая пайку корпуса и впайку выводных изоляторов при помощи мягких припоев, не может надежно работать даже при температурах порядка 85° С, особенно при воздействии вибраций.

Судя по данным зарубежной литературы, для конденсаторов низкого напряжения в качестве пропиточных масс могут быть использованы полимерные соединения, жидкие или расплавляющиеся в исходном состоянии и отвердевающие при дальнейшем нагревании. Советские исследователи опробовали массу такого типа — поливинилкарбазол, но от ее применения пришлось отказаться ввиду сильной токсичности в исходном состоянии, хотя после полной полимеризации токсичность исчезает. Для высоковольтных конденсаторов зарубежная техника применяет вязкую жидкую неполярную пропиточную массу с высоким удельным сопротивлением — «Витамин Ку». Есть основания считать, что эта жидкость представляет собой полиизобутилен с относительно низкой степенью полимеризации. Освоения такого продукта, а также отвердевающей пропиточной массы типа поливинилкарбазола, но лишенной токсичности, надо требовать от нашей химической промышленности.

Большим успехом советского конденсаторостроения в послевоенные годы явилась разработка и освоение в массовом производстве нового типа металлобумажных конденсаторов (В. И. Скрипкин, П. А. Торошин), отличающихся от бумажных конденсаторов резко увеличенной удельной емкостью и приближающихся по габаритам к электролитическим конденсаторам (рис. 7, табл. 3).

В последние годы появился новый, прогрессивный тип конденсатора с твердым органическим диэлектриком — пленочный конденсатор, подобно бумажным изготавливаемый намоткой из ленточной фольги и рулонной пленки из синтетических высокомолекулярных веществ. Освоен в производстве только один тип такого конденсатора —

полистирольный (или стирофлексный) однако надо считать, что в этой области в ближайшие годы будет обеспечен большой прогресс и что разнообразие органических пленок в конденсаторостроении будет столь же большим, как и разнообразие применяемых сейчас керамических материалов. По своим характеристикам полистирольные конденсаторы приближаются к слюдяным, имея столь же малый угол потерь и несколько уступая слюдяным лишь по значению температурного коэффициента емкости (порядка минус  $100 \dots 150 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ) и по стабильности емкости (порядка  $0,1 \dots 0,2\%$  за год). Но они значительно дешевле слюдяных и могут изготавливаться со значением емкости до нескольких микрофарад, тогда как для слюдяных конденсаторов в массовом производстве верхним пределом емкости является величина порядка  $0,1 \dots 0,2$  мкф. Особенностью полистирольных конденсаторов является их исключительно высокая постоянная времени. Нормы предусматривают значение до  $5\,000$  мгом  $\cdot$  мкф (для бумажных типа КБГ до  $2\,000$  мгом  $\cdot$  мкф), но по специальным заказам можно обеспечивать до  $1\,000\,000$  мгом  $\cdot$  мкф. Это придает полистирольным конденсаторам новое качество, незаменяемое в ряде случаев их применения.

Некоторыми недостатками этих конденсаторов являются их небольшая удельная емкость (значительно более низкая, чем у бумажных) и ограниченный предел верхней рабочей температуры ( $60^\circ\text{C}$ ).

Перспективным пленочным материалом для производства высокочастотных высокотемпературных конденсаторов является фторопласт-4 (политетрафторэтилен), применение которого позволяет рассчитывать на получение намотанных конденсаторов с исключительно высокой рабочей температурой порядка  $150 \dots 200^\circ\text{C}$ . Недостатком этого материала является низкая диэлектрическая постоянная. Поэтому наряду с фторопластом представляет интерес использование полярных синтетических пленок с повышенной нагревостойкостью для изготовления низкочастотных температуростойких конденсаторов. Судя по данным зарубежной литературы, для этой цели могут быть использованы политрифторхлорэтилен («Кель Эф») и полиэтилентерефталат («Майлар», «Терилен»). Перед нашей химической промышленностью стоит задача освоения промышленного выпуска подобных пленок, а перед советским конденсаторостроением — освоение новых типов пленочных конденсаторов.

Пленочные материалы этого типа позволяют получать конденсаторы с рабочей температурой до  $120 \dots 130^\circ\text{C}$ . Диэлектрическая проницаемость таких пленок ниже, чем у пропитанной бумаги (порядка 3), но можно все же рассчитывать на некоторое снижение габаритов за счет повышения напряженности поля при повышенных температурах.

Производство электролитических конденсаторов в послевоенные годы значительно расширилось и ряд операций этого производства был механизирован. Внедрение химического, а позже

и электролитического травления анодной фольги позволило заметно увеличить удельную емкость этих конденсаторов. Если в 1937 г. конденсатор на рабочее напряжение  $400$  в имел удельную емкость порядка  $0,1$  мкф/см<sup>3</sup>, то современный конденсатор типа КЭ группы М при том же рабочем напряжении имеет около  $0,6$  мкф/см<sup>3</sup>. Низковольтный конденсатор старого типа на  $12$  в имел удельную емкость  $3,7$  мкф/см<sup>3</sup>, теперь это значение увеличено до  $10$  мкф/см<sup>3</sup>. Большие успехи были достигнуты по улучшению морозостойкости электролитических конденсаторов. Если ранее конденсаторы теряли емкость при температурах минус  $10 \dots 20^\circ\text{C}$ , то теперь для конденсаторов группы ОМ гарантируется работа при минус  $60^\circ\text{C}$  с потерей емкости не более  $50\%$ . Следует отметить, что для зарубежных конденсаторов нижний предел рабочей температуры обычно устанавливается равным минус  $40^\circ\text{C}$ . Верхний предел рабочего напряжения для современных советских электролитических конденсаторов повышен до  $500$  в, также значительно улучшена их надежность как в работе, так и при хранении за счет внедрения сверхчистого анодного алюминия и применения химикалий высокой степени чистоты, а также общего повышения культуры производства. Дальнейшее улучшение характеристик электролитических конденсаторов и повышение верхнего предела их рабочей температуры может быть достигнуто за счет применения танталовых анодов взамен алюминиевых. Высокая стоимость тантала не будет служить препятствием для изготовления сверхминиатюрных конденсаторов, в которых расход тантала на каждое изделие очень мал. Такие конденсаторы представляют больший интерес для радиоаппаратуры, в которой вместо обычных радиоламп используются малогабаритные полупроводниковые диоды и триоды.

Следует отметить, что в нашей практике не получили применения пусковые электролитические конденсаторы переменного тока, хотя их разработка была проведена еще в 1936 г. В настоящее время, когда развивается производство бытовой электроаппаратуры с однофазными электродвигателями, пусковые конденсаторы этого типа могли бы найти применение, а производство их можно теперь наладить без особого труда.

Выше мы рассмотрели конденсаторы с твердым диэлектриком. Конденсаторы с жидким диэлектриком не получили распространения в современной электротехнике. Ранее они применялись в контурах радиопередатчиков, но повышение требований к стабильности частоты заставило отказаться от этого типа конденсаторов ввиду присущего им высокого температурного коэффициента емкости (порядка минус  $1\,000 \dots 2\,000 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ). В принципе подобные конденса-

торы могут применяться в контурах установок для нагрева металла при частотах порядка  $10^5$  гц, где требования к температурному коэффициенту емкости контурного конденсатора понижены. Известно, что одна из американских фирм выпускает конденсаторы, заполненные синтетической жидкостью «лектронол» (дибутилсебацнат)

для такого применения. При использовании водяного охлаждения удельная реактивная мощность этих конденсаторов имеет значение того же порядка, что у слюдяных контурных конденсаторов (около  $0,1 \text{ квар/см}^3$ ), но их легче изготавливать с большой реактивной мощностью в единице. В Советском Союзе для аналогичных целей применяются керамические горшковые конденсаторы с водяным охлаждением (рис. 4).

Большой интерес для конденсаторостроения представляет газообразная изоляция, которой свойственны исключительно малый угол потерь и высокая стабильность диэлектрической проницаемости. Эти ее особенности наиболее ценны при изготовлении конденсаторов для радиоконтуров стабильной частоты и для образцовых конденсаторов. При низких рабочих напряжениях для таких конденсаторов применяют воздушную изоляцию.

Производство переменных воздушных конденсаторов было освоено у нас давно. В послевоенные годы велись работы по повышению качества воздушных радиоконденсаторов (внедрение керамической изоляции, применение шариковых подшипников и др.). Следует также отметить организацию серийного выпуска воздушных образцовых конденсаторов на заводе «Эталон» (рис. 8).

В связи с низкой электрической прочностью воздуха при нормальном давлении применение воздушной изоляции при высоких напряжениях приводит к крайне большим габаритам конденсаторов. Выходом из положения является применение газа при повышенном давлении. В период Великой Отечественной войны удачная разработка конструкции контурного высоковольтного конденсатора, рассчитанного на заполнение азотом при давлении до  $15 \dots 20 \text{ ат}$ , была выполнена Б. М. Гохбергом и Н. М. Рейновым. Газонаполненные конденсаторы этой конструкции были внедрены в производство и полностью вытеснили дорогостоящие и менее надежные в работе слюдяные конденсаторы из контуров мощных радиопередающих устройств. Этими же авторами был открыт газ с высокой электрической прочностью, в 2,5 раза превышающей прочность азота при равных давлениях, названный ими «элегазом»

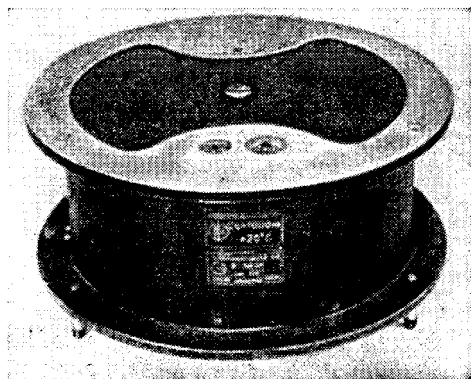


Рис. 8. Воздушный образцовый конденсатор типа КВС емкостью  $1000 \text{ пф}$  (завод «Эталон»)

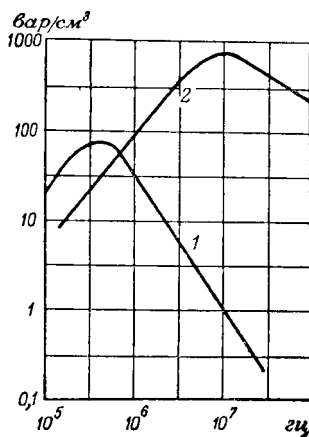


Рис. 9. Удельная реактивная мощность в зависимости от частоты для газонаполненных (1) и вакуумных конденсаторов (2) (наибольшую реактивную мощность на единицу объема при частотах  $1 \text{ мгц}$  и выше дает вакуумный конденсатор).

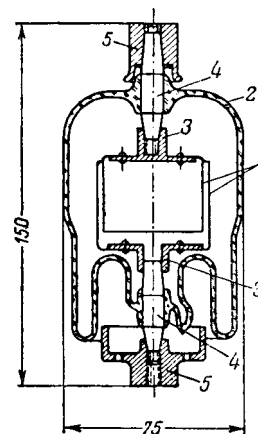


Рис. 10. Советский вакуумный конденсатор конструкции А. И. Романова, емкостью  $250 \text{ пф}$  (испытательное напряжение  $20 \text{ кв}$ , максимальный рабочий ток  $20 \text{ а}$ , мощность  $120 \text{ квар}$ ). 1 — электроды; 2 — стеклянный баллон; 3 — деталь, соединяющая электрод с выводным стержнем; 4 и 5 — выводные колпачки, навинченные на выводные стержни.

(гексафторид серы). К сожалению, применение элегаза в нашей практике пока еще не нашло распространения, хотя он позволяет упростить конструкцию газонаполненных конденсаторов за счет снижения давления в 2,5...3 раза по сравнению с азотом.

Контурные газонаполненные конденсаторы дают оптимальное значение удельной реактивной мощности при частотах порядка  $10^5 \dots 10^6 \text{ Гц}$ . При больших частотах на нагрузку приходится снижать в целях уменьшения нагрева, обусловленного потерями в металле и в выводном изоляторе. При высоких частотах более удобен в качестве контурного вакуумный конденсатор, позволяющий достичь резкого увеличения удельной реактивной мощности (рис. 9). Оригинальная советская конструкция такого конденсатора, разработанная А. И. Романовым, показана на рис. 10. Конструкция внедрится в производство, оказавшись особенно удобной для применения в коротковолновой авиационной радиосаппаратуре.

Применение вакуумных и газонаполненных конденсаторов представляет интерес и для измерительной техники, когда требуются образцовые конденсаторы с повышенным или высоким рабочим напряжением.

Таким образом, за послевоенные годы советское конденсаторостроение поднялось на новую качественную ступень, превратившись в массовое специализированное производство и обогатив отечественную технику рядом новых прогрессивных типов конденсаторов, позволяющих в ряде случаев разрешать принципиально новые задачи. Резкое расширение применения электрических конденсаторов в самых разнообразных областях электротехники, свидетелями которого мы являемся сейчас, позволяет ожидать на ближайшие годы нового быстрого движения вперед этой сравнитель-

# Конденсаторы для силовых установок

Кандидат техн. наук М. М. МОРОЗОВ и инж. С. К. МЕДВЕДЕВ

Конденсаторный завод Министерства электротехнической промышленности СССР

Отечественное конденсаторостроение для силовых установок начало развиваться сравнительно недавно. Построенный специализированный завод успешно изготавливает все виды современных конденсаторов для силовых установок на существующие и проектируемые напряжения, наращивая для этой цели производственные мощности. Так, за период 1950—1954 гг. выпуск конденсаторов возрос почти в 5 раз. Основные материалы для конденсаторов и специальное технологическое оборудование, ранее импортировавшиеся, в настоящее время поступают во все возрастающих количествах с отечественных предприятий.

В соответствии с развитием электротехники конденсаторы долгое время преимущественно применялись в проволочной, а затем в беспроводной связи. Лишь с 1926 г. за границей начали применять конденсаторы в промышленном масштабе в цепях переменного тока для улучшения коэффициента мощности, названные статическими.

Впрочем, этот термин следует считать устаревшим. В современной электротехнике конденсаторы применяются для очень многих и весьма разнообразных целей. Один и тот же конденсатор может выполнять различные функции, а в некоторых случаях даже одновременно. Примером могут служить конденсаторы связи для линий электропередачи высокого напряжения, используемые одновременно как каналы высокочастотной связи, элемент защиты и телемеханики, а при частоте 50 гц — для отбора мощности как для целей измерений, так и для силовой нагрузки. Поэтому деление на конденсаторы для силовых установок и на конденсаторы для радиотехнических и других цепей связи и автоматики является в значительной мере условным.

В данной работе мы относим к конденсаторам для силовых установок конденсаторы, предназначенные для непосредственного включения в распределительных сетях и линиях передачи низкого

и высокого напряжений постоянного и переменного тока, конденсаторы, используемые в электротермических установках, применяемые для целей защиты от перенапряжений, для установок, используемых с целью испытаний энергосилового оборудования, и других подобных целей.

Согласно этому перечню, к конденсаторам для силовых установок, следовательно, будут относиться конденсаторы следующих типов:

- 1) для повышения коэффициента мощности промышленных установок при частоте 50 гц;
- 2) повышенной и высокой частоты для электротермических установок;
- 3) для продольной компенсации реактивного сопротивления линий электропередачи и сетей;
- 4) высокочастотной связи и защиты линий электропередачи высокого напряжения и (как вариант) с отбором мощности для измерительных целей и силовой нагрузки;
- 5) фильтровые для электрических железных дорог, а также различные другие, устанавливаемые в линиях электропередачи постоянного тока;
- 6) для генераторов импульсных напряжений и токов, делителей напряжения и т. д.

По характеру режима работы и роду напряжения конденсаторы можно разделить на следующие группы: 1) конденсаторы, работающие при напряжении постоянного тока с наложением переменной составляющей или без нее; 2) разрядные, работающие в режиме заряд — разряд; 3) переменного тока промышленной частоты; 4) переменного тока повышенной частоты. Очень часто конденсаторы одновременно работают в различных режимах, в таком случае их относят к одной из указанных групп по преимущественному более тяжелому режиму.

*Особенности конденсаторов каждой группы.*  
Группа 1. Малые токи, менее 0,1 а/дм<sup>3</sup>. Незначительные потери мощности в диэлектрике, менее 1 вт/дм<sup>3</sup>. Конструкция не рассчитывается на отвод тепла; токоведущие части выбираются только из условий механической прочности.

но молодой, несмотря на ее длинную историю, отрасли советского электротехнического производства.

## Литература

1. В. Т. Ренне. Электрические конденсаторы. Госэнергоиздат, Л.—М., 1952.
2. В. Т. Ренне. Современные бумажные конденсаторы. Госэнергоиздат, М.—Л., 1948.
3. М. Е. Аршанский. Керамические конденсаторы малой мощности. Госэнергоиздат, 1953.
4. Л. Н. Закейм. Электrolитические конденсаторы. Госэнергоиздат, Л.—М., 1954.
5. Д. Г. Бедов, В. А. Виноградов и Н. Н. Ку-

ликов. Технология массового производства бумажных и слюдяных конденсаторов. Госэнергоиздат, М.—Л., 1951.

6. В. Т. Ренне. Современное конденсаторостроение. Электричество, № 8, 1946. Удельные характеристики электрических конденсаторов. Электричество, № 12, 1952.

7. Г. С. Кучинский, В. Т. Ренне и В. М. Файницкий. Выбор толщины диэлектрика для бумажных силовых конденсаторов. Электричество, № 6, 1954.

8. М. М. Морозов. Советские конденсаторостроение и его ближайшие задачи. Электричество, № 11, 1949.

9. С. К. Медведев. Характеристики конденсаторов для повышения коэффициента мощности. Вестник электропромышленности, № 8, 1948.

10. Малогабаритная радиоаппаратура. Под ред. В. И. Сифорова. Изд. Иностранной литературы, М. 1954.

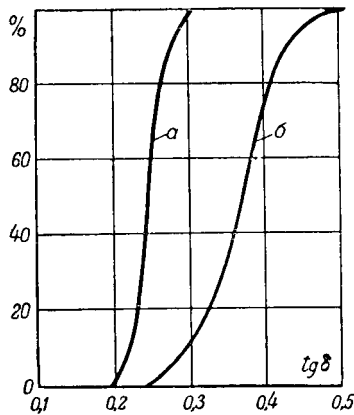


Рис. 1. Статистическое распределение конденсаторов по значению  $\operatorname{tg} \delta$ .  
а — конденсаторов последнего выпуска; б — выпущенных 5 лет назад.

В диэлектрике допускаются значительные напряженности поля.

Группа 2. Токи могут быть порядка  $100 \dots 10\,000 \text{ а/дм}^3$ , хотя и кратковременные, вследствие чего токоведущие части выбираются как по значению тока, так и по механической прочности из-за наличия больших динамических нагрузок. Возможна ионизация диэлектрика между обкладками. Напряженности поля выбираются из условий заданного срока службы и режима работы.

Группа 3. Потери мощности в диэлектрике составляют  $1 \dots 5 \text{ вт/дм}^3$ , а токи порядка  $0,1 \dots 3 \text{ а/дм}^3$ , что ведет к заметному нагреву конденсатора. Существуют условия для возникновения ионизации. Конструкция рассчитывается на отвод тепла и предусматриваются меры к уменьшению потерь.

Группа 4. Токи и потери мощности достигают больших значений:  $3 \dots 30 \text{ а/дм}^3$  и  $10 \dots 50 \text{ вт/дм}^3$ . В конструкции предусматриваются достаточные сечения токоведущих частей и искусственное охлаждение конденсаторов.

Наибольшее применение получили конденсаторы группы 3 с преобладанием в ней конденсаторов для повышения коэффициента мощности. Это объясняется тем, что задача наиболее эффективного использования электрической энергии, оборудования энергосистем и повышения к. п. д. успешно и экономично решается путем повышения коэффициента мощности при помощи конденсаторов. Повышая пропускную способность установленного оборудования (трансформаторов, линий передачи сетей и т. д.), конденсаторы имеют незначительные собственные потери мощности, порядка  $0,2 \dots 0,3\%$  от номинальной реактивной мощности, и в результате их установки к. п. д. энергосистем повышается. Большой технико-экономический эффект применения конденсаторов для повышения коэффициента мощности обусловил их огромное распространение. Установленная мощность конденсаторов этого типа исчисляется миллионами киловольтампер. Разумеется, и изготовлению этих конденсаторов уделяется наибольшее внимание.

В последние годы проведен ряд мероприятий по усовершенствованию конденсаторов — улучшению характеристик, повышению срока службы и снижению себестоимости. С этой целью:

1) введено применение в конденсаторах переменного тока конденсаторной бумаги пониженной плотности, что обеспечило снижение потерь;

2) в качестве пропиточного диэлектрика используется специальное конденсаторное масло;

3) толщина диэлектрика между обкладками ограничена  $70 \text{ мкн}$ ;

4) улучшен технологический процесс вакуумной сушки и пропитки;

5) повышена герметичность конденсаторов за счет полной замены паяных швов сварными, а также в результате применения специальной маслостойкой резины для уплотнения вводов;

6) применены внутренние предохранители в тех конденсаторах, в которых осуществляется параллельное включение секций;

7) выпущены конденсаторы II и III габаритов на мощности  $25$  и  $50 \text{ квар}$  (в пересчете на напряжение  $6,6 \text{ кв}$ ).

В результате внедрения указанных усовершенствований электрические характеристики конденсаторов значительно улучшились. Тангенс угла потерь для современных конденсаторов составляет сейчас меньше  $0,003$  и разброс его значений для любой отдельной партии сейчас весьма ограничен (рис. 1, кривая а), тогда как прежде разброс характеризовался кривой б более пологой и смещенной вправо.

Тангенс угла потерь является сейчас достаточно устойчивым параметром в значительных пределах изменения напряжения и температуры.

При кратковременном воздействии начальная напряженность ионизации для современных конденсаторов сравнительно велика (рис. 2). Как видно из рис. 2, низковольтные конденсаторы имеют более высокие напряженности ионизации при значительно меньших рабочих напряжениях.

Мощность низковольтных конденсаторов в единице за последнее время значительно повысилась,

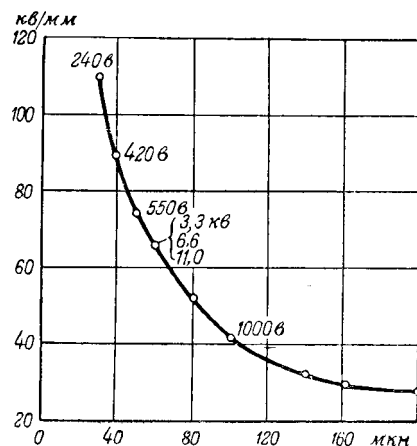


Рис. 2. Начальная напряженность ионизации в зависимости от толщины диэлектрика для конденсаторов переменного тока  $50 \text{ гц}$  на различное номинальное напряжение (цифры на кривой — номинальное напряжение конденсатора, для которого получена точка).

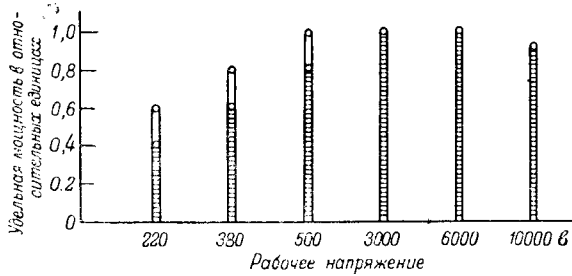


Рис. 3. Удельная мощность конденсаторов в зависимости от их рабочего напряжения.

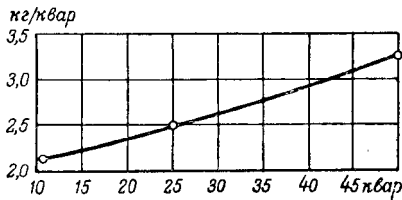


Рис. 4. Удельный вес конденсаторов в зависимости от их мощности в единице.

но все же их удельная мощность ниже, чем в высоковольтных конденсаторах (рис. 3). Повышение удельной мощности низковольтных конденсаторов возможно за счет применения более тонкой конденсаторной бумаги, стоимость которой, как известно, более высокая.

Дальнейшее снижение тангенса угла потерь позволит повысить удельную мощность конденсаторов ( $\frac{\text{квар}}{\text{кг}}$ ), что связано с внедрением в производство конденсаторной бумаги с пониженными потерями, а также более стойких относительно ионизации и старения пропиточных веществ.

Часто высказываются пожелания о повышении мощности в единице и о выпуске крупных конденсаторов порядка 120, 220, 300 квар и больше. Однако увеличение мощности в единице выгодно только до мощностей порядка 100 квар. В отличие от электрических машин и трансформаторов, дальнейшему повышению мощности не сопутствует возрастание удельной мощности. Объясняется это тем, что при данном значении напряженности электрического поля расход активных материалов (бумаги, фольги, масла) на единицу мощности не зависит от мощности в единице, в то время как удельный объем неактивных материалов возрастает вместе с мощностью; с возрастанием мощности конденсаторов увеличивается толщина стали корпусов, сечение токоведущих частей, возникает необходимость в специальных каркасах для крепления секций и т. д. Минимальный относительный вес достигается в конденсаторах сравнительно небольшой мощности — 12... 25 квар (рис. 4). Помимо всего прочего, крупные конденсаторы имеют сравнительно худшие тепловые характеристики. При всех прочих одинаковых условиях максимальные значения температуры диэлектрика у них выше, чем в конденсаторах малых габаритов. Компенсация температурного расширения масла в конденсаторах

крупных размеров требует устройства специальных расширителей, тогда как в небольших конденсаторах она осуществляется за счет упругой деформации плоских стенок корпуса.

Основные технические характеристики отдельных конденсаторов для повышения коэффициента мощности приведены в табл. 1, а их внешний вид показан на рис. 5.

Таблица 1

Характеристики	I габарит	II габарит	III габарит
Мощность при напряжении 6,6 кв, квар . . . . .	11,0	25,0	50,0
Размеры:			
основание, мм .	380×110	310×138	646×126
высота без изоляторов . . . . .	350	850	960
Вес, кг . . . . .	23	60	150
Удельный вес, кг/квар . . . . .	2,1	2,4	3,0
Исполнение . . . . .	Для внутренней установки	Для внутренней установки	Для наружной установки

В некоторых странах очень большое распространение для пропитки конденсаторов получил пентахлордифенил под различными названиями — пиранол, инертин, клофен и др. (в СССР—совол). Основное его преимущество — более высокая, чем у минерального масла, диэлектрическая проницаемость, что ведет к повышению удельной мощности конденсаторов на 30... 40%. К тому же пентахлордифенил негорюч. Однако пентахлордифенилу свойственны крупные недостатки, которые заставляют некоторые зарубежные фирмы отказываться от его применения (например, фирма ASEA), а именно: а) высокая стоимость; б) вредность; в) чувствительность к загрязнениям; г) сравнительно низкое начальное напряжение ионизации, вследствие чего конденсаторы, пропи-

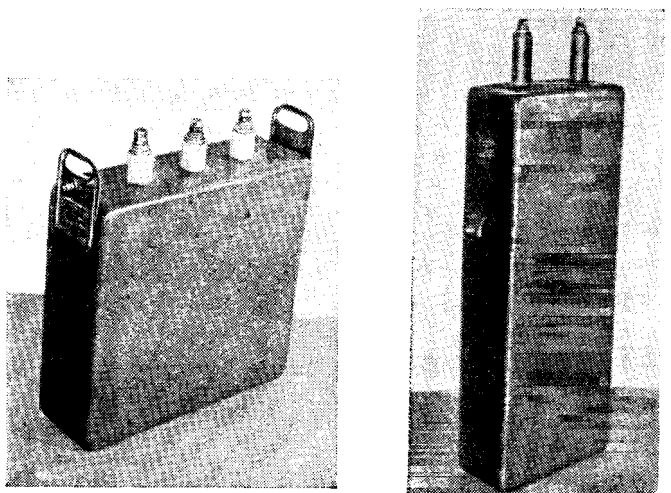


Рис. 5. Конденсаторы для повышения коэффициента мощности первого (а) и второго (б) габаритов.

таные пентахлордифенилом, не допускают столь высоких перенапряжений, как конденсаторы, пропитанные маслом; д) большие колебания диэлектрической проницаемости при низких температурах (ниже  $10^{\circ}\text{C}$ ). В СССР конденсаторы, пропитанные соволом, пока производятся в ограниченных количествах.

Представляет интерес применение в конденсаторах, пропитанных минеральным маслом, высокого избыточного давления, что повышает устойчивость конденсаторов к ионизации. Если при атмосферном давлении напряжение ионизации конденсаторов, пропитанных маслом, может снизиться до  $6 \dots 8 \text{ кв/мм}$ , то при давлении свыше  $4 \text{ атм}$  его значение не падает ниже  $22 \text{ кв/мм}$ . При характерном для нашей страны большом разнообразии климатических условий вопрос изготовления конденсаторов с высоким избыточным давлением масла должен быть решен после тщательного исследования и технико-экономического обоснования. Наиболее сложен вопрос компенсации температурного расширения масла при одновременном сохранении давления внутри конденсатора в определенных пределах во всем диапазоне возможных окружающих температур.

Следует отметить общую тенденцию иностранных фирм к ограничению мощности конденсатора в единице  $15 \dots 50$ , но не более  $100 \text{ квар}$ , что, как уже было сказано, обусловлено следующими преимуществами конденсаторов малых размеров: 1) лучшее теплорассеяние; 2) сравнительно малый удельный вес; 3) малый свободный объем масла внутри конденсаторов, что облегчает компенсацию его температурного расширения.

В табл. 2 приведены сравнительные данные конденсаторов некоторых иностранных фирм.

Таблица 2

Характеристики конденсаторов	Изготовление			
	ASEA (Швеция)	АСЕС (Бельгия)	Lepper (Германия)	Westinghaus (США)
Мощность, квар	22,5	25	$16\frac{2}{3}$	15
Напряжение, в	1 600	550	6 100	7 960
Вес, кг/квар	—	1,72	4,4...4,5	1,74
Пропиточный диэлектрик . . .	Масло минеральное Пентахлордифенил			
Внутреннее давление, атм . . .	До 8	—	До 0,5	—
Тангенс угла потерь, % . . . .	До 0,3	0,33	0,3	0,33

В последние годы в нашей стране и за рубежом начинают внедрять такое новое, прогрессивное мероприятие, как продольная емкостная компенсация. В 1956 г. должна быть осуществлена установка продольной компенсации на линии электропередачи Куйбышев — Москва  $400 \text{ кв}$ . Эта грандиозная установка мощностью в полмиллиона киловольтампер далеко превзойдет известные в мире крупные конденсаторные батареи как продольного, так и поперечного включения.

Как известно, применение подобных конденсаторов имеет целью увеличение пропускной мощности линий электропередачи, повышение динамической устойчивости передающей системы, а также сглаживание колебаний напряжения, вызываемых изменениями нагрузки в отдельных участках сетей. При последовательном включении конденсаторов в линию напряжение на конденсаторах равно произведению тока линии на сопротивление батареи, мощность конденсаторов изменяется квадратично с нагрузкой линии и при всяких аварийных режимах: коротких замыканиях, качаниях и т. д., конденсаторы подвергаются значительным перенапряжениям. Поэтому, если конденсаторы поперечного включения рассчитываются для работы при возможно длительном, но небольшом превышении напряжения сверх номинального, то конденсаторы установок продольной компенсации конструируются, исходя из условия обеспечения их способности переносить кратковременные большие перенапряжения без снижения надежности работы в нормальном режиме в пределах заданного срока службы.

Отличие от конденсаторов поперечного включения, конденсаторы продольного включения являются весьма ответственным элементом линии электропередачи, от их надежности в значительной мере зависит бесперебойное электроснабжение. Поэтому в соответствии с условиями работы установок продольной компенсации к конденсаторам предъявляется ряд специфических требований. Основные из них: способность выдерживать значительные кратковременные перенапряжения, а также более или менее длительные перегрузки по мощности. Например, необходимо, чтобы конденсатор выдерживал четырехкратные перенапряжения продолжительностью  $0,2 \text{ сек}$  с последующим  $2,5$ -кратным перенапряжением в течение  $30 \text{ сек}$  без снижения начального напряжения ионизации. Конденсаторы должны также допускать работу при напряжениях  $1,8$  от номинального до  $1$  часа и  $1,2$  номинального несколько часов без превышения допустимой температуры диэлектрика. Конденсаторы должны выдерживать разряды при разрядных токах до  $30\,000 \text{ а}$  безаварийно. Должны быть пригодны для работы в наружных установках в диапазоне колебаний температуры от  $-45$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Решение проблемы создания конденсатора для указанных требований путем повышения запаса в диэлектрике нерационально, так как оно поведет к увеличению габаритов, веса и будет неэкономичным. Широкие исследования диэлектрика конденсатора, отдельных его элементов и самих конденсаторов, а также проведенные научно-исследовательские работы за последнее время в СССР на опытных установках продольной компенсации в линиях электропередачи  $110$  и  $220 \text{ кв}$  позволили найти удовлетворительное решение поставленной задачи при сохранении значений рабочих напряженностей теми же, что и для конденсаторов поперечного включения.

На рис. 6 показан конденсатор для установок продольной компенсации. Номинальное напряжение  $600 \text{ в}$ , мощность  $50 \text{ квар}$ . Испытательное на-



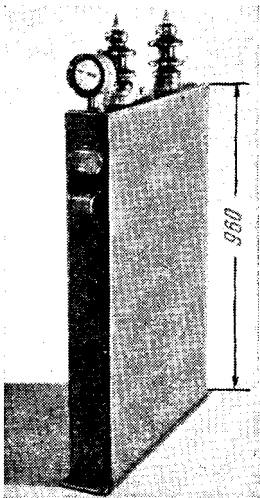


Рис. 6. Конденсатор для продольной компенсации линий передачи типа КГМ 0,6-50-1.

пряжение: а) между обкладками 4,2 кв постоянного тока в течение 1 мин; б) между обкладками и корпусом 20 кв переменного тока 50 гц в течение 1 мин. Вес 150 кг. Корпус — сварной из стали толщиной 3 мм. Выводы — класса изоляции 6 кв с надлежащим уплотнением. В дальнейшем будут применяться впаянные металлизированные выводы. Конденсатор имеет избыточное давление масла, сохраняющееся при температуре до  $-50^{\circ}\text{C}$  и контролируемое манометром, установленным на конденсаторе. Компенсация температурного расширения масла происходит за счет упругой деформации стенок корпуса. Каждая секция конденсатора снабжена плавким предохранителем, отключающим секцию в случае ее пробоя при амплитудных значениях напряжения от 500 до 4 200 в. Предохранитель перегорает за счет энергии параллельно включенных секций конденсатора. При этом спадание напряжения на конденсаторе составляет всего несколько процентов. В случае пробоя одной секции емкость конденсатора изменяется менее чем на 1%, вследствие чего конденсатор может оставаться в эксплуатации даже после пробоя значительного числа секций (до 10% от их общего количества).

Расчетные перегрузочные характеристики конденсатора мощностью 55 квар с потерями 220 вт приведены на рис. 7. Фактические удельные потери мощности составляют не более 3 вт/квар.

Ионизационные характеристики конденсаторов высоки, и начальная напряженность ионизации составляет при кратковременном воздействии 70 кв/мм. При непрерывном воздействии напряжения 2 400 в ионизация наступает не менее чем через 30 мин. После 30 воздействий перенапряжения 3 000 в продолжительностью 0,2 сек (с интервалами через 1 мин) напряжение ионизации

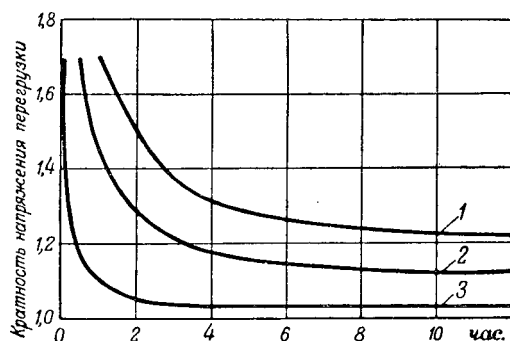


Рис. 7. Перегрузочные характеристики конденсатора типа КГМ.

1 — при окружающей температуре  $+25^{\circ}\text{C}$ ; 2 — при  $+36^{\circ}\text{C}$ ; 3 — при  $+35^{\circ}\text{C}$ .

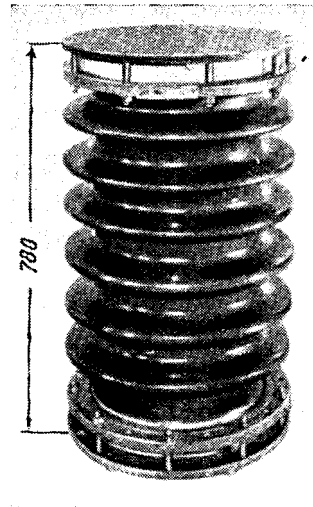


Рис. 8. Элемент конденсатора связи типа СМР 55-0,0044.

спадает до 2 000 в. Конденсаторы рассчитаны для применения в схеме последовательно-параллельного включения при ограниченном количестве параллельно включаемых единиц с целью снижения разрядных мощностей в случае повреждения отдельных конденсаторов.

Опыт эксплуатации конденсаторов переменного тока поперечного включения в СССР показывает, что при надлежащем качестве исходных диэлектрических материалов и процессе вакуумной сушки — пропитки отдельные конденсаторы работают свыше 15 лет без заметного ухудшения своих характеристик. Однако еще ни у нас, ни за рубежом достаточных данных для суждения о поведении диэлектрика конденсаторов продольного включения в режиме высоких перенапряжений и перегрузок еще нет. В связи с этим необходимо продолжить и расширить опытные и научно-исследовательские работы как на установках продольной компенсации, так и на лабораторных стендах.

Развитие крупных энергосистем требует обеспечения надежной связи между отдельными ее пунктами. Как известно, наиболее экономичным и целесообразным является использование для этой цели линий электропередачи. Обычно связь осуществляется при частоте переменного тока от 50 до 300 кгц. Одним из элементов оборудования такой связи являются конденсаторы, которые отделяют аппаратуру связи от высокого напряжения, пропуская токи высокой частоты по каналам связи. Конденсаторы эти включаются одним полюсом к проводам линий передачи, а другим — через высокочастотный автотрансформатор на землю. В некоторых случаях такие конденсаторы используются для отбора мощности при частоте 50 гц для целей измерения и других, а в последнее время также для питания силовой нагрузки.

В настоящее время МЭП выпускает два типа конденсаторов связи:

Конденсаторы типа СМР 55-0,0044 (рис. 8) на номинальное напряжение 55 кв,

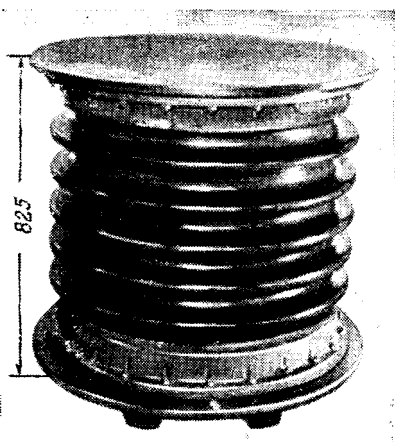


Рис. 9. Конденсатор отбора мощности.

емкостью 0,0044 мкф. Конденсаторы предназначены для использования в линиях передачи 110, 154 и 220 кВ при последовательном включении 2,3 и 4-х элементов соответственно. Компенсация температурного расширения масла осуществляется при помощи стальных расширителей, установленных внутри конденсатора.

Конденсаторы типа СМР  $\frac{400}{\sqrt{3}}$  пред-

назначаются для использования в линиях электропередачи 400 кВ и рассчитаны для отбора силовой мощности порядка 12 квар на фазу. Каждая фаза конденсатора состоит: а) из трех элементов на напряжение  $133/\sqrt{3}$ , емкостью 18 600 пф каждый; б) одного конденсатора отбора мощности на напряжение 35 кВ, емкостью 54 000 пф (рис. 9); в) одной изолирующей подставки. Общий вид установки одной фазы конденсаторов с отбором мощности для линии электропередачи 400 кВ дан на рис. 10. На рис. 11 приведена принципиальная схема включения аппаратуры для отбора мощности.

Особенностью установки конденсаторного отбора мощности является изменение напряжения на емкостях  $C_2$  и  $C_1$  при изменении отбираемой мощности (рис. 11).

При отсутствии отбора мощности напряжение  $U_2$  на емкости  $C_2$  будет:

$$U_2 = U \frac{C_1}{C_1 + C_2},$$

где  $U = \frac{400}{\sqrt{3}}$  — фазное напряжение линии;

$C_1$  — емкость конденсатора связи;

$C_2$  — емкость конденсатора отбора мощности.

При  $C_1 = 6\ 200$  пф,  $C_2 = 54\ 000$  пф,  $U_2 \approx 24$  кВ. При отборе мощности 12 квар и  $\cos \varphi = 0,8$  напряжение  $U_2$  повышается до 45...50 кВ, а при нестационарных режимах может иметь еще более высокие значения. Возможное повышение

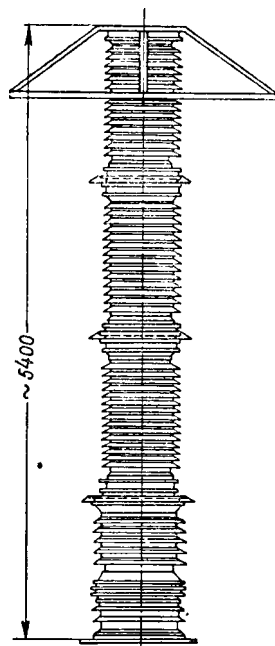


Рис. 10. Установка одной фазы конденсаторов связи с отбором мощности для линий электропередачи 400 кВ.

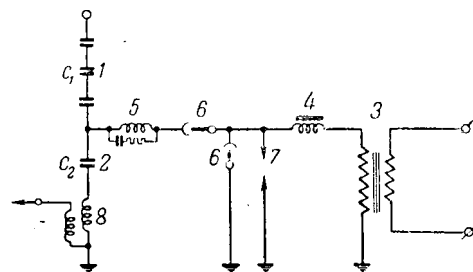


Рис. 11. Принципиальная схема включения аппаратуры для отбора мощности.

1 — конденсатор связи; 2 — конденсатор отбора мощности; 3 — трансформатор отбора мощности; 4 — реактор; 5 — высокочастотный заградитель; 6 — разъединитель; 7 — разрядник; 8 — высокочастотный авто-разрядник.

напряжения на емкости  $C_1$  значительно меньше. В силу этих обстоятельств конденсатор отбора мощности  $C_2$  должен рассчитываться на длительный режим работы при напряжении 50 кВ, а конденсатор  $C_1$  — при напряжении  $420/\sqrt{3}$  кВ.

Следует отметить особенности конденсаторов группы 2, работающих в режиме заряд — разряд и называемых также импульсными. Условия работы этих конденсаторов весьма различны.

В некоторых случаях они длительно находятся под напряжением постоянного тока и разряжаются через определенные промежутки времени, иногда очень длительные, в других случаях разряды следуют непосредственно после заряда, а в интервалах конденсаторы не находятся под напряжением или же находятся под незначительным остаточным напряжением.

Параметры разрядного контура  $C, L$  и  $R$  также могут быть различными, поэтому величина разрядного тока и форма его протекания могут изменяться в широких пределах. Исследования показали большую зависимость срока службы разрядных конденсаторов как от параметров разрядной цепи, так и от режима работы (количество разрядов в единицу времени). Например, при разряде накоротко емкости, заряженной до напряженности 100 кВ/мм (толщина диэлектрика

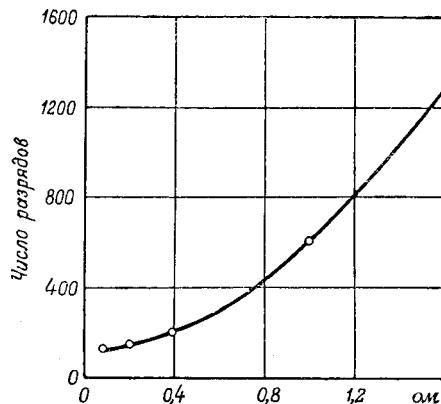


Рис. 12. Число разрядов, после которого напряжение ионизации снижается от 4800 до 1300 в в зависимости от сопротивления разрядной цепи ( $E=100$  кВ/мм).

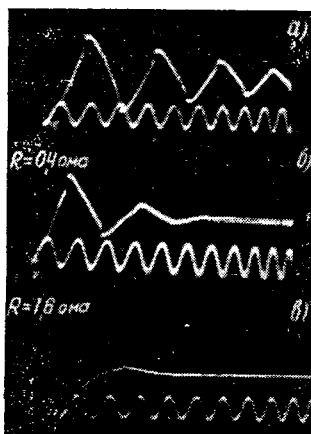


Рис. 13. Оциллограммы разрядного тока в зависимости от значения дополнительного сопротивления  $R$ , включенного в цепь разряда.

а —  $R=0$ ; б —  $R=0,4$  ом; в —  $R=1,6$  ом.

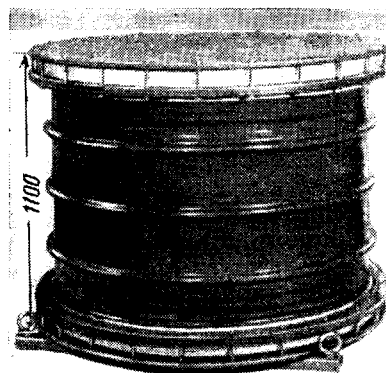


Рис. 14. Разрядный конденсатор 300 кв, 0,4 мкф.

100 мкн), после шести разрядов с интервалами в 3 сек напряжение ионизации спадает с 4 800 до 3 000 в, а после 40 разрядов до 1 300 в. При введении в разрядную цепь омического сопротивления тот же эффект выявляется при значительно большем числе разрядов (рис. 12). Кроме того, если интервал между отдельными разрядами возрастает, то происходит восстановление начального напряжения ионизации, частичное или полное.

На рис. 13 показаны оциллограммы разрядного тока при дополнительном введении в цепь разряда сопротивлений в 0,4 и 1,6 ом. Можно заключить, что при аperiodическом разряде стойкость диэлектрика против возникновения ионизации значительно выше. После воздействия 3 500 ... 5 000 разрядов накоротко емкости, заряженной до 100 кв/мм, наблюдалось выделение х-воска у краев обкладок, хотя и очень слабое, и конденсаторы пробивались.

В настоящее время выпускаются разрядные конденсаторы на напряжение от 200 до 300 кв с энергией разряда до 18 000 дж, рассчитанные на число разрядов от нескольких тысяч до нескольких миллионов, соответственно с чем рабочие напряженности поля в диэлектрике принимаются от 45 до 80 ... 100 кв/мм. Одновременно весьма варьируются и удельные характеристики этих конденсаторов, выражаемые в килограммах на 1 дж запасенной энергии. Для современных конденсаторов это отношение колеблется в пределах от 0,13 до 0,018 кг/дж. Наименьшие значения относятся к конденсаторам на сравнительно невысокие напряжения, в пределах до 20 кв, изготавливаемые в легких металлических корпусах.

На рис. 14 показан конденсатор на напряжение 300 кв, емкостью 0,4 мкф для импульсного генератора в несколько миллионов вольт. Вес такого конденсатора составляет около 2 000 кг.

**Заключение.** Советское конденсаторостроение для силовых установок, несмотря на сравнительно

небольшой срок своего существования, достигло существенных успехов. Однако непрерывно развертывающееся строительство гигантских гидроэлектростанций и сверхдальних линий электропередачи энергии, а также продолжающееся умножение областей применения конденсаторов требует значительного увеличения их выпуска, совершенствования конструкций и создания новых типов применительно к новым условиям их использования.

Расширение производства конденсаторов вместе с тем требует реализации ряда организационных мероприятий и усовершенствования материалов и технологических процессов.

Одновременно нужно указать на необходимость проведения широких исследовательских работ по изучению как диэлектрика конденсаторов, так и поведения конденсаторов в различных режимах. В последние годы в СССР выполнен ряд работ в этом направлении. Однако все эти работы были посвящены, скорее, выяснению состояния или поведения диэлектрика при различных условиях работы, чем определению влияния различных факторов, как то: методов сушки — пропитки, качества бумаги и пропиточных веществ и т. д., на возможность получения высококачественного комбинированного диэлектрика конденсатора. Успешное разрешение этой задачи может быть осуществлено при создании новых видов совершенной измерительной аппаратуры — ионизационно-радиоактивных манометров, измерителей ионизации в диэлектрике и др. Необходимо включить в планы работы ряда научно-исследовательских организаций бумажной, нефтяной промышленности и др. соответствующую научно-исследовательскую тематику.

#### Литература

1. В. П. Вологдин. От лейденской банки до конденсатора будущего. Электричество, стр. 20, № 2, 1946.
2. В. Т. Ренне. Современное конденсаторостроение. Электричество, стр. 19, № 8, 1946.
3. М. М. Морозов. Советское конденсаторостроение и его ближайшие задачи. Электричество, стр. 10, № 11, 1949.

(5. 4. 1955)



## Журнал «Электричество» (1880—1955 гг.)

Д. Д. РЕЙН

Исполнилось 75 лет издания русского журнала «Электричество» — одного из старейших электротехнических журналов мира. За этот сравнительно небольшой исторический период наука об электричестве и электротехника прошли плодотворный путь, оказав огромное влияние на общее развитие материально-технических средств, экономики и культуры человечества.

Успешно продолжавшееся в первой половине XIX в. изучение природы электрических и магнитных явлений (Петров, Ом, Фарадей, Ленц) подготовило возникновение во второй его половине новой отрасли техники — электротехники и создало, в основном в последнем десятилетии, особенно благоприятные условия для развития электротехники во многих направлениях. Вслед за укоренившимся крылатым выражением „век пара“ с полным основанием стало распространяться выражение „век электричества“.

В последней четверти XIX в. темпы развития капитализма в России усилились. Начавшаяся концентрация промышленности привела в энергетике к довольно острой проблеме повышения мощности первичных двигателей. В этом направлении электроэнергетика и электропривод сулили исключительно заманчивые перспективы и давали принципиально простое решение. Одна за другой стали появляться в России электротехнические мастерские; началось строительство предприятий электротехнической промышленности; в Петербурге и Москве дали первую продукцию кабельные заводы. Увеличилось число электрических станций (например, в Петербурге со 100 станций к концу 80-х годов до 300 станций в начале нового столетия) для непосредственного снабжения энергией жилых владений и производственных предприятий (блок-станции); в то же время с все большей силой поднимался вопрос о передаче электрической энергии центральных электрических станций на расстояние. Пироцкий и Яблочков определенно высказались за централизованное производство электроэнергии с передачей ее на места потребления. Лачинов и Депре разработали научную теорию передачи электрического тока на большие расстояния при повышенном напряжении. Вопросы централизации выработки электроэнергии с передачей на расстояние больших мощностей глубоко занимали умы многих инженеров, изобретателей и предпринимателей последней четверти прошлого столетия. Круг электриков в России быстро расширялся. Следует напомнить, что к тому времени

достаточно широко уже действовал усовершенствованный телеграф, а молодая телефония, сразу привлекая всеобщее внимание, в свою очередь содействовала росту интереса ко всему, что было связано с электричеством и электротехникой. На выставках все большее место отводилось электротехническим экспонатам, и устраивались даже специальные отделы электротехники. Проблемы теории электричества, электротехники, электро- и теплоэнергетики, электросвязи, электрохимии почти не сходили с повесток Русского физического общества, организованного в 1872 г. при Петербургском университете, Отделения физических наук Общества любителей естествознания при Московском университете и др. Все более проявлялся интерес широких слоев публики к вопросам электричества и магнетизма, главным образом к практическим возможностям их приложения. Большое и непосредственное внимание к проблемам электротехники и к молодым русским электротехникам начало уделять в те годы и Русское техническое общество (РТО), учрежденное в 1866 г.

**Основание VI отдела РТО и журнала «Электричество».** В 1879 г. группа членов РТО (П. Н. Яблочков, А. Н. Лодыгин, В. Н. Чиколев, Д. А. Лачинов, Н. П. Булыгин, В. Я. Флоренсов, И. Н. Деревянкин, О. Д. Хвольсон и многие другие) выдвинула предложение о создании в составе РТО специального отдела, который должен был объединить отечественных инженеров-электриков, способствовать обмену опытом и регулярному общению всех лиц, занимавшихся научными и практическими вопросами электротехники, электро- и теплоэнергетики, связи и т. д. 11 января 1880 г. учредители VI (электротехнического) отдела собрались на свое первое, организационное собрание (председателем VI отдела был избран Ф. К. Величко, десять лет активно руководивший делами отдела), а уже на втором собрании, 18 февраля 1880 г., В. Н. Чиколев внес предложение об издании РТО специального электротехнического журнала; предложение встретило всеобщую поддержку. 10 марта 1880 г. по этому вопросу состоялось окончательное решение VI отдела, которое было передано на утверждение совета РТО. 19 мая была организована редакция журнала во главе с В. Н. Чиколевым. В июне было получено разрешение на издание, и 1 июля 1880 г. вышел первый номер журнала русских электриков «Электричество». Ему предстояло оказать немалое влияние на правильное форми-

рование и развитие русской электротехнической мысли, воспитание многих поколений русских электротехников и развитие электротехники.

Счастливым и важным обстоятельством в истории журнала «Электричество» было участие в его организации и деятельности целой плеяды выдающихся русских ученых, изобретателей, пионеров электротехники, воспитанных на научном наследстве великого Ломоносова, Рихмана, Эпинуса, основоположника электротехники Петрова, Шиллинга, Якоби и Ленца, — таких как В. Н. Чиколев, Д. А. Лачинов, П. Н. Яблочков, А. Н. Лодыгин, Ф. А. Пироцкий, а в дальнейшем представителей более молодого поколения — выдающихся русских изобретателей и ученых, как А. С. Попов, М. О. Доливо-Добровольский, Н. Н. Бенардос, Н. Г. Славянов и др. Невозможно переоценить огромное положительное значение участия в журнале крупнейших русских физиков — А. Г. Столетова, О. Д. Хвольсона, Ф. Ф. Петрушевского, Н. Г. Егорова, И. И. Боргмана и др. Роль названных ученых, изобретателей и инженеров в поддержании правильного направления журнала была исключительно плодотворной. Это были люди большой инициативы, обладавшие широким научным и техническим кругозором. Они отличались незаурядным упорством и проявляли безграничную любовь к молодому журналу, бескорыстную преданность его интересам и делу объединения русской электротехнической общественности накануне XX в.

Их примеру следовали и другие поколения русских электротехников и физиков. Прежде всего необходимо указать на выдающуюся роль в деятельности журнала на протяжении нескольких десятилетий старейшего из здравствующих электротехников Советского Союза М. А. Шателена, положившего немало сил в борьбе за процветание журнала «Электричество». Активное участие в работе журнала в качестве сотрудников редакции, авторов, рецензентов и консультантов принимали многие годы: В. К. Лебединский, В. Ф. Миткевич, П. Д. Войнаровский, Н. Н. Георгиевский, А. Л. Гершун, Р. Э. Классон, А. А. Воронов, Г. М. Кржижановский, К. А. Круг, П. К. Пешкерев, К. И. Шенфер, В. К. Аркадьев, С. И. Вавилов, Б. Е. Веденев, В. К. Попов, Я. И. Френкель, П. Л. Калантаров, Н. Д. Папалекси, С. А. Ринкевич, С. О. Майзель и многие другие.

**Первые годы.** В обращении редакции, опубликованном в № 1, 1880 г., сообщалось о намерениях редакции: популяризировать начала, на которых основываются все применения электричества; распространять сведения об его успехах и заслугах, о новейших изобретениях в этой области у нас и за границей; следить за литературой по электричеству и комментировать важнейшие сочинения; оказывать консультации («облегчать по возможности труд и справки специалистам и друзьям науки полезными библиографическими и техническими указаниями»). Редакция журнала взялась за большое дело. Наряду с теоретическими статьями и со статьями, описывающими электротехническое оборудование, в журнале по-

мещались общедоступные материалы, в том числе переводные, хроника, библиография и пр.

Первые номера журнала при всем разнообразии их содержания еще не удовлетворяли многих читателей и членов VI отдела общества. На протяжении всего 1881 г. и позднее продолжалась дискуссия о направлении журнала. Редакция обещала отводить более значительное место популярным статьям и обращать больше внимания на общедоступность изложения, но вместе с тем предупреждала, что журнал «Электричество» «не может и не должен игнорировать никаких действительных успехов как теоретических, так и практических в этой области знаний и обязан сообщать о них читателям, хотя бы рамки популярной статьи этого не допускали».

В дальнейшем редакция неоднократно касалась этого вопроса о направлении и характере журнала (см., например, № 1, 1907 г.).

В качестве иллюстрации многоотметности журнала в первые два десятилетия его выпуска в приложении I названы по тематическим разделам некоторые из опубликованных тогда работ.

Большое значение имела в этот период статья Д. А. Лачинова «Об электромеханической работе», в которой автором были заложены научные основы электропривода и рассмотрены независимо от Дебре, Лоджа и Фрелиха важные теоретические вопросы, связанные с первыми опытами передачи электроэнергии. В этой работе автор научно доказал возможность передачи электрической энергии на дальние расстояния. Дискуссионные статьи В. Н. Чиколева, А. Н. Лодыгина, М. П. Авенариуса и Е. Брюсова были посвящены различным способам включения нескольких осветительных ламп в цепь одного генератора, хотя П. Н. Яблочков фактически доказал эту возможность, осуществив в 1876 г. такое устройство. Следует упомянуть о приведшей к бурной полемике среди физиков и инженеров-электриков во многих странах Европы и Америки проблеме о преимуществах постоянного и переменного тока для передачи и распределения электроэнергии. Возникновение этой проблемы было связано с тем, что при происходившем росте электростанций и сетей постоянный ток при наличных в тот период технических устройствах не мог обеспечить передачу электроэнергии на большое расстояние и экономичное распределение мощности между потребителями. Достаточно указать, что в 80-х годах потери напряжения в сетях, работавших при напряжении 100 ... 200 в постоянного тока, составляли 20%, достигая на длинных линиях 30 и 40%. По вопросу о системе тока в журнале печатались статьи В. Н. Чиколева, П. Н. Яблочкова, Н. П. Булыгина, Д. А. Лачинова, переводные статьи Томсона, Ферранти, Эдисона, Вестингауза и др. Позднее, в начале 90-х годов, журнал вернулся в статьях Р. Э. Классона (№ 9/10, 1891 г.) к рассмотрению проблемы переменного тока в связи с изобретениями М. О. Доливо-Добровольского (1888, 1889 гг.), а в 1900 г. опубликовал статью самого Доливо-Добровольского «Современное состояние техники

трехфазного тока» (в № 4 и 5). Но все же к 1913 г. из 80 городских станций более 50 станций вырабатывали еще постоянный ток в основном для нужд освещения. После изобретения Доливо-Добровольского преимущества переменного тока для питания асинхронных трехфазных двигателей быстро завоевали всеобщее признание. Применение переменного тока при сооружении новых станций и сетей благодаря усилиям многих русских инженеров (А. Н. Щенсновича, Р. Э. Классона, Г. М. Кржижановского, М. К. Поливанова, Н. И. Сушкина и др.) было закреплено практически.

В журнале систематически освещались наиболее ценные изобретения; ряд статей был посвящен изобретениям Н. Н. Бенардоса и Н. Г. Славянова, изобретению А. С. Попова (в № 13, 1896 г. была статья самого Попова). Много статей было опубликовано в журнале по вопросам конструирования и применения электрических машин, внедрения электроугля и электрометаллургии, об электроматериалах и пр. В 1894 г. была напечатана целая серия статей (в № 1—17 и 19—24) о состоянии электротехники в Америке.

В 1896 г. в журнале появилась статья об использовании водной энергии Нарвского водопада и водопада Иматра на Вуоксе. В следующем году в статье Классона было дано описание электропередачи трехфазного тока на Охтенских пороховых заводах. В 80-х и 90-х годах были помещены статьи, разъяснявшие электромагнитную теорию Максвелла, ряд статей на актуальные темы науки об электричестве Бахметьева, Боргмана, Столетова, Хвольсона, Розинга, переводные статьи Дюмонселя, Депре, Лоджа, Томсона, Фандерфлита, Дюбуа, Жеральди, Флеминга, Теслы, Пуанкаре и др. В течение первого периода в журнале регулярно освещались материалы происшедших электротехнических съездов, конгрессов (1881, 1889 и 1893 гг.) и выставок (1880, 1882, 1885, 1886, 1889 и 1892 гг.). О большом значении этих материалов для читателей можно легко судить, если иметь в виду, что на международных конгрессах 80-х и 90-х годов были приняты почти все основные электрические единицы, а также многие эталоны, а на выставках демонстрировались различные достижения русских и иностранных электротехников в области применений электрической энергии. Петербургская выставка 1892 г. по своему размаху и характеру носила все черты международных выставок. Журнал систематически информировал о работе VI отдела РТО. В 90-х годах и затем уже в XX в. ежегодно помещались обзорные статьи В. К. Лебединского об успехах науки об электричестве и электротехники (в № 2 за 1905 г. был опубликован его обзор «Наука об электричестве за последние 25 лет»).

Журнал откликался на все новинки зарубежной техники и систематически осведомлял о них своих читателей, стремясь облегчать русским инженерам и изобретателям преодоление трудностей, возникавших в их работе, вследствие общей технической отсталости дореволюционной России от передовых капиталистических стран. Из этих

же побуждений журнал на протяжении многих лет уделял большое внимание «письмам читателей»; письма и ответы на них печатались почти в каждом номере.

В журнале постоянно проводилась борьба за выяснение и уточнение вопросов научного и изобретательского приоритета. В качестве примера можно привести указания редакции на значение работ Д. А. Лачинова в деле установления закона независимости коэффициента полезного действия электропередачи от расстояния (в № 18/19, 1882 г.), на приоритет П. Н. Яблочкова и И. Я. Усагина в изобретении трансформатора (в № 13/14, 1889 г.), на приоритет А. С. Попова в изобретении радио (в № 13/14, 1897 г.).

Большое значение имело для России конца XIX в. развитие электротехнического образования. В 1898 г. в нескольких номерах журнала была напечатана статья М. А. Шателена «Преподавание электротехники в высших учебных заведениях в России и за границей».

Много внимания журнал уделял с самого начала своего издания вопросам истории электротехники; систематически помещались заметки о выдающихся деятелях электротехники. В 80-х и 90-х годах были опубликованы статьи: по истории электрического освещения (Чиколев, № 5, 6, 1880 г.), очерки по истории гальванопластики (№ 3/4, 1881 г.), по истории телеграфа в России (№ 13/14, 15, 1881 г.), по истории открытия основных свойств магнитов (Хвольсон, № 13/14, 1881 г.), о вкладе в электротехнику В. В. Петрова (№ 4, 1887 г.), по истории трансформаторов (№ 19/24, 1889 г.) и др. В течение нескольких лет продолжалось печатание «Хронологической истории электричества, гальванизма, магнетизма и телеграфа» (№ 15/16, 19, 20, 23, 24, 1891 г. № 19, 20, 21, 22, 1892 г.; № 11/12, 1893 г.; № 15/16, 1894 г.; № 17, 1895 г.; № 9/10, 1896 г.; № 22, 1897 г.; № 1, 3, 4/5, 1898 г.). В 1900 г. в журнале была напечатана статья Н. Г. Егорова «Столетие электрического тока» (№ 1), а в 1901 г. были опубликованы материалы по истории русских изобретений в области электротехники (№ 11/12, 20, 24).

**Второй период.** Начало XX в. ознаменовалось в жизни русской электротехнической общественности давно назревшим событием: в январе 1900 г. открылся I Всероссийский электротехнический съезд. Естественно, что это было большим событием и для печатного органа русских электротехников — для журнала «Электричество». За I съездом последовали другие. До революции состоялось семь съездов: II (1901—1902 гг.), V (1908—1909 гг.) и VII (1912—1913 гг.) в Москве; IV (1907 г.) в Киеве и I, III (1903—1904 гг.) и VI (1910—1911 гг.) в Петербурге. Электротехнические съезды усиливали интерес общества к электричеству и привлекали к электротехнике новые кадры специалистов и новые группы предпринимателей. На страницах журнала «Электричество» в эти годы освещались многие темы, так или иначе связанные с вопросами, обсуждавшимися на съездах.

Второй период в истории журнала (1900—

1917 г.) характеризуется расширением общественного значения журнала, ростом его связей с экономической жизнью страны и относительно более высоким научным уровнем его основных статей. Увеличилось участие в журнале иногородних авторов.

Технико-экономическая отсталость царской России от передовых в техническом отношении стран сказывалась на состоянии электроэнергетики и электротехнической промышленности России в эти годы. Объем продукции отечественных электротехнических предприятий в дореволюционное время был во много раз меньше, чем в Германии, США, Англии и в ряде других стран. Импорт из этих стран часто решал судьбы русских электротехнических предприятий, многие из которых представляли по сути дела лишь сборочные депо или филиалы заграничных фирм (главным образом германских). Понятны в связи с этим стремления лучшей части электротехников России к освобождению отечественной электротехники от технической и экономической зависимости от иностранного производства. Журнал «Электричество» в этом патриотическом движении русской электротехнической общественности выполнял значительную роль.

В связи со сказанным можно отметить напечатанную в журнале в начале рассматриваемого периода статью Ротерта «Положение электротехнической промышленности в России в зависимости от ввозной пошлины» (№ 22, 1902 г.).

На факт захвата, в результате раздела мира между союзами капиталистов, электротехнического рынка России иностранным капиталом указывал в 1916 г. В. И. Ленин в своей работе «Империализм как высшая стадия капитализма» (Соч., т. 22, стр. 234—236).

Озабоченность электротехнической общественности России и журнала «Электричество» положением отечественной электротехники не прекращалась до самого конца предреволюционного периода. В 1916 г. в журнале была опубликована (в № 3) статья «О положении электротехнических предприятий в России и о ближайших задачах VI отдела РТО». В ней та же проблема освещалась под углом зрения изменений в обстановке, вызванных первой мировой войной.

Экономическая отсталость дореволюционной России, однако, не заглушила научной и технической мысли прогрессивно настроенных русских энергетиков и электротехников. Несмотря на все трудности, созданные господством в России иностранных фирм и проникновением на многие командные посты в промышленности иностранных специалистов, русские ученые и инженеры неустанно работали в направлении подъема отечественной электротехники и подготовки кадров среднего и высшего технического персонала для электроэнергетических и электротехнических предприятий страны. Журнал, как и прежде, отражал все злободневные вопросы энергетической и электротехнической жизни России. Тематика журнала во втором периоде его издания была в достаточной степени разнообразной.

Большой отпечаток на содержание журнала

в смысле выделявшегося в журнале места наложило за эти годы строительство электрических станций. Значительное число статей во втором периоде посвящено: описанию проектов или итогов сооружения районных, муниципальных, фабрично-заводских, трамвайных и других электростанций; вопросам их эксплуатации; испытаниям действующего на станциях оборудования; вопросам передачи электроэнергии на большие расстояния и развитию высоковольтных сетей. Большой удельный вес занимают материалы, посвященные электротяге и электрическому приводу в производстве. Естественно, все это влечет рост числа статей и по электродвигателям, а также и по другим разделам электротехники, тесно между собой связанным. Более наглядная характеристика содержания журнала во втором периоде дана в приложении II.

Ознакомление с приведенной в приложении II выборкой показывает, насколько продвинулось развитие электротехники в эти годы по сравнению с первыми годами существования журнала. Если многие статьи первых лет кажутся нам, спустя полвека, в какой-то степени наивными и сохранившими главным образом исторический интерес, то статьи второго периода большей частью говорят уже о наступившей зрелости, о более уверенной постановке научных и технических вопросов. Эти статьи ближе и по теме, в них как бы намечаются начальные контуры тех проблем, которые будут занимать электротехников и в последующие годы, а ряд проблем, конечно, на новой, более высокой научной и технической основе рассматриваются и в наши дни. Некоторые статьи при их чтении позволяют даже сделать вывод о прямой, живой связи идей и задач, отраженных в этих статьях, с современными исследованиями по аналогичным вопросам.

В первом и втором десятилетии XX в. в журнале появляются статьи на темы, которых не было в первые годы издания; например, по вопросам автоматического регулирования напряжения (№ 1, 1914 г.), управления и защиты электрических систем от перенапряжений (Штейнметц, № 20, 1911 г., № 1, 1916 г.), по теории перенапряжений (№ 13/14, 1915 г.), о национальных научно-технических лабораториях (№ 9/10, 11/12, 13/14, 1917 г.) и др.

Наряду с публикацией научных, обзорных и информационных статей журнал стремился широко популяризировать основные справочные и метрологические сведения об электричестве и магнетизме. В течение ряда лет, особенно в первые годы издания, на обложках журнала печатались справочные, метрологические и терминологические данные. Журнал издавал пользовавшийся большим спросом справочник под наименованием «Катехизис электротехника» и в серии «Электротехнической библиотеки» выпустил ряд монографий по основным разделам электротехники.

Отметим в заключение интересный и близкий нашей эпохе проект, выполненный М. К. Поливановым, сооружения в Москве трех диаметров метрополитена с электрической тягой поездов; он

докладывал о нем в мае 1914 г. на заседании Московского общества электротехников; в журнале «Электричество» статья М. К. Поливанова была напечатана в № 2, 1914 г. Проводившаяся в журнале дискуссия о системе тока для электрификации железных дорог (№ 18, 1910 г., № 5, 1915 г. и др.), в которой участвовали А. В. Вульф, Г. О. Графтио, А. Б. Лебедев, В. А. Шевалин и др., явилась полезным материалом, использованным в дальнейшем при разработке вопросов электрификации тяги по плану ГОЭЛРО, уже при Советской власти.

От царской России осталась небольшая и дезорганизованная электротехническая промышленность, почти не имевшая заводов с полной технологией, исследовательских лабораторий и научной базы. Октябрьская революция создала все необходимые условия для развития в России отечественной энергетики и электропромышленности невиданными в истории темпами.

**Советский период.** Журнал «Электричество», испытывавший на протяжении 1917 г., как и многие другие специальные журналы, ряд затруднений вследствие хозяйственной разрухи в стране, был выпущен в 1918 г. всего в двух номерах и на этом его издание приостановилось до осени 1922 г.

В октябре 1922 г. вышел № 1 журнала «Электричество», возобновленного изданием уже в качестве органа Главного управления электротехнической промышленности ВСНХ (Главэлектро), Электротехнического (VI) отдела Русского технического общества, Всероссийских электротехнических съездов, Центрального электротехнического совета (ЦЭС), Общества электротехников в Москве, Русского электротехнического комитета МЭК (Comission Electrotechnique Internationale, Comité Russe). Теперь назначение журнала было служить интересам великого социалистического переустройства страны и задачам плановой электрификации всего народного хозяйства Союза ССР. В обращении редакции в № 1, 1922 г. было указано, что, несмотря на временный перерыв в выпуске журнала, его редакционная группа «существовала до самого последнего времени, собирала материалы для журнала и готовилась приступить к печатанию журнала при первой возможности».

«Для России вопрос широкой электрификации с использованием мощных естественных источников энергии, — говорилось в этом обращении, — есть первостепенный вопрос. Но одновременно для нее в настоящее время имеет громадное значение и вопрос о рациональном использовании существующих электростанций, например, путем объединения их по районам, а также вопрос о мелкой сельскохозяйственной электрификации».

Содержание журнала в эти годы было нацелено на претворение в жизнь задач, вытекающих из утвержденного в декабре 1920 г. плана ГОЭЛРО. Журнал стремился наверстать потерянное из-за перерыва время. А оно было богато важными для энергетики страны событиями. В 1920 и 1921 гг. большая часть намеченных планом ГОЭЛРО восстановительных работ на электростанциях и ра-

бот по их кольцеванию близилась к завершению. Начались проектирование и подготовка к строительству новых крупных электростанций (Шатурской, Каширской, Волховской, Кизеловской, Свирской и др.).

План ГОЭЛРО, в составлении которого участвовали видные русские специалисты во главе с Г. М. Кржижаповским, должен был обеспечить перевооружение всех отраслей народного хозяйства на базе использования электроэнергии в основных районах страны. Широкая электрификация промышленности требовала выпуска разнообразных двигателей, генераторов, трансформаторов, коммутационной аппаратуры, установочных материалов и т. п. Еще в октябре 1920 г. Совет Труда и Обороны принял постановление «О мерах к восстановлению электротехнической промышленности» (СУ, 1920, № 91), а в январе 1921 г. — о мобилизации граждан, работавших на заводах электротехнической промышленности (СУ, 1921, № 3).

В возобновленном издании журнала получают отражение все вопросы электроэнергетики, связанные с задачами восстановления экономической жизни страны и реализацией Государственного плана электрификации (см. приложение III).

В № 12, 1924 г. был помещен обзор А. А. Горева о состоянии работ по плановой электрификации СССР и в № 11, 1927 г. — за первые 10 лет власти Советов. В № 21/22, 1928 г. и № 17/18, 1929 г. были рассмотрены очередные проблемы электротехнической промышленности. Наряду с важными инженерными статьями, характерными для журнала в эти годы, печатаются и теоретические работы, статьи, в которых читатели могут почерпнуть общие сведения о развитии физической науки, например: статьи А. Ф. Иоффе об электрической природе материи (№ 1, 1923 г.), Д. В. Скобельцына о квантовой теории материи и новых опытных данных о магнитных свойствах атомов (№ 1, 1924 г.) и др. Наряду с широким освещением задач и работ по электрификации СССР в журнале систематически помещаются материалы о состоянии энергетики за рубежом, о представляющих интерес соответствующих иностранных разработках и т. п. Печатается информация о работе Центрального электротехнического совета ЦЭС (№ 3, 1922 г.), о Мировой конференции по энергетике (№ 12, 1924 г.), о Всесоюзной конференции по электроснабжению (№ 8, 1924 г.), об общем собрании Международной электротехнической комиссии в Нью-Йорке (№ 9, 1926 г.). В № 4 за 1926 г. и № 11 за 1927 г. опубликованы статьи С. И. Курбатова и В. П. Хацинского о задачах электротехнического образования в СССР. В эти годы было несколько статей и по электрификации быта (М. А. Шателена, А. А. Цекулиной, Е. Н. Шароева и др. в № 10, 1923 г., № 8, 1925 г.).

В 1925 г. было завершено восстановление электротехнической промышленности. Выработка электроэнергии перевалила за 4 млрд. *квтч*, т. е. более чем в 2 раза превысила выработку 1913 г.

В результате выполнения первого пятилетне-



го плана (1928/1929—1932/1933 гг.) развития народного хозяйства СССР было обеспечено превращение страны из аграрной в индустриальную, была создана экономическая база для построения социалистического общества. В годы первой пятилетки были созданы новые отрасли электротехнической промышленности: гидрогенераторостроение, турбогенераторостроение, крупное трансформаторостроение, высоковольтное аппаратостроение и др. В электропромышленности были развернуты на высокой научной базе крупные лаборатории, конструкторские бюро, были подготовлены квалифицированные кадры. План ГОЭЛРО был выполнен в 1931 г. Первый пятилетний план в области электротехнической промышленности был реализован в 3 года; советская электропромышленность в итоге первой пятилетки по объему продукции вышла на первое место в Европе и на второе место в мире, а в сравнении с 1913 г. выросла более чем в 15 раз.

Несмотря на это, выпуск электротехнических изделий оказался узким местом на пути социалистической индустриализации страны. Перед электротехниками страны была поставлена боевая задача — в постановлении ЦК партии по докладу о работе Государственного электротехнического треста было сказано: «Электрификация страны, являющаяся основой для успешного проведения общего плана социалистической индустриализации, выдвигает перед рабочим классом в качестве одной из первоочередных и важнейших задач, — задачу такого развития советской сильноточной электротехнической промышленности, при котором она перестала бы быть «узким местом» и тормозом электростроительства, а сделалась бы толчком электрификации и энергичным пионером все большего ее внедрения во все области народного хозяйства» («Правда» от 19 марта 1930 г., № 77).

Непосредственно перед этим в журнале были опубликованы статьи, посвященные реорганизации системы управления электротехнической промышленностью (№ 17/18, 1929 г.), вопросам, обсуждавшимся на первой всесоюзной производственной конференции электротехнической промышленности (№ 1, 1930 г.), техническим задачам электропромышленности (№ 1, 1930 г.) и др.

С 1931 г. содержание журнала «Электричество» заметно перестраивается в сторону большего освещения второго пятилетнего плана и особенно вопросов, связанных с технической реконструкцией промышленности. Проведенная редакцией журнала заочная конференция читателей путем анкетного опроса о желательном направлении и содержании журнала помогла на основе критических замечаний читателей (№ 21, 1932 г.) провести ряд изменений для улучшения журнала и приближения его тематики к практическим вопросам технической реконструкции.

В эти годы начинается печатание статей, посвященных генеральному плану электрификации (№ 11, 19, 23/24, 1931 г.; № 1, 2, 3, 6, 9, 15/16, 1932 г.; № 13, 16, 1935 г.; № 21, 1937 г.), единой высоковольтной сети (№ 14, 1932 г.; № 15,

1937 г.), передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения (№ 12, 1931 г.; № 13, 1936 г.), устойчивости систем (№ 11, 1937 г.), автоматике и телемеханике (№ 8, 17, 1931 г.; № 22, 1932; № 21, 1935 г.; № 17, 1936 г.; № 1, 1937 г.), крупному энергостроительству — «Большая Волга» (№ 2, 1932 г.), Днепрогэс (№ 9, 1932 г.; № 10, 1935 г.), Свирьгэс (№ 13, 1936 г.), проблеме передачи Куйбышев — Москва (330 или 440 кв), в № 13, 1936 г., № 12, 1937 г. и № 4, 1938 г.

Одной из решающих народнохозяйственных задач плана второй пятилетки (1933—1937 гг.) была задача завершения технической реконструкции всего народного хозяйства; особо важная роль в реализации этой задачи принадлежала машиностроению и в том числе электромашиностроению, а также всей электротехнической промышленности, без развития которой невозможно было создать расширенную энергетическую базу для электроснабжения и электрификации всех отраслей народного хозяйства. В итоге второй пятилетки электропромышленность, выполнившая план в 4½ года, превысила уровень 1913 г. более чем в 40 раз. Были созданы единые серии электромашин, не уступающие уровню мировой техники. За эти годы было построено несколько десятков новых электростанций, в том числе значительное число тэц. В 1934 г. вступила в строй действующих станций Днепрогэс. Несколько ранее — электропередача 220 кв Свирь — Ленинград (№ 1, 1932 г.; № 13, 1936 г.). Мощность районных электростанций увеличилась на 76%. В 1937 г. по производству электроэнергии СССР занял третье место в мире и второе в Европе, а по мощности электроцентралей и отпуску тепловой энергии — первое место в мире. Огромное развитие в эти годы получили крупнейшие энергосистемы страны и их объединения (Москва, Донбасс, Урал и др.). В структуре энергосистем произошли значительные перемены, во-первых, в смысле подъема удельного веса мощных турбогенераторов и, во-вторых, в смысле увеличения роли гидроэлектростанций.

В ряде статей этого периода уделено внимание разработке и выпуску заводом «Электросила» крупных гидрогенераторов подвесного и зонтичного типов (№ 8, 11, 15, 1933 г.; № 1, 1934; № 13, 1937 г.) и проектированию машин по 115 и 165 тыс. квт (№ 11, 1938 г.). Широкое внедрение электрического привода сказалось в эти годы на росте энерговооруженности труда, которая достигла в промышленности 5 700 квтч на 1 рабочего. Актуальным вопросам электрификации промышленности СССР были посвящены статьи в № 21, 1932 г.; № 1, 1933 г.; № 1, 13, 1936 г.; № 21, 1937 г.

Со второй пятилеткой связан период окончания Балтийско-Беломорского канала (1933 г.), первой очереди Кузнецкого металлургического комбината (1932 г.), первых линий Московского метрополитена, 1935 и 1936 г. (см. № 4, 1932 г.; № 2, 6, 19, 1937 г.; № 3, 1940 г.), канала имени Москвы, 1937 г. (№ 2, 1938 г.), мощного электроаппаратного завода на Урале (1937 г.) и др.

Неоднократно в журнале в 1937 г. и позже заострялись вопросы бдительности на производственно-техническом и научном фронте.

Помимо систематического печатания в каждом номере реферативных сообщений из иностранной научной и электротехнической периодики, в журнале регулярно печатались и более полные обзоры состояния заграничной электротехники и энергетического строительства, в том числе посвященные отдельным странам (см., например, № 17/18, 1932 г.; № 6, 8, 10, 12, 1936 г.; № 1, 6, 12, 1937 г.; № 4, 1938 г. и др.). Это помогало советским инженерам и научным работникам быстрее выполнять указания Партии и Правительства о подъеме отечественной электроэнергетики до уровня мировой техники. Творческое восприятие передового зарубежного опыта помогало отечественной электропромышленности идти во многих направлениях с опережением его и часто находить более короткие пути.

Существенно важные для социалистического строительства инженерные темы, которыми был насыщен журнал в годы второй пятилетки, не вытесняли из журнала физические и общетеоретические вопросы. Они имели для читателей не менее полезное значение и им отводилось соответствующее место. В 1930 г. (в юбилейном номере) была опубликована работа А. Ф. Иоффе об электрических свойствах диэлектриков; в 1931 г. (№ 14) — его же статья об энергетических проблемах. В том же году — исследование А. А. Смурова о физической природе явлений при импульсных разрядах. Ряд статей был посвящен физике атомного ядра (№ 6/7, 8, 1933 г.; № 2, 1934 г.). В № 5, 1935 г. была напечатана статья Н. Г. Дроздова о борьбе с электростатическими зарядами в цехах заводов. В № 12, 1933 г. и № 1, 5, 7 и 22, 1934 г. были опубликованы материалы большой дискуссии, разгоревшейся вокруг статей В. Ф. Миткевича, Я. И. Френкеля и Д. Б. Гогоберидзе «об условиях математической трактовки физических явлений»; эта дискуссия в течение долгого времени привлекала внимание многих читателей, а отдельные ее вопросы сохранили свое значение и до сего времени, когда спустя 20 лет они оказались частично отраженными в проводящейся теперь в журнале «Электричество» дискуссии по статье «Поле как вид материи» (№ 7, 1954 г.).

В 1939 г. XVIII съезд ВКП(б) утвердил третий пятилетний план (1938—1942 гг.). В резолюции была определена важная задача третьей пятилетки в области электрохозяйства: ликвидировать имеющуюся частичную диспропорцию между большим ростом промышленности и недостаточным увеличением мощности электростанций с тем, чтобы рост электростанций не только опережал рост промышленности, но и обеспечивал создание значительных резервов электрических мощностей. Соответственное задание по мощности электростанций — 17,2 млн. кВт и по годовой выработке электроэнергии — 75 млрд. кВтч против 8,1 млн. кВт и 36,4 млрд. кВтч в 1937 г. Резолюция съезда легла в основу

опубликованной в журнале «Электричество» (№ 6, 1939 г.) статьи М. Г. Первухина «К новому подъему в работе электростанций и электропромышленности СССР».

В журнале рассматривается ряд теоретических и инженерных проблем, от которых зависит разрешение электротехнических и энергетических задач по третьему пятилетнему плану.

В связи с обсуждавшейся проблемой электропередачи Куйбышев — Москва постоянным током в № 1, 1940 г. была опубликована статья А. А. Чернышева. В юбилейном номере журнала (1940 г.) была опубликована его же статья «О современных тенденциях развития электротехники». В № 2, 1941 г. была напечатана оригинальная работа В. А. Веникова об изучении электрических систем на моделях с вращающимися машинами. В дальнейшем автору за его труд, посвященный теории электрического моделирования, была присуждена Академией наук СССР премия имени П. Н. Яблочкова. В приложении IV приведены еще некоторые статьи этого периода.

За годы третьей пятилетки в электротехнической промышленности СССР был осуществлен дальнейший технический прогресс на базе глубокой специализации электротехнических предприятий в Сибири и на Урале. Были разработаны новые серии и типы асинхронных электродвигателей, машин постоянного тока, турбогенераторов, гидрогенераторов, трансформаторов, высоковольтной и низковольтной аппаратуры, новые марки кабелей и изолирующих материалов и пр. Дальнейшее развитие в эти годы получили следящие и другие сложные системы автоматизированного привода, допускающие непрерывное безреостатное управление при резко сокращенном количестве релейно-контакторных элементов.

В 1940 г. в связи с 60-летием журнала «Электричество» редакция журнала получила приветственные обращения Президиума Академии наук СССР, Народного комиссариата электростанций СССР и Народного комиссариата электропромышленности СССР (№ 10, 1940 г. и № 1, 1941 г.).

Начавшаяся в 1941 г. война приостановила издание журнала до конца 1943 г. Возобновленный с 1944 г. журнал из-за затруднений военного времени выходил в уменьшенном объеме, 5 печатных листов; учитывая сдвигание некоторых номеров, объем журнала был фактически еще меньше.

В 1945 г. журналу «Электричество» были созданы необходимые условия для полного восстановления его деятельности. В сентябре 1945 г. в Президиуме Академии наук СССР с участием Президента Академии наук СССР, Министра электростанций СССР, Министра электропромышленности СССР было проведено совещание, специально посвященное журналу «Электричество». Вслед за этим вопросы издания журнала рассматривались в Центральном Комитете ВКП(б): деятельность журнала подверглась всестороннему



**М.В. ЛОМОНОСОВ**

1711 1765



**Г.В. РИХМАН**

1711 1753



**П.А. ВИЛМИНГ**

1786 1837



**Э.К. ЛЕНИ**

1804 1865



**Б.С. ЯКОБИ**

1801 1874





В. Н. ЧИКОЛЕВ  
1845—1898



Д. А. ЛАЧИНОВ  
1842—1902



А. Н. ЛОДЫГИН  
1847—1923



П. Н. ЯБЛОЧКОВ  
1847—1894

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ЖУРНАЛЬ

ИЗДАВАЕМЫЙ VI ОТДѢЛОМЪ

ИМПЕРАТОРСКАГО РУССКАГО ТЕХНИЧЕСКАГО ОБЩЕСТВА.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ. ДАНТЕЛЕЙМОНСКАЯ, № 2

Журналъ выходитъ два раза въ мѣсяцъ, тетрадями, не менѣе двухъ печатныхъ листовъ.

## Содержаніе.

Отъ Редакціи.  
Отчетъ о собраніяхъ VI отдѣла Имп. Русс. Техн. Общ.  
Краткій отчетъ о первой электро-технической выставкѣ въ С.-Петербургѣ.  
О результатахъ, добытыхъ англійской парламентской комиссіей по электрическому освѣщенію; Г. Лачинова.  
Оптический динамометръ Г. Лачинова.  
Термо-электрическая печь Клямона.  
Электро-механическая работа.  
Электрическія желѣзныя дороги; Г. Чяколева.  
Постепенное развитіе телеграфіи; сообщеніе Г. Брегета.  
Двойная (сложная) передача телеграммъ. Дуплексъ Стирнес.  
Наши телеграфы.  
Библиографія.  
Разныя извѣстія:

Ворвь въ газъ на Лондонскихъ улицахъ. Электрическое освѣщеніе: Одесскаго бульвара, Парижской оперы, Типографіи „Neue Freie Presse“ и улицъ въ Берлинѣ. Мѣры французскаго Военнаго Министра по организаціи электр. освѣщенія для обороны крѣпостей. Передача механической работы въ сельскомъ хозяйствѣ. Опыты съ телефонами. Распространеніе телефоновъ. Электротехническое общество въ Берлинѣ.

Справочныя свѣдѣнія по электро-техникѣ (на оборотѣ).  
Частныя объявленія.

## Sommaire.

Aux lecteurs.  
Extrait des procès-verbaux des réunions des membres de la VI section de la société Imp. Techn. Russe.  
Rapport sur l'Exposition Electro-technique à St.-Petersbourg.  
Compte-rendu de la commission parlementaire en Angleterre sur l'éclairage électrique; par M. Latchinoff.  
Le dynamomètre optique de M. Latchinoff.  
Pile thermo-électrique de Clamond.  
Le travail electro-mécanique.  
Les chemins de fer électriques; par M. Tchikoleff.  
Développement graduel de la Télégraphie. Communication de M. Bréguet.  
Transmissions télégraphiques doubles; Duplex Stearns.  
Nos télégraphes.  
Bibliographie.  
Faits divers.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Въ типографіи В. Х. Веллингъ, Англійскій просв. № 10.

1880.



А. Г. СТОЛЕТОВ  
1839—1896



А. С. ПОПОВ  
1859—1906



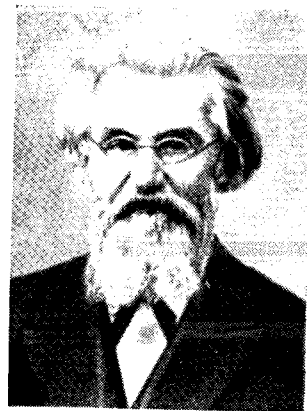
М. О. ДОЛИВО-  
ДОБРОВОЛЬСКИЙ  
1862—1919



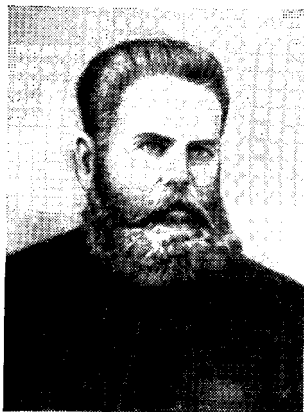
М. М. БОРЕСКОВ  
1829—1898



Ф. А. ПИРОЦКИЙ  
1815—1898



Н. Г. ЕГОРОВ  
1819—1919



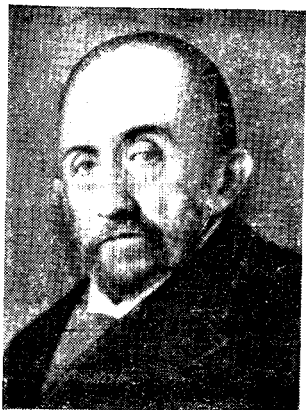
Н. Н. БЕНАРДОС  
1842—1905



Н. Г. СЛАВЯНОВ  
1854—1897



П. Д. ВОЙНАРОВСКИЙ  
1866—1913



О. Д. ХВОЛЬСОН  
1852—1934



А. И. СМЕРНОВ  
1851—1910



В. К. ЛЕБЕДИНСКИЙ  
1868—1937



А. В. ВУЛЬФ  
1864—1923



А. Л. ГЕРШУН  
1884—1915



Р. Э. КЛАССОН  
1868—1926



П. К. ПЕШЕКЕРОВ  
1864—1943



А. А. ВОРОНОВ  
1860—1938



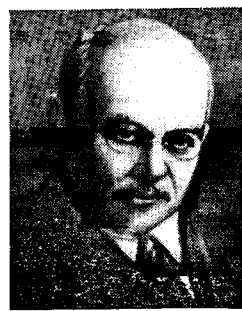
В. Ф. МИТКЕВИЧ  
1872—1951



К. А. КРУГ  
1873—1952



Г. О. ГРАФТИО  
1869—1949



А. А. ЧЕРНЫШЕВ  
1882—1940



К. И. ШЕНФЕР  
1885—1946



В. К. АРКАДЬЕВ  
1884—1953



С. И. ВАВИЛОВ  
1891—1951



Б. Е. ВЕДЕНЕВ  
1885—1946



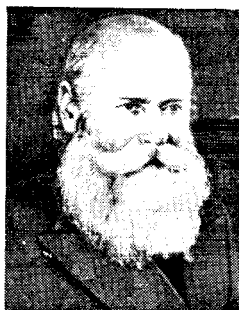
М. В. ШУЛЕЙКИН  
1884—1939



Н. Д. ПАПАЛЕКСИ  
1890—1947



Ф. И. ХОЛУЯНОВ  
1879—1936



В. П. ВОЛОГДИН  
1883—1950



Я. И. ФРЕНКЕЛЬ  
1894—1952





В. К. ПОПОВ  
1895—1948



А. А. СМУРОВ  
1884—1937



П. И. КАЛАНТАРОВ  
1892—1951



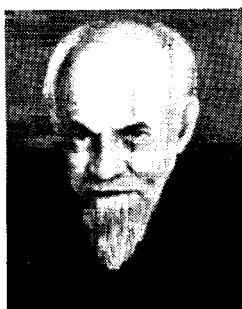
М. К. ПОЛІВАНОВ  
1875—1927



В. М. ХРУЩЕВ  
1882—1941



В. Т. КАСЬЯНОВ  
1888—1952



В. А. ТОЛВИНСКИЙ  
1887—1952



А. А. ГОРЕВ  
1884—1953



Б. П. АПАРОВ  
1899—1950



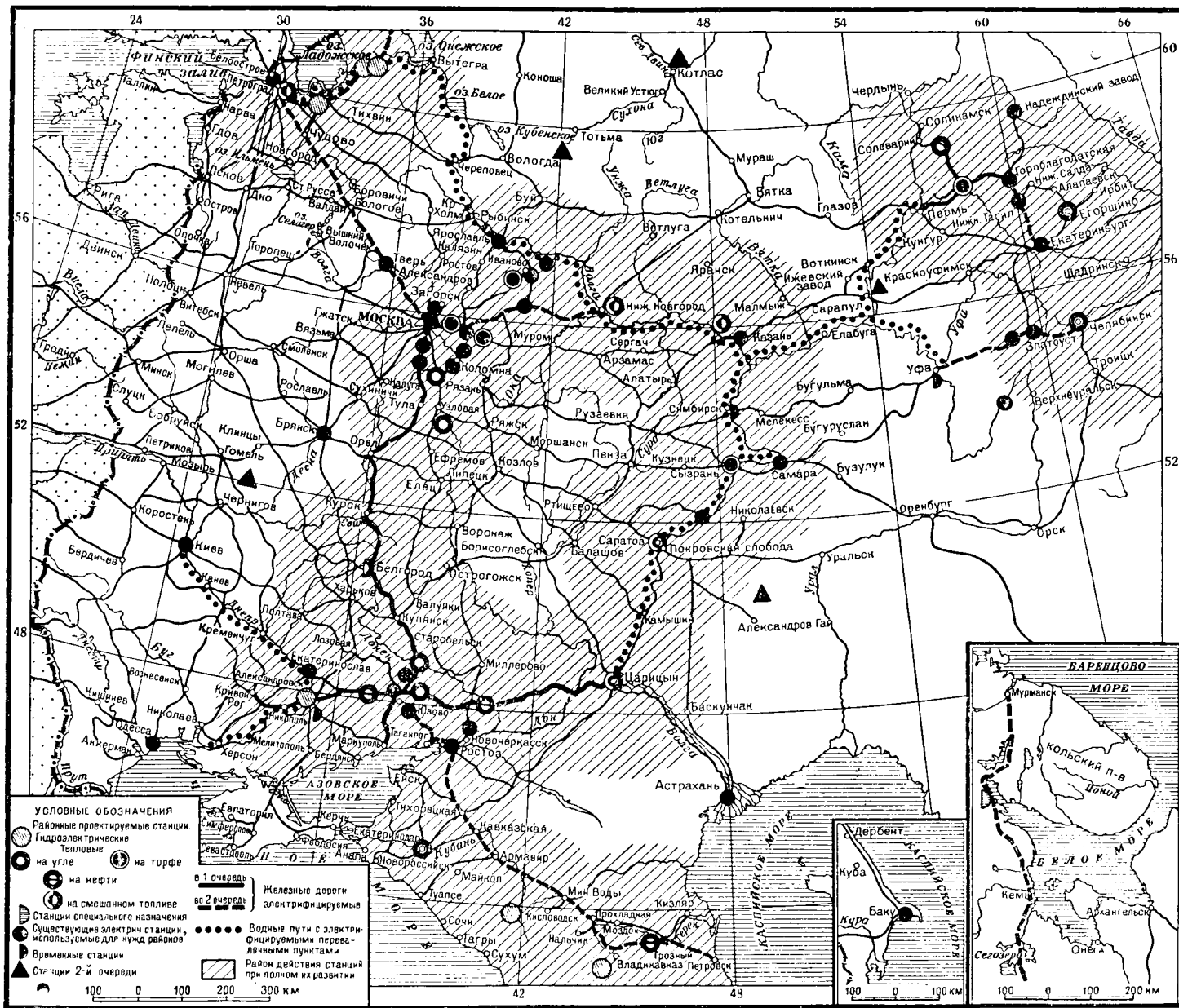
П. С. ЖДАНОВ  
1903—1949



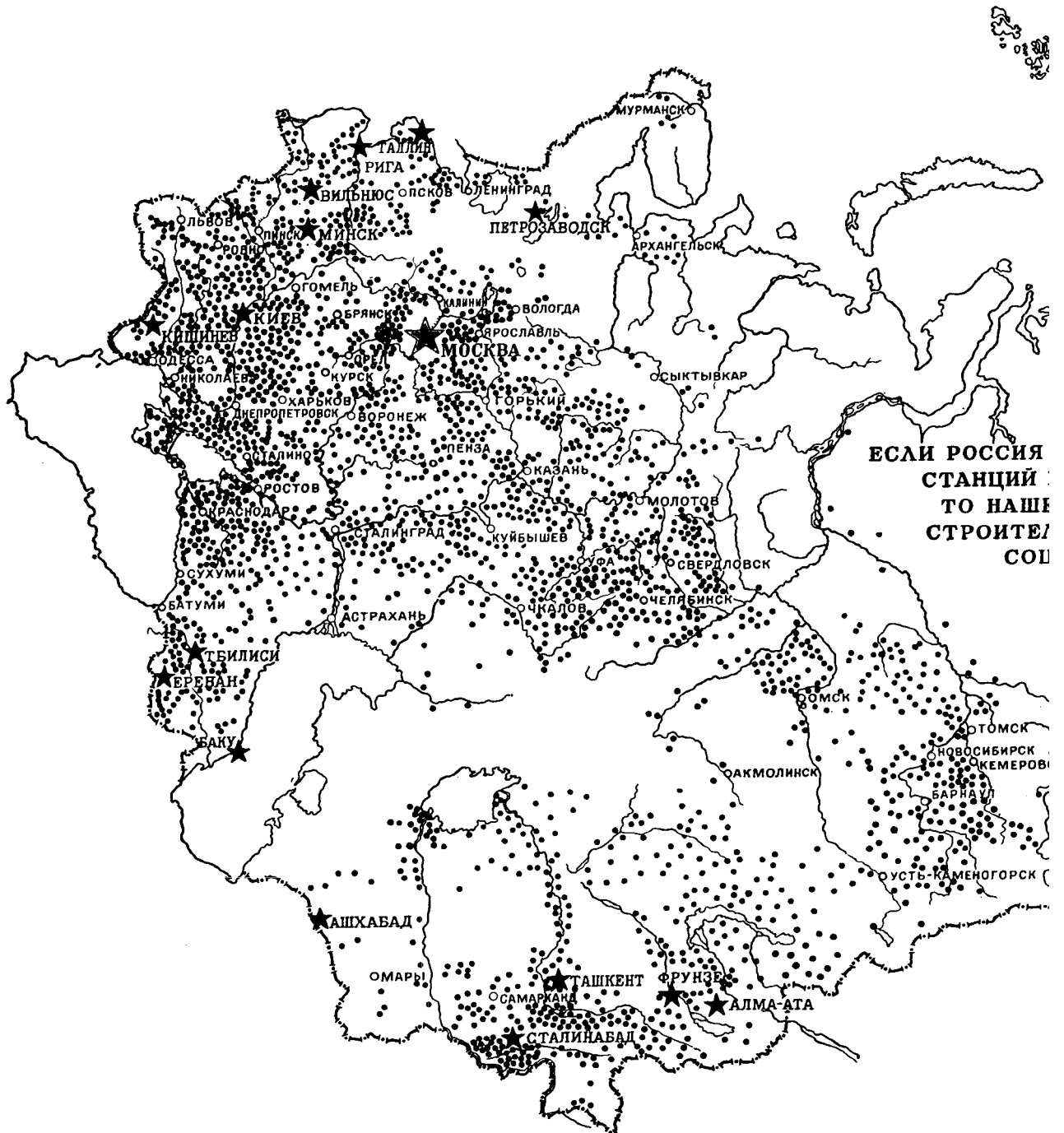
А. Б. ЛЕБЕДЕВ  
1885—1941



В. А. ШЕВАЛИН  
1890—1941

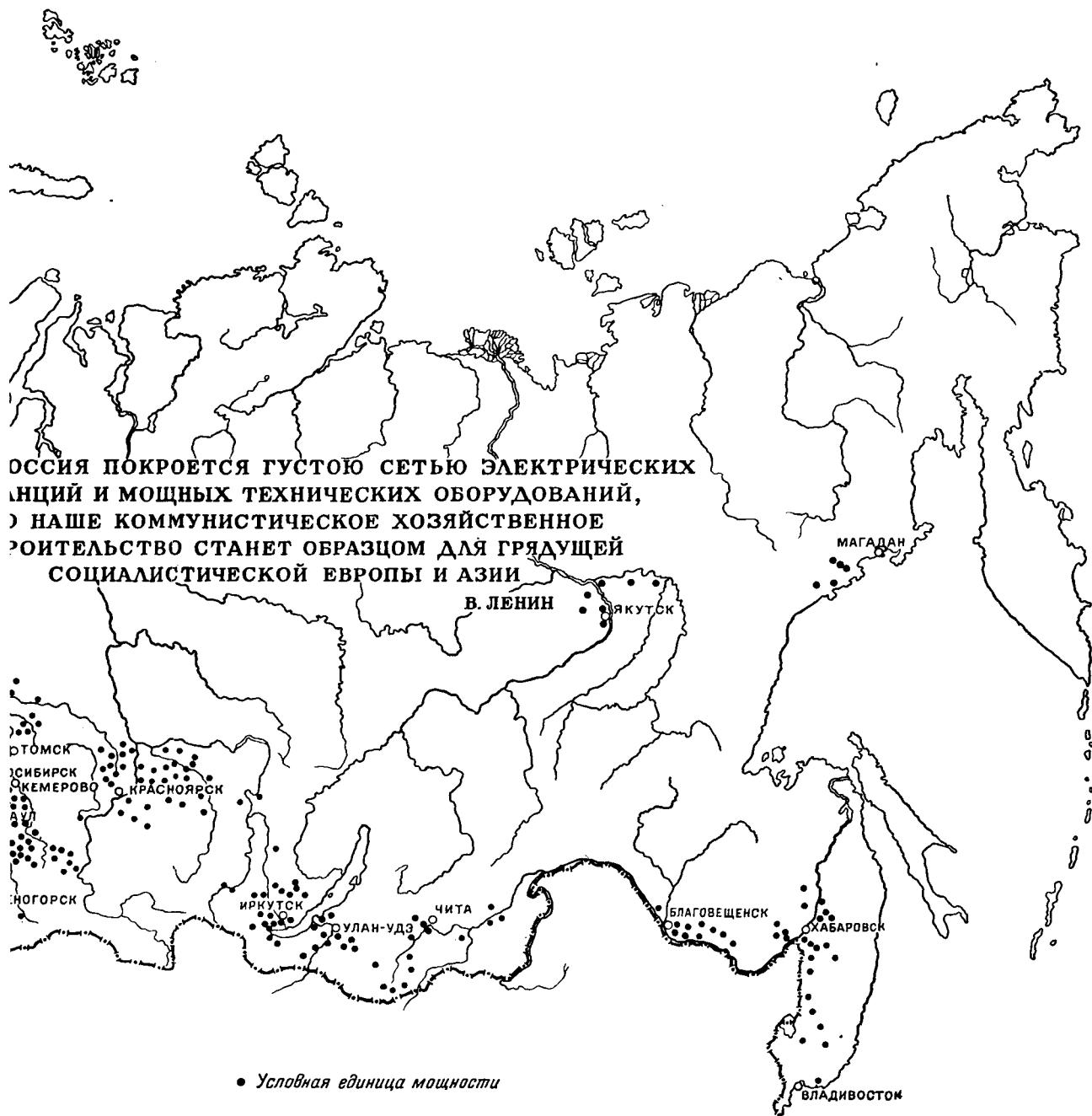


Карта ГОЭЛРО



**ЕСЛИ РОССИЯ  
СТАНЦИЙ  
ТО НАШЕ  
СТРОИТЕЛ  
СОИ**

Карта электрификации с  
(по макету в Павильоне механ



(а) электрификации сельского хозяйства СССР  
 (б) механизации и электрификации ВСХВ)

СССР ПОКРОЕТСЯ ГУСТОЮ СЕТЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
 РАБОТНИЦ И МОЩНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБОРУДОВАНИЙ,  
 КОТОРЫЕ НАШЕ КОММУНИСТИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЕ  
 УПРАВЛЕНИЕ СТАНЕТ ОБРАЗЦОМ ДЛЯ ГРЯДУЩЕЙ  
 СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ ЕВРОПЫ И АЗИИ

В. ЛЕНИН • ЯКУТСК

МАГАДАН

ТОМСК  
 КЕМЕРОВО  
 КРАСНОЯРСК  
 ИРКУТСК  
 УЛАН-УДЭ  
 ЧИТА

БЛАГОВЕЩЕНСК  
 ХАБАРОВСК

ВЛАДИВОСТОК



Член-корр. Академии наук СССР М. А. ШАТЕЛЕН  
*профессор Ленинградского политехнического  
института им. Калинина*



Академик Г. М. КРЖИЖАНОВСКИЙ  
*директор Энергетического института  
им. Кржижановского Академии наук СССР*

критическому обсуждению, редакционной коллегии были даны принципиальные установки по всем основным вопросам, связанным с дальнейшим улучшением работы редакции и приближением содержания журнала к запросам восстанавливаемого после войны народного хозяйства Советского Союза. За прошедшие после этого годы в результате осуществления указаний ЦК содержание журнала улучшилось. В 1946—1955 гг. был опубликован ряд крупных статей по актуальным техническим проблемам электрификации Советского Союза (см. приложение V).

Объем журнала после возобновления увеличился с 5 до 12 печатных листов в номере, тираж — с 3 000 экз. до 20 000 экз. Значительная часть тиража журнала «Электричество» распространяется в различных странах мира. В течение всех лет журнал «Электричество» производит на основе взаимности международный обмен на электротехнические журналы большинства зарубежных стран с целью регулярной информации читателей об иностранном опыте и достижениях в области электроэнергетики и электротехники.

Редакция поддерживает постоянное общение с читателями для учета запросов к журналу. Деятельность журнала периодически обсуждается на читательских и авторских конференциях. В 1955 г. состоялись конференции в Свердловске, Харькове и Ленинграде. Редколлегия журнала, учитывая высказанные на конференциях пожелания, стремится к тому, чтобы материалы, публикуемые в журнале, сочетали научную ценность и практическую направленность содержания, чтобы и научные статьи были написаны доступно, с ясным описанием физической стороны рассмотренных в статье вопросов.

Созданный пионерами русской электротехники на заре ее развития журнал «Электричество» систематически освещал и пропагандировал труды и открытия русских и зарубежных электротехников. Журнал «Электричество» справедливо именуется „летописью“ отечественной электротехники. Содержащиеся в номерах журнала за истекшие 75 лет материалы являются капитальным первоисточником большой ценности, незаменимым при изучении истории русской и мировой электротехники.

Интересы читателей — советских инженеров и научных работников, интересы дальнейшего развития электрификации СССР — основной критерий в работе журнала «Электричество». Направление журнала определяется задачами технического прогресса и имеет своей целью успешное претворение в жизнь под руководством Коммунистической партии Советского Союза ленинской программы построения в России на базе электрификации всей страны коммунистического общества. Вступая в 76-й год издания, журнал «Электричество» благодаря созданным Партией и Правительством возможностям развития печати и научно-технической периодики имеет все необходимые условия для успешного выполнения поставленных перед журналом задач в соответствии с постановлением Пленума ЦК КПСС 11 июля 1955 г.

Приложение I

## Некоторые статьи первого периода

Теоретическая электротехника: об электрической дуге (Тихомиров, № 10/11, 18/19, 1882 г.), об электромагнитной теории Максвелла (№ 22/23, 1884 г.), № 22/23, 1886 г.), о многофазных переменных токах (Госпиталье, № 19, 20, 1892 г.), о магнитной проницаемости тел (Розинг, № 9/10, 11/12, 19, 1893 г.), об опытах над переменными токами с большим числом колебаний (Тесла, № 15/16, 17, 18, 24, 1893 г.; № 4, 1894 г.; № 11/12, 1899 г.), об открытии Рентгена (№ 1, 6, 1896 г.), о терминологии (Чиколев, № 21, 1897 г.), о новых исследованиях электрической дуги (№ 9/10, 11/12, 15/16, 1897 г.), об электронах (Лодж, № 8, 9/11, 13/14, 1903 г.) и др.

Электрические измерения: о русских приборах, отправленных на Парижскую выставку (Боргман, № 15, 1881 г.), об электрических и магнитных единицах, утвержденных на международном конгрессе в Париже (Столетов, № 21, 1881 г. и др.), об абсолютных единицах, в особенности магнитных и электрических (Хвольсон, в ряде номеров 1881 г.), о новом приборе для изучения переменных токов (Шателен, № 23/24, 1897 г.) и др.

Электрические станции, передача и распределение электрической энергии: об электромеханической работе (Лачинов, № 1, 2, 5, 6, 7, 1880 г.), об электрической передаче работы на большое расстояние (Депре, № 15, 16, 1881 г.), о распределении электричества из центральных станций (№ 14, 1885 г.), об электрической передаче энергии (Айртон, № 16, 17/18, 19/20, 1888 г.), о преимуществах постоянного и переменного тока для передачи электрической энергии на большое расстояние (№ 11/12, 1896 г.), о передаче электрической энергии на большое расстояние (Форбс, № 1, 1899 г.; Войнаровский, № 3, 1908 г.) и др.

Электрические машины, трансформаторы, аппараты: о параллельном соединении динамоэлектрических машин по способу Тверитинова (№ 10, 1880 г.), об установлении динамоэлектрических машин на гибком вале (Тверитинов, № 15, 1881 г.), о формулах для трансформаторов (Форбс, № 13/14, 1888 г.), о теории динамоэлектрических машин (№ 4, 6/7, 17/18, 19/24, 1889 г.), об определении полезного действия динамоэлектрической машины (Капп, № 9/10, 1892 г.), о трансформаторах и их развитии (№ 11/12, 15/16, 1894 г.), о выпрямителях переменных токов (№ 19, 1898 г.), теоретическое исследование и расчет многофазных асинхронных двигателей (Воронов, № 6, 8, 9/10, 13/14, 21/22, 1898 г.) и др.

Электрический привод: об электрической подъемной машине (№ 11, 1880 г.), об электрическом пожарном кране (№ 15, 1881 г.), о применении электричества в рудниках и каменноугольных копях (№ 18, 1891 г.), об электрических моторах как двигателях заводских машин и станков (№ 5, 1894 г.), о рациональном устройстве одиночного электрического привода и его экономичности (№ 15/16, 1901 г.) и др.

Электрическое освещение: об электрическом освещении улиц, мостов и площадей (№ 7, 8/9, 1880 г.), о канализации электрического света (Чиколев, № 11, 12, 1880 г.), об условиях широкого распространения электрического света (Авенариус, № 14, 1882 г.), о параллельном введении электрических ламп (Лачинов, № 12, 13, 1882 г.), о лампе с накаливанием (Чиколев, № 20/21, 1882 г.), о наиболее выгодном распределении ламп с накаливанием в цепи электрической машины (№ 8, 1883 г.), об электрическом освещении фабрик и заводов (№ 19, 21/22, 1887 г.) и др.

Электрификация транспорта: об электрических железных дорогах (Чиколев, № 1, 1880 г.; № 11/12, 1890 г.), об электрических железных дорогах в Европе и Америке (почти все номера 1896 г.), описание некоторых новых линий электрических железных дорог (Графтио, № 3, 4, 17, 19, 22/24, 1900 г.), о самодвижущемся троллее для автомобилей (№ 20, 1901 г.) и др.

Электрохимия: о гальваническом никелировании (№ 20, 1881 г.), заметки по теории и практике электролиза (Долливо-Добровольский, № 5/6, 1885 г.), обзор применений электричества в различных отраслях химической промышленности (№ 4, 1894 г.).

Электрометаллургия: об электрическом паянии металлов по способу «электротифест» (Лачинов, № 7,

1887 г.), о способе Бенардоса электрического спаивания и сваривания (№ 14/15, 1887 г.), об электрическом уплотнении металлургических отливок по способу Славянова (№ 23, 1895 г.), об электрометаллургических печах (№ 15/16, 1897 г.) и др.

Электрификация сельского хозяйства: о применении электричества к сельскому хозяйству (№ 5, 1889 г.) и др.

Электрификация быта: электрический будильник (№ 15, 1882 г.), электричество в применении в быденной жизни (№ 16, 18/19, 23/24, 1882 г.; № 1, 6/7, 12, 1883 г.; № 2/3, 11/12, 14/15, 22/23, 1884 г.), о применении электричества к отоплению и нагреванию (№ 22, 1895 г.) и др.

Телеграф, телефон: об успехах электрической телеграфии (№ 1, 2, 1880 г.), о телефонической передаче театральных представлений (№ 22, 1881 г.; № 10/11, 1882 г.), о телефонии (№ 3/4, 10/11, 18, 19/20, 23/24, 1883 г.; № 4, 6/7, 9/10, 20/21, 1884 г.; № 21/24, 1885 г.), о применении телефонов к железным дорогам (Голубицкий, № 13/14, 1888 г.), о самодействующих центральных коммутаторах для телефонных и телеграфных линий (Мосцицкий, № 23/24, 1888 г.; № 1, 2/3, 1889 г.), об автоматической телефонной системе Апостолова-Бердичевского (№ 11/12, 17, 1896 г.) и др.

Радио: о приборе для обнаружения и регистрирования электрических колебаний в атмосфере (А. С. Попов, № 13/14, 1896 г.) и др.

Изоляция: об изоляции электрических установок (№ 9, 1889 г.) и др.

Нормы, правила: основные условия устройства и эксплуатации городских телефонных сообщений (№ 24, 1881 г.), проект правил для безопасного общественного и частного пользования электричеством (№ 3/4, 1883 г.) и др.

#### Приложение II

##### Некоторые статьи второго периода

Теоретическая электротехника: теория дуги переменного тока и ее применения (№ 20, 1906 г.), явление тихого разряда в высоковольтных линиях передачи (Миткевич, № 7, 1910 г.), теория радиоактивных явлений (№ 15, 1911 г.), об электрических колебаниях в связанных системах, теория электрических колебаний (№ 14, 1911 г.; № 9, 13, 20, 1913 г.), электрические способы решения уравнений (Майзель, № 13, 1913 г.), электрический ток с точки зрения электронной теории (Иоффе, № 8, 1914 г.), электронная теория металлической проводимости (Гульбис, № 1, 1916 г.) и др.

Электрические измерения: об измерении частоты переменных токов (№ 6, 1901 г.), методы фотометрирования ламп и освещенности помещений (Шателен, № 5, 1908 г.), методы измерений высокого напряжения и новый абсолютный высоковольтный вольтметр (Чернышев, № 15, 1910 г.), новейшие измерительные приборы (№ 1, 20, 1912 г.), компенсационные способы измерения основных величин цепи переменного тока (Евреинов, № 3, 1915 г.) и др.

Электрические станции, передача и распределение электрической энергии: о расчете проводов при распределении электрической энергии переменным током (№ 18, 1900 г.), о центральных станциях для электрических трамваев (№ 17/18, 20, 21, 1902 г.), о расчете и целесообразном распределении проводов воздушных параллельных линий переменного тока (№ 18, 20, 22/23, 24, 1905 г.; № 1/2, 1906 г.), о больших паровых центральных станциях и распределении энергии (№ 15/16, 1906 г.), устройство и изоляция линий высокого напряжения (№ 8, 1907 г.), об электрической передаче энергии на большие расстояния (Войнаровский, № 3, 1908 г.), современные гидроэлектрические устройства (№ 1, 4, 5, 1908 г.), о прокладке на большом протяжении линий высокого напряжения (№ 7, 1909 г.), о распределительных сетях городских центральных трехфазных станций и районных (междугородных) станций (№ 10, 1910 г.), к расчету сложных электрических сетей (Войнаровский, № 1, 2, 1912 г.), гидроэлектростанции с точки зрения их экономичности (№ 13, 1913 г.), районные центральные электрические станции (Каменский, № 9, 1914 г.), о гидроэлектрических установках южных штатов Северной Америки

(Чернышев, № 3, 4, 1915 г.) и ряд других статей, в том числе ежегодно: об электростанциях в различных городах России, о статистических показателях работы русских ээс и пр.

Электрические машины, трансформаторы, аппараты: коллекторные двигатели переменного тока (№ 11/12, 13/14, 1904 г.), турбогенераторы (№ 11, 1907 г.; № 11, 1908 г.), обзор новейших конструкций электрических машин (№ 1, 4, 1909 г.), о развитии и состоянии техники построения коллекторных двигателей переменного тока (Холуянов, № 13, 1910 г.; № 1, 3, 1911 г.), о многофазных двигателях (Круг, № 4, 1911 г.), коммутирование тока в многофазных коллекторных двигателях (Шенфер, № 10, 1912 г.), о роли дополнительных полюсов в машинах постоянного тока (Шенфер, № 10, 1915 г.), опытный трансформатор на 1 млн. в (№ 12, 1916 г.), прогресс в технике высокого напряжения (№ 9/10, 11/12, 1917 г.) и др.

Электрический привод: системы группового и одиночного привода при электрической передаче энергии в мастерских (№ 11/12, 13/14, 1906 г.), электропривод машин—орудий (№ 7, 1908 г.), электрическое распределение силы на текстильных мануфактурах (№ 1, 2, 3, 6, 1908 г.), электрическое оборуование кранов и подъемников (№ 19, 1914 г.; № 8, 1915 г.), об электроприводе прокатных станов (№ 9, 1914 г.), о выборе электродвигателя для шахтного подъема (№ 17/18, 19/20, 1916 г.) и др.

Электрическое освещение: будущность электрического освещения (№ 11, 1907 г.), свет и освещение (Штейнметц, № 6, 7, 1907 г.; № 1, 1917 г.), о преобразовании электрической энергии в световую (Штейнметц, № 2, 1908 г.), освещение городов электричеством (№ 2, 4, 9, 10, 12, 1908 г.), развитие техники электрического освещения (Авенариус, № 3, 1911 г.), вопросы освещения и нормы освещенности (Майзель, № 7, 1914 г.), о расчете освещения (№ 4, 1916 г.), развитие техники ламп накаливания (№ 7/8, 1916 г.) и др.

Электрификация транспорта: электрическое судоходство по каналам (№ 12, 1900 г.), сравнение электрической тяги с паровой (№ 24, 1901 г.), система электрических трамваев с подземной канализацией тока (№ 1/2, 1903 г.), электрические системы для тяги тяжелых поездов (№ 3, 1907 г.), успехи электрической тяги (№ 3, 1907 г.; № 11, 1908 г.), вагоны системы «Платите при входе», обслуживаемые одним вагоновожатым (№ 20, 1912 г.), основные положения проекта сооружения в Москве вклученных дорог большой скорости и электрификации магистральных железных дорог в районе пригородного сообщения (№ 2, 1914 г.), трамвай в России (№ 4, 1914 г.), преимущества электропривода морских судов и его будущее (№ 15/16, 1917 г.) и др.

Электрохимия: ежегодные обзоры электрохимии и электрометаллургии (№ 8, 1901 г. и № 15/16, 17, 1903 г.; № 1, 2, 13/14, 21, 1905 г.; № 13/14, 15/16, 1906 г. и т. д.) и др.

Электрометаллургия: производство железа и стали при помощи электричества (№ 4, 5, 1905 г.), индукционные электрические печи (Лодыгин, № 5, 1908 г.), о производстве в России стали в электропечах (№ 8, 1911 г.), из практики изготовления инструментальной стали в электрических печах (№ 17/18, 1917 г.) и др.

Электрификация сельского хозяйства: электрокультура растений (№ 21, 1902 г.), о сооружении областных центральных электрических станций в сельскохозяйственных округах (№ 15, 1913 г.) и др.

Электрификация быта: электрические часы (№ 21, 1903 г.), электрическая стерилизация воды ультрафиолетовыми лучами (№ 16, 1912 г.) и др.

Проводная связь: телефонирование на далекие расстояния (№ 22/24, 1900 г.; № 1, 1910 г.), телефонные станции для крупных центров (№ 12, 1909 г.), ручное и автоматическое обслуживание телефонных станций (№ 19, 1911 г.), одновременное телефонирование и телеграфирование (Котельников, № 4, 1913 г.), устройство междугородных телефонных станций и согласование их с местными сетями и между собой (№ 14, 1914 г.), новейшие статистические данные о развитии телефонного сообщения (№ 1, 1915 г.) и др.

Радио: переводные станции беспроволочного телеграфа в германской армии (№ 6, 1903 г.), способы пере-

дачи электрических волн только в известном направлении и приема электрических волн, излучаемых только по известному направлению (Маркони, № 11/12, 1906 г.), ряд статей изобретателя телевидения Б. Л. Розинга: электрическая телескопия (№ 20, 1910 г.; № 15, 1911 г.), о дальнейшем развитии электрического телескопа, работающего при помощи катодных лучей, о новом фотоэлектрическом реле (№ 15/16, 17/18, 1916 г.) и др.

Выпрямители: алюминиевый выпрямитель переменного тока и его применение (Миткевич, № 2, 3, 1901 г.), развитие ртутных выпрямителей (№ 15, 1913 г.; № 8, 1915 г.) и др.

Электротехнические материалы, изоляция: конструкция и прокладка кабелей высокого напряжения (№ 9, 1908 г.; № 13, 1913 г.), применение алюминия в электротехнике (№ 3, 1913 г.), сравнение различных методов испытания фарфора на пробой (№ 15, 16, 1915 г.), свойства железа для электрических машин и трансформаторов (№ 1, 2, 3, 1916 г.), замена в электротехнической промышленности материалов, которые из-за войны невозможно или трудно достать (№ 13/14, 1917 г.) и др.

Нормы, правила: проект норм для испытания листового железа (№ 10, 1913 г.), проект положения об устройстве и содержании электрических передач (№ 20, 1915 г.), технические условия для специальной магнитной стали и изделий из магнитной стали (№ 7/8, 1916 г.) и др.

### Приложение III

#### Некоторые статьи восстановительного периода

А. В. Винтер и Р. Э. Классон по вопросам торфосжигания на районных электрических станциях (№ 2, 1922 г.) и использования гидроторфа (№ 5/6, 1923 г.). В № 3, 1922 г. — важные учетно-статистические материалы о главных электростроительствах в России. М. К. Полыванов о высоковольтном оборудовании вновь строящихся и проектируемых трэс (№ 2, 1922 г.). О высоковольтных масляных выключателях (№ 2, 1922 г.) и об изоляции высоковольтных электропередач (№ 3, 1922 г.), о параллельной работе мощных центральных станций на общую сеть (№ 2, 1922 г.), о кустовании электростанций Донбасса, Урала, Севастопольского района (№ 11, 1923 г.), о выборе типа станций для крупных промышленных районов (№ 10, 1926 г.), И. В. Егизаров о гидроэлектрических установках в СССР и их развитии (№ 11, 1927 г.), о ртутных выпрямительных подстанциях (№ 13/14, 1927 г.), о системе автоматической синхронизации (№ 8, 1925 г.), А. А. Смуров о защите установок высокого напряжения (№ 5, 1925 г.), Б. И. Угримов о высоковольтных трансформаторах (№ 5/6, 1923 г.), В. А. Толвинский о динамостроении (№ 1, 5/6, 11, 1923 г.). Статьи 1923—1927 гг. К. И. Шенфера, М. П. Костенко, Д. В. Ефремова, Л. М. Пиотровского, Б. П. Апарова, В. К. Попова, Р. А. Лютера, А. В. Трамбицкого и многих других видных электротехников советского периода по вопросам конструирования электрических машин, трансформаторов и т. д.; по электрической тяге (№ 2, 10, 1923 г.), об электротехнических материалах (№ 1, 1922 г.; № 3, 1923 г.; № 5, 1924 г.; № 11, 1926 г.) и др.; систематически статьи о новых электростанциях (№ 2, 1922 г.; № 11, 1923 г.; № 1, 5, 1926 г.; № 10, 1930 г.) и т. д.

В № 4 за 1923 г. была помещена Инструкция для областных, губернских экономических совещаний по составлению плана электрификации. В № 12, 1923 г. был рассмотрен острый вопрос о состоянии электрооборудования на заводах.

### Приложение IV

#### Некоторые статьи периода третьей пятилетки

В 1938 г. — по электромашиностроению (№ 11), К. И. Шенфера о высоковольтных генераторах переменного тока (№ 6), об электрификации железных дорог (№ 11), о развитии отечественного высоковольтного аппаратостроения и выключателестроения и задачах электроизоляционной техники (№ 5 и 8).

В 1939 г. — об электрических машинах с водородным охлаждением (№ 2), о турбогенераторах (№ 10/11), о трансформаторостроении (№ 4), об автотракторном электрооборудовании (№ 3), по электроприводу (№ 4), по кабельной технике (№ 10/11), по электросварке (№ 7), по высоковольтной коммутационной аппаратуре (№ 12).

В 1940 г. — о турбогенераторе 100 мвт при 3000 об/мин (№ 10 и 11), о возможности повышения мощности установленных трансформаторов (№ 2), о рационализации конструкций силовых кабелей (№ 6), о новых электроизолирующих материалах (№ 4), о промышленности электроизолирующих материалов (№ 8), по электроприводу (№ 1), о выборе системы электрической тяги (№ 6), о полупроводниках и их применении (№ 8 и 10), о строительстве малых гЭС (№ 9, 1940 г.; № 5, 1941 г.) и др.

В 1941 г. — о новейших конструкциях асинхронных двигателей (№ 4), о мощных трансформаторах с регулируемым под нагрузкой напряжением (№ 1), об оценке перегрузочной способности трансформаторов (№ 3), о генераторе импульсов напряжения на 43 000 кв (№ 5).

### Приложение V

#### Некоторые статьи послевоенных лет

Об энергетическом балансе и электрификации промышленности СССР (№ 12, 1947 г.), об устойчивости электрических систем (№ 3, 9, 1945 г.; № 3, 6, 1946 г.; № 5, 1948 г.; № 6, 1953 г.; № 1, 1954 г.), о передаче электроэнергии постоянным током (№ 3, 1945 г.; № 1, 1946 г.; № 1, 1947 г.), о передаче электроэнергии переменным током на большие расстояния (№ 3, 4, 1946 г.; № 11, 1948 г.; № 11, 12, 1951 г.; № 12, 1953 г.; № 5, 6, 1954 г.; № 1, 4, 1955 г.; о задачах автоматики и телемеханики (№ 8/9, 1944 г.; № 11, 1954 г.; № 4, 1955 г.), о развитии релейной защиты (№ 9, 1945 г.; № 10, 1946 г.; № 6, 1948 г.; № 7, 1949 г.; № 11, 1954 г.), о задачах электромашиностроения (№ 5/6, 8/9, 1944 г.; № 7, 1945 г.; № 3, 1946 г.; № 3, 1953 г.), о технических проблемах трансформаторостроения (№ 8/9, 10, 1944 г.; № 3, 1948 г.), о задачах конденсаторостроения № 8, 11, 1946 г.; № 7, 1948 г.; № 11, 1949 г.), о проблемах электросварки (№ 2, 1955 г.), о высоковольтных выключателях (№ 5, 1947 г.; № 1, 1951 г.; № 2, 1955 г.), о высоковольтных кабелях (№ 5, 1947 г.; № 4, 1949 г.), о развитии автоматизированного электропривода (№ 5/6, 1944 г.; № 4, 1955 г.), о задачах транспортного электрооборудования (№ 12, 1946 г.), об электроснабжении электрифицированных железных дорог большой протяженности (№ 9, 1947 г.; № 1, 4, 1948 г.; № 7, 8, 1953 г.), о новых электроизолирующих материалах (№ 2, 3, 4, 9, 1946 г.; № 1, 1948 г.; № 5, 1951 г.; № 6, 7, 1954 г.) о природе диэлектриков (№ 8, 1947 г.; № 1, 1949 г.), о сверхпроводимости (№ 1, 1946 г.), о развитии техники высокой частоты (№ 12, 1948 г.), об атмосферном электричестве и грозных явлениях (№ 10, 1946 г.) и др.





# 75 лет организации отечественной энергетической общественности

Инж. Г. О. ЛЕВИТ

В текущем году исполнилось 75 лет существования организации отечественной энергетической общественности.

Созданный в Русском техническом обществе (РТО) в январе 1880 г. VI (электротехнический) отдел был одной из первых в мире организаций электротехнической и энергетической общественности.

Большое значение для пропаганды энергетических знаний, содействия развитию отечественной энергетической промышленности и отстаивания приоритета русских изобретателей имели специальные электротехнические выставки, а также отделы по теплотехнике и электротехнике на промышленных и других выставках, созданные VI отделом. С 1880 по 1892 г. РТО было организовано семь специальных выставок, из которых следует отметить: третью (1885 г.), на которой были представлены первые успехи молодой русской электротехнической промышленности (500 экспонатов от 70 русских экспонентов), и четвертую, носившую ярко выраженный энергетический характер. На ней были представлены отечественные электрические и паровые машины, котлы и двигатели внутреннего сгорания.

Электротехнические, гидротехнические и теплотехнические съезды и конференции, проводимые VI отделом РТО, способствовали сплочению небольшого числа специалистов, работающих в этой области, рассмотрению прогрессивных технических идей и проектов и содействовали их реализации. Наиболее значительными были электротехнические съезды.

В дореволюционное время было создано семь всероссийских электротехнических съездов (в 1900, 1901—1902, 1903—1904, 1907, 1908—1909, 1910—1911, 1912—1913 гг.). На них рассматривались проекты гидроэнергетических установок, поднимались вопросы о необходимости изменения существующих законов, тормозивших использование водной энергии. Съезды уделяли внимание применению торфа в качестве энергетического топлива, строительству крупных электростанций, теплофикации, электрификации транспорта. Они оказали немалое содействие электрификации промышленности и, в частности, развитию техники электрического освещения и внедрению электросварки. Большое место в работе съездов занимали различные правила и нормы, которые разрабатывались Постоянным комитетом всеобщих электротехнических съездов (ПКВЭС). Вскоре ПКВЭС стал центром, объединившим все электротехнические общественные организации: VI отдел РТО, Электротехническое общество, Русское электрическое общество и Общество инженеров-электриков, окончивших электротехнический институт (оба эти общества возникли в 1900 г. и были тесно связаны с Электротехническим институтом в Петербурге), а с 1908 г. и Общество электриков в Москве, которое в этом году выделилось из Политехнического общества в Москве. На съездах несколько раз поднимался вопрос об объединении всех существующих организаций электротехнической общественности в единое Всероссийское общество электротехников.

Была признана целесообразной организация на местах самостоятельных обществ по типу Московского общества электротехников с тем, чтобы впредь до создания всероссийского объединения его функции выполнял ПКВЭС, куда эти общества должны были выделять своих представителей.

Гидротехническая общественность была связана с ПКВЭС и входившими в его состав организациями и принимала участие в созыве гидротехнических, водопроводных и мелиоративных съездов. Наиболее близкими к гидроэнергетическому строительству были гидротехнические съезды<sup>1</sup>. Гидротехническая общественность при помощи

упомянутых съездов много сделала для роста гидрометрической сети, развития гидротехнической науки и, в частности, для создания первой в России (второй в мире) гидротехнической лаборатории и для всесторонней проработки проектов гидроэнергетических узлов на Волхове, Днепре и других реках.

Известное значение для теплотехнической общественности в деле обобщения и пропаганды передового опыта эксплуатации теплотехнических установок имели всероссийские съезды представителей обществ для надзора за паровыми котлами. Этих съездов было четыре. Большую работу по использованию местных низкокачественных топлив в период топливного кризиса (1915—1916 гг.) провело Бюро объединенных технических организаций, куда входили представители ряда технических обществ и в том числе электротехнических. Деятельностью энергетической общественности в дореволюционный период был подготовлен ценный материал, использованный в дальнейшем при подготовке плана ГОЭЛРО.

После Великой Октябрьской социалистической революции были созданы все необходимые условия для плодотворной творческой деятельности технической общественности. Следует отметить, что VI отдел РТО продолжал свою деятельность почти без перерыва. Значительная часть членов VI отдела приняла участие в работе Центрального электротехнического совета (ЦЭС), созданного в 1918 г. (в разгаре гражданской войны начались первые работы по строительству Волховской ГЭС, Каширской и Шатурской ГЭС).

В ЦЭС были три секции: сильных токов, которая занималась всем комплексом станционной энергетики (паровыми турбинами и котлами, гидромеханическим оборудованием и гидротехническими сооружениями и т. п.); фабрично-заводской промышленности, которая вела работы по промышленной энергетике и энергопромышленности, слабых токов. ЦЭС, особенно в начальный период своей деятельности, широко привлекал энергетическую общественность для участия в обсуждении различных проектов, в составлении различных правил и норм<sup>2</sup> и т. д.

Для глубокого и всестороннего обсуждения технико-экономических вопросов, связанных с осуществлением плана ГОЭЛРО, Советское правительство создало VIII Всероссийский электротехнический съезд. Подготовка к съезду на местах способствовала объединению энергетиков, внесших многочисленные предложения, направленные на уточнение плана ГОЭЛРО. В работе съезда приняли участие около 1 300 ученых, инженеров и передовых рабочих от 102 городов. Участники съезда обсудили план ГОЭЛРО, результаты работы Комиссии по электрификации основных экономических районов страны и доклады видных специалистов о перспективах развития ряда отраслей энергетики.

Владимир Ильич Ленин придавал большое значение развитию творческой деятельности научно-технической общественности. 25 августа 1921 г., т. е. незадолго до созыва VIII ВЭС, за подписью Ленина было опубликовано постановление Совнаркома, в котором поощрялось создание научно-технических обществ, носящих специально научно-технический характер («Известия ВЦИК», 8.XI, 1921 г., № 198). Это решение Советского правительства способствовало восстановлению ряда старых и возникновению многих новых научно-технических обществ. В мае 1922 г. было восстановлено Общество электриков в Москве; в том же году I Всероссийский трамвайный съезд избрал Постоянное бюро трамвайных съездов; возникли Русское

<sup>1</sup> Всего было создано 18 съездов. Первые два съезда (1892 и 1893 гг.) назывались съездами инженеров-гидротехников, а с 1894 г. они стали именоваться съездами русских деятелей по водным путям (1894—1914 гг.).

<sup>2</sup> В связи с прекращением деятельности ПКВЭС Центральный электротехнический совет образовал Объединенный комитет, который разработал правила и нормы, утвержденные в 1921 г. VIII ВЭС.

общество телефонных инженеров<sup>3</sup> и Общество содействия электрификации. Для координации деятельности электротехнических обществ в 1922 г. в Москве была создана Всероссийская конференция общественных электротехнических организаций. Стали возникать новые организации типа Комиссии по осветительной технике при Ленинградском отделении ЦЭС, которая была не административным органом, а скорее объединением ленинградских светотехников.

Начиная с 1923 г., кипучую деятельность развернула теплотехническая общественность в лице Бюро теплотехнических съездов и Бюро теплотехнических (энергетических) конференций ряда отраслей промышленности. Теплотехническая общественность, объединенная вокруг Бюро теплотехнических съездов и отраслевых бюро, много сделала для внедрения методов рационального сжигания местных низкокачественных топлив, создания отечественного теплоэнергетического оборудования, разработки многочисленных Правил и Норм. Пять всесоюзных теплотехнических съездов, проходивших в период 1923—1930 гг., объединили теплотехнические кадры страны, привлекли их к творческому решению важнейших государственных задач.

Следует отметить еще одно важное событие в жизни энергетической общественности — Всесоюзную конференцию по электроснабжению, проходившую в 1924 г. Конференция была посвящена вопросам выполнения плана ГОЭЛРО. На ней было представлено 202 доклада по вопросам энергетического строительства, эксплуатации энергоустановок, производства энергооборудования, электрификации промышленности и транспорта, т. е. почти все технические вопросы, рассмотренные в свое время VIII ВЭС.

Большое значение в развитии деятельности энергетической общественности имел I Всесоюзный энергетический съезд, объединивший работу IX электротехнического и IV теплотехнического съездов. Этот съезд собрался в 1928 г. I энергетическому съезду предстояло обсудить основные положения первого пятилетнего плана в области энергетики. Рекомендации съезда способствовали уточнению многих технических положений энергетического раздела первого пятилетнего плана. Съезд принял решение об образовании Всесоюзного энергетического комитета (ВЭК), возложив на него обязанности по объединению всех организаций энергетической общественности. ВЭК не справился, однако, с этой задачей и в 1932 г. в соответствии с постановлением руководящих организаций о создании научных инженерно-технических обществ было создано Всесоюзное научное инженерно-техническое общество энергетиков — ВНИТОЭ. Для того чтобы не распылять силы, в 1933 г. ВЭК и ВНИТОЭ были объединены в так называемое ВЭК РНИТО, т. е. Всесоюзный энергетический комитет рабочей, научной и инженерно-технической общественности. В 1935 г. ВЭК РНИТО было преобразовано сначала во Всесоюзное научное инженерно-техническое общество электриков, а затем (в том же году) во Всесоюзное научное инженерно-техническое общество энергетики и электросвязи<sup>4</sup>. В 1945 г. связисты выделились в самостоятельное общество.

Наиболее деятельными объединениями энергетической общественности были: Всесоюзная светотехническая секция (в 1922—1927 гг. — Комиссия осветительной техники, а затем Ассоциация научно-исследовательских лабораторий, работающих в области светотехники); Всесоюзное бюро электрической изоляции; секция электрических машин; секция электропривода; секция высоковольтной техники (ранее высоковольтной аппаратуры); секция (ранее комитет) теплофикации; гидроэнергетическая секция; коми-

тет, а потом секция газификации; котельная секция; комитет промэлектроснабжения и передвижной энергетики и ряд других.

Эти специализированные объединения энергетической общественности готовили и проводили всесоюзные съезды, конференции и совещания, вели работу по реализации их решений, оказывали большую помощь по внедрению новой техники, проводили творческие дискуссии, рецензировали выпускаемую энергетическую литературу и т. д. Большое место в работе этих секций занимали разработка и обсуждение различных правил и норм. В последнее время ВНИТОЭ насчитывало 27 всесоюзных научно-технических секций, которые делились на три группы: электроэнергетическую, теплоэнергетическую и гидроэнергетическую. Нескольким особо в силу своей комплексности стояли: комитет передвижной энергетики, комиссии по гелиотехнике и геотермоэнергетике.

Важнейшим структурным звеном ВЭК, а затем ВНИТОЭ являлись первичные организации общества на предприятиях. Первичные организации общества проводили общественные обсуждения проектов энергоустановок, конструкций энергооборудования, творческих работ своих членов, рефератов по материалам советской и иностранной энергетической литературы, отчетов о научных командировках и т. д.

Большое место в работе организаций энергетической общественности занимали вопросы научных исследований. Энергетические съезды и конференции содействовали координации научно-исследовательских работ и усилению их связи с требованиями практики. Многие советские ученые-энергетики представляли на рассмотрение энергетической общественности свои основные научные работы, как это, например, делали: на теплотехнических съездах акад. М. В. Кирпичев, на гидротехнических — акад. Н. Н. Павловский и на электротехнических — акад. В. Ф. Миткевич.

Начиная с середины 30-х годов, широкое развитие получили различные конкурсы, организуемые ВНИТОЭ. Особенно размах эта форма вовлечения энергетиков в творческую работу получила в послевоенные годы.

Издания энергетических обществ — главным образом трудов съездов и конференций, различных сборников и брошюр в помощь членам общества — составляли от 250 до 600 авторских листов в год. Большое место в работе энергетической общественности занимала энергетическая периодика. Известно, что журнал «Электричество» возник как орган VI (электротехнического) отдела РТО. Большинство дореволюционных энергетических журналов были органом энергетической общественности. Почти все энергетические журналы и в послеоктябрьский период также возникали, как органы энергетической общественности. В дальнейшем, когда журналы становились органами ведомств, энергетическая общественность не теряла связи с журналами, проводя регулярные читательские конференции, на которых обсуждались доклады редколлегий журналов.

С целью улучшения работы научных инженерно-технических обществ в 1955 г. они были реорганизованы по отраслевому признаку. На каждом предприятии будет работать первичная организация одного соответствующего научно-технического общества. ВНИТОЭ в настоящее время преобразовано в Научно-техническое общество энергетической промышленности (НТОЭП).

В июне 1955 г. в Ленинграде состоялась Всесоюзная конференция *Научно-технического общества энергетической промышленности*, которая подвела итоги деятельности организаций ВНИТОЭ в послевоенные годы, обсудила задачи энергетической общественности страны и выбрала Правление Общества.

Ко дню своего 75-летия отечественная энергетическая общественность пришла как одна из крупнейших творческих организаций технической интеллигенции в СССР. НТОЭП объединяет более 26 тыс. ученых, инженеров, техников и рабочих-новаторов, ведущих творческую коллективную работу по повышению технического уровня советской энергетики и укреплению связи энергетической науки с практическими запросами народного хозяйства СССР.

<sup>3</sup> Электротехнические и теплотехнические отделы были в Политехническом обществе и Всесоюзной ассоциации инженеров (ВАИ). Хотя из ВАИ выделялось общество электриков в Москве и Русское общество телефонных инженеров, все же организации ВАИ продолжали заниматься и энергетическими вопросами.

<sup>4</sup> Председателем ВЭК был Г. М. Кржижановский. Председателем Оргбюро ВНИТОЭ в 1932 г. был А. В. Винтер. Председателем ВНИТОЭ в период 1935—1940 гг. был А. А. Чернышев, затем М. А. Шателен, а начиная с 1949 г. — А. М. Залесский. В годы Великой Отечественной войны (1942—1944) обязанности председателя ВНИТОЭ исполнял Б. Е. Веденев.



## ПОЛЕ КАК ВИД МАТЕРИИ

(статья О. Б. Брона, *Электричество*, № 7, 1954; № 2, 3, 4, 1955)

Кандидат техн. наук, доц. Б. В. ФРОЛОВ

Ленинград

1. Вопрос о том, что поле является одной из форм материи, в настоящее время решен положительно. Однако признанию этого факта предшествовал длительный период чисто формальной энергетической трактовки поля, что и теперь оказывает влияние даже на тех, кто признает поле одной из форм материи. Говорят, что «во всех электротехнических устройствах мы имеем дело лишь с энергией электромагнитного поля» [Л. 1], что масса электромагнитного поля так мала, что не играет никакой роли [Л. 2], что поэтому в большинстве случаев можно и не интересоваться этой характеристикой поля [Л. 3]. Эти ошибочные утверждения не способствуют изжитию идеалистических взглядов, так как именно из этих утверждений вытекают попытки рассматривать поле как «чистую» энергию.

Масса оказывает такое же решающее влияние на характер процессов, происходящих в электромагнитном поле, как и энергия.

Масса, как и энергия, является общим свойством всех форм материи. Масса характеризует инертные свойства материи, а энергия является мерой движения материи. Инертные свойства материи проявляются как при изменении скорости частиц (для частиц, имеющих массу покоя), так и при превращениях одних форм материи в другие. Например, инертные свойства (масса) световой волны обнаруживаются при ее встрече с поглощающей преградой (световое давление). Масса оказывает существенное влияние на характер процессов преобразования одних форм материи в другие. Это положение в полной мере относится и к электромагнитным явлениям. Если бы электромагнитное поле не обладало инертными свойствами, которые характеризуются массой, все преобразования поля в другие формы материи протекали бы мгновенно и мы не наблюдали бы тех переходных процессов, с которыми приходится иметь дело во всех электротехнических устройствах.

Часто на основании сравнения уравнений, описывающих механические и электромагнитные явления, прибегают к аналогиям. Из сопоставления уравнений

$$\begin{aligned} \dot{f} &= -m \frac{dv}{dt}, \\ e &= -L \frac{di}{dt}, \\ i &= -C \frac{de}{dt} \end{aligned}$$

делается формальный вывод, что массе в механической системе соответствует индуктивность  $L$  или емкость  $C$  в электромагнитной системе. Утверждение, что роль массы «играет» индуктивность, а скорости «аналогичен» ток, не вносит ясности и не вскрывает сущности инерционных свойств электрического и магнитного полей.

О. Б. Брон обратил внимание на связь индуктивности  $L$  и емкости  $C$  с массой электрического и магнитного поля, т. е. с инертными свойствами этих форм материи. Согласно соотношениям (16) и (18) в статье О. Б. Брона между индуктивностью  $L$  и емкостью  $C$  и массами  $m_m$  и  $m_e$  магнитного и электрического полей существует прямая пропорциональность при  $i = \text{const}$  и  $U = \text{const}$ . Это уже не случайные аналогии и не формальное сопоставление уравнений, а проявление в электромагнитных процессах массы как одного из важнейших свойств, присущего всем видам материи и подчиняющегося законам сохранения при их преобразовании.

Пренебрегая ролью массы (ввиду ее малости) во всех электромагнитных процессах, сторонники энергетической трактовки поля приписывают электромагнитную инерцию энергии поля [Л. 4] при определении, например, начальных условий переходных процессов, что совершенно недопустимо. Не менее ошибочным является приписывание инерции магнитному потоку [Л. 5] при формулировании принципа Ленца. «Магнитный поток — поток вектора магнитной индукции» не может обладать инерцией, как не обладают ею и магнитные линии. Инерцией обладает магнитное поле как особая форма материи.

2. Многие участники дискуссии придерживаются взгляда, что электрическое и магнитное поля нельзя считать «самостоятельными» формами материи, что объективно существует электромагнитное поле. В качестве доказательства ссылаются на то, что поле заряженной частицы может рассматриваться как электрическое только в системе, неподвижной относительно частицы. В системе, движущейся относительно частицы, имеет место и магнитное поле.

В этих рассуждениях движение рассматривается как простая перемена места. В действительности всякое движение связано с преобразованием одних форм материи в другие. При движении происходит изменение связей движущегося тела с другими телами, образующими данную систему. Изменение этих связей, осуществляемых через поле, сопровождается изменением массы, энергии, размеров тела и длительности происходящих на нем процессов. С возрастанием скорости тела увеличиваются его масса и энергия, уменьшается длина, замедляются процессы. Но возрастание массы и энергии тела может происходить только за счет уменьшения массы и энергии других форм материи.

Следовательно, механическое движение не есть простая перемена места, а представляет собой процесс, связанный с преобразованием одних форм материи в другие.

Это положение можно иллюстрировать следующими примерами.

Известно [Л. 6], что  $\pi_{\pm}$  мезоны, обладающие массой  $270 m_e$  ( $m_e$  — масса электрона), существуют только при скорости выше некоторой определенной. Потеряв в результате торможения свою скорость, они спонтанно превращаются в другие «элементарные» частицы —  $\mu$  мезоны и нейтрино. Известно [Л. 7], что электрон, движущийся со скоростью, большей, чем скорость света в данной среде (но меньшей, чем скорость света в пустоте), начинает светиться (эффект Черенкова), т. е. становится источником новых «элементарных» частиц — фотонов, возникающих в результате движения за счет других форм материи.

Во всех этих примерах одни формы материи превращаются в другие в результате движения. Но если движение меняет формы материи, то процессы в движущейся и неподвижной системах не могут быть одинаковыми. Ошибка, которую часто допускают, состоит именно в том, что эти поля (как многим кажется, само собой разумеющимся) считают одинаковыми.

Таким образом, вывод о том, что во всех случаях мы имеем дело только с электромагнитным полем, двумя сторонами которого являются электрическое и магнитное поля, базируется на ошибочном предположении (противоречащем диалектическому материализму) о том, что движение не меняет форм материи.

Взгляд на электрическое и магнитное поля как на две стороны единого электромагнитного поля был прогрессивным во времена Максвелла и Фарадея, когда устанавливалась связь между двумя разнохарактерными явлениями. Но тогда еще не было достаточных оснований для того, чтобы считать механическое движение процессом, который способен изменять формы материи. Тогда еще господство-

вала механика Ньютона и не было известно, что элементарные частицы вещества могут превращаться в другие формы материи. Теперь же, рассматривая процессы электромагнитной и магнитоэлектрической индукции с современных физических и философских позиций, мы видим в них яркий образец превращения одной формы материи в результате движения в другую.

Некоторые участники дискуссии утверждают, что электрическое и магнитное поля не встречаются в «чистом» виде, что одно из них сопровождается наличием другого в какой-нибудь области пространства и что поэтому их нельзя считать «самостоятельными» формами материи. По этому поводу заметим следующее: все явления, происходящие в природе, представляют собой процессы преобразования одних форм материи в другие. Движение в широком философском понимании и есть процесс такого преобразования. Так как нет материи без движения, то стало быть не может быть и какой-нибудь формы материи в «чистом» виде. Если бы такая форма материи существовала, то это означало бы, что прекратился процесс ее преобразования в другие формы, т. е. прекратилось бы движение. На практике мы всегда сталкиваемся, например, с тем, что электрон и позитрон неотделимы от поля так же, как при радиоактивном распаде радиоактивный элемент и продукты его распада всегда существуют вместе. Связь электрона и позитрона с внешним миром осуществляется через поле. Поэтому, если бы электрон или позитрон можно было получить в «чистом» виде, отделенными от их поля, прекратилась бы их связь с внешним миром, т. е. прекратилось бы их существование как самостоятельной формы материи.

При таких условиях границы между различными формами материи становятся условными, относительными. Желая характеризовать какую-нибудь форму материи, мы временно отвлекаемся от процесса ее движения, представляем себе эту форму материи застывшей, не связанной с другими формами материи, из которых она получается или в которые переходит. Те участники дискуссии, которые отвергают электрическое и магнитное поля как самостоятельные формы материи на том основании, что они не встречаются в «чистом» виде, забывают, что и электромагнитное поле как особая форма материи тоже не существует в «чистом» виде. Этому полю, обладающему массой, присуще свойство тяготения, т. е. связь с гравитационным полем. Это поле всегда где-нибудь возникает из других форм материи и во что-нибудь обращается. Однако, когда мы говорим о существовании электромагнитного поля как самостоятельной формы материи, мы временно отвлекаемся от этих связей, выделяем это поле из других связанных с ним форм материи по особым только ему присущим свойствам. Также следует поступать и с электрическим и с магнитным полем и тогда они представляются как самостоятельные формы материи.

Сторонники рассмотрения электрического и магнитного полей признают, что электромагнитная индукция есть явление возбуждения вихревого электрического поля при изменении магнитного [Л. 8]. Но, придерживаясь материалистической трактовки, мы должны все явления в природе рассматривать как преобразование одних форм материи в другие. Значит, и явление электромагнитной индукции следует рассматривать как преобразование одной формы материи — магнитного поля в другую форму — электрическое поле, а не как преобразование одной стороны электромагнитного поля в другую.

3. Некоторые участники дискуссии возражают против применения закона сохранения количества движения и момента количества движения к процессам, происходящим в электромагнитном поле, указывая, что эти законы при-

менимы только к простому механическому движению, в то время как «электромагнитное поле имеет свои специфические законы, не сводимые к законам механики» [Л. 9]. Они даже утверждают, что такое распространение этих законов является «возвратом на позиции науки середины XIX столетия, когда все явления природы в той или иной мере пытались истолковать на основе законов механики [Л. 10]».

Эти высказывания являются глубоко ошибочными как с физической, так и философской точки зрения. Наряду с законами сохранения массы и энергии закон сохранения количества движения принадлежит к числу всеобщих законов. Движение всех известных форм материи происходит в соответствии с этим законом. При всех преобразованиях одних форм материи в другие (а не только при механическом движении) этот закон остается справедливым. Применение закона сохранения количества движения к электромагнитному полю не есть «автоматическое распространение» законов механического движения на электромагнитные процессы [Л. 10], а является экспериментально обоснованным и подтвержденным всеми известными явлениями применением одного из наиболее общих законов природы. Именно с этим законом связано положение диалектического материализма о несотворимости и неуничтожимости движения. Никакого «крена» в область механики и механистического представления во всеобщем применении этого закона безусловно нет. Сказанное полностью относится и к закону сохранения момента количества движения.

В заключение отметим, что дискуссия, развернувшаяся на страницах журнала «Электричество», имеет большое научное и философское значение. Материалистические представления о поле как одной из форм материи необходимо широко популяризировать и сделать достоянием не только тех научных работников, которые специально занимаются изучением электромагнитного поля, но и достоянием всех читателей. Необходимо продолжить дискуссию, в которой поставлены на обсуждение важные принципиальные вопросы учения об электромагнитном поле. Нужно во всех разделах науки об электричестве последовательно проводить материалистическое представление о поле как особой форме материи. Целесообразно, вероятно, пересмотреть все основные определения учения об электромагнитных явлениях в соответствии с той материалистической линией, которая выявилась в ходе дискуссии.

#### Литература

1. Б. В. Грушевский. Электричество, стр. 56, № 2, 1955.
2. С. П. Розанов. Электричество, стр. 59, № 2, 1955.
3. Л. Р. Нейман и П. Л. Калантаров. Теоретические основы электротехники, ч. III, стр. 10, 1954.
4. Л. Р. Нейман и П. Л. Калантаров. Теоретические основы электротехники, ч. II, стр. 259, 1954.
5. Л. Р. Нейман и П. Л. Калантаров. Теоретические основы электротехники, ч. I, стр. 189, 1954.
6. С. Ф. Поуэлл-Мезоны. Успехи физических наук, т. XLV, вып. I, 1951.
7. Д. И. Иваненко и А. Соколов. Классическая теория поля, стр. 120, 154, 163, 167, 1951.
8. В. М. Лавров. Электричество, стр. 74, № 1, 1953.
9. В. М. Лавров. Электричество, стр. 60, № 2, 1955.
10. В. Ф. Табачинский. Электричество, стр. 57—58, № 2, 1955.



## РАБОТЫ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ ТРЕХФАЗНЫМ ТОКОМ 380...650 кВ И ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Энергия гидроэлектростанций Северной Швеции передается в промышленные районы Юга по двум линиям 380 кВ общей длиной 1900 км; сооружается третья линия того же напряжения. В 1954 г. в линию 380 кВ Харспренгет—Халльсберг были включены две конденсаторные батареи продольной компенсации на 20% каждая, мощностью по 100 тыс. кВАр. Продольная компенсация повысила пропускную способность линии на 50%. В текущем году во вторую цепь также включается батарея конденсаторов, компенсирующая 30% индуктивности линии.

Потери на корону составляют в среднем 2 тыс. кВт для участка одноцепной линии длиной 480 км. Существенные радиопомехи отмечаются лишь в полосе на расстоянии до 60...90 м от оси линии. В последнее время провода линий 380 кВ используются в качестве передающих антенн в системе шведского радиовещания.

С 1952 г. имели место семь грозových отключений линий электропередачи 380 кВ; из них пять были вызваны однополюсными и два—двухполюсными короткими замыканиями.

Линии были рассчитаны на гололедную нагрузку 4 кг/м. На некоторых участках фактическая гололедная нагрузка оказалась выше, в связи с чем несколько опор пришлось заменить на опоры усиленной конструкции. В отдельных случаях использовались полнэтиленовые канаты для механического удаления гололеда с проводов, находящихся под напряжением.

Мощность трансформаторов составляла на первых подстанциях 345 тыс. кВА в группе. На подстанциях второй очереди мощность трансформаторов повышена до 510 тыс. кВА в группе. Трансформаторы, устанавливаемые на подземных гидроэлектростанциях, выполняются без продольных изоляторов 380 кВ с встроенными кабельными муфтами.

На подстанциях установлены как воздушные, так и маломасляные выключатели разрывной мощностью 8 млн. кВА. Для последующих подстанций заказываются воздушные выключатели 12 млн. кВА. Коммутационные перенапряжения при отключении не превышают 250%.

Импульсный уровень изоляции первой линии был принят равным 1775 кВ. Для последующих цепей он был снижен до 1500 кВ. В настоящее время рассматривается возможность повышения рабочего напряжения на головном участке первой цепи до 450 кВ с перепадом напряжения 50 кВ вдоль линии. Для этой цели потребуются установка вольтодобавочного трансформатора на станции Харспренгет и подвеска третьего провода на фазу на участке Харспренгет—Мидског (по условиям коронирования).

Параллельно с освоением напряжения 380 кВ трехфазного тока в Швеции продолжается подготовка к сооружению дальних линий постоянного тока высокого напряжения. В течение октября 1954 г. на Готландской линии постоянного тока были проведены опыты по исследованию устойчивости работы преобразователей при авариях. В приемной сети острова Готланд было искусственно вызваны свыше 30 аварий разных типов, в том числе 10 коротких замыканий на шинах инверторной станции в Висби. Результаты испытания преобразователей при всех видах искусственных аварий были положительными.

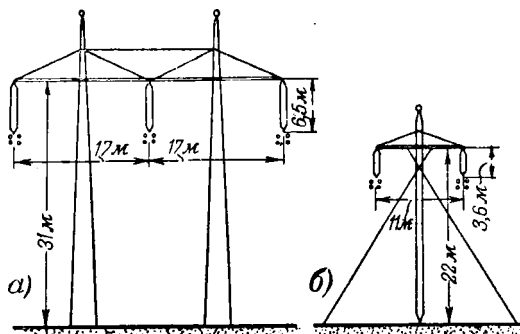
Капитальные затраты на сооружение подводной линии 100 кВ постоянного тока Вестервик—Готланд составили 1,3 млн. фунтов стерлингов, т. е. 65 фунтов стерлингов на 1 кВт. При увеличении передаваемой мощности до 100 тыс. кВт и повышении напряжения относительно земли до 200 кВ удельные затраты снизились бы до 21 фунта стерлингов на 1 кВт.

В перспективе перед Швецией встанет вопрос о передаче гидроэнергии мощностью 6 млн. кВт из северных районов в промышленные области Южной Швеции. Для этой цели считается возможным ограничиться сооружением—дополнительно к существующей сети 380 кВ—трех цепей сверхвысокого напряжения пропускной способностью по 2 млн. кВт каждая. Рассматриваются два варианта—

применение передачи трехфазным током 650 кВ с продольной компенсацией или же передачи постоянным током  $2 \times 400$  кВ. В обоих случаях предполагается расщепление проводов—четыре провода на фазу<sup>1</sup>. Габариты опор для линии 650 кВ трехфазного тока и для линии  $2 \times 400$  кВ постоянного тока той же пропускной способности изображены на рисунке.

В варианте 650 кВ основные трудности будут связаны с габаритами и весом трансформаторов, с разрывной мощностью силовых выключателей, с конструкцией разрядников, с кабельными выводами из подземных гидроэлектростанций. Опасность представит также повышение напряжения в конце линии при сбросах нагрузки.

В варианте  $2 \times 400$  кВ постоянного тока потребуется значительное повышение мощности и напряжения вентилей; серьезные трудности представят изолирующие трансформаторы. Коротковолновая радиосвязь между выпрямительной и инверторной подстанциями, успешно примененная на Готландской передаче для целей регулирования и



Габариты опор для линий электропередачи.  
а — линия 650 кВ трехфазного тока; б — линия  $2 \times 400$  кВ постоянного тока.

защиты, едва ли будет пригодна для линий постоянного тока большой длины. Потребуется связь по контрольному кабелю или же высокочастотная связь по проводам линии постоянного тока.

В Англии все возрастает интерес к подводным кабельным линиям постоянного тока. Наряду с неоднократно обсуждавшейся линией через Ламанш, рассматривается кабельная линия постоянного тока через устье реки Св. Лаврентия между провинциями Лабрадор и Онтарио (Канада), линия от Канадского материка на остров Ванкувер, кабель через пролив Кука в Новой Зеландии и др. Для связей постоянного тока между мощными энергосистемами предлагается упрощенная схема коммутации и регулирования—без синхронных компенсаторов и без телесвязи между выпрямительной и инверторной подстанциями; регулирование будет вестись только на питающем конце, с изменением передаваемой мощности по заданному графику.

Применение кабелей постоянного тока рекомендуется также для пересечения пустынных и полупустынных районов, где эксплуатация воздушных линий затруднительна (в частности, в Индии и Египте).

### Литература

1. A. J. Haselfoot. Direct Current, стр. 100, № 4, 1955.
2. J. C. Grant. Direct Current, стр. 94, № 4, 1955.
3. C. A. Adamson. Direct Current, стр. 85, № 4, 1955.

Кандидат техн. наук Я. М. Червоненкис

<sup>1</sup> Для варианта постоянного тока такое расщепление представляется недостаточно обоснованным — Я. Ч.

## ИСПЫТАНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ НАГРУЗКОЙ

Заводские испытания электрических машин имеют целью установить соответствие основных характеристик машины ее паспортным данным. Особое значение имеют заводские испытания крупных машин, так как при испытаниях на месте установки исправление серьезных дефектов, требующее возврата машины на завод, связано со значительными затратами и задержкой ввода машины в эксплуатацию. Во многих случаях испытания на месте установки не могут быть проведены при строго контролируемых условиях и с достаточной точностью измерений.

При испытаниях крупных электрических машин обычно применяются косвенные методы нагрузки, дающие высокую точность измерения потерь. Мощность источников энергии при косвенных методах невелика по сравнению с мощностью испытываемой машины. Все же для очень крупных машин мощность испытательной установки может достигать значительной величины. Так, например, потери в турбогенераторе 100 тыс. кВт равны 1500...2000 кВт и общая мощность испытательной установки составляет 3000...3500 кВт.

Как известно, для определения параметров синхронных машин необходимо снятие нагрузочной характеристики при номинальном токе и коэффициенте мощности, равном нулю. Для выполнения такого испытания необходимо иметь в наличии оборудование, позволяющее нагружать испытываемую машину реактивным током вплоть до номинальной величины. Нагрузка реактивной мощностью применяется также при испытаниях крупных машин на нагрев. При испытаниях машины по методу нагрузки реактивной мощностью испытываемая машина электрически связывается с другой машиной, имеющей такое же номинальное напряжение. Мощности и другие параметры обеих машин могут быть различными.

Энергия, необходимая для покрытия потерь в обеих машинах, подводится либо механическим путем — от приводного двигателя, связанного с любой из машин, либо электрическим — от питающей сети. Измерение потерь в машинах, нагруженных неодинаково, производится раздельно при помощи ваттметров, включенных в цепь статора каждой из машин. Для обеспечения необходимой точности измерения потерь следует применять специальные ваттметры, так как машины нагружены большим реактивным током и коэффициент мощности очень низок.

Протекание реактивного тока достигается увеличением тока возбуждения испытываемой машины и соответствующим снижением тока возбуждения второй машины. Некоторые английские фирмы применяют для испытаний крупных турбо- и гидрогенераторов по методу реактивной нагрузки мощные реакторы. Регулирование нагрузки производится при помощи нагрузочных машин небольшой мощности. В установке фирмы Метрополитен-Виккерс при испытаниях мощных турбогенераторов первоначально применялся испытательный агрегат, состоявший из нагрузочной синхронной машины с явно выраженными полюсами мощностью 6 тыс. кВА, с двумя приводными двигателями постоянного тока мощностью по 1 тыс. кВт. Позднее был добавлен второй агрегат мощностью 10 тыс. кВА.

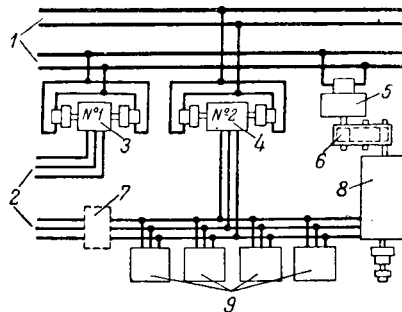
Дальнейшее увеличение мощности нагрузки производилось при помощи реакторов. После установки двух трехфазных реакторов мощностью по 22 тыс. кВА общая мощность испытательной установки составила 60 тыс. кВА. При необходимости испытаний машин большой мощности дополнительно использовались имевшиеся в наличии в это время другие машины. Это дало возможность произвести в 1935 г. испытание реактивным током турбогенератора 75 тыс. кВА.

При последующем расширении испытательной установки были смонтированы еще два испытательных стенда, предназначенных для испытания генераторов с вертикальным валом. Один из стендов был приспособлен для испытаний очень мощных турбогенераторов. Для соответствующего увеличения нагрузки были добавлены еще два реактора мощностью по 22 тыс. кВА. После монтажа пятого реактора общая мощность установки будет доведена до 126 тыс. кВА, что позволит производить испытания турбогенераторов мощностью до 100 тыс. кВт.

Принципиальная схема установки изображена на рисунке. Примененные реакторы — стержневого типа. Сер-

дечник реактора состоит из трех стержней, погруженных в масло, и собран из большого количества коротких пакетов листовой стали, разделенных воздушными промежутками, обеспечивающими необходимое сопротивление магнитной цепи. Проникающее в воздушные промежутки масло способствует лучшему охлаждению сердечника. На каждом стержне обмотка закрепляется двумя плитами из немагнитной стали при помощи болтов из марганцевой бронзы. Вес реактора вместе с баком составляет 45 т.

Обмотка реактора состоит из нескольких катушек, соединенных параллельно и составляющих две секции. Секции имеют наружные выводы для их параллельного или последовательного соединения. Обмотка имеет изоляцию класса 11 кВ. Осуществляя последовательное или параллельное соединение секций обмотки и соединение обмоток звездой или треугольником, можно получить при



Принципиальная схема установки для испытания турбогенераторов.

1 — шины 500 в постоянного тока; 2 — линии переменного тока 6,6 кВ; 3 — двигатель-генератор № 1; 4 — двигатель-генератор № 2; 5 — приводной двигатель; 6 — редуктор; 7 — автотрансформатор; 8 — испытываемый турбогенератор; 9 — нагрузочные реакторы.

помощи двух реакторов ряд нагрузок вплоть до 44 тыс. кВА при 6,6 кВ или 30,5 тыс. кВА при 11 кВ, ступенями не более 5,5 тыс. кВА. Плавное регулирование реактивной нагрузки в пределах каждой из ступеней, получаемых при помощи реакторов, производится двигатель-генераторами.

Двигатель-генераторы предназначены для работы при напряжении 6,6 кВ. Секционирование обмоток статоров для последовательного или параллельного включения и переключение обмоток со звезды на треугольник обеспечивают возможность работы агрегатов при меньших напряжениях. Испытательный стенд имеет источник постоянного тока 500 в и две линии переменного тока 6,6 кВ мощностью до 2,5 тыс. кВА каждая. При испытаниях агрегат приводится во вращение двигателем постоянного тока. После синхронизации с сетью переменного тока двигатель постоянного тока отключается.

Обмотки испытываемых машин, имеющих номинальное напряжение 11...12 кВ, при испытаниях пересоединяются в треугольник для включения в сеть 6,6 кВ. Обмотки машин более высоких напряжений при испытании можно пересоединять на несколько параллельных цепей. Например, обмотки статоров машин 22 кВ пересоединяются на три параллельные цепи. В тех случаях, когда необходимо испытать машину с номинальным напряжением 11 кВ и мощностью, не превышающей 3 тыс. кВА, испытание может быть произведено без пересоединения обмоток, путем использования автотрансформатора 11/6,6 кВ мощностью 3 тыс. кВА.

При расширении предусматривается установка двух-обмоточного трансформатора мощностью 16 тыс. кВА, предназначенного для испытаний при напряжении 11 кВ. Для испытания турбогенераторов, не имеющих демпферных обмоток, каждый испытательный стенд оборудуется пусковым двигателем постоянного тока и трехступенчатым редуктором. Двигатель постоянного тока самого крупного стенда имеет мощность 2000 кВт при 600 об/мин и рассчитан на 20%-ное превышение нормальной скорости. Соотношение скоростей редуктора 1 : 2<sup>1/2</sup> : 5 позволяет доводить скорость вращения турбогенератора до 3600 об/мин.

Основная реактивная нагрузка испытываемого генератора получается путем присоединения к зажимам генератора групп реакторов, внутренние соединения которых соответствуют заданному току нагрузки. Для точного регулирования нагрузки нагрузочные синхронные машины син-

хронизируются с испытуемым генератором. После этого подбор величины тока и напряжения осуществляется путем увеличения возбуждения испытуемого генератора и снижения тока возбуждения нагрузочных машин.

Если двигатель постоянного тока отключен, то подводимая от сети переменного тока активная мощность (измеряемая ваттметром) покрывает потери в генераторе и механические потери в приводном двигателе, которые могут быть измерены отдельно.

Пуск синхронных машин с явно выраженными полюсами может быть произведен путем синхронизации при пониженной частоте. Для этой цели один из агрегатов, двигатель-генератор, запускается от источника постоянного тока и генерирует переменный ток, частота которого изменяется пропорционально скорости вращения. В машинах с горизонтальным валом благодаря наличию демпферной обмотки обеспечивается вращающий момент, достаточный для запуска машины. Значительный вес и диаметр подпятника машин с вертикальным валом требуют принятия специальных мер для преодоления трения покоя.

В недавно сооруженной установке фирмы Джeneral Электрик, предназначенной для испытаний турбогенераторов мощностью 12..200 тыс. кВт, используются реакторы с подмагничиванием. Основные трудности испытания крупных машин на заводе заключаются в необходимости обеспечения регулируемой нагрузки достаточной мощности. Реакторы с подмагничиванием обеспечивают реактивную нагрузку, которую можно регулировать в широких пределах путем изменения возбуждения. Для этой цели реакторы снабжены специальной обмоткой, питаемой постоянным током от 12-фазного металлического выпрямителя с сеточным управлением. При изменении напряжения на выходе выпрямителя мощность реактора плавно изменяется от 0,5 до 100 тыс. кВА, что позволяет использовать один и тот же реактор для испытаний машин различных мощностей и напряжений. При помощи внешних гибких соединений обмотки реакторов можно переключать на напряжение 22, 11 или 6,6 кВ.

Каждый реактор имеет 6-стержневой сердечник. Наличие дополнительных обмоток, соединенных в треугольник, обеспечивает практически синусоидальный ток реакторов. Мощность подводится от испытуемого турбогенератора к реакторам при помощи трубчатых медных шин, рассчитанных на ток 6000 А и имеющих изоляцию на напряжении 30 кВ.

Силовая установка включает в себя сети 440 В и 11 кВ переменного тока и 460 В постоянного тока, агрегат двигатель-генератор, два индукционных регулятора, предназначенных для изменения напряжения, подводимого к двигателю-генератору при испытаниях, и выпрямители для подмагничивания реакторов. На открытой подстанции установлен трансформатор 750 кВА, предназначенный для питания выпрямителей от сети 11 кВ, а также реакторы, вспомогательные трансформаторы и устройство водяного охлаждения.

Испытательный стенд, на котором размещается турбогенератор, имеет длину 40 м и ширину 6 м. Во время испытания одной машины можно устанавливать или демонтировать вторую. Испытуемый турбогенератор приводится во вращение двухполюсным двигателем мощностью 2240 кВт, который смонтирован на центральной платформе стенда и может быть связан с любой из двух машин, установленных на стенде. Двигатель питается от сети 11 кВ через понижающий трансформатор и два индукционных регулятора и управляется дистанционно при помощи жидкостного реостатного контроллера. При этом оборудовании генератор мощностью 60 тыс. кВт можно в течение 5 мин довести до номинальной скорости вращения и остановить за 4 мин. Для испытаний очень крупных генераторов применяют два приводных двигателя, работающих на общий механический вал.

#### Литература

1. S. Neville. Metr.-Vick. Gaz., т. 25, стр. 199, № 416, 1954.
2. S. Neville. El. Rev., т. 155, стр. 1029, № 27, 1954.
3. Engineer, т. 196, стр. 835, № 5109, 1953.
4. Engineering, т. 178, стр. 28, № 4538, 1954.

Инж. А. И. Гершенгорн

## БУРОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР

При существующей технологии проводки нефтяных и газовых скважин подача долота на забой при бурении производится бурильщиком вручную путем растормаживания барабана буровой лебедки. Для автоматизации этой трудоемкой и сложной операции в последние годы применяют буровой автоматический регулятор типа БАР-150.

Этот тип регулятора предназначен для ручного и автоматического управления скоростью подачи долота при бурении. Механизм подачи регулятора состоит из дифференциального редуктора и трех электрических машин, установленных на общей раме. Кинематическая схема регулятора представлена на рисунке. Трехфазный двигатель  $K$  получает питание от сети. Якоря машин постоянного тока  $\Gamma$  и  $B$  соединены накоротко. Их обмотки возбуждения получают питание от отдельного возбуждателя.

Двигатель  $K$  ( $n = 730$  об/мин) вращает машину  $\Gamma$ , а также одну из конических шестерен дифференциального регулятора через зубчатое зацепление с передаточным числом 159:46.

Машина  $B$  вращает через передачу 150:67 вторую коническую шестерню ( $Z = 47$ ) редуктора в противоположную сторону. С вала сателлитов дифференциала движение передается через передачу 92:23 на выходной вал редуктора, который цепной передачей связан с подъемной лебедкой.

Направления вращения машин  $K$  и  $B$  такие, что если угловая скорость машины  $B$ , приведенная к валу шестерни  $Z = 47$ , больше угловой скорости машины  $K$ , приведенной к этому же валу, то происходит подача инструмента, в противном случае — подъем.

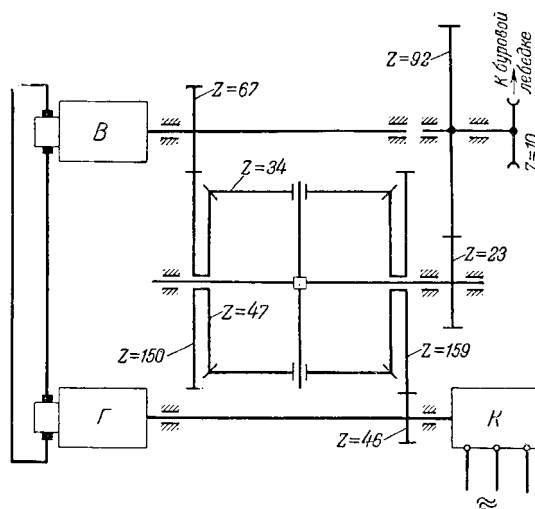
Скорость вертикального перемещения бурового инструмента в зависимости от скорости вращения машины  $B$  определяется из соотношения

$$v = \alpha (n_B - \beta),$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты, зависящие от параметров системы;  $n_B$  — скорость вращения машины  $B$ , изменяющаяся в пределах 140...1100 об/мин. Положительные значения скорости  $v$  соответствуют спуску инструмента. Регулируя по величине скорость вращения машины  $B$ , можно изменять скорость выходного вала механизма подачи как по величине, так и по направлению. Особо важно отметить, что это достигается без необходимости реверсирования или отключения какой-либо из электрических машин привода.

Регулирование скорости машины  $B$  достигается изменением величины тока возбуждения машины  $\Gamma$ . Это изменение можно осуществлять вручную или автоматически.

Построение схем автоматического регулирования при применении описанного привода в значительной мере облегчается тем, что ток в якорной цепи машин  $\Gamma$  и  $B$  (при



постоянном возбуждении машины *B*) пропорционален крутящему моменту на выходном валу механизма, а напряжение этой цепи с достаточной точностью определяет скорость вращения этого вала.

Существует несколько схем, позволяющих автоматически поддерживать постоянное значение тока бурового двигателя или величину осевой нагрузки на долото. В последнем случае в качестве датчика используется ток в якровой цепи машин *Г* и *В*.

Возможность плавного регулирования скорости выходного вала в широких пределах при сравнительно небольшом диапазоне изменения скорости вращения одной из машин постоянного тока обеспечила применение этого механизма не только в буровом регуляторе, но и в ряде других установок.

**Литература**

1. Нефтяное хозяйство, № 1, 1954.
2. Энергетический бюллетень, № 7 и 12, 1954.

*Инж. Б. М. Школьников и И. И. Суд*

**МЕТОДЫ ПОВЕРКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Повышение точности измерений коэффициента трансформации и угловой погрешности измерительных трансформаторов является весьма важной задачей электроизмерительной техники. Ниже описаны методы поверки измерительных трансформаторов, которые дают возможность измерять коэффициенты трансформации с точностью до 0,001% и угловые погрешности с точностью до сотых долей минуты.

На рис. 1 изображена схема поверки трансформаторов тока при помощи дифференциального кольца. На кольцевой сердечник *1* из пермаллоя с начальной проницаемостью не менее 20 000 намотаны: дифференциальная обмотка *2*, подключенная к вибрационному гальванометру *3*; компенсационные обмотки *4* и *5*; вторичная обмотка *6* и первичная *7*. Все эти обмотки должны быть распределены на сердечнике по возможности симметрично и равномерно, чтобы снизить до минимума магнитное рассеяние.

Первичная обмотка испытуемого трансформатора тока *8* соединяется последовательно с обмоткой *7*, а вторичная, через сопротивление *r*<sub>1</sub>, — с обмоткой *6* дифференциального кольца. Обмотки *6* и *7* включены навстречу. Компенсационные обмотки подключены параллельно сопротивлению *r*<sub>1</sub> через переменное сопротивление *r*<sub>2</sub> и конденсатор с переменной емкостью *C*.

При протекании тока через обмотки *6* и *7* вибрационный гальванометр уравнивается на нуль изменением сопротивления *r*<sub>2</sub> и емкости *C*. Тогда коэффициент трансформации и угловая погрешность испытуемого трансформатора могут быть определены по следующим формулам:

$$k = \pm \frac{r_1}{r_2} 100\%;$$

$$\delta = \pm r_1 C \cdot 1,08 \cdot 10^6 \text{ мин.}$$

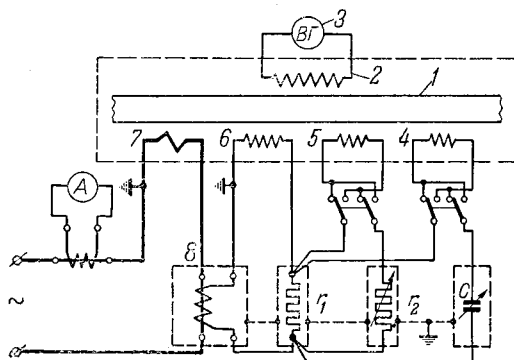


Рис. 1. Схема для определения погрешностей трансформаторов тока при помощи дифференциального кольца.

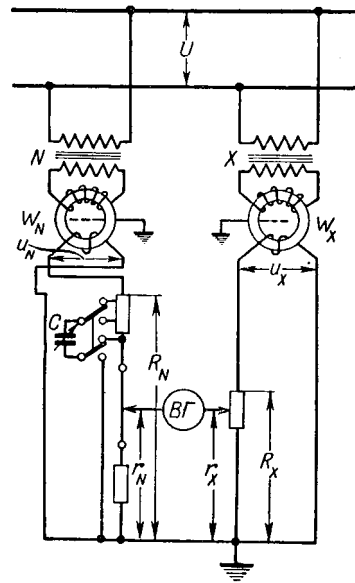


Рис. 2. Модификация схемы по Шерингу-Альберти для поверки трансформаторов напряжения.

Выбрав соответствующим образом значения *r*<sub>1</sub>, *r*<sub>2</sub> и *C* и снабдив сопротивление *r*<sub>2</sub> и конденсатор *C* шкалами, можно по ним производить непосредственный отсчет погрешностей. Первичная обмотка имеет отводления, что дает возможность производить поверку трансформаторов тока с различными коэффициентами трансформации.

Для исследования точности описанного способа поверки были определены погрешности образцового трансформатора тока на пределе 100/5 при помощи двух дифференциальных колец с намагничивающими силами 600 и 1 000 а. Результаты сравнительных измерений приведены в таблице.

Ток в долях от номинального	Намагничивающая сила			
	600 а		1 000 а	
	<i>k</i> , %	$\delta$ , мин	<i>k</i> , %	$\delta$ , мин
0,1	+ 0,024 <sub>0</sub>	— 1,52	+ 0,023 <sub>0</sub>	— 1,48
0,2	+ 0,022 <sub>0</sub>	— 1,26	+ 0,022 <sub>3</sub>	— 1,23
0,5	+ 0,020 <sub>2</sub>	— 0,96	+ 0,020 <sub>3</sub>	— 0,93
1,0	+ 0,023 <sub>3</sub>	— 0,76	+ 0,023 <sub>3</sub>	— 0,75
1,2	+ 0,024 <sub>4</sub>	— 0,66	+ 0,023 <sub>4</sub>	— 0,63

Поверку трансформаторов напряжения с большой точностью можно производить при помощи видоизмененной схемы по Шерингу-Альберти, предназначенной для поверки трансформаторов тока. Эта схема приведена на рис. 2. Здесь образцовые сопротивления заменены трансформаторами *W*<sub>N</sub> и *W*<sub>X</sub>, первичные обмотки которых подключены соответственно к образцовому и испытуемому трансформаторам.

Напряжения *u*<sub>N</sub> и *u*<sub>X</sub> на зажимах вторичных обмоток трансформаторов, равные падениям напряжения на образцовых сопротивлениях в обычной схеме Шеринга-Альберти, подаются соответственно на измерительную ветвь, состоящую из сопротивлений *R*<sub>N</sub> и *r*<sub>N</sub> и конденсатора с переменной емкостью *C*, и на делитель *R*<sub>X</sub> и *r*<sub>X</sub>. Отсчет погрешности, как обычно, производится при помощи шкал, которыми снабжены реохорд *R*<sub>N</sub> и конденсатор *C*.

Трансформаторы *W*<sub>N</sub> и *W*<sub>X</sub> имеют кольцевой сердечник из пермаллоя с высокой начальной проницаемостью; их



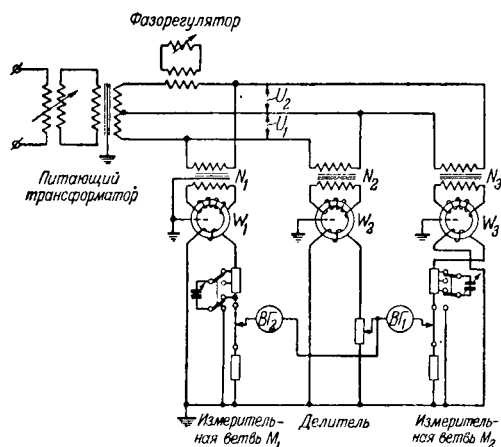


Рис. 3. Схема суммирования.

вторичные обмотки намотаны из провода большого сечения, чтобы падения напряжения в них не вносили дополнительной погрешности в измерения. Вторичные обмотки и провода, идущие от них, тщательно экранированы. Делитель в данном измерительном устройстве несколько отличается от обычного тем, что остается заземленным в одной и той же точке при любом значении установленного сопротивления.

Для определения собственных погрешностей измерительного устройства к первичным обмоткам трансформаторов  $W_N$  и  $W_X$  было подведено одно и то же напряжение. После уравновешивания схемы отсчет по шкалам реохорда и конденсатора дает соответственно процентную и угловую погрешности измерительного устройства. Цена деления шкалы реохорда равна 0,001%, а применяемый точный слюдяной конденсатор имеет в качестве последней ступени воздушный конденсатор переменной емкости, одно деление шкалы которого соответствует угловой погрешности 0,001 мик.

Чувствительность измерительного устройства вполне обеспечивает точность измерений. Так, при разбалансе схемы на 0,001% гальванометр дает световую полосу шириной 16 мм и при разбалансе в 0,1 мин — 45 мм. Измерительная ветвь и делитель для поддержания постоянства температуры помещены в керосиновую баню. Температурная погрешность устройства не превышает 0,0001% на 1°С. При отклонении частоты от номинальной на ± 6% дополнительная погрешность не превышает 0,0001% и 0,01 мин.

Погрешность измерительного устройства, измеренная указанным способом, не превышает 0,0001% и 0,001 мин.

Это же устройство можно применить и в том случае, когда коэффициенты трансформации образцового и испытуемого трансформаторов неодинаковы. Когда коэффи-

циент трансформации испытуемого трансформатора вдвое больше образцового, можно воспользоваться схемой удвоения. Для проверки трансформаторов напряжения с другими коэффициентами трансформации можно применить суммирующую схему, показанную на рис. 3.

Если нужно, например, измерить погрешности трансформатора  $N_1$  с коэффициентом трансформации 500/100, то к нему подводят напряжение  $U_1 + U_2$ , а к трансформаторам  $N_2$  и  $N_3$  с коэффициентами трансформации соответственно 100/100 и 400/100 — напряжения  $U_1$  и  $U_2$ .

Прежде всего первичные обмотки кольцевых трансформаторов  $W_2$  и  $W_3$  подключают вместе к вторичной обмотке трансформатора  $N_2$  и гальванометр  $BГ_1$  при помощи ветви  $M_1$  ставится на нуль. Отсчеты дают погрешности измерительного устройства  $K$ . Затем первичная обмотка трансформатора  $W_3$  подключается к вторичной обмотке трансформатора  $N_3$ , и фазорегулятором гальванометр  $BГ_1$  снова ставится на нуль; при этом установка ветви  $M_1$  остается неизменной. Второе уравновешивание показывает, что вторичные напряжения трансформаторов  $N_2$  и  $N_3$  равны. Полагая, что погрешности трансформаторов  $N_2$  и  $N_3$  известны и равны соответственно  $F_{N_2}$  и  $F_{N_3}$ , можно определить погрешность  $F$  суммы номинальных напряжений  $U_1 + U_2$ , равной установленному напряжению на первичной обмотке трансформатора  $N_1$ .

Значение  $F$  определяется выражением

$$F = \frac{U_2}{U_1 + U_2} (F_{N_2} - F_{N_3}).$$

Уравновешивание гальванометра  $BГ_2$  при помощи ветви  $M_2$  дает некоторый отсчет  $\alpha$ , после чего может быть подсчитана погрешность трансформатора  $N_1$  по формуле

$$F_{N_1} = -(\alpha + F) + F_{N_2} + K.$$

Для угловой погрешности получаются аналогичные выражения. Проведенные многочисленные измерения погрешностей трансформаторов напряжения как методом удвоения, так и суммирующим методом показывают хорошую сходимость результатов измерений, и погрешность их в самом неблагоприятном случае не превышает +0,0003% и ± 0,03 мин.

#### Литература

1. W. R u m p. Deutsche Elektrotechnik, стр. 352, № 10, 1954.
2. E. Zinn. ETZ-A, стр. 687, № 20, 1954.
3. E. Zinn, K. Forger. ETZ-A, стр. 805, № 24, 1954.

Инж. П. С. Богуславский



# Хроника

## 6-я ВЕЙМАРСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ЭЛЕКТРИКОВ В ГЕРМАНСКОЙ ДЕМОКРАТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Ежегодно, в июне, в г. Веймаре (Германская Демократическая Республика) созывается конференция электриков для рассмотрения достижений за год.

Работа 6-й конференции, с 6 по 11 июня с. г., осуществлялась в двух секциях (слабых токов и сильных токов) по группам.

На пленарном заседании секции сильных токов было заслушано 2 доклада: доктора фил.-ест. наук, проф. **Штамма** (Дрезден) «К проблеме продолжительности жизни крупных трансформаторов» и **Е. Арлта** (Берлин) «Нормализация и стандартизация в технике сильных токов».

В группе «Энергоснабжение и распределение» были сделаны доклады д-ра **Шварца** (Берлин) «Перспективы развития электроэнергетического хозяйства», инж. **Копрада** (Дрезден) «Соображения, которые должны быть учтены при пуске турбогенераторов, инж. **Шнейдера** (Берлин) «Трассировка проводов в необозреваемой местности с помощью токов высокой частоты» и др.

В группе «Электрические машины и трансформаторы» — д-ра **Шнегца** (Берлин) «Проблема механических колебаний в электромашиностроении», д-ра **Бланкенбурга** (Берлин) «Проблемы крупного трансформаторостроения», инж. **Хершера** (Берлин) «Унификация в трансформаторостроении и применение обмоток из алюминиевых проводов», инж. **Меннинга** (Дрезден) «Проблемы проектирования и производства гидрогенераторов», инж. **Дюмера** (Дрезден) «Произвольные импульсные размыкания в установках высокого напряжения» и др.

В группе «Техника регулирования» — инж. **Горнауера** (Берлин) «О значении и современном уровне техники регулирования», инж. **Кламка** (Миттвайда) «Модели цепей регулирования, их применение для анализа и синтеза процессов регулирования и регулировочных приборов» и др.

В группе «Электротехника в быту и сельском хозяйстве» — инж. **Вейзе** (Росток) «Токоснаб-

жение новых крестьянских дворов с особым учетом рассредоточенных поселков», инж. **Купфера** (Зуль) «Электромоторные бытовые и промышленные приборы» и др.

В группе «Провода и кабели» — инж. **Форстмейера** (Берлин) «Конструкционные элементы в кабельной и проводниковой технике», д-ра **Бирнтхалера** (Нюрнберг) «К физике изолирования сильноточных кабелей полихлорвинилом», д-ра **Шредера** (Берлин) «Полиамиды в кабельной, проводной и проволоочной технике», д-ра **Динзе** (Берлин) «Экспресс — измерение диффузии» и др.

В группе «Электрические способы обработки» — инж. **Ольбрихта** (Дрезден) «Электротехнические проблемы при электроэрозийной обработке металлов», инж. **В. Шульце** (Берлин) «Инфракрасный нагрев в машиностроении» и др.

В группе «Электрический транспорт» — инж. **Бара** (Дрезден) «Электрификация поездов магистральных железных дорог на частоте  $16\frac{2}{3}$  или 50 гц и др.

В группе «Электрохимия» — д-ра **Хейманна** «Вопросы энергетики в электрохимической промышленности» и др.

В работах 6-й Веймарской конференции от Советского Союза в качестве гостей участвовала делегация в составе: члена-корр. АН СССР, проф. **В. И. Попкова**, доктора техн. наук, проф. **И. С. Стекольников** (ЭНИН АН СССР), кандидата техн. наук, доц. **С. А. Яманова** (МЭП СССР), кандидата техн. наук **Г. Г. Чашникова** (МРТП СССР) и инж. **А. М. Криворотова** (МЭС СССР).

При встречах электриков ГДР, Чехословакии, а также специалистов фирмы Браун-Бовери высказывались пожелания о творческом сотрудничестве с электриками Советского Союза и выражалось убеждение, что обмен новыми техническими достижениями будет способствовать укреплению дела мира между всеми народами.

*Кандидат техн. наук, доц. С. А. ЯМАНОВ*

## Заметки и письма

### РАЗЪЯСНЕНИЕ ХАРРИНГТОНА В «ELECTRICAL ENGINEERING»

В связи с опубликованной в № 4 журнала «Электричество», 1954 г., заметкой Г. Б. Холявского «Упущение Дина Харрингтона» редакция журнала «Electrical Engineering» поместила в майском номере журнала за этот год, на стр. 455, английский перевод указанной заметки Г. Б. Холявского, предпослав ей письмо Дина Харрингтона, сотрудника американской «Дженерал Электрик Компани».

Рассматривая пояснения Харрингтона и факт опубликования в «Electrical Engineering» всего материала как положительное стремление к нормализации и укреплению международных связей в научной работе и к налаживанию взаимной научной информации, редакция журнала «Электричество» помещает ниже перевод письма Харрингтона «О расчете электродинамических усилий».

«В журнале «Электричество» (апрель 1954, стр. 82) напечатано письмо Г. Б. Холявского под заголовком «Упущение Дина Харрингтона». Письмо вызвано моей статьей «Усилия на лобовые части обмоток машин» (Труды Американского института инженеров электриков, октябрь 1952, стр. 849). Перевод этого письма приводится после моего письма.

Письмо г. Холявского основывается на его статье «Графоаналитический метод определения электродинамических усилий в высоковольтных аппаратах», которая была опубликована в журнале «Электричество», № 6, 1950, стр. 58. Я получил английский перевод его статьи и должен сделать следующие пояснения.

1. В моей статье 1952 г. не было ссылки на его статью 1950 г. Нетрудно понять, что он мог почувствовать, что совершена несправедливость (injustice), поскольку моя статья появилась на два года позже его статьи. Дело в том, что мне было неизвестно о его статье, пока, совершенно случайно, один из моих сотрудников недавно обратил внимание на ссылку на его письмо в «Электричество».

2. Я считаю, что эти две статьи, г. Холявского и моя, представляют интересный пример независимой работы над параллельными проблемами. Возможно даже, что работа, о которой сообщается в русской статье, проводилась в то же время, когда Р. Л. Фловей и я выполняли работу, о которой сообщалось в моей статье 1952 г. Наша проработка проводилась в период между июнем и ноябрем 1947 г. Независимая работа над общей проблемой в двух далекоотстоящих странах свидетельствует об интересе к вопросу об электромагнитных усилиях на токонесущие проводники.

3. Статья г. Холявского дает общие выражения для усилий между проводниками с током и представляет дополнительную литературу по данному вопросу. В его статье имеются ссылки на три русские статьи, которые приводятся здесь для справки: а) Вестник экспериментальной и теоретической электротехники. В. Б. Романовский, № 5—6, 1931 (на русском языке), б) Электротехника высокого напряжения и передача энергии. А. А. Смуров, т. 3, ОНТИ, 1935 (книга на русском языке), в) Основы электроаппаратостроения. А. Я. Буйлов. Госэнергоиздат, 1946 (книга на русском языке).

Поскольку в дискуссии по моей статье в 1952 г. не было сделано ссылок ни на одну из этих четырех русских статей, можно считать, что настоящее письмо к Вам является первой американской ссылкой на эти статьи.

4. Сравнивая обе статьи, можно видеть, что в них имеются совпадающие части (areas of overlapping), но в то же время и различия в подходе к вопросу. В статье г. Холявского рассматриваются усилия между различными конфигурациями прямолнейных проводников. Моя статья касалась преимущественно проблемы определения усилий на лобовые части обмоток машин.

*Дин Харрингтон*

*Дженерал Электрик Компани, Скенектеди, Нью-Йорк*

## ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ СССР<sup>1</sup>

### Обзор критических замечаний

Госэнергоиздатом выпущено 22 очерка по истории энергетической техники СССР, написанных авторским коллективом Московского энергетического института им. Молотова. Эти очерки изданы в качестве материалов к будущей монографии «История энергетической техники СССР» для предварительного их критического обсуждения в широких кругах научной и инженерно-технической общественности, с целью повысить качество будущей монографии. Очерки были посланы<sup>2</sup> крупнейшим высшим техническим учебным заведениям, научно-исследовательским институтам и промышленным предприятиям страны, деятельность которых связана с вопросами энергетической техники. Кроме того, очерки были направлены многим работникам вузов и Академии наук, Институту философии Академии наук, Институту истории естествознания и техники Академии наук, Институту экономики Академии наук, Московскому университету и всем крупным публичным библиотекам Советского Союза.

В адрес Редакционной комиссии по подготовке монографии поступило уже около 200 отзывов и рецензий из различных мест страны. Авторы отзывов — ученые, инженеры, коллективы кафедр вузов, лабораторий, научно-исследовательских институтов, технических советов, конструкторских бюро, отделов и цехов промышленных предприятий, электрических станций и др. Очерки подвергались детальному разбору: общий объем рецензий составляет более 35 печатных листов. На некоторых крупных заводах были созданы комиссии для изучения содержания очерков; Главкабель МЭП выделил комиссию при главке, в задачу которой входит обобщение замечаний и пожеланий кабельных заводов и научных учреждений кабельной промышленности по очерку «Кабельная техника».

Во всех полученных рецензиях приветствуется инициатива и работа авторского коллектива МЭИ. В отзыве Уральского политехнического института подчеркивается, что «очерки принесут существенную пользу в лекционной работе». Инженер Минской тэц пишет в своем отзыве: «Необходимость в выпуске пособия по истории отечественной энергетики, написанного авторитетными учеными, стала особенно ясной после ознакомления с очерками. Такая книга нужна работникам промышленности не меньше, чем студентам и работникам учебных заведений и проектных институтов». В рецензиях подчеркивается практическая ценность очерков не только для начинающих инженеров и научных работников, но и для тех, кто много лет работает в области энергетической техники.

О большом интересе, проявляемом к очеркам, говорит то, что до сих пор продолжают поступать просьбы из различных научных учреждений, промышленных предприятий, вузов и библиотек о высылке очерков.

Положительную оценку получила примененная в некоторых очерках систематизация в виде наглядных схем, компоновок, графиков, облегчающих понимание особенностей развития отдельных отраслей.

В рецензиях содержатся весьма ценные критические замечания, вскрывающие существенные недостатки в изданных очерках. Рассмотрим наиболее общие и серьезные.

<sup>1</sup> См. *Электричество*, № 3, 1954 и № 1, 1955.  
<sup>2</sup> В числе разосланных очерков: *Кабельная техника* (автор В. А. Привезенцев); *Электромашиностроение* (авторы Ю. С. Чет и С. А. Гусев); *Электроаппаратостроение* (автор М. А. Фабиков); *Электрические системы и электрические сети* (авторы В. А. Венков, П. Г. Грудинский, Л. Ф. Дмоховская, И. И. Соловьев и А. М. Федосеев); *Автоматика и телемеханика* (авторы Г. М. Жданов, Ф. Е. Темников и Л. С. Гольдфарб); *Промышленная электроника* (автор И. Л. Каганов); *Электропривод* (автор А. Т. Голован); *Электрификация транспорта* (автор Д. К. Минов); *Применение электричества в авиации и автотранспорте* (автор А. Н. Ларионов); *Светотехника* (авторы Л. Д. Белькинд и А. П. Иванов); *Промышленная электротермия* (авторы А. Д. Свенчанский, А. В. Нетушил, Л. Д. Радунский и К. М. Филиппов).

на наш взгляд, недостатки, отмеченные во многих рецензиях.

Серьезной критике подверглась попытка авторов сделать изложение материала доступным и интересным не только для энергетиков, но и для более широких кругов советской интеллигенции; по мнению многих рецензентов, это очень сложная и практически невыполнимая задача, ибо нельзя создать ценный научный труд, содержащий глубокий анализ важнейших этапов развития отдельной отрасли техники, вскрывающий сущность конструктивных особенностей машин или технических устройств, который был бы одинаково интересным и для специалиста в данной области техники и для широкого читателя. Стремление авторов очерков популяризовать изложение материала нередко приводит к неудаче, к снижению его научной значимости. Большинство рецензентов рекомендует при доработке очерков стремиться к тому, чтобы они прежде всего представляли научную ценность для работников энергетической техники. Как отмечается в одной из рецензий, круг энергетиков и электротехников в Советском Союзе стал настолько широким, что они «заслуживают того, чтобы специально для них, удовлетворяя их серьезные требования, был написан исторический труд»; на основе такого труда можно будет в дальнейшем написать и более популярную работу, рассчитанную на широкий круг читателей.

Не все авторы очерков выполнили указания Редкомиссии о выявлении основных закономерностей и важнейших этапов в развитии отдельных отраслей энергетической техники. Это отразилось на качестве ряда очерков, в которых превалирует констатация фактов без их объяснения и технического анализа. В рецензиях резко критикуется увлечение некоторых авторов скрупулезным перечислением машин и приборов (иногда чуть ли не всех серий и типов), в то время как важнее было бы привести наиболее характерные тенденции в развитии научных и технических идей и показать на примерах, как они были воплощены в реальные технические устройства.

Многие рецензенты считают неправильным принятое некоторыми авторами построение изложения путем освещения деятельности только отдельных крупных ученых, ведущих конструкторов и т. п. без выявления при этом роли коллектива в решении важнейших научных и технических проблем. Имеются очерки, в которых названы только фамилии лиц и области, в которых они работают, но не дан критический анализ их трудов.

Серьезный упрек вызвала периодизация, которой придерживаются авторы некоторых очерков. Отмечается, что периодизация по пятилеткам не должна автоматически применяться для любого очерка. Нередко такая периодизация искусственна, поскольку она в ряде случаев разрывает ткань логичного изложения основных этапов развития отраслей энергетической техники. Нужно заметить, что авторский коллектив отдавал себе отчет в том, что вопросы периодизации развития энергетической науки и техники являются одними из наиболее трудных. Редкомиссия из этих же соображений обращалась с просьбой к рецензентам высказать свои предложения относительно периодизации. Такие предложения имеются в некоторых рецензиях. Задача авторского коллектива заключается сейчас в том, чтобы найти наиболее правильную, научно обоснованную периодизацию, выработать более строгую систему изложения материала, подчинив ее основной идее всей монографии.

Заслуживает особого внимания указание во многих отзывах на то, что далеко не во всех очерках дан достаточно полный анализ развития советской энергетической техники последних лет в сравнении с состоянием современной зарубежной техники. Этот вопрос должен быть тщательно продуман авторами, хотя главной задачей очер-

ков остается освещение развития энергетической техники в Советском Союзе. Сравнение будет способствовать лучшему выявлению особенностей развития отечественной энергетики. В рецензиях соответственно рекомендуется осветить более подробно достижения мировой энергетической техники и ее влияние на развитие советской энергетики; следует показать, как наша энергетическая техника использовала все то, что было технически прогрессивного за рубежом, но при этом необходимо отметить, что ее развитие шло не путем простого копирования, а путем творческого освоения достижений зарубежной техники. При таком аналитическом подходе необходима научная объективность, которой чужды элементы саморекламы и восхваления; необходимо со всей полнотой выявлять причины, тормозившие в отдельных случаях прогрессивное и интенсивное развитие тех или иных звеньев отечественной энергетической техники.

В некоторых очерках излишне подробно освещается дореволюционный период в ущерб изложению советского периода, в частности развития энергетической техники пятой пятилетки. Далеко не во всех очерках читатель может найти научно обоснованные перспективы развития данной отрасли энергетики, тогда как такие перспективы представляют значительный интерес, и обзор ближайших научно-технических задач по каждому очерку должен быть обязательным завершающим элементом очерка.

### С. Н. КОРСАК. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВОДОНАГРЕВАТЕЛИ И ПАРОВЫЕ КОТЛЫ

125 стр., ц. 4 руб. 10 коп. Госэнергоиздат, 1954

Рецензируемая книга представляет собой изложение обобщенного опыта коллектива инженеров, работавших под руководством автора книги, по расчету и конструированию, монтажу и эксплуатации электрических водонагревательных установок в одной из северных энергосистем Советского Союза.

Книга состоит из восьми глав. Первая глава посвящена технико-экономическим предпосылкам. Во второй главе приведены конструкции электрических котлов и водонагревателей. Глава третья отведена для изложения основ электрического расчета. В главах четвертой и пятой даны примеры расчетов прямоточных водонагревателей и электрических паровых котлов. Шестая глава посвящена описанию схем присоединения установок к электрическим сетям и вопросам заземления установок. В седьмой главе дано описание тепловых схем и разобраны вопросы эксплуатации. Последняя глава — восьмая — посвящена водяным реостатам. В приложении к книге даны таблицы функций  $e^x$  при  $x = 0,00$  и до  $x = 5,9$ , а также таблица параметров насыщенного водяного пара (по Вукаловичу).

В первой главе, посвященной технико-экономическим показателям, приводятся две формулы, определяющие рентабельность использования избыточной электроэнергии гидроэлектростанций для целей электронагрева воды и выработки пара.

Одна из формул дает связь между себестоимостью 1 квтч и выработанным в электронагревателях теплом, т. е. тот паритет между стоимостью 1 квтч, избыточной электроэнергии и ценой 1 кг топлива, при котором еще возможно рентабельно использовать избыточную электроэнергию гЭС для целей электронагрева воды и выработки пара. Далее в главе приводятся соображения о том, что для целей электронагрева воды может быть использована и базисная электроэнергия гЭС, правда в очень ограниченных размерах. Техничко-экономических подсчетов для обоснования этого не приведено. Но если бы автор книги попытался это сделать, то убедился бы в нерентабельности такого мероприятия. Вообще первая глава является наименее разработанной. Автору следовало проанализировать в ней вопрос о разных условиях использования излишков гидроэнергии ночных, воскресных и сезонных, а также рассмотреть вопрос о дублировании электронагревателями (паровыми и водяными) паровых котлов низкого давления и малых теплоэлектроцентралей, работающих на предприятиях легкой промышленности и имеющих сезонный характер. Следовало также рассмотреть вопрос о влиянии сооружения линий электропередач и подстанций для пере-

Немало критических замечаний относится к содержанию и структуре монографии. Рецензенты отмечают упущение Редкомиссии, которая не включила в состав монографии очерки по электрификации сельского хозяйства, по технике сверхвысоких частот, по двигателям внутреннего сгорания; предлагается создать отдельный очерк «Конденсаторостроение» и др. В связи с этим в рецензиях отмечается, что на содержании и построении монографии заметно сказались структура МЭИ, и предлагается не ограничивать содержание монографии рамками специализаций МЭИ.

Редкомиссия и авторский коллектив с большим вниманием отнеслись к критическим замечаниям рецензентов; обсуждению отзывов были посвящены специальные заседания. Внимание научной и инженерной общественности к работе авторского коллектива монографии является наглядной иллюстрацией большого творческого содружества советских ученых и инженеров. Редкомиссия и авторский коллектив приложат все усилия к тому, чтобы успешно завершить работу над монографией, опубликование которой с большим интересом ожидается советскими энергетиками и электротехниками.

Кандидат техн. наук Я. А. Шнейберг

Московский энергетический институт им. Молотова

дачи избыточной электроэнергии от гЭС до ее потребителя на эффективность ее использования для целей электронагрева. В этой же главе уместно было дать краткий обзор о применении электрических паровых котлов за рубежом. Из иностранной периодической печати известно, что установленная мощность электрических котлов за последние годы значительно выросла, а мощность отдельного трехбакового электрокотла достигла 80 тыс. квт. Автору книги следовало проанализировать причины, обуславливающие рост электрокотельных установок за рубежом, и причины замедленного развития их в Советском Союзе. Значительная часть таких сведений дана Гидроэнергопроектом в своем информационном выпуске.

Конструкции электрических водонагревателей и электрических котлов описаны во второй главе. Приведенные в книге конструкции были осуществлены в военное время кустарным способом в мастерских тех предприятий области, где они устанавливались. Много изобретательности было проявлено авторами при создании этих установок для обеспечения их устойчивой и надежной работы. Трудность работы по конструированию описанных установок усугублялась тем, что они собирались из наличных материалов и деталей в условиях военного времени. Особенно трудным является конструирование электрического ввода в бак электроводонагревателя, от надежной работы которого зависит работа всей установки и которое должно сохранять свои изоляционные свойства в условиях переменного термического режима и наличия влажности. Сказанное в еще большей степени относится также и к конструкции электрических паровых котлов. Важным разделом книги является глава «Основы электрического расчета», который для электрических котлов, а также и для электроводонагревателей сильно усложняется тем, что проводимость котловой воды сильно меняется в связи с изменением ее температуры и содержания солей. При расчете необходимо также учитывать скорость воды.

Автор книги, положив в основу метод расчета И. Квири и И. Чалидзе<sup>1</sup> по расчету прямоугольных плоских электродов, вывел дифференциальные уравнения для расчета цилиндрических электродов и привел в книге примеры расчетов прямоточных электроводонагревателей, что значительно облегчило практикам задачу по расчетам электроводонагревателей и электрических паровых котлов.

<sup>1</sup> Книга И. Квири и И. Чалидзе издана Гизлегпромом в 1935 г.

Способы ограничения токов короткого замыкания и конструктивные решения в части заземления электроводонагревателей приводятся в шестой главе. Способы заземления отличаются в зависимости от схемы подключения установки к питающей электрической сети. Приводятся примеры конструктивных выполнений изоляции корпусов электроводонагревателей, осуществленных автором книги на ряде установок.

Как известно, применение тепловых аккумуляторов значительно улучшает эффективность применения электрических котлов, благодаря которым возможно уменьшение требуемой, установленной расчетной, максимальной мощности электродвигателей, и позволяет использовать ночные излишки гидроэнергии в суточном и недельном разрезах. Условия применения тепловых аккумуляторов разобраны в седьмой главе. В этой же главе приведен метод теплового расчета установки, тепловой сети, а также описаны необходимые меры техники безопасности в части изоляции трубопроводов от электрического тока.

Последняя, восьмая, глава посвящена расчетам и конструированию водяных реостатов. Являясь проточными, такие водяные реостаты требуют малых габаритов при больших мощностях и могут быть использованы для регулирования скорости вращения электродвигателей механизмов. Приводятся примеры расчетов и некоторые конструкции.

Основным недостатком книги является то, что в ней главным образом изложен частный опыт автора (сам по себе интересный) по конструированию и применению электроводонагревателей и электрических котлов на отдельных предприятиях, где они в прошлом потребовались и

где они конструировались кустарным способом в местных мастерских. Это наложило свой отпечаток случайности на эти установки и на их отдельные детали, которые вряд ли будут повторяться в настоящее время, а тем более в будущем на новых установках. Этот недостаток автор мог бы исправить, поместив в книге типовую шкалу мощности, паропроизводительности, теплопроизводительности и напряжения электрического тока для электроводонагревателей и электрических котлов. В этой шкале следовало указать, в каких случаях следует применять однобаковые и в каких трехбаковые установки. Опыт разработки подобной шкалы имеется в Гидроэнергопроекте.

Кроме того, автору следовало бы привести расчет и дать конструкцию типовой установки (для электродвигателя и электроводонагревателя), которая легла бы в основу типовой серии промышленных установок, могущих быть изготовленными союзной электропромышленностью на своих заводах. В типовых установках следовало бы дать типовые решения для электрических вводов, электродов, баков (однофазных и трехфазных), арматуры, схемы автоматического регулирования давления и производительности и других элементов.

Книга наглядно доказывает простоту и дешевизну установки электроводонагревателей и возможность их изготовления в простых местных мастерских любого предприятия. Для этого в ней даны соответствующие расчетные и конструктивные материалы.

*Инж. И. М. Чалидзе*

*Московское отделение Гидроэнергопроекта*



## НОВЫЕ КНИГИ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ, ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

**Булзко И. А.** СЕЛЬСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ. 424 стр., ц. 6 руб. 40 коп. Сельхозгиз.

**Булгаков Н. И.** ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ. 48 стр., ц. 1 руб. 35 коп. Госэнергоиздат.

**Бургелорф В. В.** и **Муретов Н. С.** РАСЧЕТНЫЕ РАЙОНЫ ГСЛОЛЕДНОСТИ В СССР. 48 стр., ц. 1 руб. 70 коп. Госэнергоиздат.

**Вешневский С. Н.** РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК И СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ. Изд. 3-е, перераб., 336 стр., ц. 11 руб. 60 коп. Госэнергоиздат.

**ВОПРОСЫ АВТОМАТИКИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.** Сборник статей. Отв. ред. Г. В. Карпенко. Вып. 3. 195 стр., ц. 7 руб. 85 коп. Укркалемиздат.

**Воробьев А. А.** СВЕРХВЫСОКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ. 424 стр., ц. 12 руб. 95 коп. Госэнергоиздат.

**Вострокнутов Н. Г.** ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ. 192 стр., ц. 6 руб. 35 коп. Госэнергоиздат.

**Гузь В. И.** ЭЛЕКТРОСИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ В ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ. 147 стр., ц. 4 руб. 65 коп. Госгеолтехиздат.

**Карасев М. Ф.** КОММУТАЦИЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА. 144 стр., ц. 4 руб. 10 коп. Госэнергоиздат.

**Клементьев С. Д.** АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА. Под ред. Ф. Е. Темникова. 292 стр., ц. 5 руб. 85 коп. Гостехиздат.

**Комар Е. Г.** ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ. 352 стр., ц. 12 руб. 40 коп. Госэнергоиздат.

**Кузнецов М. И.** ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. Под ред. С. В. Страхова. 4-е изд., перераб., 408 стр., ц. 6 руб. 75 коп. Трудрезервиздат.

**Ланис В. А.** и **Левина Л. Е.** ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНИКИ ВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ. Под ред. М. И. Меньшикова. 120 стр., ц. 3 руб. 65 коп. Госэнергоиздат.

**Нейман М. С.** ОБОБЩЕНИЕ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ НА ВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ. 192 стр., ц. 5 руб. 50 коп. Госэнергоиздат.

**Петросян В. Х.** ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ, ч. 1. 560 стр., ц. 11 руб. 75 коп. Айпетрат, Ереван, на арм. яз.

**Попков С. Л.** ОСНОВЫ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА. Учебное пособие для техникумов. 272 стр., ц. 7 руб. 75 коп. Оборонгиз.

**ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.** Утв. 8.5. 1954 г., 160 стр., ц. 6 руб. 85 коп. Госэнергоиздат.

**Рюденберг Р.** ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ. Пер. с 1-го америк. изд. Под ред. В. Ю. Ломоносова. 715 стр., ц. 41 руб. 10 коп. Изд. иностр. литературы.

**Смирнов М. В.** КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ. 88 стр., ц. 2 руб. 70 коп. Госэнергоиздат.

**Соколов Д. В.** СПРАВОЧНИК ЭНЕРГЕТИКА НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ. Под ред. Н. Н. Лебедева. 916 стр., ц. 29 руб. 65 коп. Госстройиздат.

**СПРАВОЧНИК ЭЛЕКТРОМОНТЕРА.** Под общ. ред. А. Д. Смирнова и П. Ф. Соловьева. Вып. 5. П. Ф. Соловьев. Техника безопасности. 2-е, перераб. и доп. изд. 224 стр., 4 руб. 5 коп. Госэнергоиздат.

**Сыромятников И. А.** РЕЖИМЫ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ. Изд. 2-е, переработанное. 304 стр., ц. 12 руб. Госэнергоиздат.

**Тисенко Н. Г.** ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРОВОЛОЧНЫЕ ТЕНЗОМЕТРЫ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ. 16 стр., ц. 10 руб. Академиздат.

**Шедрин Н. Н.** и **Ульянов С. А.** ЗАДАЧИ ПО РАСЧЕТУ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ. 232 стр., ц. 7 руб. 75 коп. Госэнергоиздат. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОВАЗА И УХОД ЗА АППАРАТУРОЙ. 180 стр., ц. 8 руб. 65 коп. Трансжелориздат.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ.** Материалы обработки. Я. Я. Тесленко. 24 стр., ц. 85 коп. ОРГРЭС. Госэнергоиздат.

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**К. А. Андрианов, Г. В. Буткевич, А. А. Глазунов, В. А. Голубцова, Н. Г. Дроздов** (главный редактор), **Е. Г. Комар, М. П. Ностенко, И. А. Сыромятников** (зам. главного редактора), **А. М. Федосеев, М. Г. Чиликин, М. А. Шателен.**

## ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ЭНЕРГОСИСТЕМ

Приведены данные о развитии энергетики Советского Союза за последние 10 лет и намечены пути дальнейшего развития энергосистем на ближайшие годы. В энергетических системах МЭС широко внедрены автоматика и телемеханика; в энергосистемах достигнуты успехи в области повышения устойчивости работы, снижения удельного расхода условного топлива на выработанный киловатт-час, снижения удельной численности персонала и себестоимости 1 *квтч*. Дальнейшее направление развития энергетики связано с задачами объединения энергетических систем, увеличения единичных мощностей основного оборудования, быстрого развития электросетей и в том числе внедрения мощных электропередач переменного и постоянного тока на сверхдальние расстояния.

## ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА ФАЗ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ВЫСШИЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ ПЕРВИЧНОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Как уже сообщалось, при сооружении кабельной линии 100 тыс. *квт* между Англией и Францией предполагается использовать четвертый резервный кабель для опытной передачи постоянным током. В статье рассмотрено влияние работы преобразователя на опытной передаче на кривую тока и напряжения в питающей английской сети. Предполагено, что мощность опытной передачи составит первоначально 50 тыс. *квт* в 12-фазном режиме, затем 100 тыс. *квт* в 24-фазном.

Определена зависимость максимальной допустимой мощности преобразовательной установки от ее числа фаз. Лимитирующим фактором является при этом влияние высших гармонических в напряжении питающих трехфазных линий на линии телефонной связи.

## ОБЪЕДИНЕНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ

В статье излагаются преимущества объединения энергосистем на параллельную работу. Показывается, что такое объединение позволяет наиболее рационально использовать гидроресурсы и обеспечить экономичное расходование топлива на тепловых электростанциях, решая при этом задачу комплексной электрификации районов.

На основе этого ставится задача сооружения мощных тепловых и гидроэлектрических станций с крупными агрегатами, более экономичных по первоначальному и последующим эксплуатационным затратам. Показывается значение строительства электрических сетей с более широкой шкалой различных напряжений. Критикуется имеющаяся практика проектирования и сооружения межсистемных линий электропередачи с недостаточной пропускной способностью, дальних электро-

## ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

За Советский период своего существования и развития электротехническая промышленность превратилась в одну из крупнейших отраслей машино- и аппаратостроения с обширнейшей номенклатурой изделий — от сложных прецизионных механических и электронных приборов и аппаратов до сверхмощного уникального оборудования в виде генераторов и синхронных компенсаторов с водородным охлаждением, трансформаторов мощностью в фазе 90 000 *кВа* на напряжение 400 *кВ*, воздушных выключателей того же напряжения и др. Предприятиями электротехнической промышленности поставляется электрооборудование для всего цикла металлургического производства. Железнодорожный и городской транспорт оснащаются магистральными электровозами, оборудованием для тепловозов, ме-

## ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧА ПОСТОЯННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Описываемая в статье электропередача постоянного тока высокого напряжения сооружена для производства исследований и накопления эксплуатационного опыта. Параметры электропередачи: напряжение между полюсами — 200 *кВ*, ток в линии — 150 *а*, передаваемая мощность — 30 тыс. *квт*. Выпрямительная и инверторная подстанции связаны кабельной линией постоянного тока напряжением 200 *кВ* и длиной 112 *км*. Подстанции выполнены по трехфазной мостовой схеме, с одним мостом на каждой подстанции. В каждое плечо моста включено по три вентиля. Максимальный ток каждого вентиля — 150 *а*, обратное напряжение — 120 *кВ*.

Пуск и наладка линии были начаты в декабре 1950 г. В середине 1951 г. электропередача переведена на напряжение 200 *кВ*, после чего возросло число таких

## НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЯ

Излагаются научные проблемы отечественного машиностроения, связанные с непрерывным и мощным развитием электроэнергетической базы Советского Союза. Указывается, что быстрый темп автоматизации и механизации всех отраслей народного хозяйства, в особенности тяжелой индустрии, предъявляет все более и более повышенные требования к техническому и технологическому уровню электрических машин, низковольтной пускорегулирующей аппаратуры, улучшению их эксплуатационных и рабочих характеристик.

Указывается также, что наиболее важными проблемами являются: исследование переходных процессов в электрических машинах и аппаратах при нелинейном характере их параметров; регулирование электрических машин в зависимости от задач автоматизации техноло-

## ПРОЕКТ СЕТИ 380 *кВ* В ФИНЛЯНДИИ 2

Как и в Швеции, в Финляндии значительные ресурсы водной энергии расположены в северной части страны, в то время как крупнейшие центры потребления сосредоточены на юге. Поэтому принято решение наряду с дальнейшим расширением существующих сетей 110 и 220 *кВ* начать сооружение линий 380 *кВ*. Опыт эксплуатации шведской сети 380 *кВ* также послужил доводом в пользу такого решения. В настоящее время часть оборудования 380 *кВ* уже заказана.

Фирма ASEA получила заказ на изготовление для гидроэлектростанции Петйэскоски четырех однофазных трехобмоточных трансформаторов  $12,5 \frac{234}{\sqrt{3}} / \frac{405}{\sqrt{3}} \text{ кВ}$  мощностью 40/85/125 тыс. *кВа*. Для обмоток 405 *кВ* принимается уровень изоляции 1650 *кВ* в соответствии со шведским стандартом. Сеть 380 *кВ* будет работать с глухозаземленной нейтралью. Одновременно с транс-

## ЗАДАЧИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ГИДРОГЕНЕРАТОРОСТРОЕНИЯ

В связи с освоением огромных водных энергетических ресурсов Сибири на первый план выдвигается проблема создания сверхмощных гидрогенераторов. Эта проблема содержит ряд частных научно-технических задач по гидрогенераторостроению: 1) рационализация общей компоновки гидрогенераторов и дальнейшее технико-экономическое повышение использования активных материалов; 2) статическая и динамическая устойчивость при работе на длинные линии электропередачи; 3) обеспечение надежной работы генераторов в особых эксплуатационных режимах; 4) совершенствование различных конструктивных узлов машин.

Важным критерием для оценки компоновки гидрогенераторов является их размер по высоте. Подходя с этим критерием к оценке основных исполнений, авторы заключают, что подвесной тип следует развивать

Расчет, проведенный без учета емкостей системы, показал, что повышение числа фаз с 12 до 24 лишь незначительно уменьшает влияние питающих линий на линии связи. При учете же емкостной нагрузки параллельно работающих трехфазных кабелей допустимая мощность 24-фазной установки в 6—7 раз больше, чем 12-фазной, так как емкость кабеля представляет для 23 и 25 гармонических путь малого сопротивления. В этих условиях как 12-фазный преобразователь 50 тыс. кВт, так и 24-фазный на 100 тыс. кВт не вызовут существенных помех для работы линий связи. После перевода всей кабельной линии на постоянный ток режим работы преобразовательной установки 640 тыс. кВт должен быть 48-фазным.

В расчетах не учтено благоприятное влияние емкостной проводимости питающей сети 132 кВ на величину гармонических напряжений высоких порядков.

Direct Current, т. 2, стр. 65, № 3, 1954,

(Э-во, 7, 1955)

Увеличение надежности энергоснабжения потребителей, снижение удельного расхода топлива, уменьшение количества обслуживающего персонала должны обеспечиваться дальнейшим внедрением всевозможных автоматических устройств и телемеханизации энергетических устройств.

Освоение гидроэнергетических ресурсов Сибири требует применения сверхвысокого напряжения переменного тока порядка 600 кВ.

Электричество, № 7, 1955.

трополитена, трамвая, дизельэлектрических автобусов, троллейбусов и пригородных железных дорог.

Однако непрерывно растущие потребности народного хозяйства, с одной стороны, и огромный размах и высокие темпы развития современной техники, с другой — требуют неустанного совершенствования и увеличения мощности известных типов машин, аппаратов и приборов и создание новых изделий с использованием всего богатого арсенала средств, предлагаемого новой техникой, в виде новых магнитных сплавов и проводниковых материалов высокой термостойкости, новых разнообразных синтетических изоляционных и проч. материалов, полупроводниковых устройств и приборов и пр. В этом аспекте в статье рассматривается перечень основных задач, стоящих перед электропромышленностью на современном этапе ее развития.

Электричество, № 7, 1955.

передач без промежуточных отборов мощности, строительства неэкономичных, изолированно работающих, небольших электростанций.

В статье также рассматриваются вопросы обеспечения устойчивости параллельной работы энергосистем и диспетчерского управления работой объединенных энергосистем. Рассматривается ряд практических мероприятий, как, например, перевод на более высокие напряжения существующих линий электропередачи, применения для этой цели автотрансформаторов, осуществления АПВ, с ресинхронизацией и без проверки синхронизма и ряд других.

Электричество, № 7, 1955.

гических производственных процессов в различных отраслях народного хозяйства; изучение внутренней аэродинамики машин, методов охлаждения, механической прочности, вибрации, шумов; коммутации коллекторных машин постоянного и переменного тока.

Отмечается роль и значение магнитных изоляционных, а также полупроводниковых материалов для развития современных машин, приборов, аппаратуры регулирования и автоматики.

Подчеркивается важность систематического изучения и применения достижений физики, химии, математики, механики, аэродинамики, теплотехники, электронной техники, техники счетноаналитических машин для успешного решения проблемы повышения технического уровня, на котором производятся электрические машины и пускорегулирующая аппаратура.

Электричество, № 7, 1955.

неполадок, как обратные зажигания на выпрямителях, пробой вентиля в прямом направлении на инверторе, большие перенапряжения, которые вызвали перекрытия вентиля и другого оборудования; усилились радиопомехи. Пропуски зажигания вентиля и погасание дуги дежурного возбуждения нарушали нормальную работу электропередачи. На основе изучения процессов в электропередаче и условий работы оборудования были разработаны и осуществлены мероприятия по устранению перечисленных неполадок, нарушавших нормальную работу передачи, что привело к повышению надежности ее работы. Проведены исследования различных схем и режимов электропередачи, в частности, схем с землей в качестве обратного провода, с воздушной линией, с параллельно-последовательным соединением вентиля в группе, с одним вентиля в плече моста. Эти исследования дали богатый материал для проектирования дальнейшей электропередачи и постоянного тока и разработки оборудования для нее.

Электричество, № 7, 1955.

для машин крупной мощности большой и средней быстроходности ( $n > 150$ ). Для тихоходных генераторов наиболее целесообразен зонтичный тип с расположением подпятника на крышке турбины и с облегченными крестовинами для направляющих подпятников. Рассматривается также влияние окружной скорости и переходной реактивности на использование активных материалов.

Решение задачи устойчивости требует повышения потолка напряжения возбуждения и повышения скорости напряжения, что достижимо при использовании систем ионного возбуждения. В числе других мероприятий указывается на необходимость создания генераторов с пониженными реактивными сопротивлениями, разработки методов уточненного расчета режимов несимметричных нагрузок, асинхронных и самовозбуждения, а также методов моделирования.

Разработка подпятников высокого давления и усовершенствование вентиляций рассматриваются как наиболее важные конструктивные усовершенствования

Электричество, № 7, 1955.

форматорами фирма ASEA изготовляет шунтирующий реактор 12,5 кВ мощностью 70 тыс. кВА.

Для распределительного устройства 380 кВ заказаны два воздушных выключателя с номинальным током 1250 А. Выключатели имеют отключающую способность 12 млн. кВА при напряжении 380—420 кВ. Уровень изоляции выключателей принят равным 1775 кВ. Выключатели оборудуются устройствами однополюсного и трехполюсного быстродействующего повторного включения. В поставку заказанного оборудования входят также 12 однополюсных разъединителей с индивидуальным двигателем привода для каждого полюса. Номинальный ток разъединителей 1600 А, уровень изоляции 1650 кВ.

К статье приложена схема проектируемых сетей 110, 220 и 380 кВ.

ASEAT, т. 46, стр. 163, № 11—12, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

### ВОПРОСЫ СООРУЖЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

В статье показано, что стремление к достижению наибольших мощностей турбогенераторов в одной единице, порядка 300—400 тыс. квт при 3 000 об/мин, является основным прогрессивным направлением современной техники турбогенераторостроения. Примечание таких мощных агрегатов повышает к. п. д. станции, уменьшает эксплуатационные расходы и затраты на сооружение станции.

Предельными размерами ротора при 3 000 об/мин при современном уровне металлургии следует считать: диаметр ротора 110 см, длина активного железа 650 см. При этих размерах мощность турбогенератора с обычной системой охлаждения составляет величину порядка 150 тыс. квт. Применение внутреннего охлаждения меди обмоток статора и ротора позволяет при тех же разме-

М. Christoffel, M. Itschner

3

### ТРАНСФОРМАТОРЫ НА 380 кв

Фирма Броун-Бовери (Швейцария) построила для шведской 380-кв сети однофазные двухобмоточные трансформаторы на 43,5 мва,  $13,85/\sqrt{3} = 8,0$  кв — первые трансформаторы на это напряжение, изготовленные вне Швеции. Магнитопровод — одностержневой с радиальным расположением железных листов и с шестью вертикальными ярами по окружности. Обмотка высшего напряжения состоит из дисковых катушек, с линейным концом посередине высоты. Благоприятное распределение напряжения при импульсных воздействиях достигается при помощи кольцевых емкостных экранов. Изоляция между обмотками — бумажная, без масляных каналов. Ввод устанавливается на боковой стенке бака в наклонном положении, под углом в 45°. Наибольшая длина трансформатора 10 м (вместе с радиаторами);

### ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО КОНТАКТА ПАРЫ ГРАФИТ — МЕДЬ

В статье излагаются метод и результаты исследования электрического сопротивления скользящего контакта пары графитовая щетка — медное кольцо с использованием специально выполненных щеточных устройств. Установлено, что проводящая площадь контакта на кольце состоит из длинных узких полосок. Плотность тока на проводящей площади постоянна и составляет  $2 \cdot 10^5$  а/см<sup>2</sup> как для анодной, так и для катодной щетки. Щетка скользит по водяной пленке, которая разрушается при остановленном кольце, большом токе и в сухой атмосфере. Эта пленка вызывает необходимость повышения напряжения при пуске. Величина этого повышения составляет примерно 0,35 в. Немного более высокое напряжение требуется для про-

Г. В. Буткевич и Л. К. Грейнер

4

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ В ОБЛАСТИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

В классе напряжений 35, 110 и 220 кв необходимо решительно поднять мощность отключения советских выключателей, доведя ее при 35 кв до  $2 \cdot 10^6 \dots 2,5 \cdot 10^6$  ква, при 110 кв до  $5 \cdot 10^6 \dots 6 \cdot 10^6$  ква и при 220 кв до  $7 \cdot 10^6 \dots 10 \cdot 10^6$  ква. Имеется насущная потребность в освоении в производстве выключателей на 400 кв с мощностью отключения  $15 \cdot 10^6 \dots 20 \cdot 10^6$  ква.

Особенно остро стоит вопрос о создании выключателя на генераторное напряжение 13,8—15 кв с мощностью отключения  $3,5 \cdot 10^6 \dots 4 \cdot 10^6$  ква и номинальным током до 10 тыс. а для новых гидростанций Сибири. Трудности построения таких выключателей кроются прежде всего в обеспечении их испытаний на отключающую способность.

C. Rossier, J. Froidevaux

3

### СРАВНЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ СВЕРХВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ

Применение трансформаторов для связи сетей 150 и 220 кв может дать существенную экономию затрат и уменьшить потери. Меньшая реактивность автотрансформатора вызывает увеличение мощности коротких замыканий в системе, но в то же время способствует увеличению запаса устойчивости. Существенным недостатком автотрансформатора является переход перенапряжений из одной сети в другую, практически отсутствующий в двухобмоточных трансформаторах.

Испытания различных конструкций автотрансформаторов 220/150 кв, проведенные на моделях, показали, что в ненагруженных автотрансформаторах обычной конструкции при переходе волны перенапряжений с крутым фронтом со стороны 220 кв на сторону

K. Krause, H. Koch

4

### ВОЗДУШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ 10...30 кв

Выпущена серия малогабаритных быстродействующих воздушных выключателей 10...30 кв с пневматическим приводом для внутренней установки. Выключатель крепится на стене ячейки. Для уменьшения мертвого объема бак сжатого воздуха установлен на общей раме с полюсами выключателя, непосредственно над электропневматическим вентилем.

Неподвижные контакты выполнены в виде кольца из 6...12 посеребренных Z-образных пружинящих сегментов. Кольцо снабжено противозлектродом, препятствующим растяжению дуги при гашении. Подвижные электроды оборудованы дугостойкими вольфрамовыми наконечниками. Скорость хода подвижных контактов регулируется масляным катарактом. При поступлении импульса на отключение подвижные контакты быстро перемещаются в положение, наиболее благоприятное для

O. Troendle

3

### СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ПРИВОДА НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В 1954 г. на гидроаккумулирующей электростанции Гримзель (Швейцария) передана в эксплуатацию насосная установка, служащая для перекачки воды из озера Гримзель в водохранилище, расположенное на 400 м выше.

Для привода двухступенчатого насоса высокого давления на гэс Гримзель построен синхронный трехфазный двигатель с вертикальным валом на 1 000 об/мин, выполненный с явно выраженными массивными полюсами из стального литья и без демпферной обмотки. Основные технические данные двигателя: 23 тыс. ква при  $\cos \phi = 0,95$ , 13,5 кв, угонная скорость 1 250 об/мин, к. п. д. 97,8%. Исполнение двигателя — полностью закрытое, воздушное охлаждение осуществляется по замкнутому циклу четырьмя пристроенными к статору вентиляторами. Вал двигателя жестко связан с насо-

B. T. Renne

4

### РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КОНДЕНСАТОРОСТРОЕНИЯ

Приводятся краткие сведения по истории развития конденсаторного производства в нашей стране. Формулируются основные задачи, стоящие перед советским конденсаторостроением. Описываются последние разработки по конденсаторам с твердым диэлектриком. Сопоставляются электрические характеристики и удельные объемы слюдяных стеклоэмалевых и керамических конденсаторов, выпускаемых в массовом производстве. Рассматривается применение пропитанных бумаг в качестве диэлектрика в конденсаторах для силовых установок и радиосхем. Ставится задача о разработке новых типов пропиточных масс для улучшения характеристик бумажных конденсаторов. Приводятся сведения о новом типе бумажного конденсатора для устано-



боя тонкой оксидной пленки вокруг проводящих пятен контакта. Это объясняется теорией: размер проводящих пятен обусловлен равновесием между процессами окисления меди и пробоем оксидных слоев, что доказывает экспериментально.

В выводах указывается, что механизм проводимости скользящего контакта может быть объяснен хорошо известными физическими эффектами, в числе которых: уменьшенная площадь проводящих участков по сравнению с общей площадью контакта, водяная пленка, «туннельный» эффект, окисление и пробой оксидной пленки.

Tr. AIEE, т. 73, ч. III, стр. 788, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

Развитие выключателей должно в дальнейшем идти по трем основным направлениям, а именно: масляные баковые выключатели, маслобъемные масляные и воздушные выключатели. На основе опыта эксплуатации можно будет в будущем установить область применения каждой из этих конструкций.

Растут также требования к выключателям металлургической промышленности и сельского хозяйства.

Успешное решение всех указанных вопросов по выключателям высокого напряжения требует решительного пересмотра существующих методов подхода к разработке новых типов выключателей и существенного повышения удельного веса исследовательских работ перспективного характера.

Электричество, № 7, 1955.

гашения дуги, задерживаются в этом положении на 0,01 сек, затем плавно подходят к конечному положению. Дуга гаснет при прохождении тока через нуль во время паузы в движении контактов. Общее время отключения не превышает 0,05 сек, а время горения дуги — 0,015 сек. При включении контакты быстро перемещаются до замыкания цепи, затем плавно замедляются.

При поступлении отключающего импульса управляющий клапан пневматически самоблокируется на 0,2...0,5 сек, что исключает возможность незавершенной операции. При одновременной подаче импульсов на включение и отключение привод пневматически блокируется в положении «отключить». Предусмотрено АПВ с регулируемой выдержкой 0,2...0,35 сек. При включении на короткое замыкание устройство АПВ блокируется. Отключаемая мощность выключателя 10 кв равна 200 тыс. кв.

АEG M., стр. 427, № 11/12, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

вок продольной компенсации на линиях электропередачи высокого напряжения большой протяженности. Рассматриваются перспективы применения в конденсаторостроении пленочных диэлектриков из органических высокомолекулярных веществ. Описываются полистироловые конденсаторы. Отмечается освоение отечественной промышленностью образцов воздушных конденсаторов, газонаполненных конденсаторов для мощных контуров радиостанций и вакуумных конденсаторов для ультракоротковолновых установок.

Резкое расширение применения конденсаторов во всех областях электротехники позволяет ожидать дальнейшего прогресса в советском конденсаторостроении.

Электричество, № 7, 1955.

рах получить мощность 300...400 тыс. квт. При скорости газа в каналах обмотки 50 м/сек и давлении водорода в корпусе 5 ат можно при тех же размерах получить увеличение мощности примерно в 3 раза. Турбогенераторы с таким форсированием их охлаждения имеют пониженную величину о. к. з., поэтому требуется исследование вопроса об их устойчивости при параллельной работе.

Электричество, № 7, 1955.

высота до конца ввода 7 м. Нейтраль рассчитана на глухое заземление.

Испытательные напряжения: при возбуждении переменным током 781 кв<sub>эф</sub>; при импульсном испытании волной 1/50 мксек — 1775 кв.

В настоящее время фирма проектирует однофазные трехобмоточные трансформаторы для связи сети 380 кв с высоковольтными сетями более низких напряжений. Разработаны следующие проекты:

1. Трансформатор с раздельными обмотками  $\frac{380}{\sqrt{3}} / \frac{150}{\sqrt{3}} / 10,5 \text{ кв}, 100 / 100 / 100 \text{ мгва.}$

2. Автотрансформатор  $\frac{380}{\sqrt{3}} / \frac{225}{\sqrt{3}} / 10,5 \text{ кв}, 200 / 200 / 80 \text{ мгва}$

ВВМ, т. 41, стр. 330, № 9, 1954

(Э-во, 7, 1955)

150 кв ее амплитуда может увеличиться. В автотрансформаторах нерезонирующей конструкции при переходе со стороны высшего напряжения к низшему амплитуда волны снижается пропорционально коэффициенту трансформации. При переходе в обратном направлении в автотрансформаторах как обычной, так и нерезонирующей конструкции амплитуда волны примерно удваивается.

При нагрузках порядка 10...20% от номинальной затухание набегающих волн недостаточно для снижения амплитуд перенапряжений до допустимой величины.

Для защиты изоляции автотрансформаторов от волн перенапряжений следует применять специальные конструкции обмотки или же эффективно защищать автотрансформатор разрядниками, устанавливаемыми на его зажимах с обеих сторон.

CIGRE, доклад № 124, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

сом и вращается на двух самосмазывающихся направляющих подшипниках. Опорный подшипник, встроенный в верхнюю крестовину, несет суммарную нагрузку вращающихся частей двигателя и насоса в 70 т. Масло для подшипников охлаждается в отдельно установленных охладителях. В нормальной эксплуатации насос запускается и останавливается при помощи системы телеуправления из центральной станции Иннертkirхен. Однако имеется также возможность запуска насоса вручную дежурным. Двигатель пускается в ход с применением напряжения 7,9 кв от отпайки вспомогательного трансформатора и по истечении 35 сек переключается на полное напряжение 13,5 кв. Через 15 сек, когда скорость двигателя приближается к синхронной, реле времени включает возбуждение, после чего двигатель входит в синхронизм.

ВВМ, стр. 478, № 12, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

### КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Рассматриваются некоторые виды конденсаторов, применяемых в электрических цепях силовых установок. Наибольшее применение в настоящее время имеют конденсаторы переменного тока промышленной частоты. Усовершенствования последних лет значительно повысили качественные характеристики конденсаторов.

В статье указывается, что увеличение мощности в единице выше определенного значения ведет к возрастанию веса на 1 квар, а также к ухудшению тепловых характеристик конденсаторов. Наиболее оптимальной следует считать мощность единицы в пределах 20...50 квар при напряжении 3, 6 и 10 кв.

В СССР приступили к выпуску специальных конденсаторов: 1) для продольной компенсации реактивного сопротивления линий электропередачи и 2) для высокочастотной связи и защиты с устройством отбора мощности для силовой нагрузки. Конденсаторы про-

### ИЗМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Электромагнитная инерция магнитных усилителей в основном определяется параметрами управляющей обмотки. Частотная передаточная функция магнитного усилителя без обратной связи имеет вид:

$$\frac{E_{вых}}{E_{вх}}(j\omega) = \frac{K \frac{N_y}{R_y}}{1 + j\omega T_y},$$

где  $k$  — коэффициент усиления в вольтах на ампервиток;

$N_y$  — число витков управляющей обмотки;

$R_y$  — ее активное сопротивление;

$T_y$  — постоянная времени магнитного усилителя.

### СИЛОВЫЕ ГЕРМАНИЕВЫЕ И КРЕМНИЕВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Выпущены силовые германиевые диоды с водяным охлаждением на 200 а среднего тока и до 80 в обратного напряжения. Падение напряжения при номинальном токе 0,63 в, обратный ток 40 ма. Основной частью диода является плоский монокристалл германия диаметром 25 мм, толщиной около 0,4 мм. Кристалл припаян к двум молибденовым дискам толщиной 0,75 мм, обладающим таким же коэффициентом теплового расширения, как и германий. Для пайки нижней поверхности кристалла используется чистое олово, для пайки верхней поверхности — чистый индий. В результате диффузии слой германия, прилегающий к слою индия, приобретает свойства «дырочной» проводимости, в то время как основная масса кристалла обладает электронной проводимостью. К одному из молибденовых дисков

### ЗАВОДСКАЯ РТУТНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА

На заводе, выпускающем двигатели внутреннего сгорания, сеть постоянного тока питалась от двигатель-генератора, который в 1954 г. был заменен ртутно-преобразовательной установкой 690 квт, 3000 а, 230 в. В выпрямительном режиме установка питает постоянным напряжением выпрямленного тока заводские токоприемники постоянного тока. Когда при испытании мощных дизелей получаемая энергия постоянного тока превышает потребность в ней завода, установка автоматически переходит в инверторный режим работы и рекуперирует избыточную энергию в питающую сеть трехфазного тока.

Установка состоит из двух безнасосных шестианодных выпрямителей на 1500 а каждый с воздушным дутьевым охлаждением. Для сглаживания пульсаций выпрямленного тока применяется сглаживающий дрос-

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНЗИСТОРОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ

Несмотря на большой размах исследовательских работ по полупроводникам, транзисторы нашли пока только ограниченное применение (в счетных устройствах и в слуховых аппаратах для глухих) и еще не могут заменить электронные лампы в широких масштабах. Это объясняется тем, что для управления транзистором требуется некоторая мощность, тогда как управляющая сетка электронной лампы практически никакой мощности не потребляет. Кроме того, свойства транзистора в сильной степени зависят от колебаний температуры. К достоинствам транзистора относятся: малое падение напряжения (меньше 1 в при больших плотностях тока), малые габариты и др. В системах управления электроприводом металлорежущих станков транзистор можно использовать в качестве усилителя или реле. Если применить транзистор для питания цепи возбуж-

### ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Описаны принцип действия, схема и конструкция экспериментального прибора для измерения напряженности магнитных полей до 4000 эр. Прибор состоит из миниатюрного двухобмоточного двухстержневового трансформатора, первичная обмотка которого питается от лампового генератора 5 кГц со стабилизированной частотой. Вторичная обмотка через резонансный усилитель и оконечный каскад соединена с указательным прибором. Каждая из двух обмоток имеет по 180 витков провода диаметром 0,35 мм из медного сплава и состоит из двух катушек, равномерно распределенных на обоих сердечниках диаметром 2 мм и длиной 15 мм из карбонильного железа. Обе катушки первичной обмотки соединены между собой согласно, а катушки вторичной обмотки — встречно, вследствие чего индуктиро-

### ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ В ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Магнитные усилители последовательного типа без обратной связи используются в выпрямительных установках в качестве измерительных трансформаторов постоянного тока. Среднее значение тока измеряется с точностью 2%. В момент прохождения вспомогательного переменного тока через нуль, в кривой вторичного тока возникает коммутационный провал. Для осциллографически точного воспроизведения кривой выпрямленного тока требуется сочетание двух магнитных усилителей, вспомогательное напряжение которых сдвинуто между собой по фазе на 90°.

Для измерения очень больших постоянных токов применяются магнитные усилители с негативной обратной связью, потребляющие в десятки раз меньшую мощность, чем усилители без обратной связи.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ВОЛЬТМЕТРА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ПЕРЕМЕННЫЙ

Вследствие неодинаковой чувствительности прибора электростатической системы на переменном и на постоянном токе их погрешность («погрешность перехода») достигает  $5 \cdot 10^{-4}$ . Это можно объяснить наличием полупроводящей пленки на поверхности алюминиевых электродов, уменьшающей чувствительность прибора на переменном токе. Метод определения этой погрешности заключается в том, что указатель испытываемого вольтметра сначала дает отклонение при питании его от генератора с синусоидальным напряжением  $U_1$ , а затем при питании от постоянного напряжения  $U_2$  через делитель напряжения. При этом между значениями  $U_1$  и  $U_2$  поддерживается определенное соот-

При помощи дополнительной обмотки обратной связи можно изменить динамические свойства (время реакции) магнитного усилителя. Обобщенная передаточная функция для любого одноступенчатого магнитного усилителя с обратной связью, в цепи которой содержится не более одного элемента, запасящего энергию, имеет следующий вид:

$$\frac{E_{вых}}{E_{вх}}(j\omega) = \frac{K_1(1 + j\omega T_1)}{1 - \omega^2 T_1 T_3 + j\omega T_2}$$

где  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$  — постоянные времени цепи обратной связи и магнитного усилителя.

Соответствующим выбором параметров цепи обратной связи можно создать магнитный усилитель, амплитудно-фазная характеристика которого деформирует в благоприятную сторону частотную характеристику следящей системы, улучшая ее динамические свойства.

Эл. Eng, т. 73, стр. 1088, № 12, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

сель. Установка снабжена электронным стабилизатором выпрямленного напряжения, электронной аппаратурой для контроля автоматического перехода из выпрямительного режима в инверторный и обратно и аппаратурой для защиты от перегрузок и коротких замыканий.

Приведены принципиальная схема преобразовательной установки и схема устройств управления и регулирования. Отмечаются следующие преимущества преобразовательной установки перед двигателем-генератором: упрощается уход (смазка подшипников, износ щеток), достигается бесшумная работа и облегчается автоматический переход ртутного преобразователя из выпрямительного режима в инверторный, в то время как автоматический переход из двигательного режима в генераторный у машин старой конструкции трудно осуществить в связи с проблемой коммутации.

VDI-Zeitschrift, стр. 85, № 3, 1955.

(Э-во, 7, 1955)

ванные в них э. д. с. при полной симметрии электрических и магнитных условий взаимно компенсируются. Катушки вторичной обмотки диаметром 20 мм пространственно разделены и образуют два зонда, один из которых вводит в исследуемое магнитное поле. При этом нарушается магнитное равновесие и в катушке индуцируется э. д. с., соответствующая напряженности исследуемого магнитного поля. Отсчет результата измерения производится по показаниям прибора и соответствующей градуировочной кривой. Погрешность измерения от влияния внешних магнитных полей составляет не более нескольких десятых долей эрстед, что при измерении сильных магнитных полей не имеет значения.

ЭлМ., стр. 12, № 1, 1955.

(Э-во, 7, 1955)

ношение, постоянство которого контролируется специальным устройством, состоящим из быстродействующего реле, синхронизированного с генератором синусоидального напряжения, усилителя постоянного тока и осциллографа, используемого как индикатор. «Погрешность перехода» определяется как разность между измеренным по испытываемому прибору отношением постоянного напряжения к переменному и действительным значением этого отношения.

Точность метода зависит от: 1) чистоты формы кривой; 2) стабильности напряжения в процессе измерения; 3) точности определения коэффициента деления делителя; 4) точности поддержания соотношения между значениями постоянного и переменного напряжения; 5) точности отсчета по прибору. Погрешность, вызываемая каждой из этих причин в отдельности, не превышает 0,001%, что достигается выбором соответствующей аппаратуры, описанной в статье.

Прог. IEE, ч. II, т. 101, стр. 17, № 83, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

дольной компенсации в исполнении для наружных установок обладают большой перегрузочной способностью и допускают кратковременные перенапряжения до четырехкратного номинального.

Автор указывает на необходимость более детального изучения свойств разрядных конденсаторов, область применения которых непрерывно ширится. Исследования показали большую зависимость их срока службы от параметров разрядной цепи, а также от напряженности электрического поля.

В области конденсаторостроения ближайшей задачей является внедрение в производство более совершенных видов диэлектрика, улучшенной технологии, применение новых видов аппаратуры для контроля технологических процессов и качества конденсаторов.

Электричество, № 7, 1955.

припаяется массивное медное основание, охлаждаемое водой, ко второму диску — отводящий кабель. Диод помещается в герметически запаянный сосуд, предварительно обезгаженный и заполненный инертным газом атмосферного давления. Из 12 германиевых диодов может быть собран шестифазный выпрямитель 1200 а.

Ведется также разработка силовых кремниевых диодов, допускающих температуру до 180°С (вместо 65°С для германиевых диодов). Кремниевые диоды допускают более высокие обратные напряжения, но падение напряжения в них на 0,5 в выше.

Оба типа выпрямителей могут найти широкое применение при напряжениях 9...130 в, а в перспективе до 250...400 в постоянного тока.

Westinghouse Eng., стр. 183, № 5, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

дения двигателя или генератора постоянного тока, то он может заменить электромашинный усилитель; действуя без переключающих аппаратов и контактов, транзисторы могут пропускать ток попеременно в прямом и обратном направлении через обмотку возбуждения. Меняя соотношение времени действия того и другого, можно регулировать величину результирующего тока возбуждения. Германиевые транзисторы могут работать при температуре до 100°С, кремниевые — до 200°С. Большие перспективы открывают фототранзисторы, превосходящие фотоэлементы по своей чувствительности и мощности.

Instruments and Automation, т. 27, стр. 1296, № 8, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

Для плавного регулирования выпрямленного тока и напряжения в полупроводниковых выпрямителях используются магнитные усилители последовательного типа, включенные в анодную цепь выпрямителя.

Для регулирования на постоянство тока используется усилитель без обратной связи, для регулирования на постоянство напряжения — усилитель с двумя обмотками управления и позитивной обратной связью. Точность регулирования  $\pm 1,5\%$ . Этот способ применяется, в частности, для автоматизации заряда и подзаряда аккумуляторных батарей

Магнитные усилители с самовозбуждением используются для автоматизации сеточного регулирования ртутных выпрямителей. При помощи одного трехфазного магнитного усилителя можно осуществить регулирование на постоянство напряжения в нормальном диапазоне нагрузок и одновременно ограничение максимального тока при перегрузках.

Direct Current, в. 2, стр. 58, № 3, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В историческом очерке развития электропривода дается обзор основных этапов его развития в дореволюционной России и в советский период, а также освещается его роль в деле автоматизации производственных процессов и повышения производительности труда.

Во второй части статьи излагаются основные научно-технические вопросы современного автоматизированного электропривода, к числу их в первую очередь отнесены: разработка и исследование электропривода переменного тока с частотным управлением, осуществляемым посредством электромашинных и статических (ионных и полупроводниковых) преобразователей частоты; создание электроприводов, предусматривающих применение асинхронных электродвигателей с дроссельным и импульсным управлением; дальнейшее

### СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Электрификация социалистического хозяйства, рост мощностей энергетики требует повышения надежности и увеличения сроков жизни электротехнического оборудования, что вызвало появление новых видов изолирующих материалов на основе синтетических полимеров. В первой части статьи описываются кремний-органические полимеры и их важнейшие свойства в сопоставлении со свойствами органических полимеров. Рассмотрены диэлектрики на основе мельчайших лепестков слюды и кремнийорганических полимеров, известных под названием слюдиниты. Во второй части рассмотрена большая группа важнейших органических синтетических продуктов, таких как: поливинилацеталы, полиэфирные полимеры, оксидные полимеры, полистирол,

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В статье дается краткий обзор развития электрической тяги на железных дорогах СССР. Отмечается ее эффективность. Сообщается об ожидаемых перспективах электрификации железных дорог на ближайшие годы. Рассматривается вопрос о системах электрической тяги и работах, проводимых в области применения однофазного тока промышленной частоты. Освещаются научно-технические вопросы, которые должны быть решены для усовершенствования существующей системы электрической тяги на постоянном токе. Высказываются требования к электропромышленности в отношении повышения технического уровня производства основного и вспомогательного оборудования для электрификации железных дорог. Указывается на необхо-

### НАГРЕВОСТОЙКОСТЬ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ С КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Излагается содержание и приводятся результаты сравнительных испытаний асинхронных двигателей мощностью 5,5 кВт с обмотками из провода с новой кремнийорганической эмалевой изоляцией и из провода с обычной изоляцией класса А. Приведены некоторые свойства кремнийорганической эмали: пробивная напряженность 2,2...2,7 кв/мм; удлинение 30%; химическая стойкость образцов, погруженных при комнатной температуре в воду, 20%-ный раствор серной кислоты, 5%-ный раствор соляной кислоты, моторное масло, составляет более 100 час, в этиловый спирт — до 100 час, в ацетон — менее 10 час.

Для каждого из 12 испытанных двигателей с кремнийорганической эмалью и из пяти двигателей с изоляцией класса А указаны температурный режим, срок

### ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ФРАНЦИИ

В конце 1953 г. французское правительство утвердило кредиты на дальнейшую электрификацию дорог Северо-Востока Франции на однофазном токе 50 гц. В дополнение к уже электрифицированной линии Валансьен — Тионвиль (Электричество, № 8, стр. 84, 1953) электрифицируется линия Валансьен — Лилль и линии, расположенные в районе Тионвиля и Меца, общей протяженностью 340 км.

Для новых участков заказано: 37 шестиосных электровозов однофазно-постоянного тока с вращающимися преобразователями; девять четырехосных электровозов однофазно-постоянного тока с игитронными выпрямителями; девять четырехосных электровозов с коллекторными тяговыми двигателями однофазного тока 50 гц. Заказанные электровозы конструктивно не отли-

### ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Высокий уровень технологии материалов, достигнутый в настоящее время, и более детальное изучение их свойств на основе современной физики, делают возможным использование полупроводников для многих практических целей. В электро- и радиотехнических применениях основную роль играют электронно-дырочные или *p-n* переходы, возникающие на границе между частями проводника, обладающими разным типом проводимости.

В статье кратко изложены принципы действия полупроводниковых выпрямителей — диодов, усилителей — триодов, а также термо- и фотоэлементов.

Полупроводниковые диоды и триоды заменяют вакуумные электронные лампы, выгодно отличаясь от них

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

В статье дается краткий обзор развития автоматизированного металлургического электропривода в дореволюционный, довоенный и послевоенный периоды и отмечается значительная роль металлургического электропривода в становлении и развитии отечественной науки по электроприводу. Более подробно рассматривается послевоенный период развития металлургического электропривода.

Отмечаются основные направления развития металлургического электропривода:

1. Развитие частей электропривода: электросиловых преобразователей, передаточных механизмов и средств автоматизации.

2. Создание новых систем электропривода как части металлургических машинных устройств.

### ЖУРНАЛ «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО» (1880—1955 гг.)

Журнал «Электричество» — один из старейших электротехнических журналов мира, орган Академии наук СССР, Министерства электростанций СССР, Министерства электротехнической промышленности СССР. 1 июля 1955 г. исполнилось 75 лет его издания. В организации журнала в 1880 г. как органа VI (электротехнического) отдела Русского технического общества (РТО) участвовали выдающиеся русские ученые и изобретатели, пионеры электротехники.

Наука об электричестве и электротехника прошли за исторически сравнительно короткий период плодотворный путь, оказав огромное влияние на общее развитие материально-технических средств, экономики и культуры человечества. Трудно переоценить вклад журнала «Электричество» в дело правильного формирования и развития русской электротехнической мысли,

полиэтилен, политетрафторэтилен и политрифторхлорэтилен и приведены их важнейшие технические свойства.

Электричество, № 7, 1955.

службы и причина выхода обмоток из строя. Двигатели с кремнийорганической эмалью испытывались при средних температурах меди 200...275°С. Во всех случаях двигатели выходили из строя из-за межвиткового замыкания при работе в нагретом состоянии. Рассматриваются вопросы повышения теплостойкости обмоток применением стеклянной изоляции на кремнийорганической связке.

Утверждается, что двигатели с кремнийорганической изоляцией обмоток (эмалевой) имеют при средних температурах меди в пределах 160...180°С срок службы, сравнимый со сроком службы двигателей с изоляцией класса А при работе последних в условиях температуры, предельной для этого класса.

Г. АИЕЕ, т. 73, ч. III, стр. 1005, 1955.

(Э-во, 7, 1955)

значительно меньшими размерами, простотой и большей надежностью конструкции, отсутствием накала и поэтому меньшим потреблением энергии на холостой ход. Однако они пока еще уступают вакуумным лампам по высокочастотному пределу их действия и другим особенностям.

Полупроводниковые термоэлементы, в отличие от металлических, обладают высоким к. п. д. достигающим в осуществленных устройствах 7%, и будут, по видимому, в ближайшие годы широко использованы для непосредственного превращения тепловой энергии в электрическую.

Большое будущее принадлежит также полупроводниковым фотоэлементам, как непосредственным преобразователям солнечной энергии в электрическую.

Электричество, № 7, 1955.

воспитания многих поколений отечественных электротехников и развития электротехники.

В работе журнала принимает участие широкий актив советских инженеров и научных работников. Направление журнала определяется борьбой за технический прогресс народного хозяйства Советского Союза. Журнал сделал своим девизом слова Ленина на VIII съезде Советов (22.12.1920 г.): «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны».

«Электричество» — „летопись“ отечественной электротехники: напечатанные в журнале за 75 лет материалы — капитальный первоисточник большой ценности, незаменимый при изучении истории электротехники.

В приложениях (I—V) содержится подборка статей, из числа напечатанных в журнале с 1880 г., для характеристики тематики журнала в разные периоды его издания.

Электричество, № 7, 1955.

усовершенствование и развитие электроприводов постоянного тока, основанных на применении замкнутых цепей и обратных связей, с использованием различных усилителей: электромашинных, ионно-электронных, магнитных; внедрение управляемых ртутных выпрямителей взамен генераторов постоянного тока в системах генератор — двигатель; создание электроприводов возвратно-поступательного и вибрационного движения; более широкое использование в системе электропривода индукционных и порошковых муфт; разработка систем автоматического управления электроприводами, основанных на телемеханических принципах, применении бесконтактной аппаратуры и полупроводниковых приборов и т. д.

Электричество, № 7, 1955.

димось перехода к скоростным методам электрификации железных дорог с применением сборно-блочных конструкций, комплектных распределительных устройств и железобетонных опор для контактной сети.

Электричество, № 7, 1955.

чаются от локомотивов, заказанных для первой очереди. Для питания новых участков сооружаются четыре новых подстанции общей мощностью 50 тыс. кВа и усиливается подстанция Тионвиль. Подстанции питаются от линий электропередачи 60 и 150 кв. Управление подстанциями осуществляется с центральных постов в Меце (новый пост) и в Шарльвилле (обслуживает также первую очередь). Для управления выделяется одна «четверка» в кабеле дальней связи, укладываемом в связи с устранением воздушных линий.

Контактная сеть той же системы, что и для линии первой очереди. Общая стоимость работ исчислена в 26 288 млн. франков.

Revue Générale des Chemins de fer, стр. 118, № 3, 1954.

(Э-во, 7, 1955)

3. Комплексная автоматизация производственных процессов.

4. Модернизация и автоматизация на базе электропривода действующих металлургических агрегатов.

5. Унификация и типизация металлургических электроприводов.

При рассмотрении отдельных направлений развития электропривода производится сопоставление достигнутого в СССР уровня с зарубежным.

Отмечается особое значение комплексной автоматизации производственных процессов как наиболее перспективного направления технического прогресса в металлургической промышленности, отмечается высокий уровень автоматизации и производительности некоторых отечественных металлургических агрегатов и указывается на ряд недостатков в проведении работ по автоматизации агрегатов отечественной черной металлургии.

Электричество, № 7, 1955.

---

---

## ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ АВТОРАМИ ЖУРНАЛА „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

1. Размер статьи не должен превышать 0,5 авт. листа (12 стр. машинописного текста через 2 интервала с 5—6 рис.).

К статье прилагается автореферат на одной машинописной странице (краткое изложение автором важнейших положений и выводов статьи) для помещения в разделе «Реферативные карточки».

2. Оригинал статьи представляется в одном экземпляре (первом с машинки), отпечатанном через два интервала, с полями 4—5 см.

Оригинал должен быть тщательно проверен и подписан автором. Ниже подписи автор проставляет свою фамилию, полностью имя и отчество, домашний адрес, место работы, занимаемую должность, год рождения. Цитаты заверяются подписью автора собою каждая, с указанием точного источника.

3. Примененные автором обозначения выписываются им на отдельном листе с указанием: 1) что символ обозначает, 2) какого алфавита буква, 3) строчная или заглавная; аналогичное пояснение делается и в отношении индексов. Следует руководствоваться принятыми в журнале: буквенными обозначениями электротехнических и общетехнических величин и сокращенными обозначениями единиц измерения.

4. Формулы отчетливо вписываются от руки чернилами выделенными строками, а не в строках текста. Таблицы не должны быть громоздкими; все наименования в них проставляются полностью.

5. При вписывании букв, индексов, символов и других знаков следует соблюдать правильные их начертания во избежание смещения сходных изображений: заглавных и строчных букв (*C* и *c*, *K* и *k*, *O* и *o*, *S* и *s*, *U* и *u*, *V* и *v* и др.), букв, трудно различимых в рукописи [*e* и *l*, *l* и *J*, *g* и *q*, *n* и *и*, *V* и *υ* (греч.), *X* и *χ* (греч.), *d* и *α* (греч.), *ε* и *ξ* и др.] и т. п.

Заглавные (прописные) буквы рекомендуется подчеркивать карандашом двумя черточками снизу (например, O), а строчные сверху. 0 (ноль) не подчеркивать. Греческие буквы заключать в кружки цветным карандашом.

6. Нумерация сносок к тексту, ссылок на литературу, ссылок на рисунки выполняется раздельно в порядке собственной последовательности в тексте.

Библиографический указатель (Литература) составляется в следующем порядке: а) для журналов — инициалы и фамилия автора (в оригинальной транскрипции), название статьи (иностранной — в русском переводе), название журнала, часть или том (для журналов, не имеющих счета томов, — номер), страница начала статьи, год издания; б) для книг — инициалы и фамилия автора (в оригинальной транскрипции), заглавие книги, ссылка на страницы, наименование издательства (для иностранных изданий — место издания), год издания.

7. Иллюстрации должны быть перечислены в специальной описи. На обороте каждого рисунка автор должен указать свою фамилию и номер, соответствующий ссылке в тексте.

8. Пометки и надписи, относящиеся к графическому материалу, должны быть сделаны вне площади рисунка.

9. Условные обозначения в площади рисунка должны быть краткими и общеупотребительными. Расшифровка примененных условных обозначений дается без сокращений на свободном поле или в приложении к каждому рисунку вместе с его наименованием для набора надлежащей подписи к рисунку.

10. Фотоснимки должны быть отпечатаны на белой глянцевой бумаге. Изображение должно быть контрастным, с резкой проработкой деталей. Свет должен усиливать восприятие основных линий и деталей изображения. Главный предмет съемки не должен сливаться с фоном или подавляться последним.

---

---

Цена 8 руб.

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

*Орган Академии наук СССР,  
Министерства электростанций СССР  
и Министерства электротехнической  
промышленности СССР*

**76-й год издания**

Журнал «Электричество», руководствуясь задачей способствовать дальнейшему техническому прогрессу социалистического народного хозяйства, комплектует свое содержание работами, имеющими значение для разработки энергетической тематики шестого пятилетнего плана и подготовки отдельных проблем перспективного планирования электрификации страны.

Журнал «Электричество» ведет пропаганду передовых научно-технических знаний и методов в области электричества, освещает проблемные — теоретические и инженерные — вопросы электротехники, результаты научно-исследовательских работ, опыт эксплуатации электротехнических установок и информирует о выпуске нового электроэнергетического оборудования.

Журнал «Электричество» на основе многолетнего обмена с иностранными электротехническими журналами систематически реферировует наиболее интересные материалы иностранной электротехнической периодики.

Журнал «Электричество» рассчитан на широкие круги электротехников — инженеров и научных работников — и направлен на оказание им действенной помощи в разработке и решении важнейших практических и теоретических задач, возникающих в работе по электрификации всех отраслей народного хозяйства Советского Союза.

Журнал «Электричество» содержит обзорные материалы, специально предназначенные для расширения научно-технического кругозора молодых инженеров и научных работников.

Журнал «Электричество» дает научно-техническую консультацию читателям.

Журнал «Электричество» освещает вопросы истории электротехники, сообщает в хроникальных заметках о важнейших событиях и совещаниях электротехнической общественности страны, о решениях технических управлений МЭС и МЭП, о юбилейных и памятных датах.

Журнал «Электричество» регулярно помещает материалы научно-технических дискуссий и критико-библиографические работы.

Журнал «Электричество» на II полугодие 1955 г. можно выписать в любом почтовом отделении, в конторе Союзпечати, через уполномоченных по подписке на предприятиях, в институтах и в учреждениях, а за границей — в агентствах В/О «Международная книга».

**12 номеров в год**

**144 печ. л.**

**Подписная цена за полугодие: 48 руб. (96 руб. в год)**